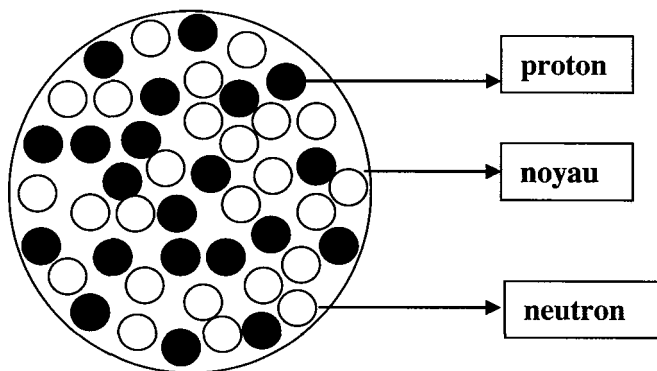


A - Le noyau atomique et sa représentation symbolique

® Constitution du noyau .

Les constituants du noyau atomique sont les protons et les neutrons : on les appelle nucléons .



Le nombre de nucléons d'un noyau porte le nom de **nombre de masse** ; on le symbolise par **A** .

A : nombre de masse

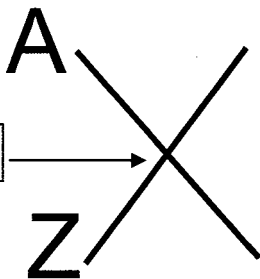
A = nombre de nucléons
= protons + neutrons

X : symbole de l'élément chimique

Z : nombre de charge

Ou numéro atomique

Z = nombre de protons



Représentation symbolique d'un noyau atomique ou nucléide

Le nombre de protons d'un noyau est désigné par **Z** qui s'appelle le **nombre de charge** (ou numéro atomique) du noyau .

Celui-ci représente également le nombre d'électrons de l'atome .

Le nombre de neutrons d'un noyau s'obtient par différence : $N = A - Z$.

La représentation symbolique d'un noyau est : ${}^A_Z X$.

® **Éléments , nucléides , isotopes** .

L'élément chimique :

Un élément chimique est l'ensemble des atomes caractérisés par une même valeur du nombre de charge Z .

L'ensemble des atomes pour lesquels $Z = 8$ constitue l'élément oxygène **O** ; le nombre de charge $Z = 6$ caractérise l'élément carbone **C** . Chaque élément chimique est désigné par un symbole ; il existe actuellement 109 éléments connus .

Le nucléide :

Un nucléide est l'ensemble des atomes caractérisés par des valeurs déterminées du nombre de charge Z et du nombre de masse A .

Exemples : ${}^1_1\text{H}$; ${}^{12}_6\text{C}$; ${}^{14}_7\text{N}$; ${}^{16}_8\text{O}$; ${}^{236}_{93}\text{U}$.

Les isotopes d'un élément :

Les isotopes d'un élément sont les nucléides caractérisés par une même valeur du nombre de charge Z .

Exemples : Les isotopes d'hydrogène :

${}^1_1\text{H}$; ${}^2_1\text{H}$ (noté D : deutérium) ; ${}^3_1\text{H}$ (noté T : tritium)

Les isotopes du carbone : ${}^{12}_6\text{C}$; ${}^{13}_6\text{C}$; ${}^{14}_6\text{C}$.

® **Les propriétés des nucléons et du noyau ; définition de l'unité de masse atomique** .

Le neutron est électriquement neutre .

Le proton est chargé positivement ; sa charge est égale à la charge élémentaire e . Soit : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Définition : L'unité de masse atomique u est la fraction $\frac{1}{12}$ de la

masse de l'atome de carbone ${}^{12}_6\text{C}$. Il vient donc :

$$1 u = \frac{1}{12} \times \frac{12 \cdot 10^{-3}}{N} = \frac{10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} .$$

$$m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,0072765 u$$

$$m_n = 1,67496 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,008665 u .$$

On constate que $m_p \approx m_n \approx 1 u$.

® **Le principe d'équivalence masse-énergie d'Albert Einstein .**

Dans sa théorie de la relativité restreinte (1905) , Albert Einstein a montré que la masse est une forme de l'énergie . Cela signifie que tout corps au repos dans un référentiel donné possède du seul fait de sa masse m , une énergie potentielle appelée énergie de masse donnée par la relation :

$E = mc^2$ où c est la célérité de la lumière dans le vide , $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.
C'est la fameuse relation d'Einstein traduisant l'équivalence entre masse et énergie .

