

CHAPITRE 12 : LA RADIOACTIVITE

1 Noyaux et isotopes

1.1 Composition d'un noyau atomique

Le noyau est composé de nucléons : les protons et les neutrons. La composition du noyau est liée à sa représentation symbolique :

Représentation symbolique d'un noyau

$_{\mathbf{Z}}^{\mathbf{A}} \mathbf{X}$

- X : symbole chimique du noyau
- Z : nombre de charge (numéro atomique) indiquant le nombre de protons
- A : nombre de masse indiquant le nombre de nucléons

Le nombre de neutrons N du noyau est donc : $N = A - Z$

Exemple : On considère un noyau dont la représentation symbolique est : $_{\mathbf{7}}^{\mathbf{14}} \mathbf{N}$.

Il s'agit d'un noyau d'azote constitué de 7 protons et de 14 nucléons soit 7 neutrons.

1.2 Isotopie

Des noyaux sont dits isotopes s'ils possèdent le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différents.

Exemple : Isotopes du carbone : $_{\mathbf{6}}^{\mathbf{12}} \mathbf{C}$, $_{\mathbf{6}}^{\mathbf{13}} \mathbf{C}$, $_{\mathbf{6}}^{\mathbf{14}} \mathbf{C}$

2 La radioactivité

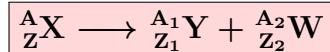
2.1 Définition

Les noyaux radioactifs sont instables et se transforment spontanément en d'autres noyaux. Cette transformation d'un noyau radioactif en un autre noyau est appelée désintégration nucléaire. Elle s'accompagne de l'émission de particules (α , β^- ou β^+) ainsi que d'un rayonnement gamma.

2.2 Réactions nucléaires et lois de conservation

Pour décrire une réaction nucléaire, on utilise une équation concernant les noyaux atomiques et devant vérifier les lois de conservation. Dans le cas général, au cours d'une réaction nucléaire, un noyau "père" ${}^A_Z X$ se désintègre pour former un noyau "fils" ${}^{A_1}_{Z_1} Y$ et accompagné d'une particule ${}^{A_2}_{Z_2} W$. Cette réaction nucléaire est décrite par l'équation suivante :

Ecriture d'une équation d'une réaction nucléaire



- X : symbole du noyau "père"
- Y : symbole du noyau "fils"
- W : symbole de la particule émise

L'écriture de l'équation d'une réaction nucléaire doit respecter les lois de conservation. Ces lois sont les suivantes :

Lois de conservation

$$Z = Z_1 + Z_2$$

Conservation du nombre de charge
(nombre de protons)

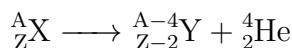
$$A = A_1 + A_2$$

Conservation du nombre de masse
(nombre de nucléons)

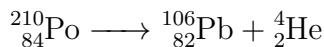
3 Les différentes radioactivités

3.1 La radioactivité α

La radioactivité α correspond à l'émission de noyaux d'hélium ${}^4_2 \text{He}$. L'équation de cette désintégration peut s'écrire :

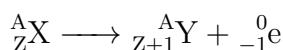


Exemple : Un noyau de polonium 210, ${}^{210}_{84} \text{Po}$, se désintègre en formant un noyau de plomb et en émettant une particule α . L'équation de cette réaction est :

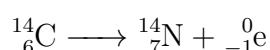


3.2 La radioactivité β^-

La radioactivité β^- correspond à l'émission d'électrons ${}^0_{-1} \text{e}$. L'équation de cette désintégration peut s'écrire :

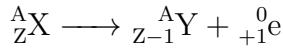


Exemple : Un noyau de carbone 14, ${}^{14}_6 \text{C}$, se désintègre en formant un noyau d'azote et en émettant une particule β^- . L'équation de cette réaction est :

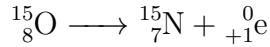


3.3 La radioactivité β^+

La radioactivité β^+ correspond à l'émission de positrons ${}_{+1}^0e$. L'équation de cette désintégration peut s'écrire :

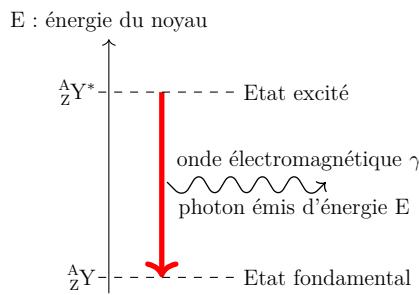


Exemple : Un noyau d'oxygène 15, ${}_{8}^{15}O$, se désintègre en formant un noyau d'azote et en émettant une particule β^+ . L'équation de cette réaction est :

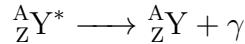


3.4 L'émission γ

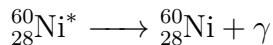
Lors des radioactivités α , β^- ou β^+ , les noyaux fils formés se retrouvent dans un état excité, noté Y^* . Ces noyaux ont une énergie supérieure à celle de l'état fondamental. Le retour d'un noyau excité à son état fondamental s'accompagne de l'émission d'un rayonnement électromagnétique γ de très grande énergie.



