BURHAN

Décroissance radioactive : exercices, application

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/decroissance-radioactive/exercices/application

Chapitre	Palier	Exercices
Décroissance radioactive	Application	8

Exercice 1

Noyaux d'iode et de chlore : composition et isotopes

L'iode 127 est stable, l'iode 131 est radioactif. Le chlore naturel est un mélange de chlore 35 et de chlore 37. On donne les symboles

$$^{127}_{53}\mathrm{I}, \quad ^{131}_{53}\mathrm{I}$$
$$^{35}_{17}\mathrm{Cl}, \quad ^{37}_{17}\mathrm{Cl}$$

ainsi que celui du xénon 131, $^{131}_{54}\mathrm{Xe}$.

1.

Donner le nombre de protons et le nombre de neutrons de chacun des noyaux d'iode et de chlore.

INDICE

Outil : le symbole donne le nombre de charge et le nombre de nucléons ; le nombre de neutrons s'en déduit.

CORRIGÉ

Lecture. Le noyau $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ contient Z protons et $N = A - Z$ neutrons.

Noyau	Protons	Neutrons
$^{127}_{53}\mathrm{I}$	53	$127 - 53 = 74$
$^{131}_{53}\mathrm{I}$	53	$131 - 53 = 78$
$^{35}_{17}\mathrm{Cl}$	17	$35 - 17 = 18$
$^{37}_{17}\mathrm{Cl}$	17	$37 - 17 = 20$

Conclusion. L'iode 127 a 53 protons et 74 neutrons, l'iode 131 a 53 protons et 78 neutrons ; le chlore 35 a 17 protons et 18 neutrons, le chlore 37 a 17 protons et 20 neutrons.

2.

Parmi ces quatre noyaux, lesquels sont isotopes entre eux ? Justifier.

INDICE

Outil : la définition des isotopes ; compare d'abord les nombres de charge.

CORRIGÉ

Iode. Les deux noyaux d'iode ont $Z = 53$ et des nombres de nucléons différents, 127 et 131.

Chlore. Les deux noyaux de chlore ont $Z = 17$, avec $A = 35$ et $A = 37$.

Iode et chlore. Leurs nombres de charge diffèrent : ce sont deux éléments distincts.

Conclusion. L'iode 127 et l'iode 131 sont isotopes, de même que le chlore 35 et le chlore 37 ; un noyau d'iode et un noyau de chlore ne sont jamais isotopes.

3.

Un élève affirme : « L'iode 131 et le xénon 131 sont isotopes, puisqu'ils ont le même nombre de nucléons. » Discuter cette affirmation.

INDICE

Outil : ce qui caractérise un élément chimique ; compare les nombres de charge des deux noyaux.

CORRIGÉ

Nombres de charge. L'iode 131 a $Z = 53$ et le xénon 131 a $Z = 54$: ces noyaux appartiennent à deux éléments différents.

Neutrons. Le xénon 131 compte $131 - 54 = 77$ neutrons, contre 78 pour l'iode 131.

Conclusion. L'affirmation est fausse : des isotopes ont le même nombre de charge, et l'égalité des nombres de nucléons ne suffit pas.

Exercice 2

Compléter les équations du plutonium 238 et du potassium 40

Le plutonium 238 alimente en chaleur les générateurs de certaines sondes spatiales. Le potassium 40 existe à l'état de traces dans les roches et dans le corps humain. Extrait du tableau périodique :

Élément	Symbole	Z
argon	Ar	18
potassium	K	19
calcium	Ca	20
uranium	U	92
neptunium	Np	93
plutonium	Pu	94

1.

Le plutonium 238 est radioactif α. Compléter l'équation suivante et nommer le noyau fils.

$$^{238}_{94}\mathrm{Pu} \longrightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

INDICE

Outil : les lois de conservation du nombre de nucléons et du nombre de charge.

CORRIGÉ

Nucléons. $238 = A + 4$, donc $A = 234$.

