

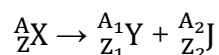
Chapitre III

Radioactivité – Réactions nucléaires

Loi de conservation

Les réactions nucléaires doivent obéir aux lois de conservation ou loi de Soddy et Fajans.

Donnons l'exemple d'une réaction :



- Conservation du nombre total de nucléons (A) : $A = A_1 + A_2$
- Conservation du nombre de charge (Z) : $Z = Z_1 + Z_2$

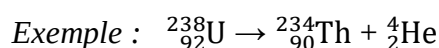
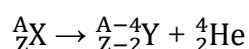
1. Radioactivité naturelle (Rayonnement α , β et γ) :

Il existe certains noyaux qui sont capables de se désintégrer spontanément en expulsant d'autres constituants pour donner naissance à des noyaux plus stables. Il s'agit de la radioactivité naturelle. Il en existe trois formes :

1.1. Emission α :

La particule α est émise généralement par des nucléides lourds ($Z > 83$). Cette particule est le noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ éjectée par la substance radioactivité.

L'équation nucléaire générale d'une émission α est :

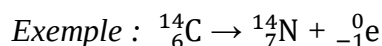
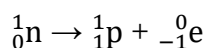


Uranium Thorium Hélium

1.2. Rayonnement β :**1.2.1. Rayonnement β^- :**

Ce rayonnement concerne les isotopes qui possèdent un excès de neutrons. Ce genre d'isotopes cherche à se stabiliser en augmentant le nombre de protons et en diminuant le nombre de neutrons. On peut considérer que pour de tels nucléides un neutron se transforme en proton et la charge positive du noyau va augmenter. Ceci n'est possible qu'à condition qu'une charge négative soit éjectée du noyau : c'est l'électron.

La réaction de transformation du neutron en proton s'écrit :

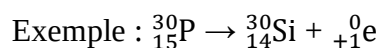
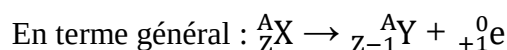
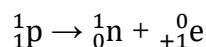


Le nombre de masse du noyau émetteur est le même que celui du noyau formé, tandis que le nombre de charge augmente d'une unité : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0\text{e}$

1.2.2. Rayonnement β^+ :

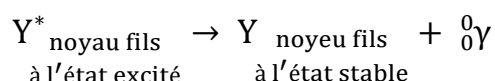
Cette forme de radioactivité concerne les isotopes instables qui possèdent un excès de protons. Ils cherchent à devenir stables en augmentant le nombre de neutrons et en diminuant le nombre de protons. De tels nucléides transforment un neutron en proton en émettant un positon ${}_{+1}^0\text{e}$. Le positon est l'antiparticule de l'électron et possède la même masse mais de charge opposée.

Proton $\rightarrow$ Neutron + Positon



1.3. Rayonnement γ :

Ces particules sont neutres de charge et se propagent en ondes électromagnétiques. Un noyau est caractérisé par un état énergétique fondamental. Lors d'une désintégration α ou β , le noyau formé passe par un état excité avant d'atteindre l'état fondamental. Ce passage de l'état excité à l'état fondamental ou bien de réarrangement du noyau libère l'excès d'énergie sous forme de rayon γ en même temps que les particules α ou β . Ce sont donc des photons très énergétiques. L'émission γ ne change rien dans la quantité de protons, ni d'ailleurs dans le nombre de neutrons (A et Z restent inchangés).



Remarque :

Le pouvoir pénétrant des rayonnements α , β et γ est différent. Une feuille de papier suffit pour bloquer une particule α tandis qu'une feuille de plomb d'épaisseur 0,35 mm est suffisante pour bloquer une particule β . Cependant, il faudra une épaisseur de 100 mm de Pb pour bloquer une particule γ .

2. Radioactivité artificielle et les réactions nucléaires :

Contrairement à la radioactivité naturelle, la radioactivité artificielle est provoquée par l'homme. Il s'agit d'une réaction nucléaire qui se réalise suite au choc entre des noyaux « cibles » et des particules extérieures convenables « projectiles » telles que les protons (${}^1_1\text{p}$ ou ${}^1_1\text{H}$), les neutrons (${}^1_0\text{n}$), le deutérium (${}^2_1\text{d}$ ou ${}^2_1\text{H}$), les électrons (${}^0_{-1}\text{e}$), la particule α (${}^4_2\text{He}$), ...etc.

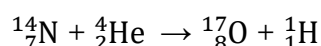
Ces réactions nucléaires se subdivisent en trois groupes :

- Transmutation nucléaire
- Fission nucléaire
- Fusion nucléaire

La différence entre ces trois réactions est liée à la nature du noyau cible et du projectile.

