



Fiche de résumé des cours (2) : Physique nucléaire

Loi de décroissance radioactive

Le noyau de l'atome

Le noyau de l'atome est symbolisé par : A_ZX
Z : Numéro atomique qui désigne l'élément chimique **X**
A : Nombre de nucléon ou nombre de masse $A = Z + N$
Le noyau est constitué de deux types de particules :
Protons et neutrons

Caractéristiques des nucléons

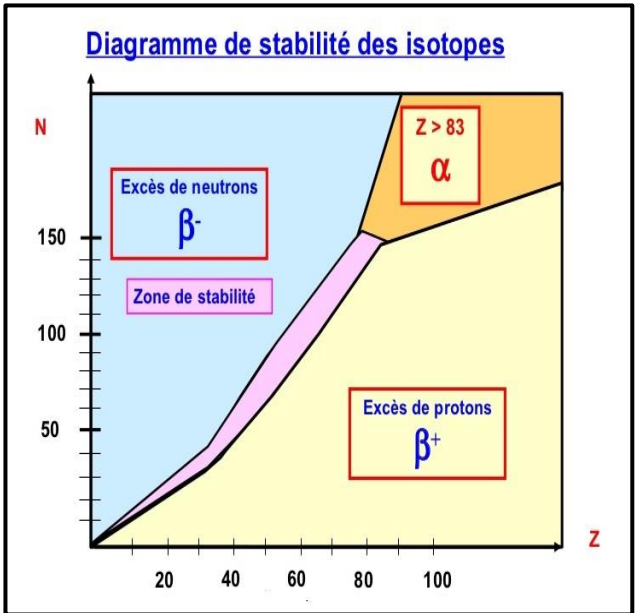
Particule	Proton	Neutron
Symbole	1_1p	1_0n
Nombre	Z	N
Masse	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$
Charge	$q = +e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$q = 0$

Les noyaux isotopes

Ce sont les noyaux qui ont le **même Z** et des **A différents** (même nombre de protons et les nombres de neutrons différents)

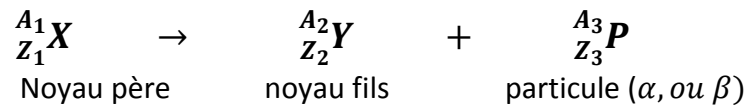
Les noyaux radioactifs

Un noyau instable est dit : « **noyau radioactif** »
Il se désintègre spontanément (il se transforme) en un noyau autre noyau plus stable.



Equation de désintégration et lois de Soddy

Une désintégration nucléaire est représentée par une équation :

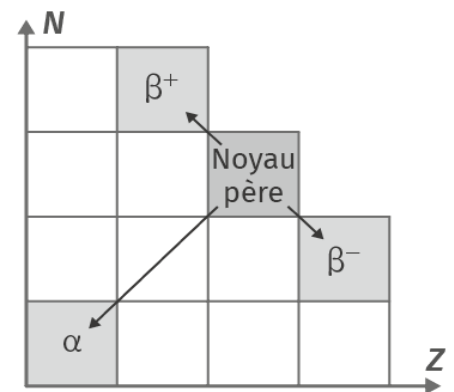


Elle obéit aux lois de Soddy : conservation des A et des Z :

$$A_1 = A_2 + A_3 \quad \text{et} \quad Z_1 = Z_2 + Z_3$$

Types de désintégrations spontanées

Désintégration α	Emission d'un noyau d'Hélium ${}^4_2\text{He}$	${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$
Désintégration β^-	Emission d'un électron ${}^0_{-1}e$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$
Désintégration β^+	Emission d'un positron ${}^0_{+1}e$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e$



La radiation Gamma γ

C'est une énergie électromagnétique émise par un noyau excité issu d'une désintégration nucléaire : Photon γ

Energie du photon γ :

$$E_\gamma = h\nu_\gamma = \frac{hc}{\lambda_\gamma}$$

Lois de décroissance radioactive

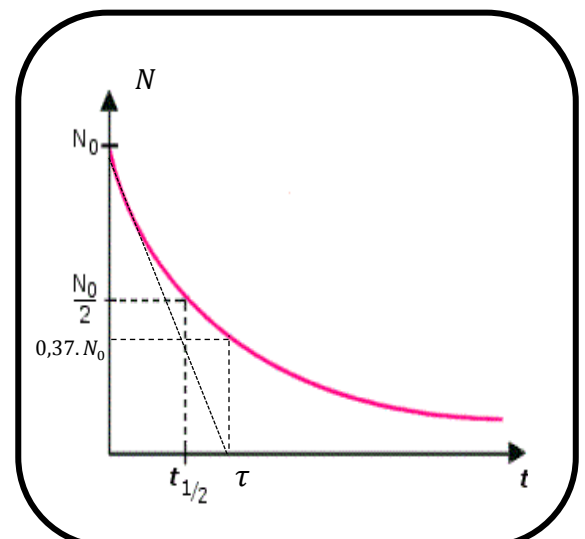
Soit un échantillon de noyaux radioactifs contenant le nombre N_0 de noyaux radioactifs à l'instant $t = 0$. Le nombre de noyau restant à un instant t , obéit à une loi dite **loi de décroissance radioactive** :

