

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



R. RINGUET · 2026 – 2027

Exercices 2 Radioactivité

Application : établissement de la loi de décroissance, carte des noyaux, linéarisation et régression, simulation Python, datation uranium-plomb, médecine nucléaire

7 exercices · niveau ●●○ · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée

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

- Établir $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ à partir de $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ (équation différentielle $y' = ay$), puis en déduire $t_{1/2}$ et $A(t)$.
- Exploiter un tableau de mesures d'activité : linéariser en traçant $\ln A = f(t)$, en déduire λ et $t_{1/2}$ par régression, identifier un radionucléide.
- Lire une carte des noyaux, dater une roche, exploiter un programme Python simulant le hasard des désintégrations.

Exercice 1 Établir la loi de décroissance radioactive

●●○

Un échantillon contient $N(t)$ noyaux radioactifs identiques à la date t . Chaque noyau se désintègre de façon *spontanée* et *aléatoire* : sur une durée dt très courte, la probabilité qu'un noyau donné se désintègre vaut λdt , indépendamment de son âge et des autres noyaux.

■ **DONNÉES** demi-vie de ^{99m}Tc : 6,0 h • $\ln 2 = 0,693$ • $A = \lambda N$

- Justifier que la variation dN pendant dt s'écrit $dN = -\lambda N dt$; préciser le signe de dN et l'unité de λ .
- L'équation $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ est du type $y' = ay$: donner sa solution générale, puis $N(t)$ avec la condition initiale $N(0) = N_0$.
- Établir $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$, puis démontrer que $N(t + t_{1/2}) = \frac{N(t)}{2}$ quelle que soit la date t . En déduire que $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ et que $\ln A$ est une fonction affine du temps, de coefficient directeur à préciser.
- Application.** Un service reçoit à 8 h une solution de technétium ^{99m}Tc d'activité 12 GBq. Calculer son activité à 14 h et à 20 h sans exponentielle, puis l'heure à laquelle elle passe sous 1,0 GBq.

Exercice 2 Le radon d'une cave

●●○

Le radon 222, gaz radioactif issu de la famille de l'uranium 238, est un émetteur α de demi-vie 3,8 j. Un détecteur mesure, dans une cave de volume $V = 45 \text{ m}^3$, une activité volumique $a_V = 600 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$; le niveau de référence réglementaire dans les bâtiments est de $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

■ **DONNÉES** $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • $\ln 2 = 0,693$ • $1 \text{ j} = 86\,400 \text{ s}$ • $M(^{222}\text{Rn}) = 222 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$, $A = \lambda N$

- Calculer l'activité totale du radon de la cave, le nombre de noyaux de radon 222 correspondant et la masse de radon présente; commenter.
- On suppose que tout apport de radon cesse brusquement (sol et murs rendus parfaitement étanches) et que l'air de la cave n'est pas renouvelé : au bout de combien de temps l'activité volumique passe-t-elle sous $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$? sous $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$? En pratique, elle reste à peu près constante d'un mois à l'autre : qu'en déduire sur le sol de cette cave?
- Une exposition d'un an (7 000 h) à $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ correspond à une dose efficace de 1,6 mSv. Estimer la dose annuelle d'une personne passant 2 000 h par an dans cette cave, la comparer à la valeur de $1 \text{ mSv} \cdot \text{an}^{-1}$,

limite fixée pour l'exposition du public aux activités humaines (hors radioactivité naturelle), puis proposer deux remèdes.

Exercice 3 La carte des noyaux légers



La figure 1 est un extrait de la carte des noyaux de numéro atomique $Z \leq 10$ (tous les nucléides stables et quelques radionucléides) : chaque carré représente un nucléide, repéré par son nombre de neutrons N et son numéro atomique Z .

