



2<sup>eme</sup> année BIOF (PC / SM / SVT )

**Matière : physique – chimie**

Semestre :01

durée : 10h

**Série complète : nucléaire**

Nom : .....

Prénom : .....



## Exercice : 1

Les eaux naturelles contiennent du chlore 36 radioactif qui se renouvelle en permanence dans les eaux de surface, donc sa concentration 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.

### Partie I : La désintégration du chlore 36

Le noyau du chlore  $^{36}_{17}Cl$  est un émetteur de  $\beta^-$ .

- ① Définir : noyau radioactif, isotopes
- ② Donner la composition du noyau  $^{36}_{17}Cl$
- ③ Ecrire l'équation de désintégration du noyau  $^{36}_{17}Cl$ , en précisant le noyau fils parmi les noyaux suivants :  $^{36}_{18}Ar$ ,  $^{36}_{16}S$ ,  $^{37}_{17}Cl$ .
- ④ Calculer en MeV les énergies de liaison  $E_l(^{36}_{17}Cl)$  et  $E_l(^{36}_{18}Ar)$  des noyaux respectivement  $^{36}_{17}Cl$  et  $^{36}_{18}Ar$ .
- ⑤ Comparer la stabilité des noyaux  $^{36}_{17}Cl$  et  $^{36}_{18}Ar$ .
- ⑥ Calculer  $|\Delta E|$  l'énergie libérée par la désintégration du noyau  $^{36}_{17}Cl$ .
- ⑦ En déduire  $|\Delta E'|$  l'énergie libérée par la désintégration d'une mole des noyaux  $^{36}_{17}Cl$ .

### Partie II : Datation d'une nappe d'eau stagnante par le chlore 36

Des analyses montrent qu'un échantillon de volume  $V$  des eaux profondes à un instant  $t$ , contient  $N_{^{36}Cl} = 16,3 \times 10^6$  noyaux du chlore 36 et  $N_{^{36}Ar} = 14,37 \times 10^6$  des noyaux d'argon 36.

- ① Rappeler la loi de décroissance radioactive donnant le nombre des noyaux restant à l'instant  $t$ .
- ② Montrer que l'âge de la nappe stagnante est  $t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln(1 + \frac{N_{^{36}Ar}}{N_{^{36}Cl}})$ . Calculer  $t$  en (ans)

### Données

$$mn = 1,0087u \quad ; \quad mp = 1,0073u \quad ; \quad m(^{36}Cl) = 35,9590u \quad ; \quad 1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

$$m(^{36}Ar) = 35,9577u \quad ; \quad N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad ; \quad t_{1/2} = 3,01 \times 10^5 \text{ ans} \quad ; \quad m_e = 0,00055\mu$$

## Exercice : 2

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 vapeur permet de faire tourner à grande vitesse, une turbine qui entraîne un alternateur produisant l'électricité.

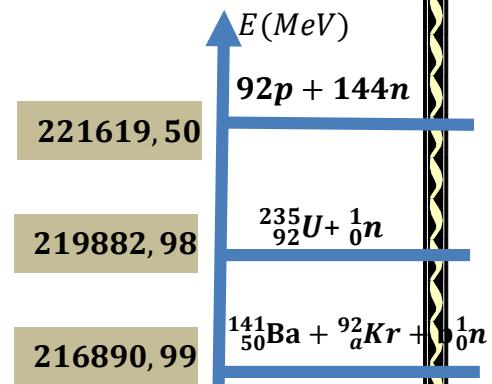
L'une des réactions de fissions de l'uranium est :  $^{235}_{92}U + ^1_0n \rightarrow ^{141}_{50}Ba + ^{92}_{36}Kr + b^1_0n$



## Données

Noyau ou particule	${}_1^1P$	${}_0^1n$	${}_{92}^{92}Kr$
Masse en ( $u$ )	1,00728	1,00866	91,926156

$1u = 931,5 \text{ MeV} / c^2$  ;  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;  $1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$



- Déterminer les deux nombres  $a$  et  $b$
- Vérifier que le défaut de masse du noyau de krypton  ${}_{92}^{92}\text{Kr}$  est :  $\Delta m({}_{92}^{92}\text{Kr}) = 0,812604u$
- Déduire la valeur de  $E_l({}_{92}^{92}\text{Kr})$  l'énergie de liaison du noyau de krypton  ${}_{92}^{92}\text{Kr}$
- Comparer la stabilité des noyaux :  ${}_{92}^{235}\text{U}$ ,  ${}_{92}^{92}\text{Kr}$ ,  ${}_{50}^{141}\text{Ba}$  (utiliser le diagramme énergétique)
- D'après le diagramme énergétique déterminer  $|\Delta E|$  l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235 en MeV puis en joule
- Calculer en joule l'énergie  $E_T$  libérée par la fission d'une masse  $m = 1 \text{ kg}$  d'uranium 235

