

Chapitre II : La radioactivité

La radioactivité fait partie de l'univers. Elle est présente partout que ce soit dans l'atmosphère ou dans la croûte terrestre qui contiennent des éléments radioactifs. Depuis la production, en 1934, du premier noyau radioactif artificiel par Irène et Frédéric Joliot-Curie, une part de la radioactivité globale est d'origine artificielle. Les rayonnements émis par les radioéléments artificiels sont exactement du même type que ceux émis par les radioéléments naturels.

La radioactivité est le phénomène physique par lequel des noyaux d'atomes instables (dits radionucléides ou radioisotopes) se transforment spontanément en d'autres atomes en émettant simultanément des rayonnements, c'est-à-dire des particules de matière. On dit alors qu'ils sont radioactifs.

1. Définition

On appelle radioactivité la transformation de noyaux atomiques au cours desquelles un rayonnement est émis. Ces rayonnements sont par exemple

✓ des rayons gamma (γ) constitués de photons de très grande énergie (très grande fréquence);

✓ des particules matérielles: rayons alpha, composés de noyaux 4_2He (ou ${}^4_2\alpha$);

rayons bêta, composés d'électrons ${}^0_{-1}e$ ou $({}^0_{-1}\beta^-)$

ou de rayons ${}^0_{+1}e$ positrons (= antiélectrons) ou $({}^0_{+1}\beta^+)$

neutrons 1_0n

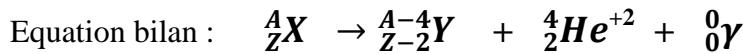
protons 1_1p

La radioactivité naturelle est l'intégralité des éléments présents sur terre celle qui existe dans la nature.

La radioactivité artificielle est celle obtenue par bombardement de noyaux atomiques par des particules (neutrons, protons, particules (α), électrons, positrons, ...). En fonction de la nature du rayonnement émis, on peut distinguer :

a- Rayonnement alpha (α)

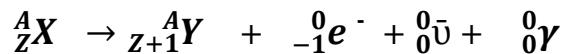
Certains noyaux lourds ($N+Z > 200$) émettent des particules alpha (ou noyaux d'hélium).



On observe l'émission d'un noyau d'hélium (constitué de deux neutrons et de deux protons). Il y a en parallèle émission d'un photon (γ). **X**: noyau père. **Y**: noyau fils. Le radium 226 ainsi que l'uranium 238 sont des émetteurs alpha.

b- Rayonnement bêta (β)

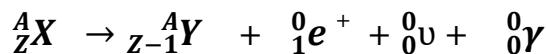
Les noyaux avec un surplus de neutrons émettent un électron (e^-) (ou négaton) qui provient de la décomposition d'un neutron en un proton et un antineutrino suivant l'équation :



En parallèle de cette réaction, il y a émission d'un photon (γ). Un neutron se transforme en proton. Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas. Le potassium 40 est un émetteur bêta moins. Ce type de radioactivité est la plus fréquente.

c- Rayonnement bêta ($^+\beta$)

Les noyaux avec trop de protons (ou trop peu de neutrons) émettent un positron qui provient de la décomposition d'un proton en un positron, un neutron et un neutrino. Il y a en parallèle émission d'un photon (γ).



Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas. L'iode 122 est un émetteur bêta plus.

d- Rayonnement gamma (γ)

Les rayonnements (**a**) et (**b**) sont tous deux accompagnés de l'émission d'un rayonnement (γ) qui correspond à l'émission de photons de longueur d'onde dans le vide comprise entre 10^{-14} et 10^{-12} m.

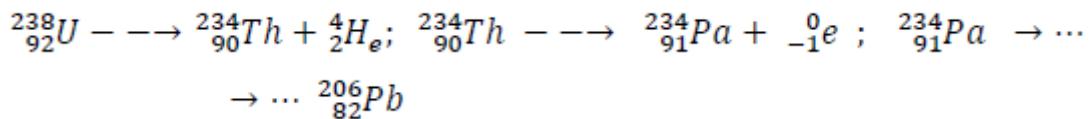
La capture d'un neutron par un noyau est un autre type d'évènement entraînant un rayonnement de type gamma (γ).

