

Introduction : la radioactivité est un phénomène naturel aléatoire qui affecte certains noyaux, et qui permet de dater certaines roches ou d'estimer la date de la mort de certains êtres vivants, telles que les momies pharaoniques, par exemple. Quel est le principe de cette datation ? Comment la réaliser ?



I- Le noyau atomique

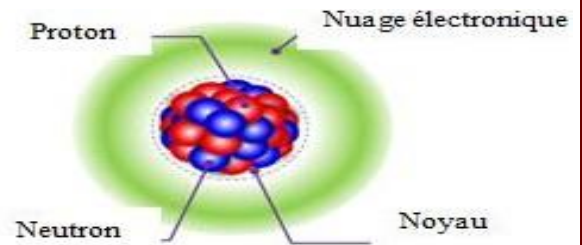
1- Les constituants du noyau

Le noyau atomique est composé de et de, ces constituants du noyau s'appellent les

Le a une charge positive appelée charge élémentaire:

$q_p = +e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, sa masse : $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Le est électriquement neutre (il n'a pas de charge électrique). ($q_n = 0$), sa masse : $m_n = 1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

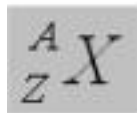


2- Représentation symbolique du noyau atomique

Le nombre de nucléons que contient le noyau atomique est noté, il s'appelle: (c'est le nombre de protons + nombre de neutrons)

Le nombre de protons que contient le noyau atomique est symbolisé par, il s'appelle : (ou le nombre de charges)

Le noyau atomique d'un élément chimique est représenté par le symbole:



X: symbole de l'élément chimique.

A: nombre de masse. (=nombre de nucléons)

Z: numéro atomique (=nombre de protons)

$N = A - Z$: nombre de neutrons.

Application 1 :: Donner la composition du noyau ${}^{12}_6\text{C}$:

| Symbole de noyau ${}^A_Z X$ | Nombres de nucléons | Nombre de protons | Nombre de neutrons |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| | | | |

3- Le nucléide

On appelle **nucléide** en physique nucléaire, l'ensemble des **noyaux identiques** ayant même **A** et même **Z**.

Exemples : ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ est nucléide de l'élément chimique de chlore

${}^{14}_6\text{C}$ et ${}^{13}_6\text{C}$: sont deux nucléides différents malgré qu'ils ont même nombre de proton.

Un **nucléide X** est donc un noyau caractérisé par son nombre et son numéro atomique, il est noté:

4- Les isotopes

Des noyaux qui ont même numéro mais des nombres différent, s'appellent des **isotopes**. (Ils ont donc même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent).

Exemple :

Remarque :

Les isotopes diffèrent aussi par leur abondance dans la nature.

| l'isotope | ${}^{16}_8\text{O}$ | ${}^{17}_8\text{O}$ | ${}^{18}_8\text{O}$ |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| % abondance | 99,759 | 0,037 | 0,204 |

5-La densité du noyau atomique :

Le noyau atomique a une forme sphérique dont le rayon r varie avec la variation du nombre de masse A selon la relation suivante:

$$r = r_0 A^{\frac{1}{3}} \quad r_0 = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}$$

La masse approchée d'un nucléon est : $m_n \approx 1,7 \times 10^{-27} \text{ Kg}$

La valeur approchée de la masse volumique du noyau atomique:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{m_n \times A}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3m_n \cdot A}{4\pi r_0^3 \cdot A} = \frac{3m_n}{4\pi r_0^3} = \frac{3 \times 1,7 \cdot 10^{-27}}{4\pi (1,2 \cdot 10^{-15})^3} \approx 2 \cdot 10^{17} \text{ Kg/m}^3 \quad \text{soit:} \quad \rho = 2 \cdot 10^8 \text{ tonnes/cm}^3$$

La masse de 1 cm^3 de la matière nucléaire est 200 millions tonnes. Par conséquent la matière nucléaire est extrêmement dense.