## Exercice : 3

A l'état naturel il existe 3 isotopes du potassium K : les isotopes  ${}_{19}^{39}\text{K}$ ,  ${}_{19}^{40}\text{K}$  et  ${}_{19}^{41}\text{K}$ . Le potassium  ${}_{19}^{40}\text{K}$  est radioactif et possède la particularité de se désintégrer en deux noyaux différents : dans 89 % des cas en calcium-40  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  et dans 11 % des cas en argon -40  ${}_{18}^{40}\text{Ar}$

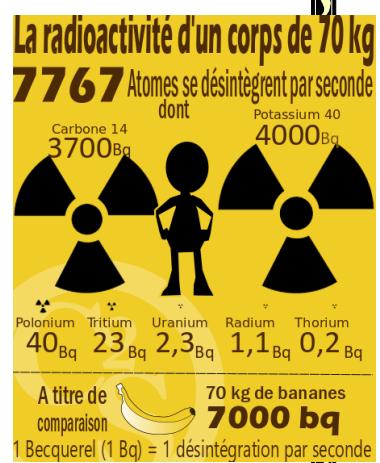
Le but de cet exercice est d'étudier la désintégration du potassium 40 dans le corps humain et la datation des roches volcaniques par méthode potassium – argon

Données :  $m(e) = 5,11910 \cdot 10^{-4} \text{ u}$  ;  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;  $1u = 931,5 \text{ MeV} / c^2$  ;  
demi-vie de  ${}_{19}^{40}\text{K}$  :  $t_{1/2} = 1,5 \times 10^9$  années ;  $M({}_{19}^{40}\text{K}) = 40 \text{ g mol}^{-1}$ .

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

### I- Le potassium dans le corps humain

Nous sommes tous naturellement radioactifs ! Dans notre corps, environ 7767 désintégrations ont lieu par seconde, essentiellement dues à la présence de carbone et de potassium radioactifs...éléments responsables de plus de la moitié de la radioactivité du corps humain, à raison d'environ 4000 désintégrations par seconde pour un homme de 70 kg. nous sommes nous-mêmes radioactifs.



1- Écrire l'équation de désintégration d'un noyau de potassium 40  ${}_{19}^{40}\text{K}$  en noyau de calcium 40  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  , et déterminer le type de la désintégration (0,5)

2- La figure 2 représente le diagramme de la désintégration précédente. On utilisant ce diagramme déterminer :

a- L'énergie de liaison de noyau  ${}_{19}^{40}\text{K}$  et de noyau  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  et comparer ses stabilités (0,5)

b- L'énergie  $E_{lib}$  libérée par cette désintégration. (0,25)

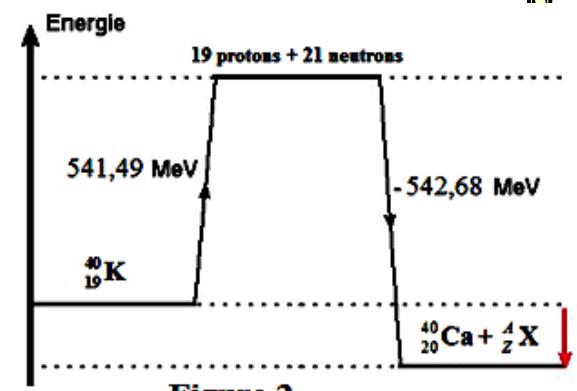


Figure 2

3- L'énergie libérée par cette désintégration se transforme totalement en énergie cinétique reçue par l'électron . Calculer la vitesse de l'électron ? (0,25)

4- La masse de potassium 40 existant, à une date t, dans le corps d'un adulte est, en moyenne, égale à  $2,6 \times 10^{-3} \%$  de sa masse. Une personne adulte a une masse  $m = 70 \text{ kg}$ .