® **Expressions des masses en MeV/c^2 .**

Raisonnons sur un proton .

Sa masse vaut : $m_p = 1,67.10^{-27} \text{ kg}$.

On peut calculer son énergie de masse en joules , puis en MeV .

$E = m_p.c^2 = 1,67.10^{-27} \times (3.10^8)^2$; soit : $E = 1,5.10^{-10} \text{ J}$.

Où , puisque $1 \text{ MeV} = 1,6.10^{-13} \text{ J}$: $E = 939 \text{ MeV}$.

Et , il est équivalent de dire que : $m_p.c^2 = 939 \text{ MeV}$,
ou que : $m_p = 939 \text{ MeV}/c^2$.

Les masses des particules peuvent être exprimées en MeV/c^2 .

Une particule dont la masse vaut $x \text{ MeV}/c^2$ possède une énergie de masse égale à $x \text{ MeV}$.

® **Le défaut de masse Δm d'un noyau atomique** est égal à la somme des masses de ses nucléons , pris séparément et au repos , diminué de la masse du noyau :

$$\Delta m \left({}^A_Z\text{X} \right) = Z.m_p + (A - Z).m_n - m_X .$$

La masse d'un noyau est toujours inférieure à la somme des masses des nucléons qui le constituent , pris séparément .

® **L'énergie de liaison d'un noyau , notée E_L** , est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau pris au repos pour le dissocier en nucléons isolés et immobiles .

L'énergie de liaison d'un noyau est une traduction énergétique de son défaut de masse : **$E_L = \Delta m.c^2 = [Z.m_p + (A - Z).m_n - m_X].c^2$** .

® L'énergie de liaison par nucléon d'un noyau A_ZX est

le quotient de l'énergie de liaison E_L par le nombre de masse A :

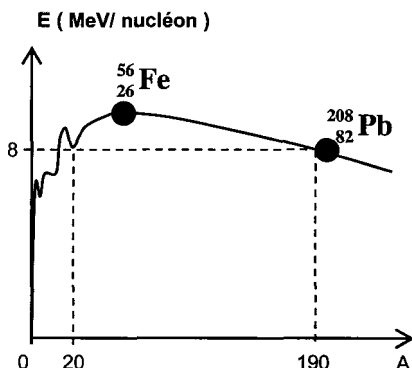
$$E = \frac{E_L}{A}$$

L'énergie de liaison par nucléon est l'énergie moyenne de liaison par nucléon. **La courbe d'Aston** permet d'illustrer la stabilité relative des noyaux.

Les noyaux lourds ($A > 180$) et les noyaux légers ($A < 20$) sont **instables**.

Les noyaux tels que : $20 < A < 180$ sont **stables**.

Les noyaux naturels les **plus stables** sont ceux de nombre de masse voisin de 60 : $7,8 \text{ MeV/nucléon} < E < 8,8 \text{ MeV/nucléon}$.



B - La radioactivité

® **La radioactivité** est une transformation spontanée d'un noyau en un autre plus stable avec émission d'un rayonnement.

Un noyau radioactif, appelé également **radioélément**, est un noyau qui subit une réaction nucléaire spontanée pendant laquelle il se désintègre pour donner un autre noyau et éventuellement une ou plusieurs particules légères.

® Lois de conservation :

Une réaction nucléaire spontanée peut être modélisée par une équation nucléaire qui obéit à deux lois de conservation :

Loi de conservation du nombre de masse total : $\sum A_i = \sum A_f$,

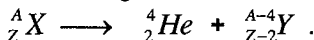
Loi de conservation du nombre de charge total : $\sum Z_i = \sum Z_f$.