II-Stabilité et Instabilité des noyaux atomiques

1-Noyau radioactif

Un **noyau radioactif** est un **noyau instable** dont la désintégration (:destruction) provoque l'apparition d'un **nouveau noyau**, avec émission d'une particule notée α , β^- ou β^+ , et fréquemment l'émission d'un rayonnement électromagnétique noté γ .

La désintégration radioactive est un phénomène naturel, aléatoire et spontané.

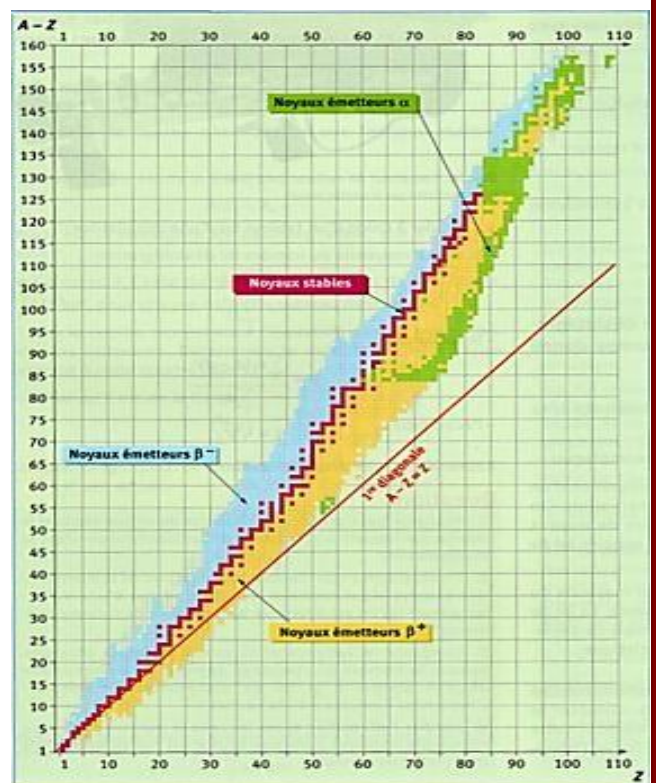
2- Le diagramme (N,Z) ou diagramme de Segré

Le diagramme de **Segré** contient tous les **noyaux stables** et les **noyaux radioactifs** (instables) existants répartis de la façon suivante: le nombre de neutrons N en abscisse et le nombre de protons Z en ordonnée: **c'est le diagramme (N, Z)**

- **La zone centrale rouge** s'appelle la vallée de stabilité et comprend les noyaux stables
- **Pour les nucléides de $Z \leq 20$** : la vallée de stabilité se situe au voisinage du premier médiateur ($Z = N$), c.-à-d. on a : ($Z = N$) pour les noyaux stables légers.
- **Pour les nucléides de $Z > 20$** : la vallée de stabilité se déplace au-dessus du premier médiateur quand la valeur de Z augmente, c.-à-d. on a : $N > Z$ pour les noyaux stables.
- **Pour les nucléides de $Z > 83$** : sont instables

Remarque :

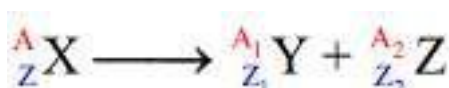
Les différents isotopes de même élément chimique se trouvent sur la même droite parallèle à l'axe des ordonnées



3--Lois de conservation (lois de Soddy)

« Lors d'une **transformation nucléaire**, le nombre de nucléons: A et la charge électrique: Z , se conservent »

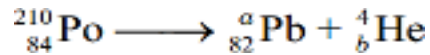
Appliquons la loi de Soddy à l'équation générale de désintégration suivante:



- **Conservation des nucléons**

Application 2 :

1. Trouver les nombres a et b dans l'équation suivante :

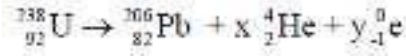


.....

.....

.....

2. Trouver les nombres x et y dans l'équation suivante :



.....

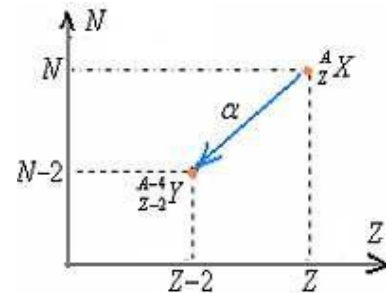
.....