Charge. $94 = Z + 2$, donc $Z = 92$: c'est l'uranium.

$$^{238}_{94}\mathrm{Pu} \longrightarrow {}^{234}_{92}\mathrm{U} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

Conclusion. Le noyau fils est l'uranium 234, $^{234}_{92}\mathrm{U}$.

2.

Le potassium 40 se désintègre le plus souvent par radioactivité β^-. Compléter l'équation de cette désintégration et nommer le noyau fils.

$$^{40}_{19}\mathrm{K} \longrightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

INDICE

Outil : les mêmes lois de conservation ; l'électron a un nombre de charge égal à -1.

CORRIGÉ

Nucléons. $40 = A + 0$, donc $A = 40$.

Charge. $19 = Z - 1$, donc $Z = 20$: c'est le calcium.

$$^{40}_{19}\mathrm{K} \longrightarrow {}^{40}_{20}\mathrm{Ca} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

Conclusion. Le noyau fils est le calcium 40, $^{40}_{20}\mathrm{Ca}$.

3.

Laquelle des deux désintégrations change le nombre de nucléons ? Donner, pour chacune, la variation du nombre de neutrons.

INDICE

Outil : calcule $N = A - Z$ pour le père et pour le fils de chaque équation.

CORRIGÉ

Plutonium. A passe de 238 à 234. N passe de $238 - 94 = 144$ à $234 - 92 = 142$: il diminue de 2.

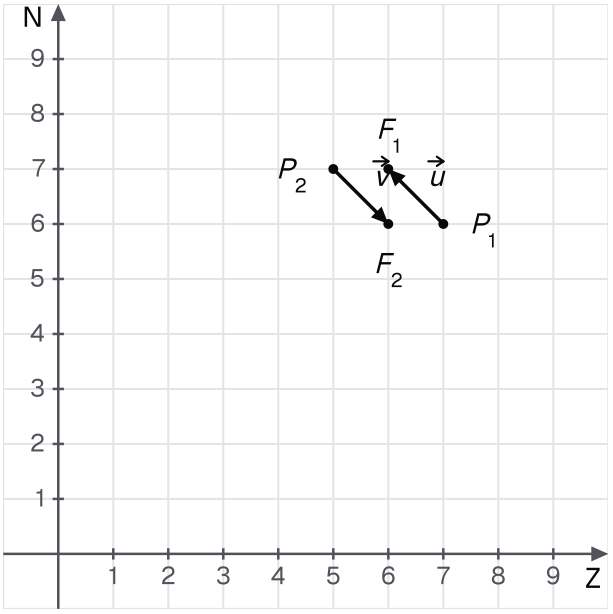
Potassium. A reste égal à 40. N passe de $40 - 19 = 21$ à $40 - 20 = 20$: il diminue de 1, tandis que Z augmente de 1.

Conclusion. Seule la désintégration α change le nombre de nucléons ; elle retire deux neutrons, la désintégration β^- en transforme un.

Exercice 3

Deux déplacements dans le diagramme (N, Z)

Dans le diagramme (N, Z) ci-dessous, chaque flèche représente une désintégration : le noyau P_1 devient F_1, et le noyau P_2 devient F_2. Le bore a pour nombre de charge $Z = 5$, le carbone $Z = 6$ et l'azote $Z = 7$.



Deux désintégrations dans le diagramme (N, Z)

1.

Lire les coordonnées $(Z; N)$ des quatre points, puis donner le symbole de chaque noyau.

INDICE

Outil : l'abscisse est Z, l'ordonnée est N ; le nombre de nucléons vaut $A = Z + N$.

CORRIGÉ

Lecture et calcul. $A = Z + N$ pour chaque point.

Point	$(Z; N)$	A	Noyau
P_1	$(7; 6)$	13	$^{13}_{7}\mathrm{N}$
F_1	$(6; 7)$	13	$^{13}_{6}\mathrm{C}$
P_2	$(5; 7)$	12	$^{12}_{5}\mathrm{B}$
F_2	$(6; 6)$	12	$^{12}_{6}\mathrm{C}$

Conclusion. P_1 est l'azote 13, F_1 le carbone 13, P_2 le bore 12 et F_2 le carbone 12.