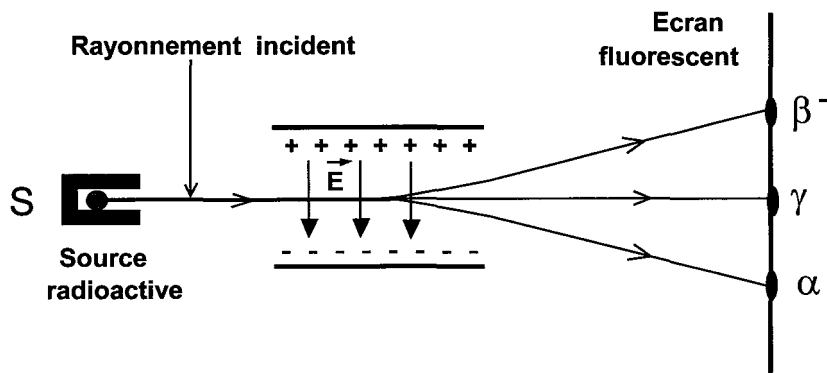
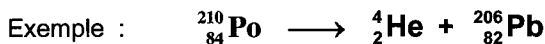
® Les différents types de radioactivité

On distingue trois types de radioactivité :

* **La radioactivité α** (une particule α est un noyau d'hélium : ${}^4_2\text{He}$)

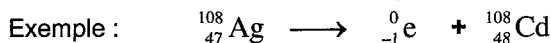
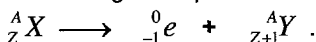
L'équation nucléaire de désintégration α s'écrit :



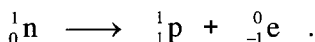


*** La radioactivité β^-** (une particule β^- est un électron ${}^0_{-1}e$)

L'équation nucléaire de désintégration β^- s'écrit :

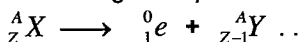


@ Aucun noyau ne possède des électrons , comment alors émet-il une particule β^- ? La cadmium ${}^{108}_{48}\text{Cd}$, possède un proton en plus mais un neutron en moins , ce qui signifie qu'à l'intérieur du noyau d'argent 108 , il se produit la transformation d'un neutron en un proton et un électron expulsé à l'extérieur du noyau :



*** La radioactivité β^+** (une particule β^+ est un positon 0_1e)

L'équation nucléaire de désintégration β^+ s'écrit :

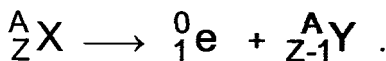


La radioactivité β^+ n'est pas naturelle , elle **est artificielle** .

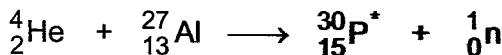
La radioactivité β^+ ne concerne que certains radioéléments artificiels (préparés préalablement dans les centrales nucléaires) , elle est caractéristique de noyaux comportant « trop de protons » .

La particule β^+ , prévue par Dirac , a été identifiée par Anderson en 1932 .

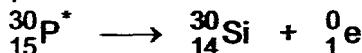
Dans une radioactivité β^+ , il y a **émission d'un positon** (0_1e).



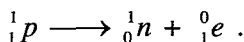
1^{ère} étape : préparation du noyau radioactif β^+ par réaction nucléaire provoquée :



2^{ème} étape : le phosphore ${}^{30}_{15}\text{P}^*$ ainsi préparé est un noyau artificiel, il subit la désintégration β^+ :

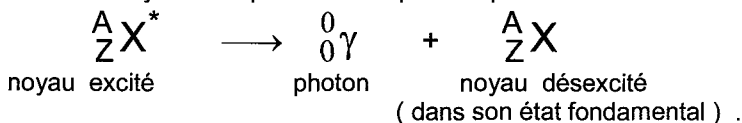


@ On explique l'émission d'un positon β^+ par le fait que le noyau ${}^{19}_9\text{F}$ a un proton au moins par rapport à ${}^{19}_{10}\text{Ne}$ mais un neutron en plus, il s'agit alors de la transformation à l'intérieur du noyau ${}^{19}_{10}\text{Ne}$, d'un proton en un neutron et un positon éjecté à l'extérieur :



* **L'émission γ** est un phénomène corrélatif qui se produit chaque fois qu'un noyau fils est obtenu à l'état excité (une particule γ est un photon noté ${}^0_0\gamma$, sans masse et sans charge).

La radioactivité γ accompagne les radioactivités α , β^- et β^+ . Elle est la conséquence de celles-ci et résulte de la désexcitation progressive du noyau fils qui libère un photon γ .



