

I- Le noyau atomique

1- Le noyau

Un noyau est composé de nucléons, qui rassemblent les protons et les neutrons.

La représentation symbolique du noyau d'un atome est la suivante :

$${}^A_ZX \text{ avec } \begin{cases} A : \text{nombre de nucléon} \\ Z : \text{nombre de protons (ou charges)} \end{cases}$$

⇒ Exemple

symbole de noyau A_ZX	nombre de nucléons A	nombre de protons (charges) Z	nombre de neutrons N=A-Z
${}^{14}_6C$	A=14	Z=6	N=8

2- Le nucléide

On appelle un nucléide l'ensemble des atomes dont les noyaux ont même valeur de nombre de charge Z et de nombre de masse A.

⇒ Exemple : ${}^{32}_{16}S$; ${}^{234}_{92}U$; ${}^{32}_{15}P$

3- Les isotopes

Des noyaux qui ont même numéro atomique Z mais des nombres de nucléons différents A s'appellent des isotopes (ils ont donc même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent).

⇒ Exemple : ${}^{12}_6C$; ${}^{13}_6C$; ${}^{14}_6C$

II- noyau et radioactivité

1- Diagramme de stabilité (N,Z)

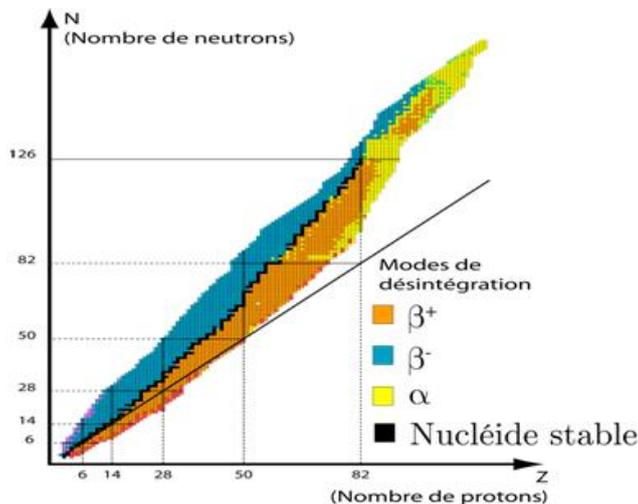
⇒ Malgré l'interaction forte, sur les 1500 noyaux connus (naturels et artificiels), seuls 260 sont stables.

les autres se désintègrent spontanément, plus ou moins rapidement selon leur composition.

⇒ Pour localiser ces deux types de noyaux, on utilise un diagramme (N,Z) ; où N = A - Z désigne le nombre de neutrons, et Z le nombre de protons:

⇒ On voit que pour Z < 20, les noyaux stables se situent sur la diagonale, appelée vallée de stabilité (autant de protons que de neutrons).

⇒ Ensuite, la stabilité du noyau n'est assurée que si le nombre de neutrons est supérieur au nombre de protons (si Z est trop élevé, les forces électrostatiques l'emportent sur les forces nucléaires et les noyaux se désintègrent).



2- Qu'est-ce que la radioactivité ?

- En dehors de la vallée de stabilité, les noyaux instables sont dits radioactifs. Chaque noyau va se transformer en noyau stable en une ou plusieurs désintégration(s) spontanée(s).

⇒ La radioactivité est la transformation spontanée d'un noyau au cours du temps.

- Cette transformation modifie la nature du noyau et s'accompagne de l'émission de particules et de radiations électromagnétiques.

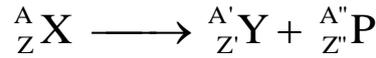
- La désintégration d'un noyau est : spontanée, inéluctable, aléatoire, indépendante des paramètres habituels (pression, température ...)

Remarque : Henry . Becquerel découvre la radioactivité en 1896

III- Différents types de radioactivité

1- Lois de conservation (Soddy)

⇒ Lors d'une transformation nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons A et du nombre de charges Z.
- Soit une réaction nucléaire où un noyau père (X) donne naissance à un noyau fils (Y) en émettant une particule chargée P :

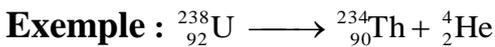
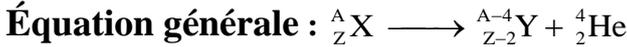


Les lois de conservation s'écrivent : $\left\{ \begin{array}{l} \text{conservation du nombre de nucléons : } A = A' + A'' \\ \text{conservation du nombre de charges : } Z = Z' + Z'' \end{array} \right.$

2- Les différentes transformations radioactivités

2-1- Radioactivité α

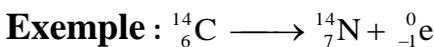
La radioactivité α correspond à l'émission de noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$ (particules α) par certains noyaux.



