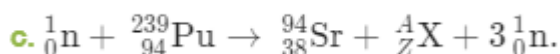
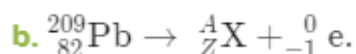
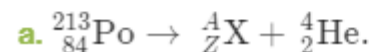


RADIOACTIVITE – EXERCICES

Exercice 1 (bases) :

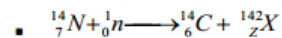
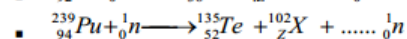
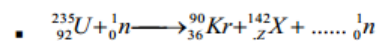
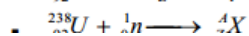
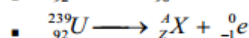
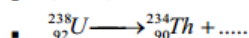
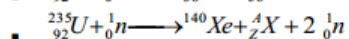
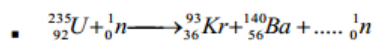
Partie 1 :

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



Exercice 2 :

Recopier et compléter les réactions suivantes (préciser X le cas échéant). Préciser s'il s'agit d'une réaction nucléaire spontanée ou provoquée :



Exercice 3 :

Ecrire les équations de désintégration :

- α du radon 222,
- β^- du potassium 40,
- β^+ du phosphore 137,
- β^- du césium 210,
- α du polonium 210
- β^+ du cobalt 53.

Exercice 4 :



Un examen attentif des dépôts de marque réalisés entre 1927 et 1934 atteste de la "mode du radium" qui sévissait alors. Nous avons ainsi recensé une centaine de notices évoquant, de près ou de loin, cet élément radioactif. Le Tho-Radia revendique haut et fort sa faible teneur en radium : " [...] la radioactivité du radium est pratiquement inépuisable. On a calculé qu'elle n'aurait diminué que de moitié au bout de seize siècles. C'est ce qui fait la différence fondamentale entre une préparation qui contient réellement du radium telle que la crème Tho-Radia [...] et les produits qui n'ont été soumis qu'à l'émanation du radium. L'activité de cette émanation disparaît en très peu de temps "

D'après "Revue d'histoire de la pharmacie",
3e trimestre 2002

Première partie : Étude de l'activité due au radium 226

Données :

Constante radioactive du radium 226 : $\lambda = 1,35 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$

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

Masse molaire atomique du radium : $M = 226 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. Le radium 226.

1.1. Donner la composition d'un noyau de radium ${}^{226}_{88}\text{Ra}$.

1.2. Le radium 226 est radioactif α . Il conduit au radon de symbole Rn. Écrire l'équation de la réaction de désintégration et préciser les lois de conservation utilisées.

2. À la date $t = 0$ de fabrication, cent grammes de crème Tho-Radia contenaient $N_0 = 3,33 \cdot 10^{14}$ noyaux de radium.

2.1. Calculer la masse de radium 226 contenue initialement dans 100 g de crème. Citer la phrase du texte d'introduction illustrant ce résultat.

2.2. Activité due au radium contenu dans la crème.

2.2.1. Donner l'expression de la loi de décroissance du nombre N de noyaux de radium 226 en fonction du temps.

2.2.2. Calculer le pourcentage de noyaux restants à la date $t = 10$ ans. Pourquoi peut-on dire que l'activité due au radium 226 contenu dans la crème ne varie pratiquement pas pendant une période de dix ans ?