2.1. Transmutation nucléaire :

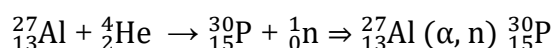
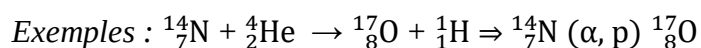
Les particules de bombardement utilisées (projectiles) sont l'hélium ${}^4_2\text{He}$ (α), les protons (${}^1_1\text{p}$ ou ${}^1_1\text{H}$) ou deutérium (${}^2_1\text{d}$ ou ${}^2_1\text{H}$). Le nucléide formé a une masse égale ou voisine de celle du noyau cible (le nombre de masse ne change pratiquement pas ou très peu). Le noyau formé peut être stable ou lui-même radioactif.



Noyau cible + Projectile $\rightarrow$ Particule éjectée + Noyau formée

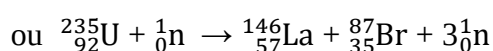
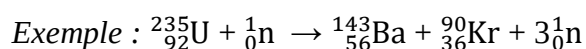
Les réactions nucléaires sont représentées comme suit :

Noyau initial (Projectile, particule éjectée) noyau formé final



2.2. Fission nucléaire :

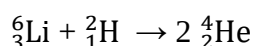
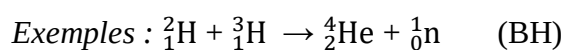
La fission concerne les éléments lourds ($A > 200$) qui se désintègrent pour donner des atomes plus légers ($72 < A < 162$) et des neutrons. Ces derniers peuvent bombarder d'autres noyaux voisins et provoquer leur fission : c'est la réaction nucléaire en chaîne.



Il y a lieu de noter que chaque fission libère une énergie considérable, plus de 12 fois l'énergie libérée par une réaction de transmutation normale (la fission de 1 Kg d'uranium 235 libère autant d'énergie que celle de l'explosion de 12000 tonnes de dynamites). Si aucune précaution particulière n'est prise, la réaction de fission devient explosive. C'est le principe de la bombe atomique. Lorsque la réaction est contrôlée, l'énergie est libérée assez lentement pour être employée. C'est le principe des réactions nucléaires.

2.3. Fusion nucléaire :

Ce type de réactions se base sur la fusion des nucléides légers pour former des nucléides plus lourds.



Les réactions de fusion libèrent des quantités d'énergie considérables. Cette sorte de réaction est à l'origine de l'énergie des étoiles et c'est aussi la réaction utilisée dans les bombes à hydrogène (BH).

3. Cinétique de la désintégration radioactive :

3.1. Aspect énergétique :

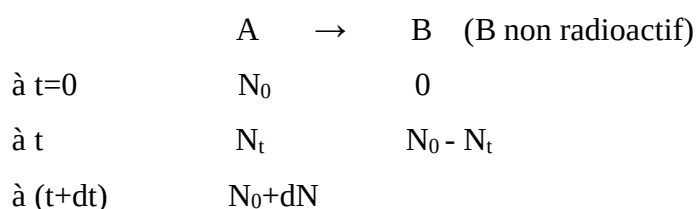
Le nombre total de nucléons et la charge globale sont conservés dans les réactions nucléaires. Cependant, la masse ne l'est pas. Au contraire, les transmutations radioactives s'accompagnent toujours d'une perte de masse Δm correspondant à la libération d'une quantité d'énergie donnée par la relation d'Einstein : $\Delta E = \Delta m \cdot C^2$.

Cette énergie libérée (signe -) sert à accélérer les particules α émises

3.2. Aspect cinétique (Loi de décroissance radioactive) :

La cinétique de désintégration s'applique aussi bien, à la désintégration radioactive naturelle qu'à la désintégration radioactive artificielle. Elle ne dépend ni de la température, ni de la combinaison chimique dans laquelle se trouve l'élément radioactif. Le seul facteur qui influe est le temps. La désintégration des noyaux radioactifs suit la loi de décroissance radioactive établie expérimentalement par Rutherford et Soddy en 1902.

Soit la réaction de désintégration :



Expérimentalement, on peut compter le nombre de particules émises par unité de temps. Ce nombre est égal à $-\frac{dN}{dt}$:

dN : représente la variation du nombre de noyaux radioactifs A pendant le temps dt . Comme il s'agit d'une diminution $dn < 0$.

N : désigne le nombre de noyaux instables présents dans l'échantillon à l'instant t .

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

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N : \text{exprimée en dps, dpm, ...}$$

Où λ est une constante radioactive ou de désintégration.

Elle est exprimée en s^{-1} , min^{-1} , h^{-1} , ... et elle varie avec la nature du radioactif.