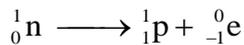
Remarque : La radioactivité α concerne les noyaux présentant un excès de nucléons et appelés « noyaux lourds » ($A > 200$).

2-2- Radioactivité β^-

La radioactivité β^- correspond à l'émission d'électrons (appelés rayons, ou particules ${}^0_{-1}\text{e}$) par certains noyaux. Ce type de radioactivité concerne les noyaux présentant un excès de neutrons.

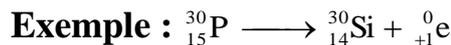


Remarque : Pendant la transformation β^- un neutron se transformé en proton



2-3- Radioactivité β^+

La radioactivité β^+ correspond à l'émission de positrons (${}^0_{+1}\text{e}$) par certains noyaux



Remarque : lors de la transformation β^- un proton se transforme en neutron. ${}^1_1\text{p} \longrightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_{+1}\text{e}$

Remarque : La radioactivité β^+ concerne les noyaux présentant un excès de protons

La radioactivité β^+ existe surtout pour les nucléides artificiels. (préparés dans des réacteurs nucléaires ou dans les accélérateurs de particules)

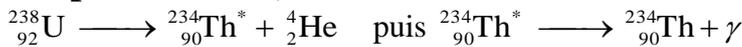
2-4- Désexcitation γ

Si le noyau fils issu d'une désintégration radioactive α ou β est dans un état excité, l'excédent d'énergie est libéré sous forme de rayonnement électromagnétique γ de très haute fréquence (de l'ordre de 10^{20} Hz).

Remarque : Un noyau dans un état excité est représenté avec un astérisque en exposant à droite



Exemple : émission γ associée à la radioactivité α

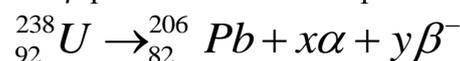


3- Familles radioactives

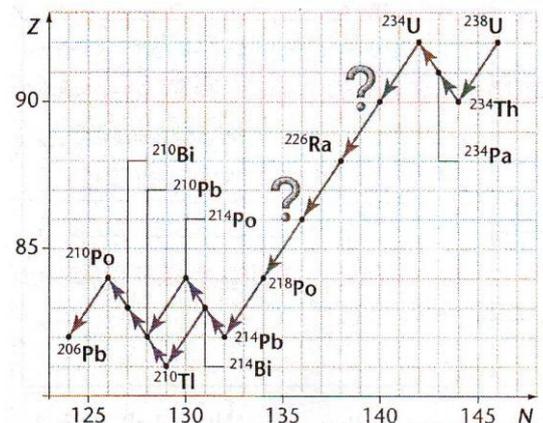
La radioactivité entraîne la transformation d'un nucléide en un autre nucléide. Si ce dernier est lui-même radioactif, il se transforme à son tour, et ainsi de suite jusqu'à ce que le nucléide obtenu ne soit plus radioactif.

L'ensemble des nucléides obtenus à partir d'un même noyau père est appelé famille radioactive.

Exemple : ${}^{238}_{92}\text{U}$ radioactif se désintègre par une série d'émission α et β pour aboutir à l'isotope stable non radioactif ${}^{206}_{82}\text{Pb}$



Remarque : Il existe 4 familles radioactives : celle du Neptunium, celle de l'uranium, celle de l'actinium et celle du thorium



IV- Décroissance radioactive

1- Constante de désintégration

- Soit :
- N_0 le nombre de noyaux présents à $t = 0$,
 - N le nombre de noyaux présents à la date t .
 - Pendant une durée dt très brève, un certain nombre de noyaux radioactifs se sont désintégrés (disparu). Soit $N + dN$ le nombre de noyaux radioactifs non désintégrés (Reste) à la date $t + dt$ (avec $\Delta N < 0$ car N diminue).
 - La variation du nombre moyen de noyaux désintégrés pendant la durée dt est :

$$N_{t+dt} - N_t = (N + dN) - N = dN$$

Cette variation du nombre de noyaux désintégrés est négative et proportionnel : au nombre de noyaux N présents à l'instant t à la durée dt .

