Décoissance radioactive

I-Le noyau atomique:

1) Les constituants du noyau atomique :

Le noyau atomique est composé de protons et de neutrons, ces constituants du noyau s'appellent **les nucléons**.
Le proton a une charge positive appelée charge élémentaire: $q_p=+e=+1,6.10^{-19}$C., sa masse : $m_p=1,6726.10^{-27}$kg..
Le neutron est électriquement neutre (il n'a pas de charge électrique). ($q_n=0$). ,sa masse : $m_n=1,6750.10^{-27}$kg.

2) Représentation symbolique du noyau atomique :

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

$^{A}_{Z}X$	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.

Exemple : Donner la composition du noyau dans chacun des cas suivants: $^{238}_{92}U$, $^{24}_{11}Na$, $^{35}_{17}Cl$

Réponses: $^{35}_{17}Cl$ se compose de 35 nucléons (17 protons+18 neutrons)

$^{24}_{11}Na$ se compose de 24 nucléons (11 protons+13neutrons)

$^{238}_{92}U$ se compose de 238 nucléons (92 protons+146 neutrons)

3) Le nucléide :

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

Exemples : $^{98}_{42}Mo$ et $^{98}_{43}Tc$: sont deux nucléides différents malgré qu'ils ont même nombre de nucléons.

$^{235}_{92}U$ et $^{238}_{92}U$: sont deux nucléides différents malgré qu'ils ont même nombre de protons.

Un nucléide *X* est donc un noyau caractérisé par son nombre de masse A et son numéro atomique il est noté: $^{A}_{Z}X$.

4) Les isotopes d'un élément chimique :

Les isotopes d'un élément chimique sont les nucléides d'un même élément chimique qui ont le même numéro atomique Z mais ils diffèrent par leur nombre de masse A : (ils n'ont pas le même nombre de neutrons).

Exemples

Le carbone possède trois isotopes: $^{14}_{6}C$ et $^{13}_{6}C$, $^{12}_{6}C$ qui possèdent tous 6 protons mais leurs nombres de neutrons diffèrent :

l'isotope : $^{14}_{6}C$: a 8 neutrons et : $^{13}_{6}C$: a 7 neutrons , alors que : $^{12}_{6}C$: a 6 neutrons

Les isotopes diffèrent aussi par leur abondance dans la nature:

Exemple:

l'isotope	$^{16}_{8}O$	$^{17}_{8}O$	$^{18}_{8}O$
% abondance	99,759	0 ,037	0,204

5) Densité de la matrière nucléaire :

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

$$r = r_o A^{\frac{1}{3}} \qquad r_o = 1,2\times10^{-15}\,m$$

La masse approchée d'un nucléon est : $m_n \approx 1,7\times10^{-27}\,Kg$

La valeur approchée de la masse volumique du noyau atomique:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{m_n\times A}{\frac{4}{3}\pi.r^3} = \frac{3.m_n.A}{4\pi.r_o^{\,3}.A} = \frac{3.m_n}{4\pi.r_o^{\,3}} = \frac{3\times1,7.10^{-27}}{4.\pi.(1,2.10^{-15})^3} \approx 2.10^{17}\,Kg/m^3 \qquad \text{soit:} \qquad \rho = 2.10^{8}\,tonnes/cm^3$$

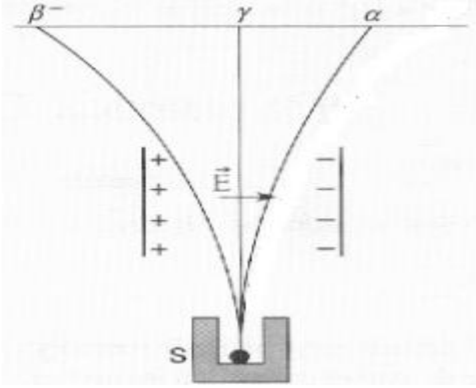
La masse de 1cm^3 de la matière nucléaire est 200 millions tonnes, par conséquence la matière nucléaire est extrêmement dense.

