

# C10 — Transformations nucléaires

Thème 1 · Matière · Physique-Chimie Terminale

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Pourquoi ce chapitre ?</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ce que tu vas apprendre</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>1. Noyaux et radioactivité</b>	<b>2</b>
3.1	a. Notation d'un noyau . . . . .	2
3.2	b. Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ? . . . . .	2
<b>4</b>	<b>2. Les trois types de désintégration</b>	<b>2</b>
4.1	Lois de conservation . . . . .	3
<b>5</b>	<b>3. Loi de décroissance radioactive</b>	<b>3</b>
5.1	a. Équation différentielle . . . . .	3
5.2	b. Solution : décroissance exponentielle . . . . .	4
5.3	c. Temps de demi-vie . . . . .	4
<b>6</b>	<b>4. Activité d'un échantillon</b>	<b>5</b>
6.1	a. Définition . . . . .	5
6.2	b. Datation . . . . .	5
<b>7</b>	<b>5. Médecine et radioprotection</b>	<b>5</b>
7.1	a. Usage médical . . . . .	5
7.2	b. Radioprotection . . . . .	6
<b>8</b>	<b>Carte mentale</b>	<b>6</b>
<b>9</b>	<b>À retenir absolument</b>	<b>6</b>
<b>10</b>	<b>Pour aller plus loin</b>	<b>7</b>

## 1 Pourquoi ce chapitre ?

Les rayons des scanners médicaux, les datations archéologiques, les centrales nucléaires, la bombe atomique, le Soleil qui brille : tous ces phénomènes ont un point commun — ils mettent en jeu des transformations du **noyau atomique** lui-même. Contrairement aux réactions chimiques qui ne touchent que le cortège électronique, les **réactions nucléaires** libèrent (ou absorbent) des énergies colossales et transforment un élément en un autre.

Ce chapitre pose les bases : les trois types de radioactivité, la loi statistique de désintégration, le **temps de demi-vie**, et les applications (datation, médecine, radioprotection).

## 2 Ce que tu vas apprendre

- Reconnaître les trois types de désintégration :  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,
  - Écrire et équilibrer une **équation de désintégration**
  - Utiliser la **loi de décroissance radioactive** :  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$
  - Définir et exploiter le **temps de demi-vie**  $t_{1/2}$
  - Calculer l'**activité** d'un échantillon (en Bq)
  - Comprendre la **datation** et les enjeux de **radioprotection**
- 

## 3 1. Noyaux et radioactivité

### 3.1 a. Notation d'un noyau

Un noyau est noté  ${}^A_Z X$  où :

- $A$  = **nombre de masse** (nombre de nucléons : protons + neutrons)
- $Z$  = **numéro atomique** (nombre de protons)
- $N = A - Z$  = nombre de neutrons

Deux noyaux de même  $Z$  mais de  $A$  différents sont des **isotopes** (même élément, nombre de neutrons différent).

### 3.2 b. Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ?

Un noyau est **radioactif** s'il est instable : il se transforme spontanément en un autre noyau en émettant une particule (et souvent un rayonnement  $\gamma$ ). Cette transformation est **aléatoire** à l'échelle d'un noyau individuel, mais **statistiquement prévisible** pour un grand nombre de noyaux.

Analogie — Le pop-corn

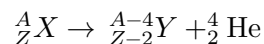
Tu mets du maïs dans une casserole. Tu **ne peux pas prédire** quel grain va éclater à quel instant. Mais tu **sais** qu'au bout de 2 minutes, environ la moitié aura éclaté ; au bout de 4 minutes, les trois quarts. C'est exactement la loi de décroissance radioactive : imprédictible individuellement, parfaitement prédictible collectivement.

---

## 4 2. Les trois types de désintégration

Radioactivité

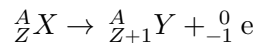
Le noyau émet une particule  ${}^4_2\text{He}$  (noyau d'hélium, ou « particule  $\alpha$  »).



Typique des **noyaux lourds** ( $Z > 82$ , au-delà du plomb). Exemple :  ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$ .