2.

Déterminer le type de chacune des deux désintégrations.

INDICE

Outil : compare les variations de Z et de N entre le père et le fils.

CORRIGÉ

Flèche $\vec{u}$. Z passe de 7 à 6 et N de 6 à 7 : A ne change pas et Z diminue de 1.

Flèche $\vec{v}$. Z passe de 5 à 6 et N de 7 à 6 : A ne change pas et Z augmente de 1.

Conclusion. L'azote 13 est radioactif β^+ et le bore 12 est radioactif β^-.

3.

Écrire l'équation de la désintégration de P_1 en F_1.

INDICE

Outil : la particule émise par une désintégration β^+, puis les deux lois de conservation.

CORRIGÉ

Particule. Une désintégration β^+ émet un positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$.

$$ {}^{13}_{7}\mathrm{N} \longrightarrow {}^{13}_{6}\mathrm{C} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} $$

Contrôle. $13 = 13 + 0$ et $7 = 6 + 1$.

Conclusion. L'azote 13 se désintègre en carbone 13 en émettant un positon.

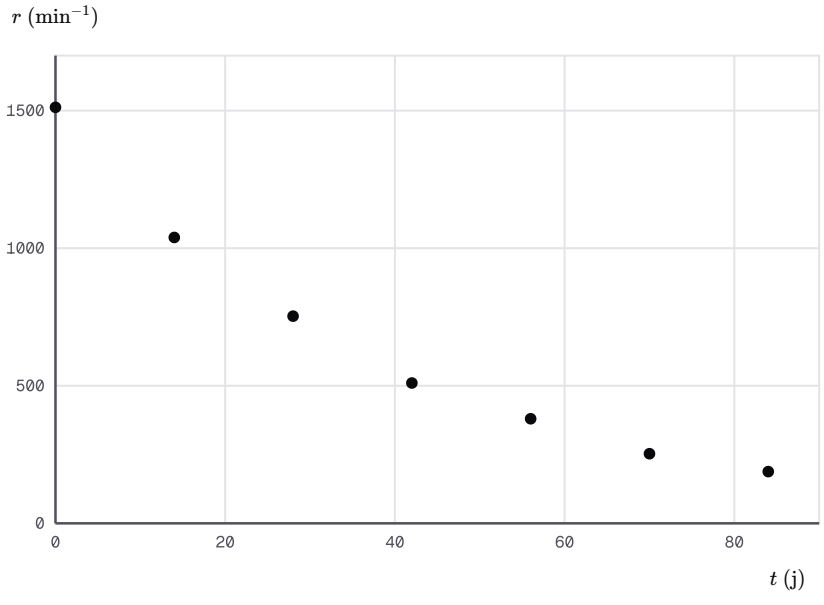
Exercice 4

Comptages d'un échantillon de chrome 51

Un laboratoire de biologie marque des globules rouges avec du chrome 51, radioactif. Toutes les deux semaines, un technicien place l'échantillon devant un compteur et relève le nombre n de coups en une minute. Sans échantillon, le compteur relève en moyenne 20 coups par minute.

Le taux corrigé $r = n - 20$, en coups par minute, est proportionnel à l'activité de l'échantillon. Le document représente r en fonction du temps.

t (j)	n (coups en une minute)
0	$1\,532$
14	$1\,059$
28	773
42	530
56	400
70	273
84	208



Taux de comptage corrigé de l'échantillon de chrome 51

1.

Pourquoi retranche-t-on 20 coups à chaque relevé ? Calculer le taux corrigé r à $t = 0$ et à $t = 28\,\text{j}$.

INDICE

Outil : le compteur enregistre aussi des coups qui ne viennent pas de l'échantillon.

CORRIGÉ

Bruit de fond. Sans échantillon, le compteur relève déjà 20 coups par minute, dus au rayonnement ambiant. On les retire pour ne garder que les coups dus au chrome 51.