® **La loi de désintégration ou de décroissance radioactive**

Soient N_0 et N les nombres de noyaux présents respectivement à la date $t = 0$ et à la date t dans un échantillon radioactif. Le nombre de noyaux désintégrés ($-dN$) pendant l'intervalle de temps élémentaire dt est proportionnel à N et à dt .

On écrit alors : $-dN = Cte \times N \times dt$, avec : **$Cte = \lambda$** , **appelée la constante radioactive**. Il vient donc : $\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$

Après intégration : $\int \frac{dN}{N} = \int -\lambda . dt$, on obtient : $\text{Log } N(t) = -\lambda . t + \text{Cte}$,

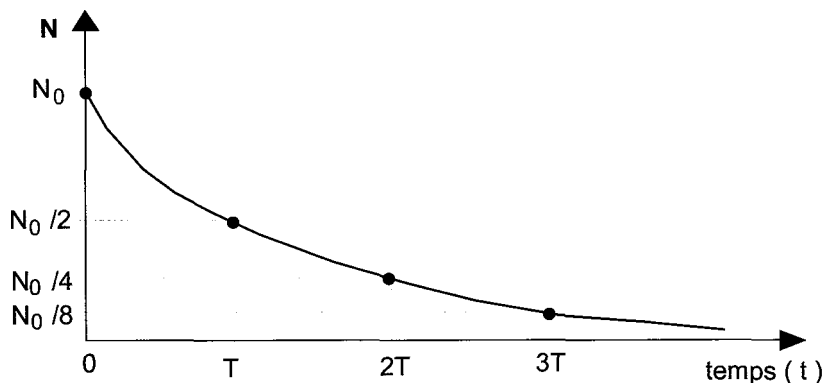
or à $t = 0$; $\text{Log } N(0) = \text{Cte} = \text{Log } N_0$;

d'où : **$\text{Log } N - \text{Log } N_0 = -\lambda . t$** ; puis : $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$,

ou bien : **$N(t) = N_0 . e^{-\lambda t}$** , c'est la loi de désintégration .

® **La période ou demie-vie radioactive T** d'une substance radioactive est le temps au bout duquel , la moitié d'un échantillon , de cette substance , initialement présent , subit la désintégration .

$$T = \frac{\text{Log } 2}{\lambda} .$$



Exemples de périodes :

Polonium 212 (Po : 3.10^{-7} s) ; astate (At : $3,2.10^{-2}$ s) ; radon (Rn : 55 s) ; thallium (Tl : 1,3 mn) ; plomb 214 (Pb : 27 mn) ; plomb 212 (Pb : 10,6 h) ; sodium 22 (Na : 2,6 ans) ; carbone 14 (C : $5,6.10^{-3}$ ans) ; uranium 238 (U : $4,5.10^9$ ans) .

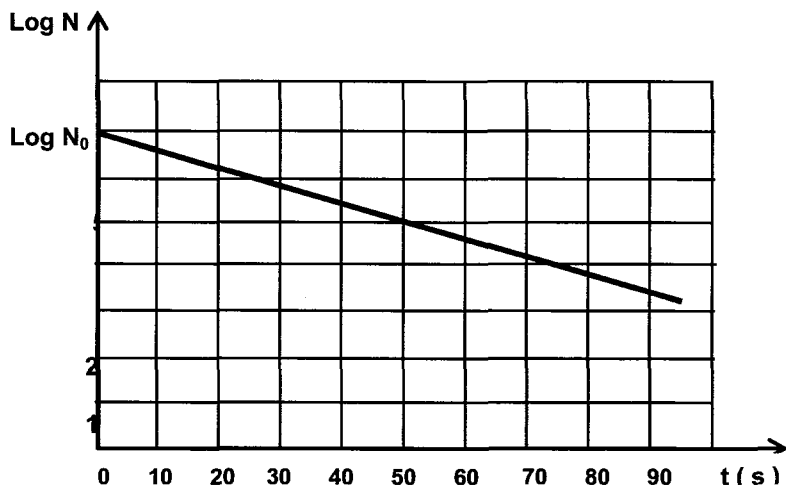
© Si on donne la courbe de variation : **$\text{Log } N = f(t)$** ; cette courbe est toujours une droite décroissante d'équation : **$\text{Log } N = b + a.t$**
où : $b = \text{Log } N_0$ ordonnée à l'origine ,

et $a = \frac{\text{Log } N_2 - \text{Log } N_1}{t_2 - t_1}$ = pente de la droite .