## Radioactivité

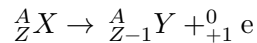
Un neutron se transforme en proton en émettant un **électron** ( ${}^0_{-1}\text{e}$ ).



Typique des noyaux ayant un **excès de neutrons**. Exemple :  ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$ .

## Radioactivité

Un proton se transforme en neutron en émettant un **positon** ( ${}^0_{+1}\text{e}$ ).



Typique des noyaux ayant un **excès de protons**. Exemple :  ${}^{22}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^0_{+1}\text{e}$ . Utilisé en imagerie médicale (TEP).

### 4.1 Lois de conservation

Une équation de désintégration respecte **deux conservations** :

- **Nombre de masse  $A$**  : la somme des  $A$  à gauche = somme à droite.
- **Charge (numéro atomique)  $Z$**  : idem.

#### Piège — Conservation vs élément

La désintégration conserve  $A$  et  $Z$  globalement, mais **pas** l'élément chimique : un uranium devient un thorium ! C'est pourquoi on parle de **transmutation**. C'est l'ancien rêve des alchimistes (transformer le plomb en or) — qui se réalise spontanément dans la nature, mais à une tout autre échelle d'énergie.

---

## 5 3. Loi de décroissance radioactive

### 5.1 a. Équation différentielle

Chaque noyau a une probabilité constante par unité de temps de se désintégrer. Pour un grand nombre de noyaux  $N(t)$  :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N(t)$$

où  $\lambda$  est la **constante radioactive** (en  $\text{s}^{-1}$ ), caractéristique du noyau.

## 5.2 b. Solution : décroissance exponentielle

Loi de décroissance

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

- $N(t)$  : nombre de noyaux radioactifs restants à l'instant  $t$
- $N_0$  : nombre initial
- $\lambda$  : constante radioactive ( $s^{-1}$ )

## 5.3 c. Temps de demi-vie

Le **temps de demi-vie**  $t_{1/2}$  est le temps au bout duquel la moitié des noyaux initiaux s'est désintégrée :

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

Le temps de demi-vie ne dépend que du type de noyau : il est **indépendant** des conditions extérieures (température, pression, état chimique...). Quelques valeurs :

Noyau	$t_{1/2}$
$^{14}\text{C}$	5730 ans
$^{238}\text{U}$	4,5 milliards d'années
$^{131}\text{I}$	8 jours
$^{99m}\text{Tc}$	6 h

Analogie — Les hamburgers du frigo

Chaque type de noyau a sa propre « date de péremption statistique » : l'iode 131 se « périmé » en 8 jours, le carbone 14 en 5730 ans, l'uranium 238 en 4,5 milliards d'années. Peu importe ce que tu fais (chauffer, presser, mettre en solution), la demi-vie reste la même : c'est une propriété **intrinsèque** du noyau.

Exemple — Activité résiduelle

Un échantillon contient initialement  $N_0$  noyaux d'iode 131 ( $t_{1/2} = 8$  jours).

- Après 8 jours :  $N_0/2$
- Après 16 jours :  $N_0/4$
- Après 40 jours (5 demi-vies) :  $N_0/32 \approx 3 \%$

Règle **5 demi-vies 97 % éliminés** : c'est souvent la durée que l'on considère suffisante avant de décontaminer.

## 6 4. Activité d'un échantillon

### 6.1 a. Définition

L'activité  $A$  d'un échantillon est le **nombre de désintégrations par seconde** :

Activité

$$A(t) = \lambda \cdot N(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

- $A$  : activité en **becquerel (Bq)** — 1 Bq = 1 désintégration / seconde.
- $A_0 = \lambda N_0$  : activité initiale.

L'activité suit la **même loi de décroissance** que  $N(t)$ .

Piège — Unité Bq vs Sv

Ne pas confondre :

- **Becquerel (Bq)** : nombre de désintégrations/s — mesure l'**activité**.
- **Gray (Gy)** : énergie absorbée par kg de matière — mesure la **dose absorbée**.
- **Sievert (Sv)** : dose effective pondérée selon la nocivité biologique — mesure l'**impact sanitaire**.