.....

4-Les radioactivités α , β^- et γ

a- La radioactivité α :

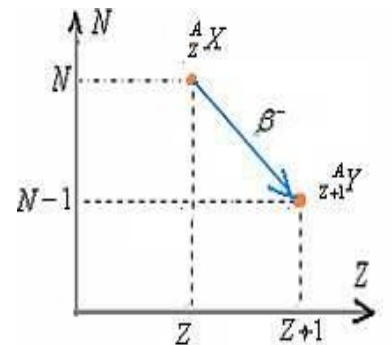
La radioactivité α est une désintégration nucléaire naturelle spontanée correspond aux noyaux lourds ($A > 200$), dans laquelle un **noyau père**.....se transforme en un **noyau fils** accompagnée de l'émission d'un noyau d'Hélium appelé **particule α** , selon l'équation suivante ::



Exemple :

b- La radioactivité β^- :

La radioactivité β^- est une désintégration nucléaire naturelle spontanée, dans laquelle un **noyau père** se transforme en un **noyau fils** Accompagnée de l'émission d'un électron appelé **particule β^-** , selon l'équation suivante :



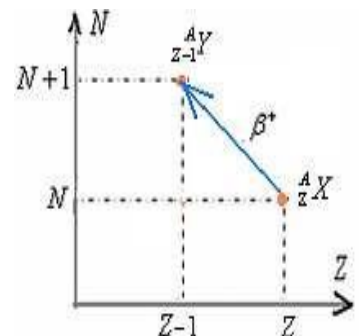
Exemple :

Remarque :

Lors de cette radioactivité β^- unse transforme en un selon l'équation suivante :

c- La radioactivité β^+

La radioactivité β^+ est une désintégration nucléaire naturelle spontanée, dans laquelle un **noyau père** se transforme en un **noyau fils**..... Accompagnée de l'émission d'un positron appelé **particule β^+** , selon l'équation suivante :



Exemple :

Remarque :

Lors de cette radioactivité β^+ un se transforme en un selon l'équation suivante :

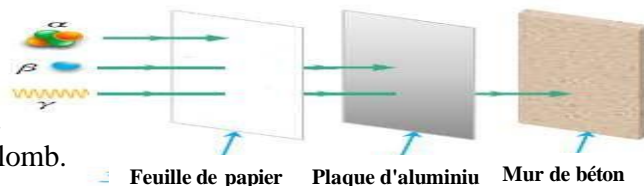
c- Le rayonnement γ

Le **rayonnement γ** est des ondes électromagnétiques de très grande énergie, lors des désintégrations α et β^- et β^+ , le noyau fils est généralement produit dans un état excité (il possède un excédent d'énergie par rapport à son état fondamental). Ce noyau libère un rayonnement γ selon l'équation suivante::

Exemples :

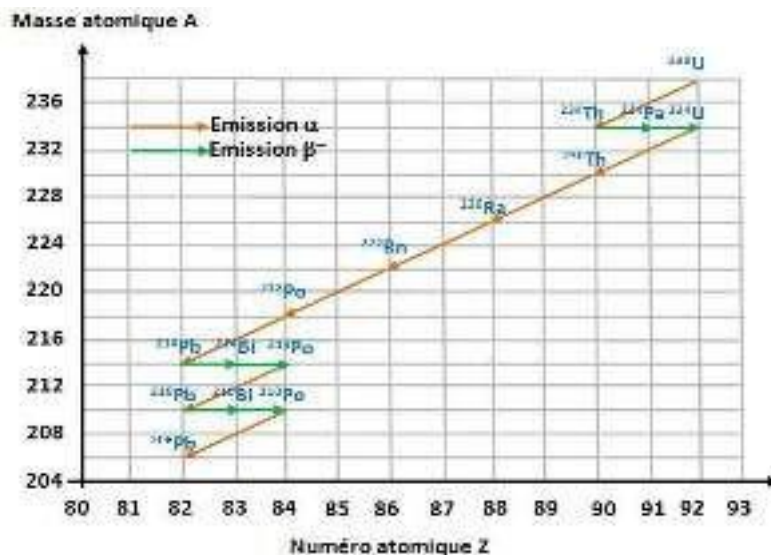
Remarque :

- Les rayons α : peuvent être arrêtés par une feuille de papier.
- Les rayons β : peuvent être arrêtés par une plaque d'aluminium.
- Les rayons γ : peuvent être arrêtés par un mur de béton ou de plomb.