4-1 Calculer la masse  $m$  de potassium 40 contenu dans le corps de cette personne à la date t. (0,5)

4-2 Calculer la valeur de l'activité  $a$  de la masse  $m$  à la date t. (0,5)

4-3 Déduire, en J, l'énergie E libérée chaque seconde par la masse m. (0,5)

## II – Datation par le potassium 40

**Certaines roches volcaniques contiennent du potassium naturel K qui représente 5% de sa masse. Parmi ses isotopes il existe le potassium 40  $^{40}\text{K}$ , la datation de la roche volcanique sera basée sur la proportion, dans la roche, du potassium 40 et de l'argon  $^{40}\text{Ar}$ . Au moment de leur formation ces roches ne contiennent pas d'argon, puis le potassium 40 disparaît en même temps que l'argon apparaît.**

Un géologue analyse une roche volcanique de masse  $m = 100 \text{ g}$  à une date t et trouve les rapports suivants :

$$p = \frac{N(^{40}\text{K})}{N(\text{K})} = 1,2 \cdot 10^{-4} \quad \text{et} \quad r = \frac{N(^{40}\text{Ar})}{N(^{40}\text{K})} = 0,4$$

2.1 Ecrire l'équation de la désintégration de potassium  $^{40}\text{K}$  en l'argon  $^{40}\text{Ar}$  (0,5)

2.3 montrer que l'activité de la roche analysé par le géologue à l'instant  $t$  s'exprime par la relation :  $a(t) = \lambda \cdot \frac{0,05 \cdot p \cdot m \cdot N_A}{M(^{40}\text{K})}$  calculer sa valeur (0,75)

2.4 trouver l'âge  $t$  de la roche volcanique en fonction de  $r$  et  $t_{1/2}$  calculer  $t$  (0,75)

### Exercice : ?

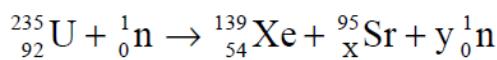
Un sous-marin utilise comme combustible l'uranium naturel qui contient un mélange enrichi en isotope  $^{235}\text{U}$  (cet isotope est fissile) et de l'Uranium 238 (isotope radioactif).

**Données :** Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ; Masse molaire de  $^{235}\text{U}$  :  $M(\text{U}) = 235 \text{ g.mol}^{-1}$  ; 1 an =  $3,15 \times 10^7$  secondes

1- . Donner la structure du noyau noté  $^{235}\text{U}$  . (0,25)

2- Les noyaux d'uranium  $^{235}\text{U}$  peuvent subir

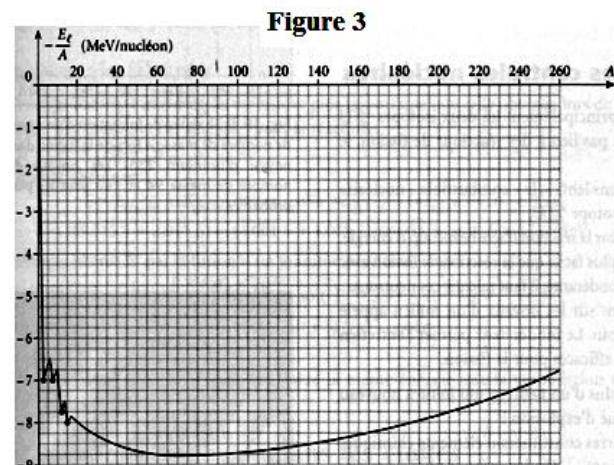
différentes fissions en captant un neutron thermique. On modélise cette transformation par l'équation nucléaire suivante :



Déterminer les valeurs de x et y en inspirant la loi appliquée. (0,5)

3- La figure 3 représente la courbe d'Aston . on utilisant cette courbe déterminer les énergies de liaisons par nucléons suivantes  $\xi(^{95}_{38}\text{Sr})$  ,  $\xi(^{139}_{54}\text{Xe})$

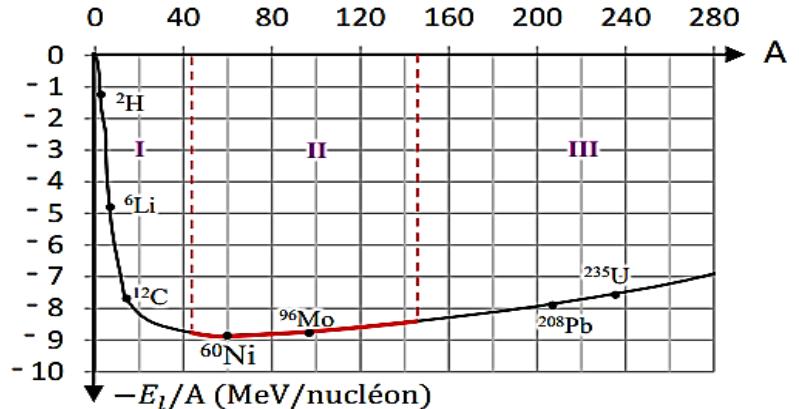
et  $\xi(^{235}_{92}\text{U})$  (0,75)