- 3.1 Donner les coordonnées $(N; Z)$ de $^{12}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$, $^{18}_9\text{F}$ et $^{19}_9\text{F}$, en précisant pour chacun s'il est stable et, sinon, son type de radioactivité.
- 3.2 Écrire les équations de désintégration du carbone 14 et du fluor 18, puis vérifier sur la carte que chaque noyau fils est bien stable.
- 3.3 Combien l'oxygène ($Z = 8$) et le néon ($Z = 10$) possèdent-ils d'isotopes stables ? Donner leur notation complète.
- 3.4 Quel déplacement sur la carte correspond à une désintégration β^- ? à une β^+ ? Pourquoi aucun de ces noyaux légers n'est-il émetteur α ?
- 3.5 Le tritium ^3_1H est un émetteur β^- de demi-vie 12,3 an : le situer sur la carte, écrire son équation et calculer λ en an^{-1} puis en s^{-1} .

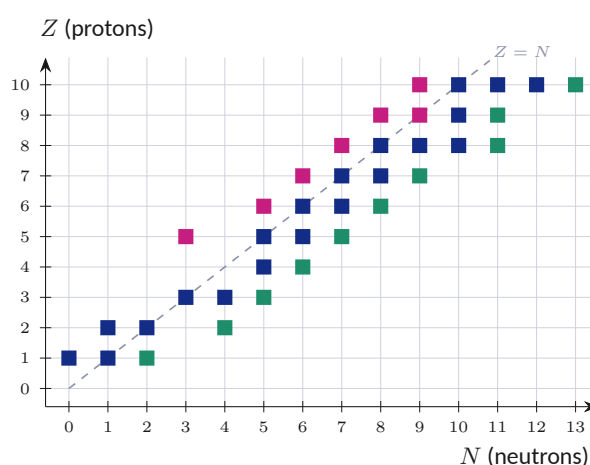


Figure 1 — Carte des noyaux de $Z \leq 10$. ■ stables ■ émetteurs β^- ■ émetteurs β^+

■ **DONNÉES** $\ln 2 = 0,693 \cdot 1 \text{ an} = 3,156 \times 10^7 \text{ s} \cdot t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$

Exercice 4 Identifier un radionucléide par régression



Un laboratoire reçoit une source non étiquetée. Un technicien mesure son activité toutes les trois heures ; la figure 2 représente $\ln A$ en fonction du temps, A étant exprimée en kBq.

t (h)	0	3	6	9	12	15	18	21
A (kBq)	640	557	485	422	368	320	279	242

- 4.1 Justifier, à partir de la loi de décroissance, que les points $(t; \ln A)$ sont alignés et préciser le coefficient directeur attendu.
- 4.2 Déterminer graphiquement ce coefficient directeur (préciser les deux points utilisés), puis en déduire λ et la demi-vie de la source.
- 4.3 Identifier le radionucléide à l'aide de la liste ci-contre, puis écrire l'équation de sa désintégration (β^- , avec $Z(\text{Mg}) = 12$).
- 4.4 Retrouver A_0 grâce à l'ordonnée à l'origine, calculer le nombre de noyaux présents à $t = 0$, puis l'activité 48 h après la première mesure.

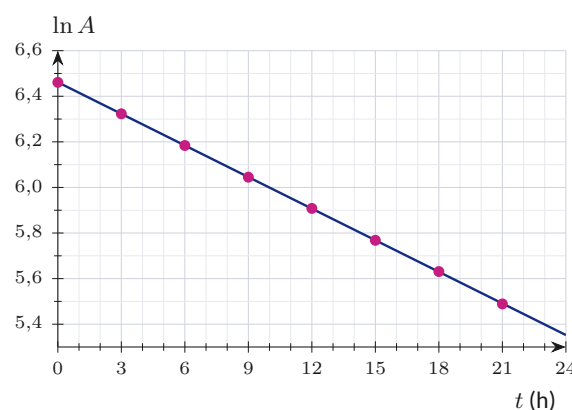


Figure 2 — Linéarisation : $\ln A$ en fonction du temps

Demi-vies possibles : ^{18}F 110 min • $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 6,0 h • ^{42}K 12,4 h • ^{64}Cu 12,7 h • ^{24}Na 15,0 h • ^{131}I 8,0 j

■ **DONNÉES** $\ln 2 = 0,693 \cdot t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$, $A = \lambda N$

