

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE · CHAPITRE 6



R. RINGUET · 2026 – 2027

Exercices 1 Radioactivité

Les bases : composition du noyau, diagramme (N, Z) , équations de désintégration, loi de décroissance, activité, datation, radioprotection

8 exercices · niveau ●○○ · durée conseillée : 1 h 45 · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Donner la composition d'un noyau à partir de sa notation ${}^A_ZX$, reconnaître des isotopes, situer un noyau dans le diagramme (N, Z) et prévoir sa radioactivité.
- Écrire l'équation d'une désintégration α , β^- ou β^+ et d'une émission γ en utilisant les lois de conservation.
- Exploiter la loi de décroissance $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$: passer de $t_{1/2}$ à λ , calculer une activité, lire une courbe de décroissance, dater un échantillon ; justifier les trois principes de la radioprotection.

■ RAPPEL — Le formulaire du chapitre

- Noyau** ${}^A_ZX$: Z protons, A nucléons, donc $N = A - Z$ neutrons. Deux isotopes ont le même Z et des A différents.
- Désintégrations** (lois de conservation du nombre de nucléons et de la charge) : $\alpha : {}^A_ZX \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$
 - $\beta^- : {}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$ • $\beta^+ : {}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e$ • émission $\gamma : {}^A_ZY^* \longrightarrow {}^A_ZY + \gamma$ (ni A ni Z ne changent).
- Loi de décroissance** : la désintégration d'un noyau est *spontanée* et *aléatoire*. Pour un grand nombre de noyaux, $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ donc $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, où λ est la constante radioactive (en s^{-1}). **Demi-vie** : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$; au bout de n demi-vies, il reste $N_0/2^n$ noyaux.
- Activité** : $A = \lambda N$, en becquerels (1 Bq = une désintégration par seconde). Donc $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$, $\ln A = \ln A_0 - \lambda t$ et $t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_0}{A} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A_0}{A}$.
- Données** : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • $\ln 2 = 0,693$ • $1 \text{ j} = 86\,400 \text{ s}$, $1 \text{ an} = 3,156 \times 10^7 \text{ s}$ • $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ • la masse molaire d'un nucléide ${}^A_ZX$ est prise égale à $A \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Exercice 1 Lire la notation d'un noyau

●○○○

On considère les noyaux suivants : ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{40}_{19}\text{K}$, ${}^{99}_{43}\text{Tc}$, ${}^{131}_{53}\text{I}$ et ${}^{238}_{92}\text{U}$.

- Que représentent A et Z dans la notation ${}^A_ZX$? Donner pour chaque noyau le nombre de protons et de neutrons, puis la charge du noyau de technétium 99 en coulombs.
- Parmi les noyaux ${}^{40}_{19}\text{K}$, ${}^{40}_{18}\text{Ar}$, ${}^{39}_{19}\text{K}$ et ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, indiquer ceux qui sont des isotopes et ceux qui ont le même nombre de nucléons. Justifier.
- Un échantillon contient $1,0 \mu\text{g}$ d'iode 131. Calculer le nombre de noyaux qu'il renferme.

Exercice 2 Le diagramme (N, Z)



La figure 1 place chaque noyau selon son nombre de neutrons N et son nombre de protons Z . Les noyaux stables se répartissent le long d'une bande étroite, la *vallée de stabilité*; quatre noyaux A, B, C et D y ont été repérés.

- 2.1 Pourquoi les noyaux stables légers se placent-ils près de la droite $Z = N$, alors que la vallée s'en écarte ensuite vers le bas ?
- 2.2 Pour chacun des quatre noyaux, préciser sa position par rapport à la vallée de stabilité et en déduire le type de radioactivité attendu — ou justifier qu'il est stable.
- 2.3 Indiquer le déplacement $(\Delta N; \Delta Z)$ subi dans le diagramme lors d'une désintégration α , puis β^- , puis β^+ . Vérifier qu'un noyau de la zone 2 se rapproche bien de la vallée de stabilité en se désintégrant.