- 4- Exprimer l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium en fonction des énergies de liaisons par nucléons des noyaux  $^{95}_{38}\text{Sr}$  ,  $^{139}_{54}\text{Xe}$  et  $^{235}_{92}\text{U}$  et calculer sa valeur en Mev et en Joule ( 0, 75)
- 5- Le réacteur nucléaire de sous-marin fournit une puissance nucléaire moyenne de **150 MW**.
- 5-1 Montrer que le nombre de noyaux d'uranium qui fissionner par seconde est  $3,5 \times 10^{18}$  ( 0,5)
- 5-2 Déduire la masse d'uranium consommée en 1s par le réacteur nucléaire (0,5)
- 5-3 Le sous-marin est prévu pour naviguer pendant une durée de 2 ans. Quelle masse minimum d'uranium 235 devra-t-il embarquer pour assurer son approvisionnement en énergie pendant cette durée ? ( 0,25)

### Exercice : 5

- 1- Déterminer, parmi les intervalles **I**, **II** et **III** indiqués sur **la figure**, celui dans lequel les nucléides sont susceptibles de subir des réactions de **fusion** et **fission**.
- 2- Où se trouvent les noyaux les plus stables ? justifier.
- 3- Déduire l'énergie de liaison par nucléon du noyau de nickel **Ni**.



### Exercice : 6

Le noyau d'argent  $^{108}_{47}\text{Ag}$  est radioactif de type  $\beta^-$ .

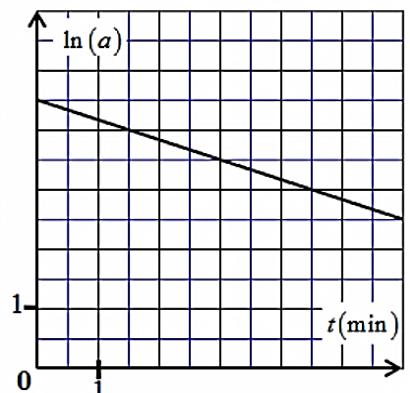
$^{46}\text{Pd}$  ;  $^{47}\text{Ag}$  ;  $^{48}\text{Cd}$

- 1- Les transformations nucléaires radioactives sont-elles provoquées ou spontanées ?
- 2- Ecrire l'équation de désintégration. Et déterminer le noyau fils parmi les noyaux ci-dessus :
- 3- Quel est le mécanisme de cette transformation nucléaire ?

**II- La figure ci-contre, représente les variations de  $\ln(a(t))$  en fonction du temps  $t$  , avec  $a(t)$  l'activité de noyaux d'argent 108 à l'instant  $t$**

- 1- En utilisant  $a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$  Montrer que :  $\ln(a(t)) = -\lambda t + 4,5$
- 2- Calculer la valeur de la constante de désintégration en ( $s^{-1}$ )
- 3- Déterminer l'activité initiale d'argent  $a_0$ .
- 4- Calculer le nombre de noyaux d'argent initiale  $N(\text{Ag})_0$  et déduire la masse initiale  $m(\text{Ag})_0$
- 5- Montrer que  $t = n \cdot t_{1/2}$  , lorsque  $N(t) = N_0 2^{-n}$
- 6- Au bout combien de temps  $\frac{3}{4}$  de noyaux initiales seront-désintégrés ?

**Donnée :**  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ,  $\text{M(Ag)} = 108 \text{ g.mol}^{-1}$



## Exercice : 7

On trouve l'uranium et le thorium dans les roches minérales avec des proportions qui dépendent de la date de leurs formations. On suppose que le thorium 234 dans quelques roches provient uniquement de la désintégration de l'uranium 238 avec le temps. Soit un échantillon de roche qui contenait à l'instant de sa formation qu'on considère comme origine des dates, un nombre  $N_0(U)$  de noyaux d'uranium 234

**Données :** Le taux de nombre des noyaux à l'instant  $t$  est :  $r = \frac{N(U)}{N(Th)} = 2$

L'énergie de liaison par nucléon  $\xi_{Th}$  du noyau de thorium 234 est :  $\xi_{Th} = 7,595 \text{ MeV/nucléon}$

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} ; \quad 1u = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_p = 1,00728 \text{ u}$$

$$m_n = 1,00866 \text{ u}$$

$$M(^{238}\text{U}) = 238 \text{ g.mol}^{-1}$$

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

$$t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ ans}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$



$$m(^{238}\text{U}) = 238,00031 \text{ u}$$

$$m(^{234}\text{Th}) = 233,9942 \text{ u}$$

$$m(^4\text{He}) = 4,0015 \text{ u}$$

### I- Étude du noyau d'uranium 238

Le noyau d'uranium  $^{238}_{92}\text{U}$  se désintègre spontanément en noyau de thorium  $^{234}_{90}\text{Th}$  avec l'émission d'un noyau  $^4\text{He}$ .