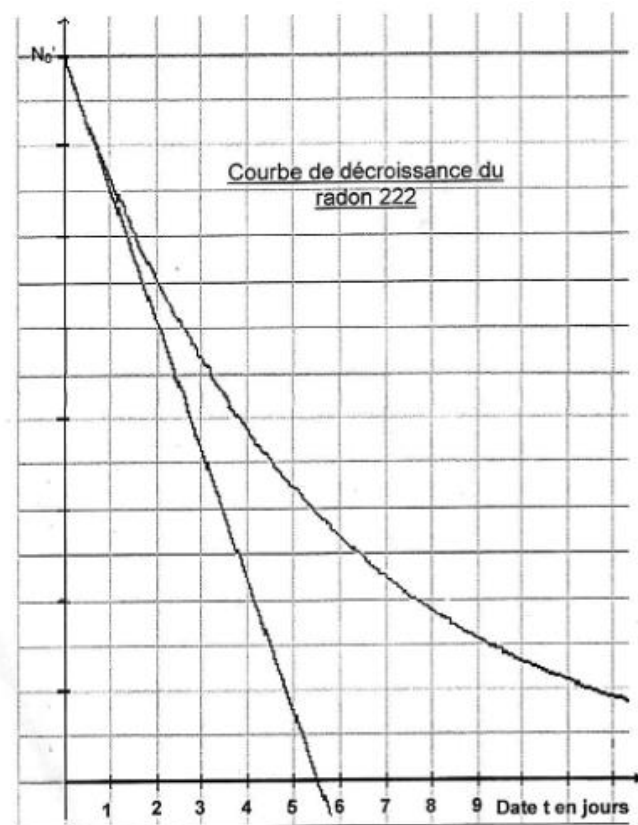
2.3. Justifier la phrase du texte introductif : « On a calculé qu'elle n'aurait diminué que de moitié au bout de seize siècles. »

Deuxième partie : Étude de l'activité due au radon 222

Donnée : Le radon 222 a pour temps de demi-vie 3,8 jours.

Le radon 222 produit par la désintégration du radium 226 est lui-même radioactif α . On donne dans l'annexe à rendre avec la copie, la courbe de décroissance d'un échantillon de radon 222 contenant initialement N_0 noyaux.

1. Déterminer graphiquement la constante de temps τ . Préciser la méthode utilisée.
2. Rappeler la définition du temps de demi-vie. Établir son expression en fonction de la constante de temps τ puis calculer le temps de demi-vie. La valeur calculée est-elle en accord avec la valeur donnée ?
3. Construire sur le même graphique, en utilisant les mêmes échelles, la courbe représentant la loi de décroissance du radon 222 pour un nombre initial de noyaux deux fois plus faible.



Exercice 5 :

Données : Numéro atomique de l'élément iode : $Z(I) = 53$.

La thyroïde est une glande, située dans la région cervicale antérieure, appliquée contre le larynx et la partie supérieure de la trachée. La fonction principale de cette glande est la sécrétion des hormones thyroïdiennes à partir de l'iode alimentaire qui se fixe temporairement sur cette glande.

De petite taille, pesant 15 à 25 g chez l'adulte et mesurant environ 4 cm en largeur et 3 cm en hauteur, elle n'est normalement pas, ou à peine, palpable. Mais elle peut s'hypertrophier, soit de manière plus ou moins diffuse et homogène, soit de manière localisée avec la formation de **nodule(s)**. Ces nodules peuvent principalement être de deux sortes : hypofixant ou hyperfixant. Ils sont dits hypofixants s'ils fixent peu d'iode par rapport au reste de la thyroïde. Inversement, ils sont dits hyperfixants s'ils fixent plus d'iode que le reste de la thyroïde.

Ce sont ces nodules qu'il faut déceler pour traiter le patient si nécessaire. Ceci est réalisé à l'aide de traceurs radioactifs, les isotopes ^{123}I et ^{131}I , de constantes radioactives respectives $\lambda_{123} = 1,459 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ et $\lambda_{131} = 1,001 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Ces isotopes sont en effet des émetteurs de rayons gamma pouvant être détectés par un appareil de mesure appelé "détecteur à scintillations". La condition pour que l'appareil de mesure utilisé ici compte les rayons gamma, est que ceux-ci aient une énergie supérieure à 20 eV. Il en résulte alors une image reconstituée de l'organe étudié, sur laquelle les zones foncées représentent les zones de l'organe fortement émettrices en rayons gamma. La scintigraphie est donc une sorte de photographie.

