

Fiche de cours Radioactivité

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 LE NOYAU ET SA STABILITÉ

Notation. Un noyau (ou **nucléide**) est noté ${}^A_ZX$: Z est le **numéro atomique** (nombre de protons), A le **nombre de masse** (nombre de nucléons), donc $N = A - Z$ est le nombre de neutrons. Deux **isotopes** ont le même Z et des A différents.

Définition. Un noyau est **radioactif** lorsqu'il est instable : il se désintègre *spontanément* en un autre noyau, en émettant une particule. Le phénomène est **aléatoire** (on ne peut pas prévoir l'instant de désintégration d'un noyau donné) et *insensible* à la température, à la pression ou aux liaisons chimiques.

Propriété — diagramme (N, Z). On place chaque nucléide dans un diagramme où N est en abscisse et Z en ordonnée. Les noyaux stables forment la **vallée de stabilité** : $N \approx Z$ pour les noyaux légers, puis $N > Z$ au-delà de $Z \approx 20$. Un noyau situé *au-dessous* de la vallée (trop de neutrons) est β^- ; *au-dessus* (trop de protons) il est β^+ ; les noyaux *très lourds* ($Z > 82$) sont le plus souvent émetteurs α .

2 LES DÉSINTÉGRATIONS RADIOACTIVES

Propriété — lois de conservation de Soddy. Dans toute désintégration, le **nombre de nucléons** A et la **charge** Z se conservent.

■ FORMULAIRE — Les quatre émissions à connaître

- α (émission d'un noyau d'hélium) : ${}^A_ZX \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$ ex. : ${}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$.
- β^- (un neutron devient un proton) : ${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}\text{e}$ ex. : ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$.
- β^+ (un proton devient un neutron) : ${}^A_ZX \longrightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}\text{e}$ ex. : ${}^{30}_{15}\text{P} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\text{e}$.
- γ (désexcitation, ni A ni Z ne changent) : ${}^A_ZY^* \longrightarrow {}^A_ZY + \gamma$ ex. : ${}^{99m}_{43}\text{Tc} \longrightarrow {}^{99}_{43}\text{Tc} + \gamma$.

Remarque. L'émission γ accompagne souvent une désintégration α ou β : le noyau fils est produit dans un état excité, noté ${}^A_ZY^*$, qui se désexcite en émettant un photon très énergétique.

3 LOI DE DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

Propriété. Pour un très grand nombre N de noyaux, le nombre de désintégrations pendant dt est proportionnel à N :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \Longrightarrow \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t},$$

où λ est la **constante radioactive**, en s^{-1} (ou an^{-1}). C'est la solution de l'équation différentielle vérifiant $N(0) = N_0$.

Définition. La **demi-vie** $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initiaux se sont désintégrés :

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \quad \Longrightarrow \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Au bout de n demi-vies, il reste $N_0/2^n$ noyaux.

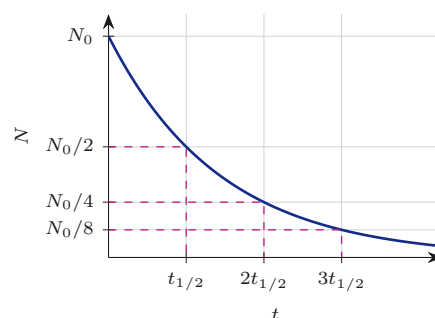


Figure 1 — Décroissance radioactive : le nombre de noyaux est divisé par 2 à chaque durée $t_{1/2}$, quelle que soit la date de départ.

4 ACTIVITÉ ET DATATION

Définition. L'**activité** A d'un échantillon est le nombre de désintégrations par seconde : $A = \lambda N$, en **becquerels** (Bq), 1 Bq valant une désintégration par seconde. Elle suit la même loi : $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$.

Méthode — dater un échantillon. la mesure donne le rapport A/A_0 (ou N/N_0). On passe au logarithme :

$$\ln \frac{A_0}{A} = \lambda t \quad \Rightarrow \quad t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_0}{A} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A_0}{A}.$$

Le radionucléide est choisi selon l'ordre de grandeur de la durée à mesurer (carbone 14, $t_{1/2} = 5\,730$ an, pour l'archéologie ; potassium 40 ou uranium 238 pour la géologie).

5 APPLICATIONS ET RADIOPROTECTION

Propriété. En **médecine**, les émetteurs γ de courte demi-vie servent à l'imagerie (scintigraphie au technétium 99m), les émetteurs β^+ à la tomographie par émission de positons, les sources γ intenses (cobalt 60) à la radiothérapie, qui détruit les cellules tumorales.

Propriété — les trois principes de la radioprotection. **Distance** (l'intensité du rayonnement décroît rapidement avec la distance à la source), **écran** (une feuille de papier arrête les α , quelques millimètres d'aluminium les β , plusieurs centimètres de plomb atténuent les γ) et **durée** d'exposition aussi courte que possible.

6 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Donner la composition d'un noyau ${}^A_ZX$, reconnaître des isotopes, situer un noyau dans le diagramme (N, Z) et prévoir son type de radioactivité.
- Écrire l'équation d'une désintégration α , β^- , β^+ ou d'une émission γ à l'aide des lois de conservation.
- Établir $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ à partir de $dN/dt = -\lambda N$, et relier λ et $t_{1/2}$.
- Calculer une activité, exploiter une courbe de décroissance, déterminer $t_{1/2}$ graphiquement.
- Dater un échantillon à partir d'un rapport d'activités ou de nombres de noyaux.
- Justifier un choix de radionucléide et les mesures de radioprotection adaptées.

7 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — équation de désintégration

Le radium 226 est un émetteur α : ${}^{226}_{88}\text{Ra} \longrightarrow {}^A_ZX + {}^4_2\text{He}$. Conservation : $A = 226 - 4 = 222$ et $Z = 88 - 2 = 86$: le noyau fils est le radon ${}^{222}_{86}\text{Rn}$.

★ EXEMPLE — activité d'un échantillon

Iode 131, $t_{1/2} = 8,0 \text{ j} = 6,9 \times 10^5 \text{ s}$, donc $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Pour $m = 1,0 \text{ ng}$, $N = \frac{m}{M} N_A = \frac{1,0 \times 10^{-9}}{131} \times 6,02 \times 10^{23} = 4,6 \times 10^{12}$ noyaux, d'où $A = \lambda N = 4,6 \times 10^6 \text{ Bq}$.

★ EXEMPLE — compter les demi-vies

Le césium 137 a une demi-vie de 30 an. Au bout de 90 an, soit $n = 3$ demi-vies, il reste $N_0/2^3 = N_0/8$, c'est-à-dire 12,5 % des noyaux initiaux ; l'activité est elle aussi divisée par 8.

★ EXEMPLE — datation au carbone 14

Un fragment de bois a une activité massique égale à 60 % de celle d'un bois actuel. Avec $t_{1/2} = 5\,730$ an :

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A_0}{A} = \frac{5730}{0,693} \times \ln \frac{1}{0,60} = 4,2 \times 10^3 \text{ an}.$$

✖ PIÈGES

- Confondre λ et $t_{1/2}$: ce sont des grandeurs *inverses* l'une de l'autre, reliées par $\lambda t_{1/2} = \ln 2$.
- Mélanger les unités : λ en s^{-1} impose t en secondes (et A en Bq).
- Croire que la radioactivité dépend de la température ou de la forme chimique : elle n'en dépend pas.
- Écrire une équation de désintégration sans vérifier la conservation de A et de Z .
- Confondre activité (en Bq, nombre de désintégrations par seconde) et nombre de noyaux restants.