1- Ecrire l'équation de désintégration et préciser le type de radioactivité.

2- Donner la composition du noyau d'uranium 238

3- Vérifier que le défaut de masse du noyau  $^{234}_{92}\text{U}$  est :  $\Delta m = 1,9338 \text{ u}$ . Déduire l'énergie de liaison

4- Déterminer l'énergie de liaison par nucléon  $\xi_u$  du noyau d'uranium 238,

5- Déduire parmi les deux noyaux  $^{238}_{92}\text{U}$  et  $^{234}_{90}\text{Th}$ , lequel le plus stable ? Justifier votre réponse.

6- Calculer, en MeV, l'énergie produit  $\Delta E$  par désintégration d'un noyau d'uranium

7- Calculer, en MeV, l'énergie libérée  $E_{\text{libérée}}$  par un **1 g** d'uranium 238.

8- Soit 90% de l'énergie libérée par **un noyau d'uranium 238** est transformée en énergie cinétique des particules  **$\alpha$** , calculer  $V_\alpha$  la vitesse des particules  **$\alpha$**

### II- Datation d'une roche minérale par la technique uranium-thorium

1- Donner l'expression de  $N_0(U)$  en fonction de  $N(Th)$  et  $N(U)$ .

2- Montrer que l'âge de roche minérale est :  $t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \ln(1 + r^{-1})$  ; et calculer sa valeur

## Exercice : 8

Dans la nature, l'isotope prépondérant de l'élément phosphore est le phosphore 31.

### Partie I : Le phosphore 32

Substance radioactive artificielle, le phosphore  $^{32}_{15}\text{P}$  est utilisé en médecine nucléaire. Il est radioactif  $\beta^-$ .

Il se présente sous forme d'une solution qui s'injecte par voie veineuse pour traiter la polyglobulie primitive (maladie de Vaquez). Il se fixe sélectivement sur les globules rouges (hématies), car il suit le métabolisme du fer, abondant dans ces globules, et son rayonnement détruit les hématies en excès. C'est un traitement efficace et bien toléré de cette affection.

D'après le site « *dictionnaire médical* »

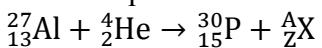
### Données :

- La masse molaire du phosphore 32 est :  $M(^{32}\text{P}) = 32 \text{ g.mol}^{-1}$ .
- La constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- La constante radioactive du phosphore 32 est :  $\lambda = 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1} = 4,84 \cdot 10^{-2} \text{ jour}^{-1}$ .
- Extrait du tableau périodique :  $_{11}\text{Na}$  ;  $_{12}\text{Mg}$  ;  $_{13}\text{Al}$  ;  $_{14}\text{Si}$  ;  $_{15}\text{P}$  ;  $_{16}\text{S}$  ;  $_{17}\text{Cl}$

- Donner la composition du noyau de phosphore 32. (0,25 pt)
- Définir le terme « isotope ». (0,25 pt)
- Etablir l'équation de désintégration du phosphore 32 en précisant l'élément formé. (0,5 pt)
- Un patient reçoit par voie intraveineuse une solution de phosphate de sodium contenant une masse  $m_0 = 1,00 \cdot 10^{-8} \text{ g}$  de phosphore 32.
  - Calculer le nombre initial  $N_0$  de noyaux de phosphore 32. (0,5 pt)
  - Vérifier que l'activité de l'échantillon de phosphore reçu par le patient à  $t = 0$  est  $a_0 = 1,05 \cdot 10^8 \text{ Bq}$ . (0,5 pt)
  - Définir la demi-vie  $t_{1/2}$  puis établir la relation entre  $t_{1/2}$  et  $\lambda$ . (0,75 pt)
  - Calculer la valeur de  $t_{1/2}$  en jours. (0,25 pt)
  - Le médicament ne fonctionne pas dans le corps du patient lorsque l'activité de l'échantillon devient  $a = 1,05 \cdot 10^6 \text{ Bq}$ . Déterminer en (jours) la durée nécessaire pour que le médicament ne fonctionne pas. (1 pt)

## Partie II : Le phosphore 30

En 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie ont synthétisé du phosphore 30 ( $^{30}_{15}\text{P}$ ) en bombardant de l'aluminium 27 avec des particules alpha selon l'équation :



### Données :

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J} ; 1u = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2} ; \xi(^{31}_{15}\text{P}) = 8,48 \text{ MeV/nucléon}.$$