5-Familles radioactives :

Une **famille radioactive** est une suite de nucléides descendant d'un même noyau, le noyau père, par une suite de désintégrations successives jusqu'à l'obtention d'un **noyau stable**. Il n'y a que quatre familles :



Application 3 L'iode ${}_{53}^{131}\text{I}$ est radioactif de type β^- . Ecrire l'équation de désintégration du noyau de l'iode en précisant la nature de la particule β^- en identifiant le noyau fils parmi les éléments suivants : ${}_{51}\text{Sb}$; ${}_{52}\text{Te}$; ${}_{54}\text{Xe}$; ${}_{55}\text{Cs}$.

Les propriétés de la fonction logarithme décimale (dans chimie)

$$\begin{aligned} \log 10 &= 1 \\ \log 1 &= 0 \\ \log xy &= \log x + \log y \\ \log \frac{x}{y} &= \log x - \log y \\ \log 10^a &= a \\ \log y = x &\Leftrightarrow y = 10^x \end{aligned}$$

Les propriétés de la fonction exponentielle (e^x) et népérienne (\ln)

$$\begin{aligned} e^a \cdot e^b &= e^{a+b} \quad , \quad \frac{e^a}{e^b} = e^{a-b} \\ e^b &= a \Leftrightarrow b = \ln a \quad ; \quad a > 0 \\ e^0 &= 1 \quad , \quad \ln 1 = 0 \quad , \quad e^{-\infty} = 0 \\ (a, b) > 0 : \ln(a \cdot b) &= \ln a + \ln b \\ (a, b) > 0 : \ln \frac{a}{b} &= \ln a - \ln b \\ \ln a^n &= n \cdot \ln a \quad , \quad \ln \frac{a}{b} = -\ln \frac{b}{a} \\ (a \cdot e^{-\lambda \cdot x})' &= -a \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x} \end{aligned}$$

Dérivée

III- Décroissance radioactive

1-Loi de décroissance radioactive

« La radioactivité est un phénomène spontané aléatoire, on ne peut pas prévoir l'instant de la désintégration ».

Le nombre de noyaux non désintégrés d'un échantillon radioactif suit la loi de décroissance radioactive suivante:

$N(t)$:

N_0 :

λ :

.....

2-La constante de temps d'un échantillon radioactif : τ

On définit la constante de temps τ par la relation suivante :

son unité dans (S.I) est : *seconde* (s)

On a :

à l'instant $t = \tau$ on trouve :

Alors τ est la durée nécessaire pour la désintégration de **63%** du nombre initiale N_0 de nucléides.

Remarque : La tangente de la courbe $N = f(t)$ à l'instant $t = 0$ coupe l'axe des abscisses au point de l'abscisse $t = \tau$. (figure 1)

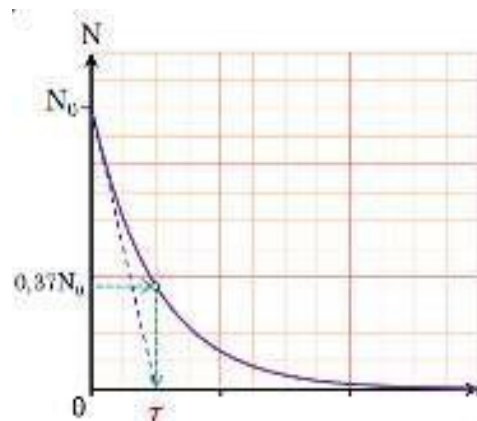


Fig 1 : loi de décroissance radioactive

3-Demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif.