II-Stabilité et instabilité des noyaux atomiques:

1) La découverte de la radioactivité :

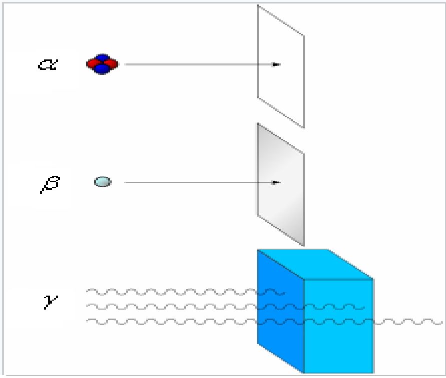
La radioactivité naturelle a été découverte par Becquerel en 1896, il remarqua qu'une plaque photographique mise au voisinage de sels d'uranium avait été impressionnée sans avoir été exposée à la lumière du soleil .Il en conclut que l'uranium émet des rayonnements invisibles capables d'impressionner la plaque photographique.

Ensuite on a pu identifier les types rayonnements naturels émis par la matière radioactive à l'aide champ électrique:



Il existe trois types de rayonnements naturels issus de la matière radioactive: les rayons α , les rayons β^- et les rayons γ .

- **Les rayons alpha** sont des particules matérielles de charges positives, ce sont des noyaux d'hélium, ils peuvent être arrêtés par une feuille de papier .Chaque particule alpha porte une charge positive: $q = +2.e = +2 \times 1{,}6.10^{-19} C$
- **Les rayons bêta moins** sont des électrons, ils sont plus pénétrants que les rayons alpha ,on a besoin d'une plaque d'aluminium de quelques millimètres ou de verre pour les arrêter.
- **les rayons gamma** : sont des ondes électromagnétiques très énergétiques, ils ont la vitesse de lumière et une grande capacité de pénétration, pour les arrêter on a besoin d'un mur de béton ou de plomb.

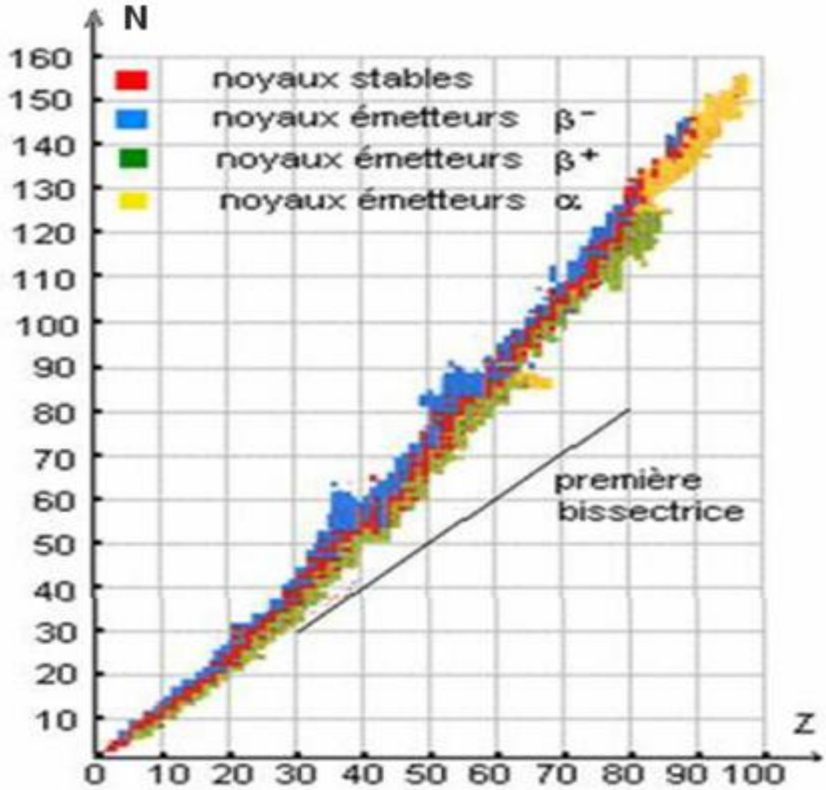


2) Définition de la radioactivité :

La radioactivité est la transformation spontanée d’un noyau atomique instable en un autre plus stable avec émission d'un rayonnement.,cette transformation s'appelle: “La désintégration radioactive”

3) Diagramme de Segré :

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



- Les isotopes d'un même élément chimique se trouvent sur la même ligne parallèle à l'axe des ordonnées.
- N et Z sont presque égaux pour les noyaux légers.
- Lorsque Z augmente, le nombre de neutrons N devient supérieur à Z et la zone de stabilité se décale au dessus de la bissectrice N=Z et aussi la position des noyaux instables et pour que ces derniers reviennent à la zone de stabilité ils émettent un rayonnement α ou β^- ou γ .