Exercice 5 Simuler le hasard des désintégrations



Le programme simule un échantillon de noyaux radioactifs : à chaque pas de temps Δt , chaque noyau se désintègre avec la probabilité $p = \lambda \Delta t$. La fonction `random()` renvoie un nombre tiré au hasard dans $[0 ; 1[$.

```
1 from random import random
2 from math import log
3
4 N0 = 10000
5 demi_vie = 20.0           # en jours
6 dt = 0.5                 # pas de temps, en jours
7 lam = log(2) / demi_vie
8 p = lam * dt
9 N = N0
10 t = 0.0
11 while t < 60:
12     restants = 0
13     for k in range(N):
14         if random() > p:
15             restants = restants + 1
16     N = restants
17     t = t + dt
18     print(round(t, 1), N)
```

■ **DONNÉES** $\ln 2 = 0,693 \cdot t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$

- 5.1 Calculer λ puis p . Pourquoi la condition `random() > p` correspond-elle à un noyau qui ne se désintègre pas, avec la probabilité $1 - p$?
- 5.2 Combien de noyaux le programme affiche-t-il en moyenne après le premier pas ? Quelles valeurs de N la loi de décroissance prévoit-elle à 20 j et à 60 j ?
- 5.3 Deux exécutions successives ne donnent jamais les mêmes nombres : expliquer pourquoi, puis dire ce que devient l'écart *relatif* à la loi de décroissance si $N_0 = 10^6$ au lieu de 10^4 .
- 5.4 Écrire la ligne modifiée affichant aussi $\ln N$ à chaque pas. Ce modèle suppose $p \ll 1$: que se passerait-il avec $\Delta t = 40$ j ?

Exercice 6 Dater un zircon par la méthode uranium-plomb



Le zircon incorpore de l'uranium lors de sa cristallisation, mais *aucun* plomb : tout son plomb 206 provient de la famille radioactive de l'uranium 238, le cristal étant un système fermé. Un zircon australien contient $m(^{238}\text{U}) = 1,00$ mg et $m(^{206}\text{Pb}) = 0,519$ mg.

■ **DONNÉES** $t_{1/2}(^{238}\text{U}) = 4,47 \times 10^9$ an • M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: $M(^{238}\text{U}) = 238$, $M(^{206}\text{Pb}) = 206 \cdot \ln 2 = 0,693 \cdot t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$

- 6.1 En notant $N_{\text{U}}(t)$ et $N_{\text{Pb}}(t)$ les nombres de noyaux d'uranium 238 et de plomb 206, justifier que $N_{\text{U}}(t) + N_{\text{Pb}}(t) = N_{\text{U}}(0)$, puis montrer que $t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{N_{\text{Pb}}}{N_{\text{U}}} \right)$.
- 6.2 Calculer les quantités de matière d'uranium 238 et de plomb 206, en déduire $N_{\text{Pb}}/N_{\text{U}}$ puis l'âge du zircon ; comparer à l'âge de la Terre ($4,54 \times 10^9$ an). Pourquoi le carbone 14 serait-il ici inadapté ?
- 6.3 **Analyse critique.** Si une altération a fait perdre au cristal une partie de son plomb, l'âge calculé est-il surestimé ou sous-estimé ? Justifier.

Exercice 7 Une scintigraphie au technétium 99m



Le technétium 99m, le plus utilisé en imagerie médicale, est produit sur place à partir du molybdène 99; il se désexcite en technétium 99 en émettant un unique photon γ de 140 keV, détecté par une gamma-caméra. Demi-vie : 6,0 h. On injecte $A_0 = 740 \text{ MBq}$.

■ **DONNÉES** $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ • $\ln 2 = 0,693$ • $M(^{99}\text{Tc}) = 99 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$, $A = \lambda N$

- 7.1 Écrire l'équation de la désexcitation du technétium 99m; pourquoi un émetteur γ pur convient-il à l'imagerie, alors qu'un émetteur α serait à proscrire?
- 7.2 Calculer λ , le nombre de noyaux injectés et la masse correspondante; commenter.
- 7.3 Calculer l'activité restante 6 h puis 12 h après l'injection; pourquoi 6 h est-elle un bon compromis entre qualité d'image et dose reçue? Quelles consignes de radioprotection donner au patient à sa sortie du service?