

I. Désintégrations radioactives

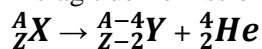
1. Définition

La radioactivité est un phénomène physique au cours duquel des noyaux atomiques instables (noyaux pères) se désintègrent spontanément pour donner, d'une part des noyaux atomiques plus stables (noyaux fils), et d'autre part de l'énergie sous forme de rayonnements.

2. Interaction forte

✓ **Radioactivité α**

Il s'agit de l'émission d'un noyau d'Hélium (particule α) par un noyau père :



Energie disponible : $E_d = (M_{n_X} - M_{n_Y} - M_{n_\alpha}) \cdot c^2 = (M_X - M_Y - M_\alpha) \cdot c^2$

avec M_n : masse du noyau et M : masse de l'atome \rightarrow on a $M = M_n + Z \cdot m_e$

L' E_d se répartit entre l'atome fils Y et la particule α : $E_\alpha = \frac{M_Y}{M_Y + M_\alpha} \cdot E_d \approx E_d$

La particule α récupère la majeure partie de l'énergie disponible, quantifiée, unique entre 4 et 9 MeV.

Le spectre énergétique des particules α émises lors de plusieurs désintégrations est donc un **spectre d'une seule raie**.

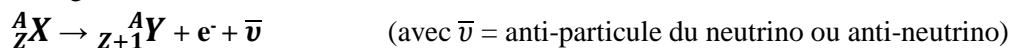
Rq: réaction possible que si noyau père lourd ($A > 150$)

Application : radiothérapie superficielle

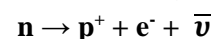
3. Interaction faible

✓ **Radioactivité β^-**

Il s'agit de l'émission d'un électron :



Autrement dit, l' e^- est émis lors de la formation d'un proton à partir d'un neutron :



Energie disponible : $E_d = (M_{n_X} - M_{n_Y} - m_e) \cdot c^2 = (M_X - M_Y) \cdot c^2$

L' E_d se répartit entre l'électron et l'anti-neutrino de manière aléatoire et continue.

Le spectre énergétique des électrons ainsi que celui des anti-neutrinos émis lors de plusieurs désintégrations est donc un **spectre continu**.

Rq : réaction isobarique des noyaux riches en neutrons

Application : radiothérapie métabolique

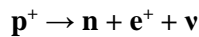
www.sup-perform.fr

✓ Radioactivité β^+

Il s'agit de l'émission d'un positon e^+ :



Autrement dit, l' e^+ est émis lors de la formation d'un neutron à partir d'un proton :



$$\text{Energie disponible : } E_d = (M_{nX} - M_{nY} - m_e) \cdot c^2 = (M_X - M_Y - 2 \cdot m_e) \cdot c^2$$

L' E_d se répartit entre le positon et le neutrino de manière aléatoire et continue.

Le spectre énergétique des positons ainsi que celui des neutrinos émis lors de plusieurs désintégrations est donc un **spectre continu**.

Rq : - réaction isobarique des noyaux riches en protons

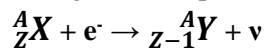
- réaction possible si $(M_X - M_Y) \cdot c^2 > 1,022 \text{ MeV}$

- Le positon émis perd progressivement son énergie par freinage. Il s'annihile alors avec un électron du milieu donnant 2 photons γ de 511 keV, à 180° l'un de l'autre \rightarrow le spectre photonique est donc composé d'une seule raie

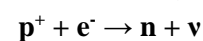
Application : Tomographie par Emission de Positons

✓ Capture électronique

Il s'agit de la capture d'un électron du nuage électronique par le noyau selon :



Autrement dit, l' e^- est capté pour donner un neutron à partir d'un proton :



$$\text{Energie disponible : } E_d = (M_{nX} + m_e - M_{nY}) \cdot c^2 - E^i_K = (M_X - M_Y) \cdot c^2 - E^i_K$$

avec E^i_K = Energie d'ionisation de l' e^- sur la couche K

Rq : - Cette réaction est en concurrence avec la désintégration β^+ si celle-ci est possible.