III-Transformations nucléaires spontannées :

1) La loi de conservation 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:

$$\boxed{{}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{A_2}_{Z_2}p}$$

X : le noyau père,
Y : le noyau fils
p : la particule émise par la désintégration.

Conservation des nucléons : $A = A_1 + A_2$

Conservation du nombre de charge: $Z = Z_1 + Z_2$

2) Les différents types de radioactivités :

a) Radioactivité α

La radioactivité α est une désintégration nucléaire naturelle, spontanée au cours de laquelle un noyau père ${}^{A}_{Z}X$ instable se transforme en un noyau fils ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ plus stable avec émission d'une particule α .

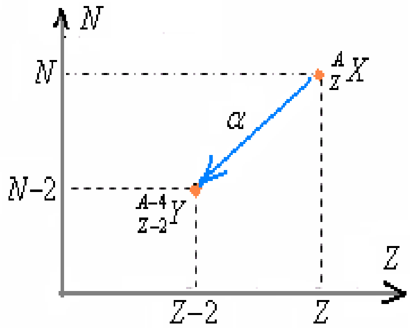
Remarque: La radioactivité α ne concerne que les noyaux lourds dont le nombre de masse: A>*200*.

Equation de désintégration α : $\boxed{{}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He}$

Exemple 1: désintégration de l'uranium 238 au thorium234 : ${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{234}_{90}Th$

Exemple 2: désintégration du radium226 au radon222: ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$

Regardons comment se déplace un nucléide dans le diagramme de Segré après l'émissions d'une particule alpha:



b) Radioactivité β^-

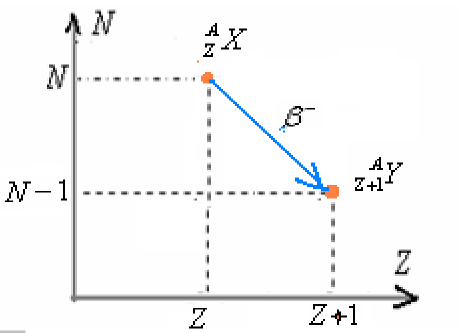
La radioactivité β^- est une désintégration nucléaire naturelle, spontanée au cours de laquelle un noyau père ${}^{A}_{Z}X$ instable se transforme en un noyau fils ${}_{Z+1}^{A}Y$ plus stable avec émission d'un électron ${}^{0}_{-1}e$ appelé particule plus stable β^- .

Equation de désintégration β^-: $\boxed{{}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e}$

- Exemple: le cobalt ${}^{60}_{27}Co$ est radioactif β^- il se transforme en nickel, son équation de désintégration est: ${}^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}e$
- Mécanisme : La radioactivité bêta-moins est due à la transformation d'un neutron en un proton dans le noyau:

$${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e$$

Regardons comment se déplace un nucléide dans le diagramme de Segré après l'émissions d'une particule **:** β^-



c) Radioactivité β^+

La radioactivité β^+ est une désintégration nucléaire spontanée qu' on trouve chez les noyaux artificiels au cours de laquelle un père noyau ${}^{A}_{Z}X$ instable se transforme en un noyau fils ${}_{Z-1}^{A}Y$ plus stable avec émission d'un positron ${}^{0}_{+1}e$ appelé particule β^+

Remarque: La radioactivité β^+ ne concerne que les nucléides artificiels.

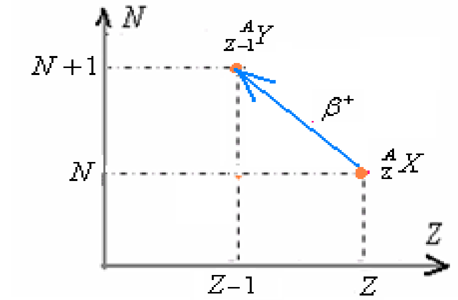
Equation de désintégration β^+: $\boxed{{}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e}$

Exemple: désintégration du phosphore (artificiel) en silicium : ${}^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{+1}e$

Mécanisme : La radioactivité bêta-plus est due à la transformation d'un proton en neutron dans le noyau:

$${}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e$$

Regardons comment se déplace un nucléide dans le diagramme de Segré après l'émissions d'une particule : β^+



d) Radioactivité γ

La désintégration gamma est une désintégration nucléaire naturelle, spontanée qui accompagne les radioactivités β^+, β^-, α .