Masse Particule	$m_p$	$m_n$	$m(^{30}_{15}\text{P})$	$m(^{27}_{13}\text{Al})$	$m(^4_2\text{He})$
Valeur en (u)	1,00728	1,00866	29,97006	26,97440	4,00150

- En utilisant les lois de conservation, montrer que la particule X est un neutron et donner son symbole. (0,5 pt)
- Déterminer l'énergie produite lors de cette réaction nucléaire. Conclure. (0,75 pt)
- Donner l'expression du défaut de masse  $\Delta m$  du noyau  $^{30}_{15}\text{P}$ . (0,5 pt)
- Calculer (en MeV) l'énergie de liaison d'un noyau de phosphore 30. En déduire l'énergie de liaison par nucléon  $\xi(^{30}_{15}\text{P})$ . (0,75 pt)
- Parmi ces deux isotopes  $^{30}_{15}\text{P}$  et  $^{31}_{15}\text{P}$  lequel est plus stable ? Justifier votre réponse. (0,5 pt)

### Exercice : 9

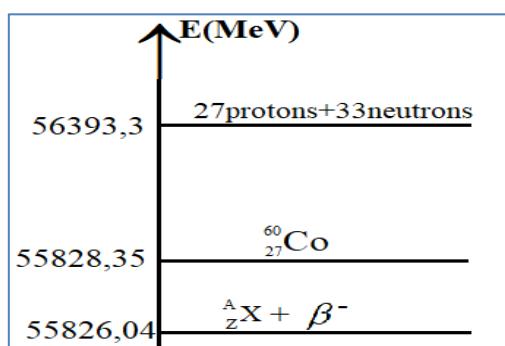
La médecine nucléaire a une grande importance de nos jours, elle est utilisée dans le diagnostic et le traitement des maladies. Parmi ses techniques, la radiothérapie, utilisés dans le traitement des cancers ; la tumeur ou le tissu infecté est extrudé par les rayonnements  $\beta^-$  émis par la désintégration du cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$ .

Données :  $M(^{60}_{27}\text{Co}) = 60 \text{ g/mol}$  ;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

### Première partie : désintégration de cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$ :

Le noyau de cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$  est de radioactivité  $\beta^-$ .

- 0,5
- Ecrire l'équation de désintégration du noyau  $^{60}_{27}\text{Co}$ , en justifiant et indiquant le nucléide fils parmi les nucléides suivants :  $^{28}\text{Ni}$  ;  $^{26}\text{Fe}$  ;  $^{25}\text{Mn}$ .
  - La figure ci-contre représente le diagramme énergétique de cette transformation. Calculer à partir du diagramme :
    - L'énergie  $\Delta E$  produite de la désintégration d'un seul noyau de cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$ .
    - L'énergie de liaison d'un noyau de cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$  et déduire l'énergie de liaison par nucléon.
    - Calculer l'énergie libérée lors de la désintégration d'une masse  $m=6\text{g}$ .
- 0,75
- 1
- 0,5

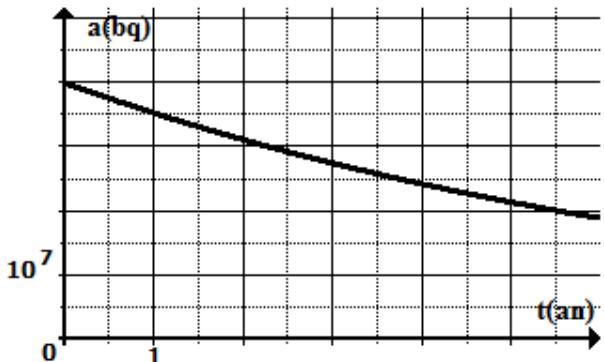


## Deuxième partie : application de la loi de décroissance radioactive

Un centre hospitalier a reçus un échantillon de cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$  à une date prise pour origine du temps  $t=0$ , à partir de laquelle commence le suivi de son activité radioactive  $a(t)$ .

Le graphique ci-contre représente l'évolution de  $a(t)$  en fonction du temps.

- 0,5      1. Déterminer  $a_0$  l'activité initial des l'échantillon.
- 0,75      2. Déterminer le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  et déduire la valeur de la constante radioactive  $\lambda$  en  $\text{s}^{-1}$ .
- 0,75      3. Déduire la masse initiale  $m_0$  de l'échantillon de cobalt reçu par le centre hospitalier.
- 0,75      4. Calculer  $a_1$  l'activité radiative de l'échantillon à l'instant  $t_1=13.5$  ans.
- 0,75      5. On admet que l'échantillon reçu perd son efficacité de traitement, quand son activité radiative est  $a=0,25 \times a_0$ . à quel date faut-il fournir au centre hospitalier, un nouvel échantillon de cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$ .