Lorsque l'analyse est pressée, on préfère utiliser l'isotope ^{123}I qui nécessite un temps de pose de l'ordre du quart d'heure. On injecte alors, au patient, une dose de ^{123}I , d'activité $A = 7,0 \text{ MBq}$, contenu dans une solution d'iodure de sodium NaI où l'iode est le traceur radioactif. On laisse alors l'iode se fixer, soit environ 4 heures, temps au bout duquel on réalise la scintigraphie.

1) Choix de l'isotope ^{123}I :

- a) L'isotope ^{123}I est préparé par réaction nucléaire entre un deutérium ^2_1H de haute énergie, et du tellure $^{122}_{52}\text{Te}$. Écrire l'équation correspondante. Préciser les lois de conservation utilisées et le nom de la particule émise.
- b) Calculer le temps de demi-vie des deux isotopes. Quel peut être alors l'avantage d'utiliser l'isotope ^{123}I par rapport au ^{131}I ? Justifier.

2) Administration de l'iode à un ensemble de patients.

L'hôpital commande un flacon d'une solution de NaI avec de l'iode ^{123}I , pour l'utiliser sur plusieurs patients.

Pour des raisons pratiques, les injections sont effectuées toutes les 30 minutes.

La première injection a lieu le matin à 9 h. Juste avant cette injection, l'activité du flacon de l'hôpital est de 28,5 MBq.

A chaque injection, on prélève une dose d'activité égale à 7 MBq.

- Quelle est l'activité de la solution restant dans le flacon juste après l'injection (supposée instantanée) au premier patient ?
- Calculer la valeur de $e^{-\lambda \Delta t}$, si $\Delta t = 30$ min.
En déduire l'activité du flacon à 9h30, juste avant l'injection au second patient.
- Les injections suivantes ont lieu toutes les demi-heures. Combien de patients pourront alors recevoir la dose nécessaire (7 Mbq) à la réalisation d'une scintigraphie ?

3) Précaution et analyse des images obtenues.

- Quel est le nombre de noyaux radioactifs N_0 injectés à chaque patient ?
- Il est courant de réaliser une deuxième injection aux patients, afin de vérifier que le traitement a été efficace. On estime qu'entre 2 injections à un patient, il doit s'écouler environ 6 semaines afin que la première n'influence pas la scintigraphie de la deuxième. Montrer que la première injection n'a alors aucune influence sur la scintigraphie qui suit la deuxième injection.
- La scintigraphie permet d'obtenir les images ci-dessous. On y trouve notamment une thyroïde comportant un nodule, puis cette thyroïde après traitement. S'agit-il d'un nodule hyperfixant ou hypofixant ? Justifier.



Exercice 6 (sans calculatrice) :

La radioactivité naturelle (qui concerne les nucléides existant naturellement dans la nature) fut découverte en 1896, de manière fortuite, par Henri Becquerel (physicien français 1852 -1908). Le signe le plus perceptible de la radioactivité est l'existence d'un rayonnement émis par les atomes de certains nucléides et dont l'origine se situe au niveau de leur noyau qui est instable. On observe ainsi, par exemple, les rayonnements (on parle de radioactivité) β (béta+ ou béta-), qui s'accompagnent souvent d'émission γ (gamma), radiation électromagnétique de même nature que la lumière, provenant du retour à l'état fondamental d'un noyau fils suite à la transmutation d'un noyau père radioactif.

1. Équation de désintégration nucléaire, diagramme (Z, N)

- 1.1. Parmi les 3 types de radioactivité étudiés en classe de terminale, citer celle qui n'a pas été évoquée dans le texte plus haut. Donner la composition de la particule émise lors de cette radioactivité.

Le diagramme ci-dessous est un diagramme (Z, N) très simplifié et schématisé (Z : nombre de protons, N : nombre de neutrons).