Un gramme de  $^{14}\text{C}$  a une certaine activité en Bq. Son effet sur un humain (en Sv) dépend en plus du type de rayonnement, de l'organe exposé, etc.

### 6.2 b. Datation

Pour dater un échantillon, on compare son activité actuelle  $A(t)$  à celle qu'il aurait eue à sa formation  $A_0$  :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_0}{A(t)} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A_0}{A(t)}$$

**Carbone 14** : le  $^{14}\text{C}$  est produit en continu dans l'atmosphère par les rayons cosmiques. Tant qu'un organisme est vivant, il échange du carbone avec l'atmosphère et son rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  reste constant. À sa mort, l'échange s'arrête et le  $^{14}\text{C}$  décroît. Mesurer le ratio résiduel permet de dater des objets jusqu'à ~50 000 ans (~10 demi-vies, au-delà le signal est trop faible).

**Uranium-plomb** : utilisé pour dater des roches jusqu'à plusieurs milliards d'années.

---

## 7 5. Médecine et radioprotection

### 7.1 a. Usage médical

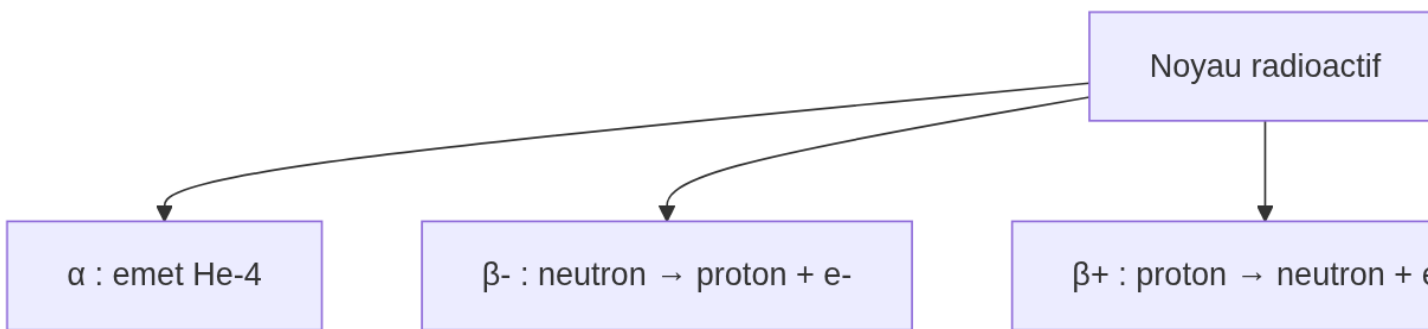
- **Imagerie TEP** : on injecte un traceur émetteur  $^{18}\text{F}$ , les positons s'annihilent avec des électrons et émettent deux photons détectés par un scanner.

- **Scintigraphie** : on injecte un traceur émetteur (souvent  $^{99m}\text{Tc}$ ) qui se fixe sur un organe particulier.
- **Radiothérapie** : on utilise un rayonnement puissant pour détruire des cellules cancéreuses (cobalthérapie, curiethérapie).

## 7.2 b. Radioprotection

Les rayonnements ionisants sont dangereux pour les tissus vivants. Principes de protection : **distance**, **temps d'exposition court**, **écrans** (plomb pour  $\gamma$ , eau pour neutrons).

## 8 Carte mentale



## 9 À retenir absolument

- **Trois désintégrations** : (noyau He), (électron, excès n), (positon, excès p).
- **Conservation** de  $A$  et  $Z$  dans toute équation nucléaire.
- **Décroissance** :  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ ,  $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$ .
- **Demi-vie** :  $t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$ , indépendante des conditions extérieures.
- **Activité** en becquerel (Bq) = désintégrations par seconde.
- **Datation** : déterminer  $t$  à partir de  $A/A_0$ .

## 10 Pour aller plus loin

- [Cours officiel \(PDF\)](#)
- Fission et fusion nucléaires (hors programme)
- Histoire : Becquerel, Curie, découverte de la radioactivité