L'équation de cette désexcitation peut s'écrire :



Exemple : Un noyau de nickel 60, ${}_{28}^{60}Ni$, passe d'un état excité à son état fondamental. L'équation de cette réaction est :



4 Loi de décroissance radioactive

4.1 Evolution du nombre de noyaux radioactifs

La désintégration des noyaux radioactifs au niveau microscopique est aléatoire mais au niveau macroscopique, le nombre moyen N de noyaux radioactifs dans l'échantillon diminue au cours du temps selon la relation :

Relation d'évolution du nombre moyen de noyaux radioactifs

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

- $\frac{dN}{dt}$: dérivée du nombre de noyaux par rapport au temps (s^{-1})
- λ : constante de désintégration (s^{-1})
- N : nombre de noyaux radioactifs restant

4.2 Résolution de l'équation différentielle

La relation précédente est une équation différentielle du premier ordre sans second membre :

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0$$

Cette équation différentielle est du type $y' + ay = 0$ avec $a = \lambda$. Les solutions de cette équation sont les fonctions de la forme :

$$N(t) = C \exp(-at) \quad \text{d'où} \quad N(t) = C \exp(-\lambda t) \quad (1)$$

C est une constante déterminée par les conditions initiales : à $t = 0$, $N(0) = N_0$. N_0 est le nombre de noyaux radioactifs à l'instant initial. En remplaçant dans la relation précédente pour $t = 0$, on a :

$$N(0) = N_0 = C \exp(-\lambda \times 0) = C \exp(-0) \quad \text{d'où} \quad C = N_0$$

En remplaçant C par N_0 dans la relation (1), on obtient la loi de décroissance radioactive :

Loi de décroissance radioactive

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

- N : nombre de noyaux radioactifs restant (sans unité)
- λ : constante de désintégration (s^{-1})
- N_0 : nombre initial de noyaux radioactifs (sans unité)
- t : temps (s)

4.3 Demi-vie ou période radioactive

La demi-vie, notée $t_{1/2}$, ou période radioactive, noté T , est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés.

$$\text{à } t = t_{1/2}, \text{ on a } N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

A partir de cette définition, on peut établir une relation entre la constante de désintégration λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$. En effet :

D'après la loi de décroissance radioactive :

$$\text{à } t = t_{1/2}, \text{ on a } N(t_{1/2}) = N_0 \exp(-\lambda t_{1/2})$$

D'après la définition du temps de demi-vie :

$$\text{à } t = t_{1/2}, \text{ on a } N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

De ces deux relations, on peut en déduire que :

$$\begin{aligned} N_0 \exp(-\lambda t_{1/2}) &= \frac{N_0}{2} \iff \exp(-\lambda t_{1/2}) = \frac{1}{2} \\ \ln(\exp(-\lambda t_{1/2})) &= \ln\left(\frac{1}{2}\right) \iff -\lambda t_{1/2} = -\ln 2 \end{aligned}$$

On obtient la relation entre la constante de désintégration λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$:

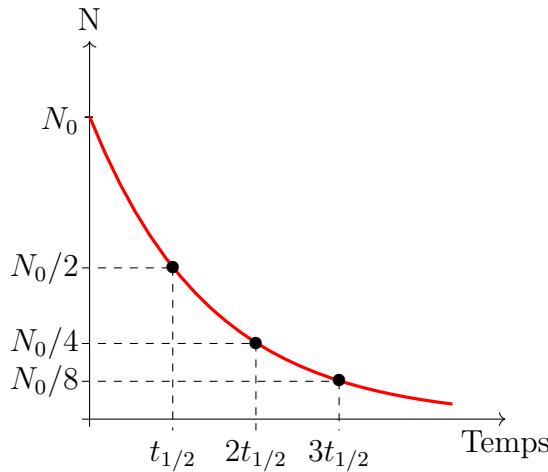
Relation entre la constante de désintégration λ et le temps de demi-vie $t_{1/2}$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

- $t_{1/2}$: temps de demi-vie (s)
- λ : constante de désintégration (s^{-1})

4.4 Courbe de décroissance radioactive

La courbe de décroissance radioactive est la courbe représentative du nombre de noyaux radioactifs restants en fonction du temps. Cette courbe est une exponentielle décroissante. A partir de cette courbe, on peut déterminer graphiquement le temps de demi-vie ($t_{1/2}$) :



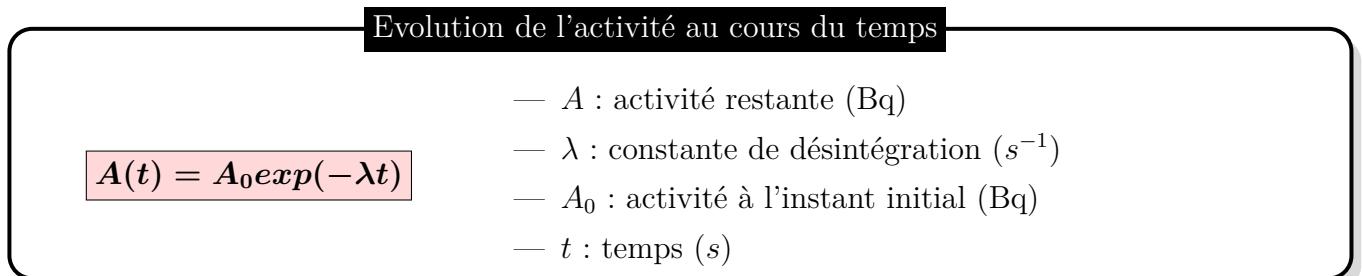
Le nombre de noyaux radioactifs restants est divisé par deux au bout de chaque période radioactive ou demi-vie.

5 Activité d'une source radioactive

L'activité, notée A , d'une source radioactive est égale au nombre moyen de noyaux qui se désintègrent par seconde. L'unité de l'activité est le becquerel (Bq)

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration par seconde.}$$

L'évolution de l'activité au cours du temps suit la loi de décroissance radioactive :



6 Application de la radioactivité et protection

La radioactivité a des applications dans de nombreux domaines et en particulier dans le domaine :

- médical : imagerie (scintigraphie), traitement (radiothérapie) ...
- industriel : centrales nucléaires, contrôles de soudure, détection de fuites ...

Les personnes susceptibles d'être exposées aux radiations portent des équipements adaptés aux risques encourus : combinaisons, gants, surchaussures, masque, tablier plombé ...