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N : \text{A } t=0 : N = N_0, \text{ à } t \neq 0 : N = N_t$$

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

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda dt$$

$$\Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t} : \text{Loi de désintégration radioactive}$$

Remarque : Le nombre N de noyaux radioactifs décroît exponentiellement avec le temps.

a. Activité radioactive :

C'est le nombre de désintégration par unité de temps :

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

L'activité ne dépend ni de la nature, ni de l'énergie des particules émises. Elle peut s'exprimer en :

- Désintégration par seconde (d.p.s)
- Désintégration par minute (d.p.m)
- Curie (1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ dps)

Remarque :

Le curie est le nombre de désintégration par seconde et par gramme de Radium (^{226}Ra). On sait que sa période de désintégration est $T = 1590$ années.

b. Période radioactive ou « demi-vie radioactive » :

On caractérise généralement un élément radioactif par sa période (T) ou temps de demi-vie ($t_{1/2}$). Il est défini comme étant le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux radioactifs.

$$t=0 : N = N_0$$

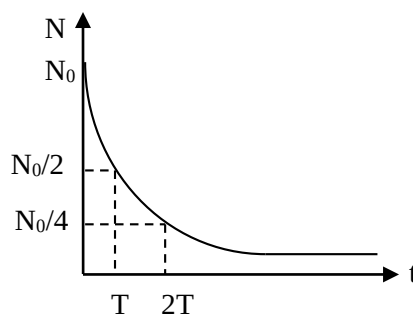
$$t=T : N = N_0/2$$

$$\text{On a : } N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{A } t=T : \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

$$\Rightarrow -\lambda T = \ln \frac{1}{2} = -\ln 2$$

$$\Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$



❖ Equilibre radioactif :

- Cas : $A \rightarrow B$ (B n'est pas radioactif)

$$\text{A l'équilibre : } A_A = A_B \Rightarrow \lambda_A N_A = \lambda_B N_B$$

- Cas : $A \rightarrow B^*$ (B est radioactif) $\rightarrow C$ (C est stable)

$$N_A = N_{A0} e^{-\lambda_A t}$$

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B \text{ soit } \frac{dN_B}{dt} + \lambda_B N_B = \lambda_A N_A = \lambda_A N_{A0} e^{-\lambda_A t}$$

C'est une différentielle du 1^{er} ordre avec un second membre qui conduit au nombre de noyaux de (B) présents à l'instant :

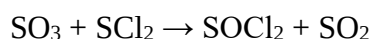
$$N_B = N_{A0} \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{\lambda_A t} - e^{\lambda_B t})$$

4. Application de la radioactivité :

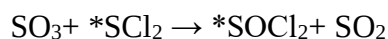
a. Traceurs :

En chimie : certains radio-isotopes (^{14}C , ^3H , ^{18}O ,...etc) sont employés comme traceurs introduits dans une molécule à la place d'un atome déterminé de l'isotope naturel (^{12}C , ^1H , ^{16}O ,...etc) afin de détailler le mécanisme d'une réaction donnée. Ils peuvent être suivis grâce à leur rayonnement.

Exemple :



Afin de déterminer d'où vient le soufre SO_2 formé (est-ce du SO_3 ou SCl_2), on utilise la technique du traceur à l'aide du soufre radioactif ^{35}S .



En biologie : Dans les réactions biochimiques, les plantes absorbent le gaz carbonique CO_2 et l'eau H_2O et rejettent l'oxygène O_2 . Pour savoir si cet oxygène est issu du CO_2 ou H_2O , on

utilise la technique du traceur en marquant le dioxyde de carbone CO_2^* par l'oxygène ^{18}O et on constate que l'oxygène rejeté par les plantes n'est pas marqué. De ce fait, l'oxygène proviendrait donc de l'eau.

En médecine : On emploie des radioéléments comme traceurs, pour suivre le chemin de circulation dans le corps et les endroits où il se concentre. On peut, par exemple, suivre l'absorption de l'iode ^{131}I , sa concentration dans la glande thyroïde et même son élimination. Le ^{131}I diminue l'hyperactivité de la thyroïde et permet donc le traitement des goîtres exophtalmiques.

b. Armes nucléaires :

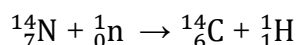
La radioactivité peut, malheureusement, être utilisée à des fins destructives tels : missiles nucléaires, bombes atomiques, bombe à hydrogène et bombe à neutron.

c. Source d'énergie :

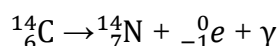
La radioactivité peut être utilisée dans la production de l'électricité (les piles atomiques).

d. Datation d'échantillons anciens :

L'utilisation de ^{14}C radioactif permet de déterminer l'âge des pièces archéologiques qui remontent à 1000 voire 30000 ans. Cet élément radioactif est produit de manière continue dans l'atmosphère par l'action de neutrons provenant des rayons cosmiques sur l'azote ^{14}N selon la réaction :



Par la suite, le ^{14}C s'oxyde en CO_2 et est ensuite absorbé par les plantes par photosynthèse. Sa concentration reste constante mais quand la plante meurt, $[^{14}\text{C}]$ décroît à cause de la désintégration selon la réaction :



L'activité de ^{14}C est de 15,3 d.p.m et par gramme de C et la période de désintégration est de 5730 ans.