### Exercice : 10

**Donnée :**

$m(^{13}\text{N}) = 13,00574\text{u}$	$1\text{u}=931,5\text{MeV/c}^2$	$t_{1/2}(^{14}\text{C}) = 5700\text{ans}$
$m_p = 1,00728\text{ u}$	$m(^{16}\text{O}) = 15,9905\text{u}$	$N_A=6,02 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$
$m_n = 1,00866\text{ u}$	$m(^A\text{X}) = 4,0015\text{u}$	$M(^{14}\text{C}) = 14\text{g / mol}$

### Première partie : l'étude d'un nucléide d'azote 13 utilisé dans la médecine.

L'azote 13 est un isotope radioactif, utilisé dans le traitement des maladies pulmonaires et dans l'imagerie du flux sanguin dans le muscle cardiaque.

La désintégration du nucléide d'azote  $^{13}_{7}\text{N}$  produit un nucléide de carbone  $^{13}_{6}\text{C}$ .

- 0,75      1. Ecrire l'équation de désintégration et déterminer le type de la particule émise.
- 0,50      2. Donner la composition du noyau d'azote 13.
- 0,75      3. Calculer l'énergie de liaison d'un noyau d'azote 13.
- 0,50      4. Déduire l'énergie de liaison par nucléon d'un noyau d'azote 13.
- 0,50      5. L'énergie de liaison par nucléon du noyau de carbone 13 est  $\zeta_C = 7,466 \text{ MeV/nucléon}$ .  
Déterminer le noyau le plus stable parmi les noyaux  $^{13}_{7}\text{N}$  et  $^{13}_{6}\text{C}$ .
- 0,50      6. Le noyau d'azote 13 est produit par une réaction entre le noyau d'oxygène 16 et un proton rapide selon l'équation suivante :  $^{16}_{8}\text{O} + ^1\text{P} \longrightarrow ^{13}_{7}\text{N} + ^A_Z\text{X}$
- 0,50      a. En appliquant les lois de conservation, déterminer les nombres  $A$  et  $Z$  puis identifier le noyau.
- 0,75      b. Calculer en  $\text{MeV}$  l'énergie  $\Delta E$  produite par cette réaction nucléaire. Cette réaction est-elle exoénergétique ou endoénergétique.

### Deuxième partie : datation par le carbone 14.

Dans une grotte préhistorique, on a trouvé un morceau de bois fossilisé contenant une masse  $m=2 \cdot 10^{-12}\text{g}$  de carbone 14.

Un autre morceau de même masse coupée récemment d'un arbre, contient une masse  $m_0=9 \cdot 10^{-12}\text{g}$  de carbone 14.

- 0,5      1. Quel est la signification physique du temps de demi-vie  $t_{1/2}$  ?
- 0,5      2. Calculer l'activité radiative  $a$  de l'ancien morceau de bois.
- 0,75      3. En s'appuyant sur la loi de la décroissance radioactive, montre que l'expression de l'âge du morceau de bois s'écrit :  $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln\left(\frac{m_0}{m}\right)$ . Calculer sa valeur en années.

### Exercice : 11

Une **centrale nucléaire** est un site industriel destiné à la production d'électricité, qui utilise comme chaudière un ou plusieurs réacteurs nucléaires alimentés en combustible nucléaire (source d'énergie).

L'énergie dégagée par la fission dégage de la chaleur qui, sert à vaporiser de l'eau. La vapeur d'eau produite entraîne ensuite en rotation une turbine accouplée à un alternateur qui produit à son tour de l'électricité.

le combustible nucléaire utilisé dans un réacteur nucléaire, est une association de radionucléides, éléments chimiques radioactifs de composition moyenne **5% d'Uranium 235, 90% d'Uranium 238** et d'autres éléments faiblement radioactifs ou pas du tout.

Données :  $m(^{42}_{42}Kr)=91,926156u$  ,  $m(^{141}_{Z}Ba)=140,914411u$  ,  $m(^{235}_{92}U)=235,0439299 u$  ,  $m(^{238}_{92}U)=238,0507826 u$  ,  $m(^{A}_{Z}U)=234,04095u$  ,  $m(^{239}_{94}Pu)=239,0521634 u$  ,  $m(^{238}_{94}Pu)=238,04768u$  ,  $m(\alpha)=4,0015u$  ,  $m_n=1,00786u$  ,  $m(e)=5,54 \cdot 10^{-4} u$  ,  $\xi_l(Mo)=8,47 Mev/nucléon$  ,  $\xi_l(Te)=8,30 Mev/nucléon$  ,  $\xi_l(^{239}Pu)=7,5 Mev/nucléon$  ,  $1u=931,5 Mev/c^2$  ,  $1 MeV=1,6 \cdot 10^{-13} J$  ,  $1u=1,6605 \cdot 10^{-27} Kg$