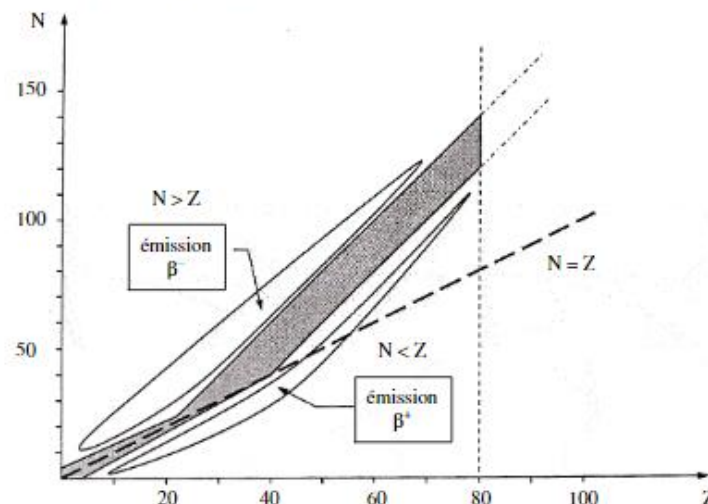


Figure 1.

- 1.2 Que représente la zone grisée dans le diagramme (Z, N), Figure 1 ?

- 1.3 Soit la réaction nucléaire de transmutation indiquée par la flèche ci-contre entre un noyau père et son noyau fils.

- 1.3.1 Sachant qu'une seule particule est émise en plus du noyau fils, écrire cette réaction de désintégration nucléaire et indiquer les deux lois de conservation (lois de Soddy) qui régissent toute réaction nucléaire.

- 1.3.2 Quel type de radioactivité concerne la réaction précédente (celle du 1.3.1) ?

$^{148}_{62}\text{Sm}$		$^{148}_{60}\text{Nd}$
$^{147}_{62}\text{Sm}$		
		$^{146}_{60}\text{Nd}$
		$^{145}_{60}\text{Nd}$
$^{144}_{62}\text{Sm}$		$^{144}_{60}\text{Nd}$
		$^{143}_{60}\text{Nd}$

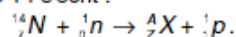
De toutes les méthodes radio chronologiques (basées sur la loi statistique de Curie-Rutherford-Soddy ou loi de décroissance radioactive), celle de la datation du carbone 14 est la plus connue. Dans la haute atmosphère, soumis au RCG (rayonnement cosmique galactique constitué de protons), des neutrons secondaires interagissent avec des noyaux d'azote 14. Cette réaction forme un isotope A_ZX du carbone : le fameux carbone 14. Immédiatement formé, le carbone 14 s'oxyde en se combinant à l'oxygène pour former du dioxyde de carbone qui se mélange avec le reste de l'atmosphère. Or le carbone 14 est radioactif. Williard Franck Libby (physicien et chimiste américain 1908 - 1980) a montré que la teneur en carbone 14 est constante dans le monde (dans l'atmosphère comme dans chaque organisme vivant). Cela est dû à un équilibre entre la désintégration et la production de carbone 14. Chaque gramme de carbone contient des atomes de carbone 14. On enregistre en moyenne 13,5 désintégrations par minute et par gramme de carbone. Lorsqu'un arbre, par exemple, est abattu, le bois cesse de vivre, le processus de photosynthèse s'arrête et il n'y a plus absorption de dioxyde de carbone. Le carbone 14 est alors libre de se désintégrer sans compensation. On peut donc dater l'âge de la mort de l'organisme (au moment où cesse tout échange de CO_2 avec l'atmosphère).

Données : $Z(C) = 6$, $Z(N) = 7$.