2. La radioactivité naturelle et les familles radioactives naturelles

La radioactivité naturelle est une désintégration spontanée du noyau en donnant un noyau radioactif ou stable et diverses radiations. Elle provient des rayons cosmiques (17%), du gaz radon (sous-produit de désintégration de l'uranium (50%)), du sol (granit 20%) et du corps humain lui-même (désintégration de $^{14}_6\text{C}$ et de $^{40}_{19}\text{K}$ (13%)).

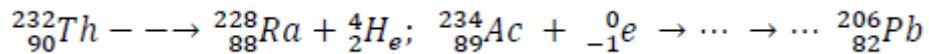
Quand la désintégration donne un noyau radioactif, il se désintègre en donnant à son tour un noyau qui peut être radioactif et ainsi de suite. Il y a alors une série de nucléides qui apparaissent l'un après l'autre et l'ensemble constitue une famille radioactive. On distingue alors trois familles radioactives:

1- La famille de l'uranium dans laquelle $A = 2n + 2$ (n nombre entier),



2- La famille de l'actino-uranium dans laquelle $A = 4n + 3$ (n nombre entier),

3- La famille du thorium dans laquelle $A = 4n$ (n nombre entier) ;



Dans chacune de ces trois familles, on aboutit à un isotope stable de Pb ($^{206}_{82}\text{Pb}$),

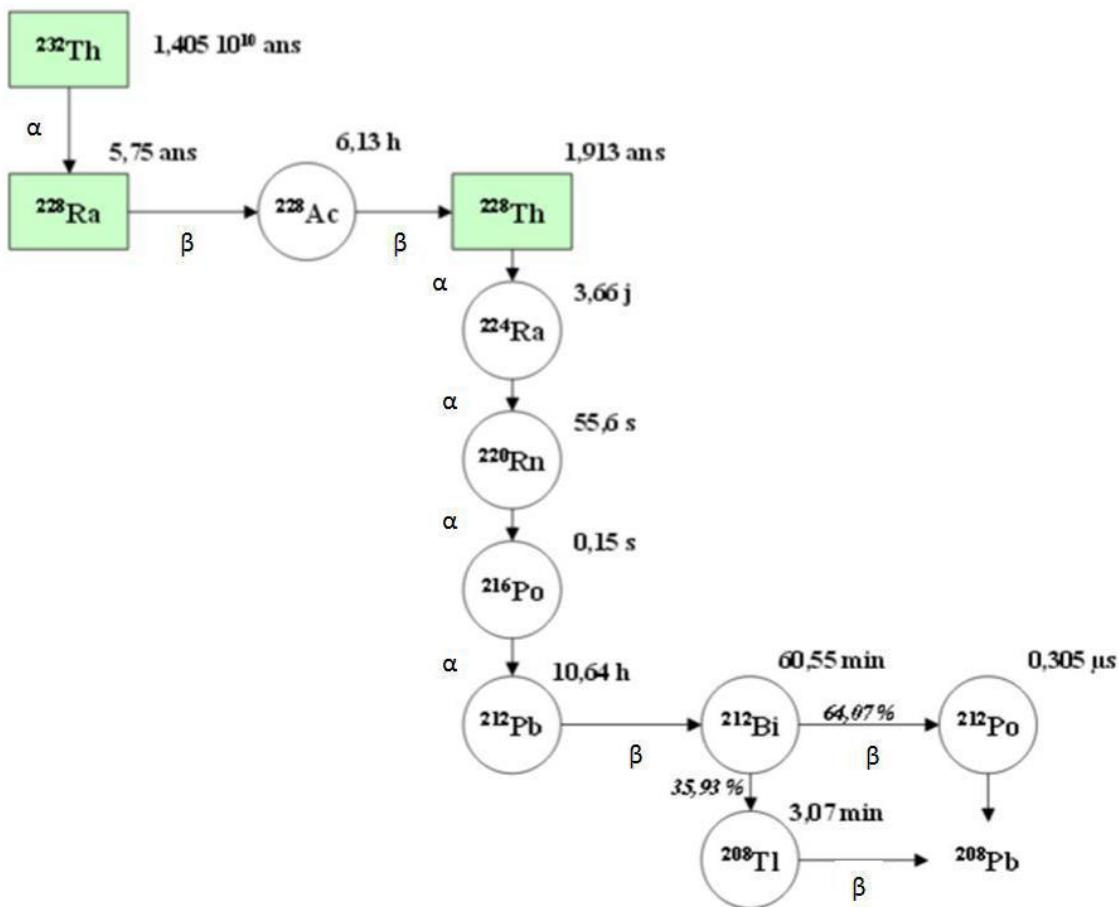


Figure 1 : Schéma de dégradation radioactive naturelle du Th.