On traduit cela par la relation $dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$.

$\Rightarrow \lambda$ est la constante radioactive, elle dépend de la nature du noyau radioactif, c'est la proportion de noyaux qui se désintègre par unité de temps.

Une constante radioactive est l'inverse d'un temps, elle s'exprime en s^{-1} .

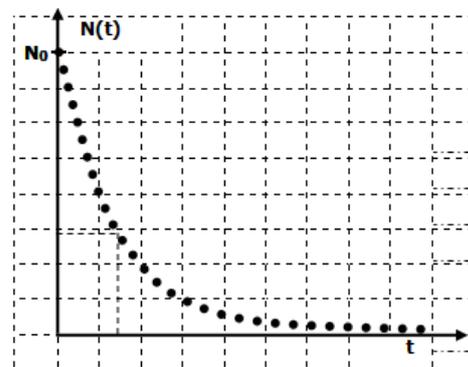
2- Loi de décroissance radioactive

- On a $dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$. que l'on peut également l'écrire : $\frac{dN}{dt} + \lambda \cdot N = 0$ donc $N(t)$ satisfait à une équation différentielle du premier ordre.

- La solution de l'équation différentielle est La loi de décroissance radioactive s'écrit :

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

- N_0 est le nombre de noyaux initialement présents dans l'échantillon.
- $N(t)$: le nombre de noyaux encore présents à la date t .

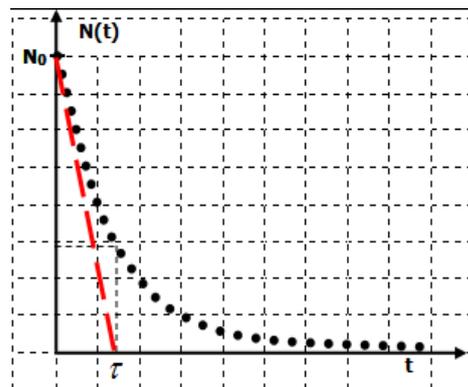


3- Constante de temps

La constante de temps caractéristique, notée τ d'un élément radioactif est l'inverse de la constante radioactive. Elle s'exprime donc en s : $\tau = \frac{1}{\lambda}$

Donc la tangente à la courbe, à la date $t = 0$, a pour pente $-\frac{N_0}{\tau}$ et coupe l'axe des abscisses en $t = \tau$.

De plus, à la date $t = \tau$, $N(\tau) = N_0 \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau}} = N_0 \cdot e^{-1} = 0,37 N_0$.



4- Temps de demi-vie $t_{1/2}$

La demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon de noyaux radioactifs est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés.

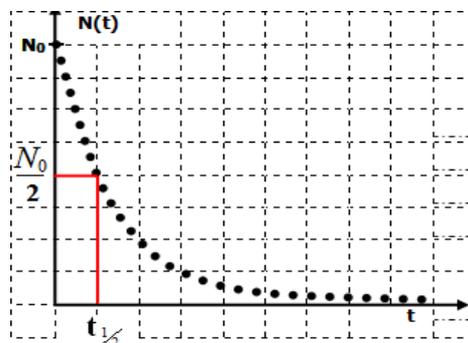
$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

La demi-vie est une constante caractéristique d'un élément radioactif.

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}} \Leftrightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\ln(2) = -\lambda \cdot t_{1/2} \Leftrightarrow$$

$$\text{on obtient : } \lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$



5- Activité d'un échantillon radioactif

5-1- Définition

L'activité $a(t)$ d'une source contenant N noyaux radioactifs à la date t est égale au nombre de noyaux qui se désintègrent chaque seconde. $a(t) = -\frac{dN}{dt}$.

- ⇒ L'activité se mesure en becquerel Bq, (**un becquerel** correspond à une désintégration par seconde).
- ⇒ C'est une unité très petite, aussi utilise-t-on souvent des multiples : $1\text{MBq}=10^3\text{Bq}$

autre unité Curie : $1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Bq}$

5-2- Évolution de l'activité

⇒ On a

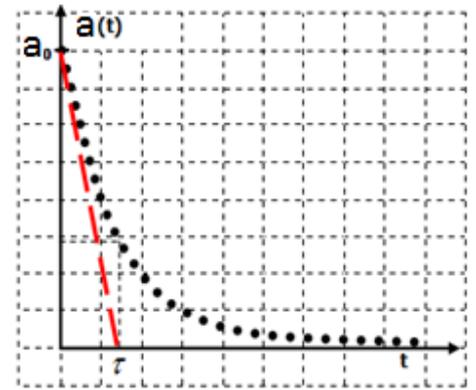
$$a(t) = -\frac{dN}{dt} = -(-\lambda \cdot N(t)) = \lambda \cdot N(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = a_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\Leftrightarrow a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

avec $a_0 = \lambda \cdot N_0$ activité initiale de l'échantillon.