En effet , lors des désintégrations β^+ ou β^-, α si le noyau fils est à l'état excité on le note : $^{A'}_{Z'}Y^*$,ce noyau instable perd son excitation en émettant un rayonnement gamma pour se transformer en un noyau : $^{A'}_{Z'}Y$ plus stable.

Equation de désintégration γ : $\boxed{^{A'}_{Z'}Y^* \longrightarrow \,^{A'}_{Z'}Y + \gamma}$

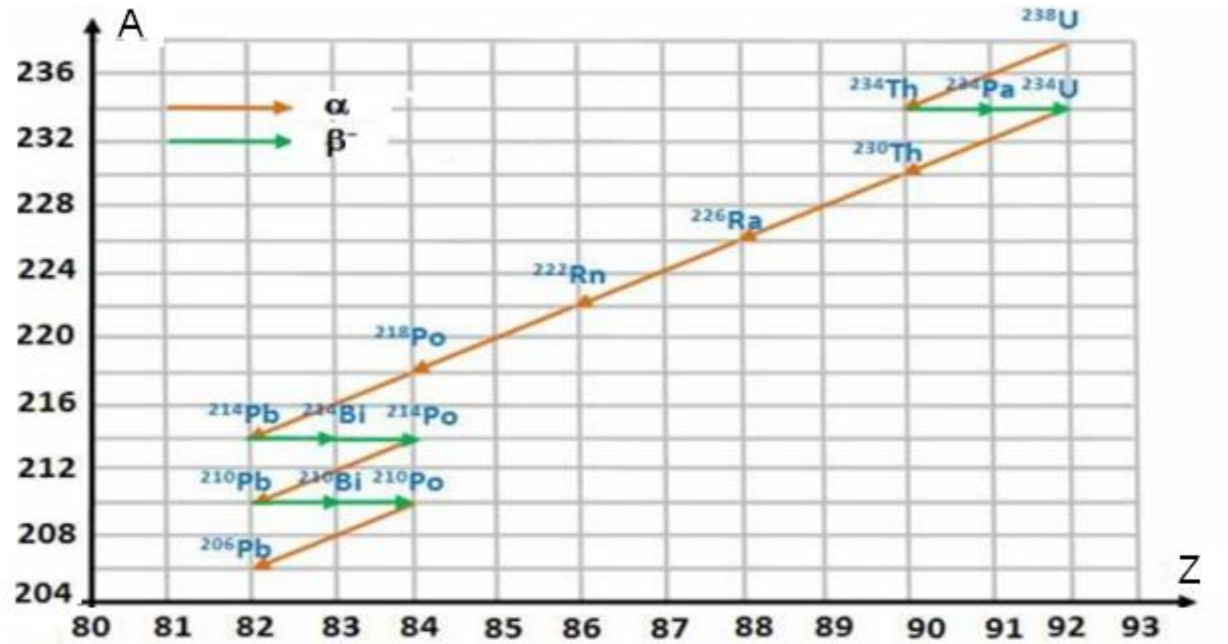
Exemple: $^{16}_{7}N \to ^{16}_{8}O^* + ^{0}_{-1}e$ C'est une désintégration β^- mais le noyau fils n'est pas stable.

$^{16}_{8}O^* \to ^{16}_{8}O + \gamma$ il perd son excitation en émettant le rayonnement γ.

3) La famille radioactive :

Une famille radioactive est une suite de nucléides descendant d'un même noyau père par une suite de désintégrations successives jusqu'à l'obtention d'un noyau stable

Exemple : la famille radioactive de l'uranium : $^{238}_{92}U$



IV-Décroissance radioactive:

1) Evolution de la matière radioactive-Loi de décroissance radioactive:

La radioactivité est un phénomène spontané aléatoire, on ne peut pas prévoir l'instant de la disintegration et le nombre de noyaux non désintégrés d'un échantillon radioactif suit la loi de décroissance radioactive suivante:

$$N(t) = N_o.e^{-\lambda.t}$$

$N(t)$: Nombre de noyaux de l'échantillon radioactif restants à l'instant t (non désintégrés).

N_o : Nombre initial de noyaux de l'échantillon radioactif.

λ : Constante radioactive, son unité dans le SI est: (s^{-1}) .

Remarque : La constante de temps : $\tau = \frac{1}{\lambda}$ est un temps qui caractérise la substance radioactive.