Taux corrigés. À $t = 0$, $r = 1\,532 - 20 = 1\,512$; à $t = 28\,\text{j}$, $r = 773 - 20 = 753$.

Conclusion. Le taux corrigé vaut $1\,512$ coups par minute au départ et 753 coups par minute à $t = 28\,\text{j}$.

2.

Montrer que la demi-vie du chrome 51 est voisine de $28\,\text{j}$, puis comparer à la valeur tabulée $27{,}7\,\text{j}$.

INDICE

Outil : la définition de la demi-vie, appliquée au taux corrigé, proportionnel à l'activité.

CORRIGÉ

Premier intervalle. $\dfrac{753}{1\,512} \approx 0{,}50$: en $28\,\text{j}$, le taux corrigé, donc l'activité, est divisé par 2 environ.

Contrôle. De $28\,\text{j}$ à $56\,\text{j}$, $\dfrac{380}{753} \approx 0{,}50$: nouvelle division par 2.

Comparaison. $28\,\text{j}$ et $27{,}7\,\text{j}$ diffèrent de moins de $2\,\%$, écart compatible avec les fluctuations des comptages.

Conclusion. Les comptages donnent une demi-vie voisine de $28\,\text{j}$, en accord avec la valeur tabulée.

3.

En déduire la constante radioactive λ du chrome 51, en j^{-1}.

INDICE

Outil : la relation entre demi-vie et constante radioactive.

CORRIGÉ

Relation.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$
$$\lambda \approx \frac{0{,}693}{28\,\text{j}}$$
$$\lambda \approx 0{,}025\,\text{j}^{-1}$$

Conclusion. La constante radioactive du chrome 51 vaut environ $0{,}025\,\text{j}^{-1}$.

Exercice 5

Constante radioactive et constante de temps de l'oxygène 15

L'oxygène 15, radioactif β^+, est produit par un cyclotron près d'un appareil d'imagerie médicale ; sa demi-vie vaut $t_{1/2} = 2{,}04\,\text{min}$. Calculatrice autorisée.

1.

Dans la loi de décroissance radioactive, le produit λt est sans dimension. Établir l'équation aux dimensions de λ, puis celle de la constante de temps $\tau = \dfrac{1}{\lambda}$.

INDICE

Outil : l'argument d'une exponentielle n'a pas de dimension, et un temps a pour dimension T.

CORRIGÉ

Constante radioactive. $[\lambda]\,[t] = 1$ et $[t] = \mathrm{T}$, donc $[\lambda] = \mathrm{T}^{-1}$.

Constante de temps. $[\tau] = \dfrac{1}{[\lambda]} = \mathrm{T}$.

Conclusion. λ a la dimension de l'inverse d'un temps et s'exprime en s^{-1} ; τ a la dimension d'un temps et s'exprime en secondes.

2.

Calculer λ en min^{-1}, puis en s^{-1}.

INDICE

Outil : la relation entre demi-vie et constante radioactive ; une minute compte $60\,\mathrm{s}$.

CORRIGÉ

En minutes.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$
$$\lambda = \frac{0{,}693}{2{,}04\,\text{min}}$$
$$\lambda \approx 0{,}340\,\text{min}^{-1}$$

En secondes. $t_{1/2} = 2{,}04 \times 60 = 122{,}4\,\mathrm{s}$:

$$\lambda = \frac{0{,}693}{122{,}4\,\mathrm{s}}$$
$$\lambda \approx 5{,}66 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}^{-1}$$

Conclusion. La constante radioactive de l'oxygène 15 vaut environ $0{,}340\,\text{min}^{-1}$, soit $5{,}66 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}^{-1}$.

3.

Calculer la constante de temps τ en secondes, puis vérifier que $t_{1/2} = \tau\,\ln 2$.

INDICE

Outil : la définition de la constante de temps, avec la valeur non arrondie de λ.

CORRIGÉ

Constante de temps.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}$$
$$\tau \approx \frac{122{,}4\,\text{s}}{0{,}693}$$
$$\tau \approx 176{,}6\,\text{s}$$

Vérification. $\tau\,\ln 2 \approx 176{,}6 \times 0{,}693 \approx 122{,}4\,\text{s}$, soit $2{,}04\,\text{min}$.