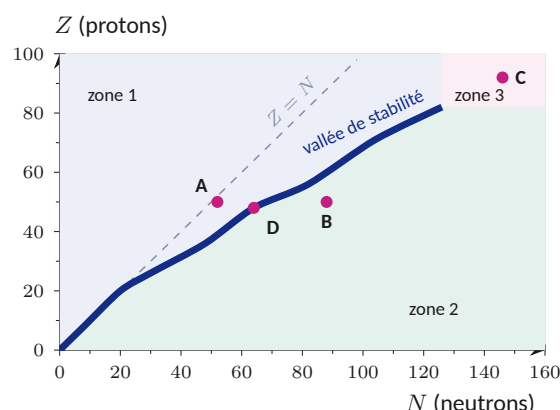


Figure 1 — Diagramme (N, Z) simplifié. Zone 1 : trop de protons. Zone 2 : trop de neutrons. Zone 3 : noyaux trop lourds

Exercice 3 Écrire des équations de désintégration



- 3.1 Énoncer les deux lois de conservation utilisées pour équilibrer l'équation d'une désintégration nucléaire, puis écrire les équations des quatre désintégrations suivantes, en identifiant le noyau fils à l'aide de l'extrait de classification suivant : $Z = 8 : \text{O} \bullet 10 : \text{Ne} \bullet 27 : \text{Co} \bullet 28 : \text{Ni} \bullet 54 : \text{Xe} \bullet 82 : \text{Pb} \bullet 86 : \text{Rn} \bullet 88 : \text{Ra}$.
 - a) le polonium $^{210}_{84}\text{Po}$, émetteur α ;
 - b) le cobalt $^{60}_{27}\text{Co}$, émetteur β^- ;
 - c) le fluor $^{18}_9\text{F}$, émetteur β^+ ;
 - d) le radium $^{226}_{88}\text{Ra}$, émetteur α .
- 3.2 L'iode $^{131}_{53}\text{I}$ est un émetteur β^- ; le noyau fils, produit dans un état excité noté avec une étoile, se désexcite aussitôt. Écrire les deux équations successives, puis expliquer pourquoi l'émission γ ne modifie ni A ni Z .

Exercice 4 Une famille radioactive



Le noyau d'uranium $^{238}_{92}\text{U}$ engendre une suite de noyaux radioactifs, appelée *famille radioactive*, qui se termine au noyau stable de plomb $^{206}_{82}\text{Pb}$; les trois premières étapes sont une désintégration α , puis deux désintégrations β^- . Numéros atomiques : $\text{Pb} : 82 \bullet \text{Rn} : 86 \bullet \text{Th} : 90 \bullet \text{Pa} : 91 \bullet \text{U} : 92$.

- 4.1 Écrire les équations des trois premières étapes. Quel est le noyau obtenu au bout de ces trois désintégrations ? Que remarque-t-on ?
- 4.2 En utilisant les lois de conservation sur l'ensemble de la famille, déterminer le nombre total de désintégrations α et le nombre total de désintégrations β^- nécessaires pour passer de $^{238}_{92}\text{U}$ à $^{206}_{82}\text{Pb}$.
- 4.3 Le radon $^{222}_{86}\text{Rn}$, gazeux, appartient à cette famille : pourquoi en mesure-t-on des concentrations élevées dans les caves bâties sur un sous-sol granitique, riche en uranium ? Reprendre enfin la question 4.2 pour la famille de l'uranium 235, qui se termine au plomb 207.

Exercice 5 De la demi-vie à l'activité



Le tableau donne la demi-vie de cinq nucléides utilisés en médecine, en archéologie ou dans l'industrie.

nucléide	$^{18}_9\text{F}$	$^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$	$^{131}_{53}\text{I}$	$^{60}_{27}\text{Co}$	$^{14}_6\text{C}$
$t_{1/2}$	110 min	6,0 h	8,0 j	5,27 an	5 730 an

- 5.1 Définir la demi-vie d'un nucléide radioactif et établir la relation $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ à partir de $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$; définir de même l'activité, donner son unité et justifier $A = \lambda N$ à partir de $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$.