2) La demi-vie d'une substance radioactive:

La demi-vie d'une substance radioactive est le temps mis pour perdre la moitié des noyaux N_o de cette substance initialement présents (à la date t=0).

D'après la loi de décroissance radioactive, le nombre de noyaux restants à l'instant est : $N(t) = N_o.e^{-\lambda.t}$ (1)

le nombre de noyaux restants à $t=t_{1/2}$: $n(t_{1/2}) = \frac{N_o}{2}$ en remplaçant dans (1) $\frac{N_O}{2} = N_O e^{-\lambda . t_{1/2}}$ donc : $\frac{1}{2} = e^{-\lambda . t_{1/2}}$

$\Rightarrow \quad \ln(\frac{1}{2}) = \ln e^{-\lambda . t_{1/2}} \quad \Rightarrow \quad -\ln 2 = -\lambda . t_{1/2}$ d'où: $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ **demi-vie d'une substance radioactive**

Remarque : On peut exprimer la demi-vie en fonction de la constante de temps.

Or de **la constante de temps**: $\tau = \frac{1}{\lambda}$ on a donc : $t_{1/2} = \tau . \ln 2$

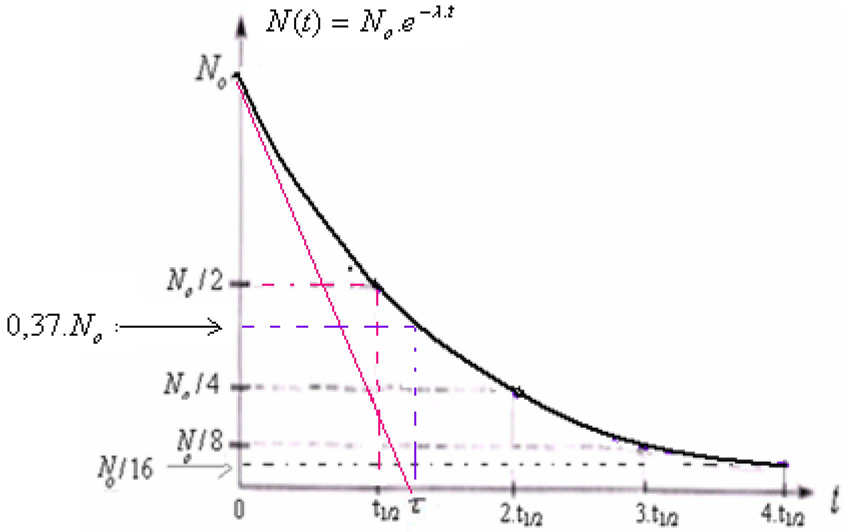
3) Tracé de la courbe qui représente la variation de N(t) en fonction du temps:

Pour tracer la courbe : $N(t) = N_o . e^{-\lambda . t}$, considérons des instants multiples de la demi-vie : $t=n.t_{1/2}$ donc :

$N(t) = N_o . e^{-\lambda \times n \times t_{1/2}}$ avec : $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$ donc: $N(t) = N_o . e^{-(\frac{\ln 2}{t_{1/2}}) . n . t_{1/2}} = N_o . e^{-n . (\ln 2)} = N_o . e^{n . \ln \frac{1}{2}} = N_o . e^{\ln \frac{1}{2^n}} = N_o \times \frac{1}{2^n} = \frac{N_o}{2^n}$

On a donc pour des instants : $t=n.t_{1/2}$ $\boxed{N(t) = N_o . e^{-\lambda . t} = \frac{N_o}{2^n}}$

-pour n=0 , t=0 on a: $N(t) = N_o$
-pour n=1 , $t=t_{1/2}$ on a: $N(t) = N_o / 2$
-pour n=2 , $t=2.t_{1/2}$ on a: $N(t) = N_o / 4$
-pour n=3 , $t=3.t_{1/2}$ on a: $N(t) = N_o / 8$
-pour n=4 , $t=4.t_{1/2}$ on a: $N(t) = N_o / 16$



à $t = \tau$ on a :

V-Activité d'un échantion radioactif:

1) Définition :

On appelle activité d'un échantillon radioactif, le nombre de désintégrations qu'il produits par seconde.

$$a_{(t)} = -\frac{dN_{(t)}}{dt}$$

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**.