Conclusion. La constante de temps vaut environ $177\,\text{s}$, et le produit $\tau\,\ln 2$ redonne bien la demi-vie.

Exercice 6

Activité d'une source de strontium 90

Une source scellée de strontium 90, radioactif β^-, sert à étalonner des compteurs. Elle contient une masse $m = 0{,}200\,\mu\text{g}$ de strontium 90, de masse molaire $M = 89{,}9\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Demi-vie du strontium 90 : $t_{1/2} = 28{,}8\,\text{ans}$. On donne $1\,\text{an} = 3{,}16\times10^{7}\,\text{s}$ et $N_A = 6{,}02\times10^{23}\,\text{mol}^{-1}$; calculatrice autorisée.

1.

Calculer le nombre N de noyaux de strontium 90 de la source.

INDICE

Outil : la quantité de matière de l'échantillon ; la masse s'exprime en grammes.

CORRIGÉ

Conversion. $m = 2{,}00\times10^{-7}\,\text{g}$.

Nombre de noyaux.

$$N = \frac{m}{M}\,N_A$$
$$N = \frac{2{,}00\times10^{-7}}{89{,}9}\times 6{,}02\times10^{23}$$
$$N \approx 1{,}34\times10^{15}$$

Conclusion. La source contient environ $1{,}34\times10^{15}$ noyaux de strontium 90.

2.

Calculer la constante radioactive λ du strontium 90 en s^{-1}.

INDICE

Outil : convertis la demi-vie en secondes, puis applique la relation entre demi-vie et constante radioactive.

CORRIGÉ

Demi-vie en secondes. $t_{1/2} = 28{,}8\times3{,}16\times10^{7} \approx 9{,}10\times10^{8}\,\text{s}$.

Constante radioactive.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$
$$\lambda \approx \frac{0{,}693}{9{,}10\times10^{8}\,\text{s}}$$
$$\lambda \approx 7{,}62\times10^{-10}\,\text{s}^{-1}$$

Conclusion. La constante radioactive du strontium 90 vaut environ $7{,}62\times10^{-10}\,\text{s}^{-1}$.

3.

En déduire l'activité a de la source, en becquerels puis en mégabecquerels.

INDICE

Outil : l'activité est proportionnelle au nombre de noyaux ; garde les valeurs non arrondies.

CORRIGÉ

Activité.

$$\begin{aligned} a &= \lambda N \\ a &\approx 7{,}62 \times 10^{-10} \\ &\quad \times 1{,}34 \times 10^{15} \\ a &\approx 1{,}02 \times 10^{6}\ \mathrm{Bq} \end{aligned}$$

Conclusion. L'activité de la source vaut environ $1{,}02 \times 10^{6}\ \mathrm{Bq}$, soit $1{,}02\ \mathrm{MBq}$.

Exercice 7

Une source de sodium 22 au fil des années

Un lycée achète une source scellée de sodium 22, radioactif, dont l'activité vaut alors $a_1 = 3{,}7 \times 10^5\,\text{Bq}$. La source est rangée dans une armoire fermée entre les séances. La demi-vie du sodium 22 vaut $t_{1/2} = 2{,}60\,\text{ans}$.

1.

Quelle fraction de l'activité a_1 reste-t-il $13{,}0$ ans après l'achat ? Calculer l'activité correspondante.

INDICE

Outil : exprime la durée écoulée en nombre de demi-vies.

CORRIGÉ

Nombre de demi-vies. $\dfrac{13{,}0}{2{,}60} = 5{,}00$: cinq demi-vies se sont écoulées.

Fraction. L'activité est divisée par $2^5 = 32$, soit $\dfrac{1}{32} \approx 3{,}1\,\%$ de a_1.