La **demi-vie** d'un nucléide radioactif est la durée au bout de laquelle la **moitié des nucléides** radioactifs initialement présent dans l'échantillon se sont désintégrés. (c.-à-d. ($t = t_{1/2}$) = $\frac{N_0}{2}$)

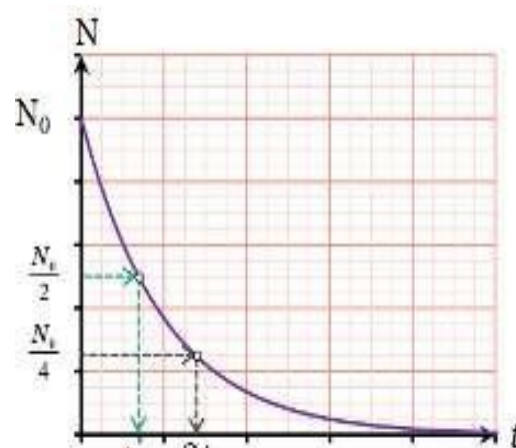


Fig 2 : Détermination de $t_{1/2}$ graphiquement

4-Activité d'un échantillon radioactif a :

.....

« On appelle activité d'un échantillon radioactif, le nombre de désintégrations qu'il produit par seconde »

L'activité est définie par la relation suivante $a(t) = -\frac{dN}{dt}$

.....
.....
.....
.....

.....

L'**activité** se mesure en becquerels (Bq) : **1Bq** correspond à une désintégration par seconde.

L'appareil de mesure de l'activité est appelé : appareil de Geiger

Exemple

| source | 1 L d'eau | 1kg grain | homme (70kg) | 1kg d'uranium |
|---------------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| Activité (Bq) | 10 | 1000 | 7000 | 25.10^6 |

Remarque

- $a(t)$ et $N(t)$ ont la même courbe. (Figure 3)

-On peut aussi exprimer la loi de décroissance radioactive par :

La masse $m(t)$:

$$m(t) = m_0 \times e^{-\lambda \cdot t}$$

ou La quantité de matière $n(t)$

$$n(t) = n_0 \times e^{-\lambda \cdot t}$$

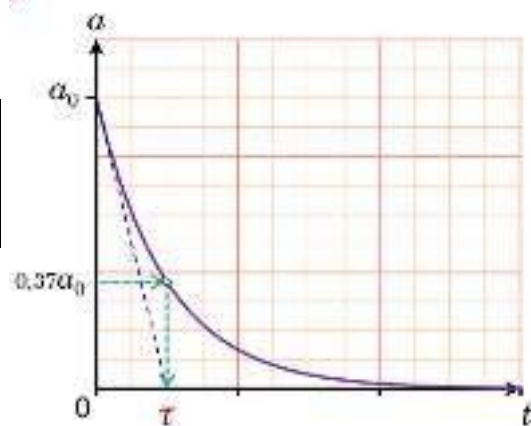


Fig 3 : loi d'activité $a(t)$

Application 4 : Trouver l'expression de l'activité $a(t)$ à l'instant $t_{1/2}$

4-Comment dater un événement grâce à la radioactivité ?

La radioactivité de certains éléments chimiques qui se trouvent dans les fossiles sédimentaires ou dans les roches permet de déterminer leur âge de la manière suivante :

- En mesurant l'activité $a(t)$ de l'échantillon que l'on souhaite dater et l'activité a_0 d'un échantillon vivant de même nature.
- En utilisant la relation : $a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$. Déterminer l'expression de la date t

La datation au carbone 14 est aussi une méthode de datation radioactive basée sur la mesure de l'activité du carbone 14 contenu dans de la matière organique dont on souhaite connaître l'âge depuis sa mort.

Application 5 : Des archéologues ont trouvé une statue en bois dont l'activité est **135 Bq** .Sachant que l'activité d'un morceau de bois contemporain de même masse et de même type de bois dont est faite la statue est **165 Bq** .

Déterminer en ans l'âge approximatif de la statue de bois.

Données : Demi-vie du carbone 14 : $t_{1/2} = 5570$ ans.