- 5.2** Calculer la constante radioactive λ de chacun des cinq nucléides, en s^{-1} ; classer les nucléides du plus instable au plus stable. Un échantillon contient initialement $1,00 \times 10^{12}$ noyaux d'iode 131 : combien en reste-t-il au bout de 24 j ?
- 5.3** Une source de contrôle industriel contient $m = 1,0 \text{ mg}$ de cobalt 60 : calculer le nombre N_0 de noyaux qu'elle renferme, puis son activité initiale A_0 en gigabecquerels ($1 \text{ GBq} = 1 \times 10^9 \text{ Bq}$).
- 5.4** Calculer l'activité de cette source au bout de 15,8 an sans utiliser d'exponentielle, en justifiant la méthode, puis au bout de combien d'années elle n'est plus que de 1 % de A_0 .

Exercice 6 Lire une courbe de décroissance

●●○

Un détecteur mesure l'activité A d'une ampoule scellée contenant du radon 222, gaz recueilli au-dessus d'un sel de radium (source de laboratoire). La figure 2 donne A en fonction du temps.

- 6.1** Relever A_0 et déterminer graphiquement la demi-vie du radon 222, en expliquant la lecture ; la vérifier à l'aide d'un second couple de points, puis en déduire λ en j^{-1} et en s^{-1} .
- 6.2** Calculer le nombre de noyaux de radon 222 présents à $t = 0$ dans l'échantillon, puis l'activité attendue à $t = 15 \text{ j}$; vérifier la cohérence avec la courbe.
- 6.3** Le radon 222 est un émetteur α : écrire l'équation de sa désintégration, sachant que le noyau fils est un isotope du polonium ($Z = 84$).

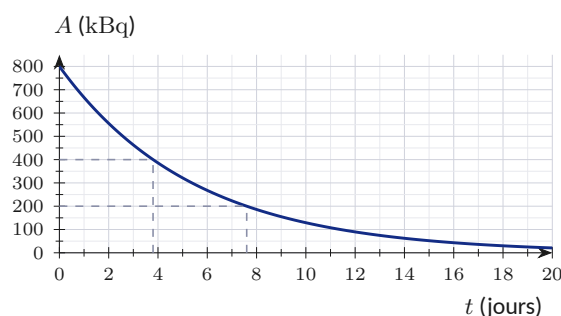


Figure 2 — Activité du radon 222 de l'ampoule

Exercice 7 Se protéger des rayonnements

●●○

Figure 3 : trois rayonnements issus d'une même source sont envoyés sur des écrans successifs.

- 7.1** Classer α , β et γ par pouvoir de pénétration croissant. Pourquoi un émetteur α , inoffensif à l'extérieur du corps, devient-il dangereux s'il est inhalé ?
- 7.2** Citer les trois principes de la radioprotection et illustrer chacun par une mesure concrète prise dans un service de médecine nucléaire.
- 7.3** Le débit de dose d'une source vaut $40 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ à 1,0 m et varie en $1/d^2$. À quelle distance se tenir pour ne pas dépasser $2,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$? Combien de temps travailler à 2,0 m sans dépasser $100 \mu\text{Sv}$?

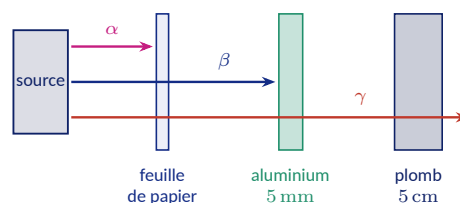


Figure 3 — Pouvoir de pénétration des trois rayonnements

Exercice 8 Une première datation au carbone 14

●●○

Le carbone atmosphérique contient une proportion constante de carbone 14, radioactif β^- de demi-vie 5 730 an. L'activité massique du carbone d'un être vivant reste égale à celle de l'atmosphère, $a_0 = 0,227 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$; à sa mort, les échanges cessent.

- 8.1** Expliquer pourquoi l'activité massique du carbone décroît après la mort, puis montrer que la date de la mort est donnée par $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{a_0}{a}$, où a est l'activité massique mesurée aujourd'hui.
- 8.2** Un charbon de bois prélevé dans une grotte contient 4,0 g de carbone et son activité vaut 0,25 Bq : calculer son activité massique, puis son âge.
- 8.3** Calculer le rapport a/a_0 d'un échantillon vieux de 50 000 an et expliquer pourquoi la méthode n'est plus fiable au-delà.