2. Formation du carbone 14 dans la haute atmosphère

2.1 L'azote 14 et le carbone 14 sont-ils isotopes? Justifier.

2.2 Dans la haute atmosphère, l'équation de la réaction qui a lieu entre un neutron secondaire et un noyau d'azote 14 s'écrit :



Vérifier, en justifiant avec les lois de conservation, que ${}^{14}_6X$ est bien du carbone 14.

3. Décroissance du carbone 14

L'étude de l'évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs permet d'écrire :

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

où N est le nombre de noyaux à la date t et ΔN est la variation du nombre de noyaux pendant la durée Δt (entre t et $t + \Delta t$).

Cette relation conduit à la loi de décroissance radioactive $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$ dans laquelle N_0 est le nombre de noyaux à la date $t = 0$.

3.1 Dans l'expression de la loi de décroissance radioactive, comment se nomme λ ?

3.2 D'après les travaux de Libby, la demi-vie ou période $t_{1/2}$ du carbone 14 est $t_{1/2} = 5730$ ans.

3.2.1 Donner la définition de la demi-vie ou période $t_{1/2}$ du carbone 14.

3.2.2 En utilisant la loi de décroissance radioactive et en s'aidant de la définition de la demi-vie demandée au 3.2.1, montrer que λ , est liée à la demi-vie $t_{1/2}$ par la relation $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$.

3.2.3 Par une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité de λ .

3.3 On rappelle que l'activité A d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations par seconde. À partir de cette définition, montrer que l'activité A à l'instant t et le nombre N de noyaux présents dans l'échantillon à l'instant t sont liés par la relation $A = \lambda N$.

3.4 En utilisant l'expression obtenue au 3.3, calculer, en faisant apparaître l'application numérique, le nombre N d'atomes de carbone 14 dans 1 g de carbone tel que $A = 13,5$ désintégrations par minute pour ce gramme de carbone.

Données : $1 \text{ an} = 5,26 \times 10^5 \text{ min} = 60 \times 5,26 \times 10^5 \text{ s}$; $\frac{\ln 2}{5730} = 1,209 \times 10^{-4}$;
 $\frac{5730}{\ln 2} = 8267$; $\frac{13,5 \times 5,26 \times 10^5}{1,209 \times 10^{-4}} = 5,88 \times 10^{10}$; $\frac{13,5 \times 5,26 \times 10^5}{8267} = 858,9$;
 $\frac{5,26 \times 10^5}{8267 \times 13,5} = 4,713$; $13,5 \times 8267 \times 5,26 \times 10^5 = 5,88 \times 10^{10}$.

4. Datation au carbone 14

La loi de décroissance radioactive concernant le carbone 14 peut également s'écrire en fonction de son activité : $A = A_0 \times e^{-\lambda t}$ avec $A_0 = A_{t=0}$ l'activité initiale du carbone 14 (par exemple au moment de la mort d'un organisme) et A l'activité du carbone 14 mesurée à l'instant t .

Le prélèvement d'une poutre (en bois) dans la tombe du vizir Hemada à Sakara fournit une activité au moment de la mesure telle que $A = 6,68$ désintégrations par minute et par gramme de carbone alors que $A_0 = 13,5$ désintégrations par minute et par gramme de carbone.

4.1 Démontrer que l'expression qui permet de donner l'âge t de la mort d'un organisme s'écrit : $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$ avec $t_{1/2} = 5730$ ans.

4.2 Calculer, en faisant apparaître l'application numérique, l'âge t de la tombe de ce vizir de la première dynastie des pharaons.

Données : $\frac{5730}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{6,68}{13,5}\right) = -5816$; $\frac{5730}{\ln 2} \times \ln\left(\frac{13,5}{6,68}\right) = 5816$;
 $\frac{\ln 2}{5730} \times \ln\left(\frac{6,68}{13,5}\right) = -8,511 \times 10^{-5}$; $\frac{\ln 2}{5730} \times \ln\left(\frac{13,5}{6,68}\right) = 8,511 \times 10^{-5}$.