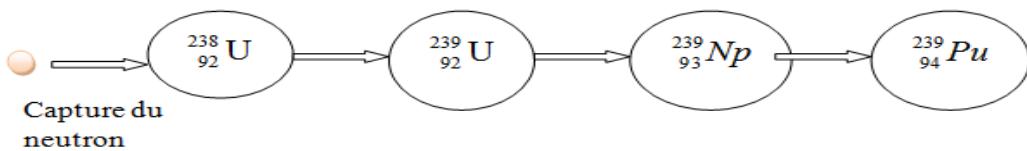
1-l'**uranium 235** dit **fissile**, car il est capable de fissionner facilement sous l'action d'un neutron. Il se décompose en Baryum 141 et en Krypton et en libérant 3 nouveaux neutrons selon l'équation suivante :  $^{235}_{92}U + ^1_0n \rightarrow ^{141}_{Z}Ba + ^{42}_{42}Kr + 3^1_0n$

1-1-déterminer en justifiant les valeurs de  $Z$  et  $A$  . 0,5 pt

1-2- Calculer  $E_{lib}$  l'énergie libérée lors de cette transformation nucléaire, en MeV. 0,5 pt

1-3- Pour produire une énergie électrique  $W = 3,73 \cdot 10^{18} J$  , un réacteur nucléaire de rendement  $r = 30\%$  consomme une masse  $m$  du combustible . Exprimer  $m$  en fonction de  $W$  ,  $E_{lib}$  ,  $m(^{235}_{92}U)$  ,  $r$  . Calculer  $m$ . 0,75 pt

2-uranium 238 (non fissile), il est dit fertile, car il ne subit pas de fission directe, mais subit une série de transformations jusqu'à aboutir à un noyau lui même fissile selon le schéma suivant :



La capture d'un neutron par un noyau d'uranium  $^{238}_{92}U$  abouti à la formation au bout de quelques jours d'un noyau de plutonium  $^{239}_{94}Pu$  fissile .

2-1- écrire l'équation bilan de la formation du plutonium  $^{239}_{94}Pu$  à partir de la capture neutronique de l'uranium  $^{238}_{92}U$  . 0,5 pt

2-2-calculer le bilan énergétique  $\Delta E$  de cette transformation. Conclure 0,5 pt

3-le plutonium  $^{239}_{94}Pu$  est un noyau fissile , il se dévide en tellure  $^{135}_{52}Te$  et molybdène  $^{102}_{42}Mo$  .

3-1-écrire l'équation de cette fission. 0,5 pt

3-2-calculer l'énergie libérée  $E'_{lib}$  par la fission d'un noyau de  $^{239}_{94}Pu$  . 0,5 pt



4-Conclure en comparant le bilan énergétique des 2 isotopes de l'uranium 235 et 238. 0,5 pt

5-Le plutonium  $^{238}_{94}Pu$  est un isotope radioactif  $\alpha$ ,

il est utilisé dans des piles des moteur de commande pour orienter les satellites .

La courbe à côté représente l'évolution de la dérivée des noyaux désintégrés par rapport au temps  $\frac{dN_d}{dt}$  en fonction du nombre

du noyau désintégrée  $N_d$  , dans un échantillon de plutonium  $^{238}_{94}Pu$  de masse  $m_0$  .

5-1-écrire l'équation de la désintégration d'un noyau  $^{238}_{94}Pu$

sachant que le noyau fils est un noyau d'uranium  $^A_ZU$  .

0,5 pt

5-2-donner l'expression de  $N_d$  en fonction de temps.

0,25 pt

5-3-trouver l'expression de  $\frac{dN_d}{dt}$  en fonction de  $\lambda, N_d, N_0$  ( nombre initial des noyaux) . 0,5 pt

5-4-à partir de la courbe déterminer les valeurs de  $\lambda$  et  $N_0$  .

0,75 pt

5-5-une pile d'un satellite contient une masse  $m=1,2kg$  de plutonium  $^{238}_{94}Pu$  , la puissance électrique moyenne fournie par cette pile est  $Pe=888W$  et de rendement  $r=60\%$  .

5-5-1-calculer  $E_T$  l'énergie totale libérée par cette masse de plutonium  $m$  .

0,75 pt

5-5-2-déduire la durée de fonctionnement de la pile.

0,75 pt