Or : $N_{(t)} = N_O e^{-\lambda . t}$ donc: $a_{(t)} = -\frac{dN}{dt} = -\frac{d(N_O e^{-\lambda . t})}{dt} = -N_O \frac{d(e^{-\lambda . t})}{dt} = \lambda N_O . e^{-\lambda . t} = \lambda . N_{(t)}$

d'où: $a_{(t)} = \lambda . N_{(t)}$ (a) , à t=0 on a : $a_o = \lambda . N_o$

La relation (a) devient : $a_{(t)} = \lambda . N_{(t)} = \lambda . N_o . e^{-\lambda . t} = a_o . e^{-\lambda . t}$

En conclusion l'activité est donnée par l'une des relations suivantes:

$$\boxed{\begin{array}{l} a_{(t)} = \lambda . N_{(t)} \\ a_{(t)} = a_o . e^{-\lambda . t} \end{array}} \quad avec : \quad N_{(t)} = N_o . e^{-\lambda . t} \quad \text{et} \quad a_o = \lambda . N_o$$

a(t):activité à un instant t
a_o: activité à l'instant t=o.
λ : Constate radioactive en s^{-1}

2) Datation par 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_o d'un échantillon vivant de même nature.

-Et en utilisant la relation : $a_{(t)} = a_{o.}e^{-\lambda.t}$ $\Rightarrow$ $\frac{a_{(t)}}{a_o} = e^{-\lambda.t}$ $\Rightarrow$ $\ln\frac{a_{(t)}}{a_o} = -\lambda.t$

donc : $t = \frac{-\ln\frac{a(t)}{a_o}}{\ln 2} \times t_{1/2}$

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.

1ère remarque:

En physique nucléaire le noyau atomique (ou nucléide) est symbolisée par

$${}_Z^A\mathbf{X}.$$

A: **représente la masse molaire** de ${}_Z^AX$

Ex: pour le nucléide ${}_{11}^{24}Na$: la masse molaire :, $M({}_{11}^{24}Na) = 24\,g/mol$

pour le nucléide ${}_{92}^{238}U$ la masse molaire : $M({}_{92}^{238}U) = 238\,g/mol$

2ème remarque:

Or la quantité de matière est donnée par l'une des deux relations suivantes:

$$\begin{cases} n = \frac{m}{M} \\ n = \frac{N}{N_A} \end{cases} \Longrightarrow \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \quad \text{donc : } N = \frac{m}{M} \times N_A$$

On peut montrer que : $\boxed{m_{(t)} = m_0 e^{-\lambda t}}$ et que : $\boxed{n_{(t)} = n_0 e^{-\lambda t}}$

En effet , nous savons que : $N(t) = N_o.e^{-\lambda.t}$ avec: $N_{(t)} = \frac{m_{(t)}}{M} \times N_A$ et: $N_o = \frac{m_o}{M} \times N_A$

donc: $\frac{m_{(t)}}{M} \times N_A = \frac{m_o}{M} \times N_A.e^{-\lambda.t}$ $\Rightarrow$ $m_{(t)} = m_o.e^{-\lambda.t}$ en divisant les deux membres de cette égalité par M

on obtient: $n_{(t)} = n_o.e^{-\lambda.t}$

Donc la loi de décroissance radioactive s'applique aussi sur la masse et la quantité de matière radioactive.

Quelques rappels mathématiques concernant la fonction exponentielle

f(x)=e^x   D_f = ℜ

$e^0 = 1$

$e^1 = e$

$e^{a+b} = e^a \times e^b$

$(e^a)^b = e^{a.b}$

$\frac{e^a}{e^b} = e^{a-b}$

$\frac{1}{e^a} = e^{-a}$

$(e^{a.x})' = a.e^{a.x}$

Quelques rappels mathématiques concernant la fonction logarithme népérien

f(x)= ln x   D_f =]0 , +∞]

$\ln 1 = 0$

$\ln(a.b) = \ln a + \ln b$

$\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln a - \ln b$

$\ln\left(\frac{1}{a}\right) = -\ln a$

$\ln x^n = n.\ln x$ pour tout $x>0$

$\ln\sqrt{x} = \frac{1}{2}.\ln x$ pour tout $x>0$

La fonction logarithme népérien est la réciproque de la fonction exponentielle:

On a : $f^{-1}(f(x)) = x$ **par conséquence :** pour tout $x \in R$: $\ln(e^x) = x$

pour tout $x>0$: $e^{\ln x} = x$

SBIRO Abdelkrim lundi 29 octobre 2018 sbiabdou@yahoo.fr