Théoriquement , on a : **$\text{Log } N = \text{Log } N_0 - \lambda . t$** .

Par identification des deux relations graphique et théorique , on déduit :

$$-\lambda = a \quad , \text{ puis } : T = \frac{\text{Log} 2}{\lambda} \quad , \text{ soit } : T = \frac{-\text{Log} 2}{a}$$



® **L'activité A d'une substance radioactive** est donnée par le nombre moyen de désintégrations par unité de temps :

$$A = \frac{-dN}{dt} = A_0 e^{-\lambda t} \quad \text{où } A_0 \text{ désigne l'activité à la date}$$

$t = 0$; $A_0 = \lambda N_0$ et $A = \lambda \cdot N$ (A est exprimée en becquerel : Bq) .
Un becquerel désigne une désintégration par seconde .

C – Les réactions nucléaires provoquées

® Définition :

Il y a réaction nucléaire provoquée lorsque le choc d'un noyau projectile sur un noyau cible engendre de nombreux noyaux et particules légères .

® **La fission nucléaire** : il y a fission d'un noyau lorsque le choc avec un neutron lent (de faible vitesse) le brise en d'autres noyaux plus légers accompagnés des particules légères .

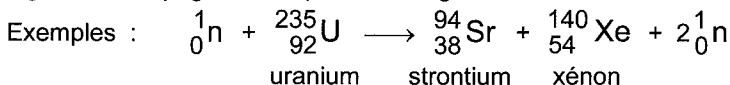
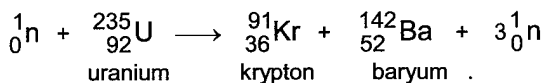
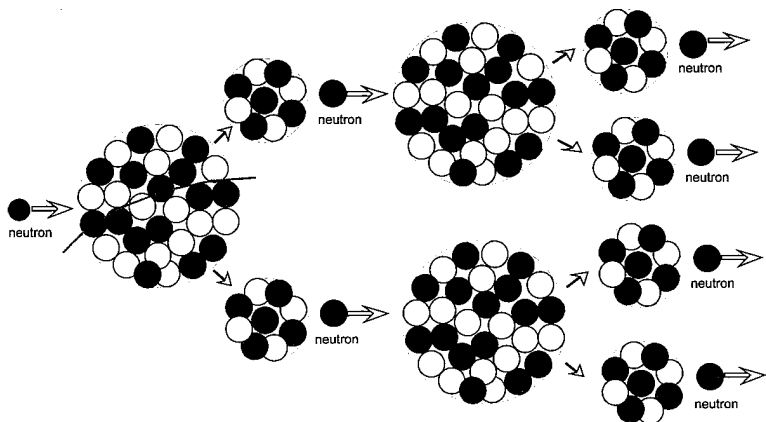
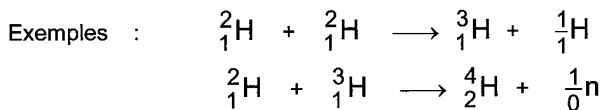
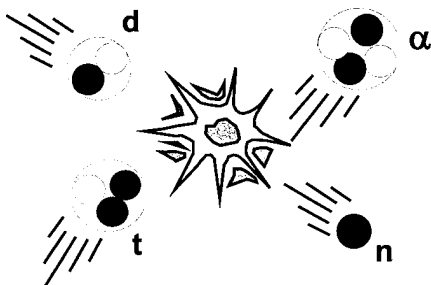


Schéma d'une fission nucléaire :



® La fusion nucléaire :

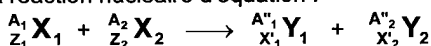
D'une façon générale, il y a fusion nucléaire lorsque deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd .



® Energie nucléaire libérée :

L'énergie libérée W , au cours d'une réaction nucléaire quelconque , est la conséquence d'une perte de masse .

Considérons la réaction nucléaire d'équation :



La perte de masse est : $\Delta m = (m_{X_1} + m_{X_2}) - (m_{Y_1} + m_{Y_2})$

L'énergie libérée est :

$$W = \Delta m \cdot c^2 = [(m_{X_1} + m_{X_2}) - (m_{Y_1} + m_{Y_2})] \cdot c^2$$