Activité.

$$\begin{aligned} a &= \frac{a_1}{32} \\ a &= \frac{3{,}7 \times 10^5}{32} \\ a &\approx 1{,}2 \times 10^4\,\text{Bq} \end{aligned}$$

Conclusion. Après $13{,}0$ ans, il reste $\dfrac{1}{32}$ de l'activité de départ, soit environ $1{,}2 \times 10^4\,\text{Bq}$.

2.

Au bout de combien de temps l'activité de la source est-elle divisée par 8 ?

INDICE

Outil : le nombre de demi-vies écoulées.

CORRIGÉ

Puissance de 2. $8 = 2^3$: il faut trois demi-vies.

$$\begin{aligned} t &= 3\,t_{1/2} \\ t &= 3 \times 2{,}60\,\text{ans} \\ t &\approx 7{,}80\,\text{ans} \end{aligned}$$

Conclusion. L'activité de la source est divisée par 8 au bout d'environ $7{,}80$ ans.

3.

Un élève affirme : « On peut prévoir quel noyau de la source se désintégrera le prochain : c'est celui qui attend depuis le plus longtemps. » Discuter cette affirmation, puis dire ce que la demi-vie permet de prévoir.

INDICE

Outil : les caractères d'une désintégration, et l'objet que décrit la loi de décroissance.

CORRIGÉ

Un noyau. Une désintégration est aléatoire : rien ne permet de prévoir l'instant où un noyau donné se désintègre. Un noyau ne vieillit pas, et son attente passée ne change rien à son avenir.

Un grand nombre de noyaux. La loi de décroissance porte sur le nombre moyen de noyaux restants. Pendant chaque demi-vie, environ la moitié des noyaux présents se désintègre, sans que l'on sache lesquels.

Conclusion. L'affirmation est fausse : on ne peut désigner aucun noyau à l'avance ; la demi-vie prévoit seulement l'évolution du nombre moyen de noyaux de la source.

Exercice 8

Dater un vin, une nappe profonde et un basalte

Un laboratoire de géochimie dispose de trois méthodes, fondées sur les radioéléments suivants.

Radioélément	Demi-vie
tritium	$12{,}3\,\text{ans}$
chlore 36	$3{,}01 \times 10^{5}\,\text{ans}$
potassium 40	$1{,}25 \times 10^{9}\,\text{ans}$

On lui confie un vin d'une vingtaine d'années, l'eau d'une nappe très profonde, infiltrée depuis plusieurs centaines de milliers d'années, et une coulée de basalte d'environ un milliard d'années.

1.

Choisir, pour chaque objet, le radioélément qui convient à sa datation. Justifier.

INDICE

Outil : compare l'ordre de grandeur de l'âge attendu à celui de chaque demi-vie.

CORRIGÉ

Vin. Une vingtaine d'années est du même ordre que $12{,}3\,\text{ans}$: le tritium de l'eau du vin convient.

Nappe. Quelques centaines de milliers d'années sont du même ordre que $3{,}01 \times 10^{5}\,\text{ans}$: le chlore 36 dissous dans l'eau convient.

Basalte. Un milliard d'années est du même ordre que $1{,}25 \times 10^{9}\,\text{ans}$: le potassium 40 de la roche convient.

Conclusion. On date le vin par le tritium, l'eau de la nappe par le chlore 36 et le basalte par le potassium 40.

2.

L'activité du chlore 36 de l'eau de la nappe vaut le quart de celle d'une eau qui vient de s'infiltrer. En déduire l'âge de l'eau de la nappe.

INDICE

Outil : la division de l'activité par 2 à chaque demi-vie.

CORRIGÉ

Nombre de demi-vies. $\dfrac{a_0}{a} = 4 = 2^2$: deux demi-vies se sont écoulées depuis l'infiltration.

Âge.

$$\begin{aligned} t &= 2\,t_{1/2} \\ t &= 2 \times 3{,}01 \times 10^{5} \\ t &\approx 6{,}02 \times 10^{5}\ \text{ans} \end{aligned}$$

Conclusion. L'eau de la nappe s'est infiltrée il y a environ $6{,}02 \times 10^{5}$ ans, un âge du même ordre que la demi-vie du chlore 36.