3. La décroissance radioactive

Soit la désintégration radioactive :

$A^* \xrightarrow{\text{---}} B$ ou B est stable. Expérimentalement, on peut compter le nombre de particules émises par unité de temps.

Ce nombre est égal à : $\frac{-dN}{dt}$

Ou : - dN est la variation du nombre de noyaux radioactifs A^* pendant le temps dt (temps très court) :

N : c'est le nombre de noyaux instables (radioactifs) présent à l'instant t.

La variation de $\frac{-dN}{dt}$ (vitesse de décroissance ou désintégration) en fonction de N est une loi linéaire.

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

Où : λ est la concentration radioactive ou de décroissance en (s^{-1}) ou (min^{-1}),etc.

C'est une constante pour un isotope donné, elle le caractérise. L'intégration de cette équation donne :

A à $t=0$, on a $N=N_0$

A à $t \neq 0$, on a $N=N_t$

On aura: $\frac{dN}{dt} = -\lambda N, \quad \frac{dN}{N} = -\lambda dt$

Donc: $N_t = N_0 \times e^{(-\lambda \cdot t)}$

4. Activité où intensité où vitesse radioactive (A)

C'est le nombre de désintégrations par unité de temps.

$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$, donc $-\frac{dN}{N} = \lambda dt$

L'unité de l'activité radioactive est le Becquerel (Bq) ou Désintégration par seconde (dps):

- le Becquerel (Bq) et $1Bq = 1(dps)$.
- désintégration par seconde (dps)
- Curie (Ci) et $Ci = 13.7 \cdot 10^{10} Bq$ (ce qui correspond à l'activité d'un gramme de radium).

5- Période radioactive

La période ou temps de demi-vie d'un noyau radioactif (T) est le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs présents à $t=0$ est désintégrée (Figure 2).

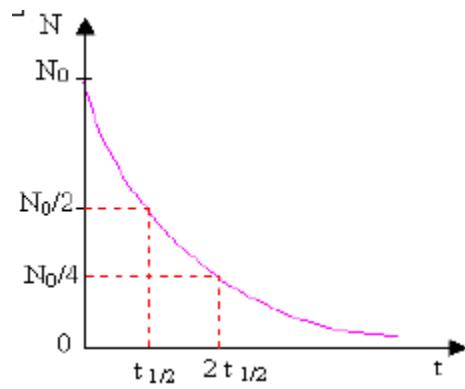


Figure 2. Courbe de désintégration radioactive

$$T = t_{1/2}, N_t = \frac{N_0}{2}; T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

La période ou le temps de demi-vie (T) ne dépend pas du nombre initial de noyaux, de la température ou de la pression. Elle caractérise un radioélément.

6. Domaines d'application

- Domaine de l'armement : missiles nucléaires, bombe atomique, etc...
- Source d'énergie (production de l'électricité)
- Médecine (l'iode radioactif est utilisé dans l'examen scintigraphique de la thyroïde, irradiations de tumeurs, etc...)
- Traceurs radioactifs pour le contrôle de nombreux procédés de fabrication industriels.
- Carbone 14 pour la datation d'objets anciens (jusqu'à environ 40 000 ans).
- Datation en archéologie : L'isotope carbone 14 (C-14) est radioactif (β^-) avec une demi-vie de 5730 années. Le carbone 14 ($^{14}_6C$) est créé dans l'atmosphère par bombardement par rayons cosmiques. Il est ensuite absorbé par les plantes sous forme de dioxyde de carbone. À la mort des plantes, l'absorption cesse et le carbone C-14 se désintègre au cours du temps.
- L'activité radioactive est utilisée dans le domaine juridique pour déterminer la date de décès des victimes.

Exemple :

Dans un échantillon de carbone prélevé sur une momie, l'activité du C-14 a diminuée à la valeur 60 % de la valeur initiale. Calculer la date de la mort de la personne.

On a : $A = 0,6 \cdot A_0$ et $t = -T \frac{\ln 0,60}{\ln 2} = 4222$ ans