- Après capture, l'atome revient à son état fondamental en émettant un rayonnement X ou par émission d'un électron Auger \rightarrow **le spectre photonique est donc un spectre de raies**

Application : Radio-Immuno-Array

4. Interaction électromagnétique

✓ Désintégration gamma

Un radionucléide excité (métastable) parvient à un état plus stable :



$$\text{Energie disponible : } E_d = (M_{n,X^*} - M_{n,X}) \cdot c^2 \quad (\text{avec } M_n : \text{masse du noyau})$$

L' E_d est transférée au photon γ d'où $E_d = h \cdot f$

Le spectre énergétique des photons γ émis lors de plusieurs désintégrations est donc un **spectre de raie(s)**.

Application : Scintigraphie

- Rq 1 : cette radioactivité peut donner lieu à de la conversion interne :

Lors du retour du noyau métastable vers un état stable, le transfert d'énergie se fait directement vers un électron qui est alors ionisé.

- Rq 2 : cette radioactivité peut donner lieu à une création de paires car très énergétique :

Lors du retour du noyau métastable vers un état stable, si l'énergie disponible est supérieure à 1,022 MeV, il se peut (très rare) que soit créée une paire électron-positon.

II. Décroissance radioactive

✓ Loi de décroissance

Le nombre de noyaux non encore désintégrés à l'instant t au sein d'un échantillon est donné par :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{avec } N_0 : \text{nombre de noyaux de l'échantillon (non désintégrés) à } t = 0$$

λ : probabilité de désintégration (s^{-1})

$N(t)$: nombre de noyaux radioactifs de l'échantillon (non désintégrés) à l'instant t

✓ Période radioactive ou temps de demi-vie

La période radioactive T correspond au temps nécessaire pour observer la désintégration de la moitié des noyaux de l'échantillon.

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \text{Rq : on peut alors exprimer } N(t) \text{ en fonction de } T \text{ soit } N(t) = \frac{N_0}{2^{t/T}}$$

✓ Vie moyenne

La durée de vie moyenne τ des noyaux est :

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

✓ Activité

L'activité d'une source radioactive est le nombre de désintégrations qu'elle subit par seconde :

$$A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N(t) \quad \text{unité S.I. : } 1 \text{ Becquerel (Bq)} = 1 \text{ désintégration / s}$$

hors S.I. : 1 Curie (Ci) = $37 \cdot 10^9$ Bq

Rq : expression de la masse d'un échantillon radioactif $m(t)$:

$$N(t) = N_A \cdot n(t) = N_A \cdot \frac{m(t)}{M} \quad \text{donc } m(t) = N(t) \cdot \frac{M}{N_A} = A(t) \cdot \frac{M}{\lambda N_A} \quad (N_A : \text{nb Avogadro et } M \text{ masse molaire)}$$

✓ Filiation radioactive

Soit l'isotope A qui se transforme en isotope B^* métastable selon une période T_A . Puis, l'isotope B^* se transforme en isotope stable B selon T_B : $A \rightarrow B^* \rightarrow B + \gamma$

La décroissance de B^* est donc influencée par celle de A .

→ Équilibre séculaire : si $T_A \gg T_B$ les activités des deux isotopes sont alors équivalentes et décroissent selon la constante radioactive de l'isotope A .

✓ Rapport signal/bruit : $\frac{S}{B} = \sqrt{\bar{C}}$ avec \bar{C} le taux de comptage moyen $\bar{C} = \lambda \cdot N \cdot \Delta t = \sigma^2$. (avec σ : écart type)

IMAGERIE MEDICALE

Ionisante

- Radiographie

Envoi de rayons X et mesure de leur absorption
→ image de la densité des structures traversées

Radiologie conventionnelle
Tomodensitométrie (Scanner)

- Médecine nucléaire

Administration de traceurs radioactifs émettant des rayonnements détectables par les appareils de mesure

Scintigraphie
TEP (Tomographie par Emission de Positons)

Non ionisante

- IRM

Mesure de l'aimantation tissulaire
→ image de la nature magnétique des tissus

- Echographie

Transmission et réflexion d'ultrasons dans l'organisme
→ mesure et analyse des "échos"

RADIOTHERAPIE

- Source de rayonnements extérieure au patient :

Photons haute énergie
Charges lourdes
Charges légères

- Source de rayonnements interne au patient :

Radiothérapie métabolique
Curiethérapie