⇒ On peut également exprimer l'activité en fonction de la demi-vie

$$a(t) = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \cdot N(t) \quad \Leftrightarrow \quad a_0 = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \cdot N_0$$



$$\text{si } t = \tau \text{ alors } a(\tau) = 0,37 \cdot a_0$$

$$\text{si } t = \tau \text{ alors } a(t_{1/2}) = 0,5 \cdot a_0$$

Exemple

Source	Activité Bq
1 L d'eau minérale ou d'eau de mer	10
1 L de lait	80
1 kg de poisson	100
1 homme de 70 kg	10 000

Remarque : On détecte la radioactivité avec un Geiger.

V- Application de la radioactivité à la datation :

1- Principe

Pour les objets issus du monde vivant l'échange dynamique entre certains organismes vivants et leur milieu extérieur (ex : le carbone 14, le potassium 40 ...) maintenant constant le nombre de noyaux radioactifs dans l'organisme. À leur mort, les échanges n'ont plus lieu et on observe une décroissance qui suit la loi exponentielle.

Remarque :

-Il faut tout d'abord estimé l'âge de l'échantillon à dater, pour choisir un élément radioactif dont la demi-vie est en rapport avec cet âge. Car au bout de $10 \times t_{1/2}$, on considère que les noyaux radioactifs sont tous désintégrés.

2- Datation au carbone 14

⇒ Isotope radioactif du carbone, le « carbone 14 » noté ^{14}C est formé continuellement dans la haute atmosphère par réaction nucléaire de neutron cosmiques avec des noyaux d'azote

⇒ La proportion de carbone 14 par rapport au carbone 12 est identique dans les tissus vivants (échange de carbone par respiration ...avec le milieu extérieur)

- Pendant toute leur vie, la proportion de carbone 14 reste constante .

- A leur mort, la quantité de carbone 14 décroît par radioactivité β^- .

- Il est alors possible de déterminer la date de la mort en mesurant la quantité de carbone 14 restant dans l'échantillon à étudier et en le comparant à la quantité de carbone 14 présent dans un échantillon de même nature, mais vivant.

$$\text{donc l'âge : } t = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln\left(\frac{a_{\text{mort}}}{a_{\text{vivant}}}\right) = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \cdot \ln\left(\frac{a_{\text{mort}}}{a_{\text{vivant}}}\right)$$

Comment se protéger de chaque type de rayonnement ?

⇒ Les rayons alpha ,très peu pénétrants, sont arrêtés par une feuille de papier ou par les couches superficielles de la peau.

⇒ Les rayons bêta moyennement pénétrants peuvent traverser les couches superficielles de la peau mais sont arrêtés par quelques millimètres de métal.

⇒ Les rayons gamma sont très énergétiques et donc très pénétrants: pour arrêter certains d'entre eux, plusieurs dizaines de centimètres de plomb ou plusieurs mètres de béton sont nécessaires.

Connaissances - Compétences

- Connaître la signification du symbole A_ZX et donner la composition du noyau correspondant.
- Définir l'isotopie et reconnaître des isotopes.
- Reconnaître les domaines de stabilité et d'instabilité des noyaux sur un diagramme (N,Z).
- Définir un noyau radioactif.
- Connaître et utiliser les lois de conservation.
- Définir la radioactivité α , β^- , β^+ , l'émission γ et écrire l'équation d'une réaction nucléaire pour une émission α , β^- ou β^+ en appliquant les lois de conservation.
- À partir de l'équation d'une réaction nucléaire, reconnaître le type de radioactivité.
- Connaître l'expression de la loi de décroissance et exploiter la courbe de décroissance.
- Savoir que 1 Bq est égal à une désintégration par seconde.
- Connaître la définition de la constante de temps et du temps de demi-vie.
- Utiliser les relations entre λ et $t_{1/2}$.
- Expliquer le principe de la datation, le choix du radioélément et dater un événement.