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

λ : Constante radioactive (s^{-1})

$$t_{1/2} = \tau \cdot \ln(2) = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

$t_{1/2}$ est la durée pour laquelle : $N = \frac{N_0}{2}$
 τ est la durée pour laquelle : $N = 0,37 \cdot N_0$



Evolution du nombre de noyaux désintégrés

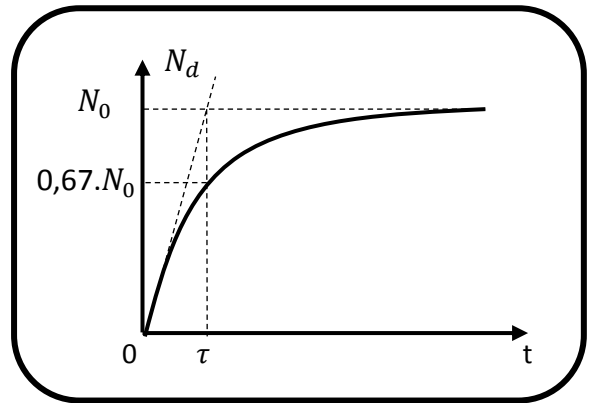
A tout instant :

$$N_0 = N + N_d = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} + N_d$$

- N_d : le nombre de noyaux désintégrés à l'instant t

La loi à laquelle obéit le nombre N_d peut s'écrire :

$$N_d = N_0 \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t})$$



Activité d'un échantillon radioactif

L'activité (a) d'un échantillon de noyaux radioactifs à un instant t est le nombre de désintégrations par unité de temps à cet instant. (exprimée en Bq)

$$a(t) = \lambda \cdot N(t)$$

$$a_0 = \lambda \cdot N_0$$

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

Règles importantes

$$\text{Si : } t = n \cdot t_{1/2} \Leftrightarrow \begin{cases} N = \frac{N_0}{2^n} \\ a = \frac{a_0}{2^n} \end{cases}$$

Equivalence Masse – énergie

Energie de masse

$$E = m \cdot c^2$$

$$[\text{Energie}(J) = \text{masse}(Kg) \times (3 \cdot 10^8)^2]$$

Variation d'énergie de masse

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

$$[\text{Energie}(MeV) = \text{masse}(u) \times 931,5]$$

Défaut de masse d'un noyau

La masse d'un noyau ${}^A_Z X$ est toujours inférieure à la somme des masses de ses nucléons

Le défaut de masse du noyau est :

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m({}^A_Z X) > 0$$

Energie de liaison d'un noyau

L'énergie de liaison d'un noyau est l'énergie minimale E_ℓ qu'il faut fournir à ce noyau, au repos, pour séparer ses nucléons eux aussi au repos.

$$E_\ell = \Delta m \cdot c^2$$

$$E_\ell = [Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m({}^A_Z X)] \times c^2$$

Energie de liaison par nucléon

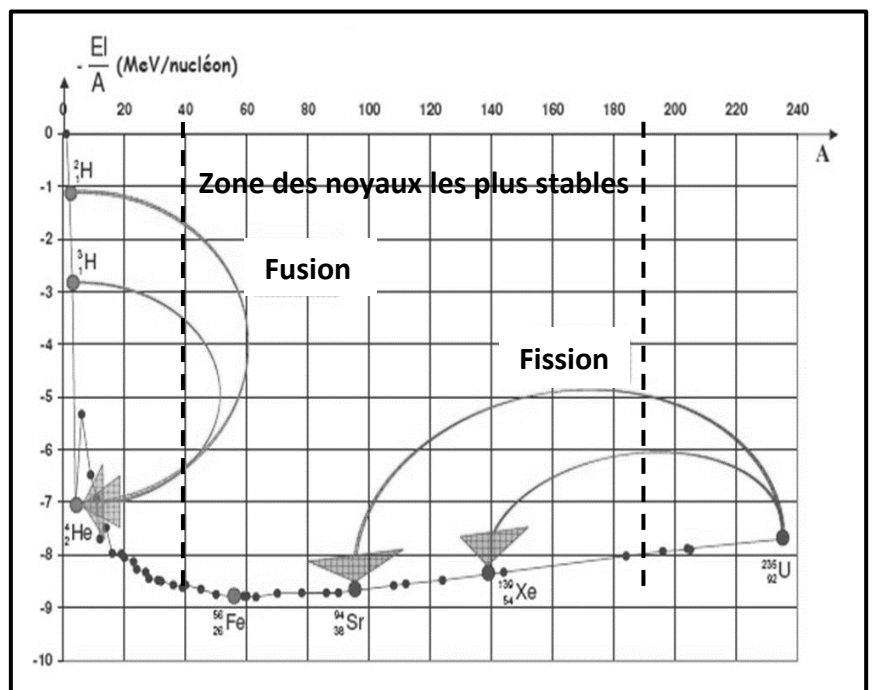
$$\xi = \frac{E_\ell}{A}$$

(MeV/nucléon)

Plus l'énergie de liaison par nucléon ξ est grande plus le noyau est stable

Courbe de stabilité (Aston)

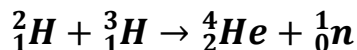
- Les noyaux les plus stables :
 $40 \leq A \leq 190$
- Les noyaux les moins stables :
 - Les noyaux légers : $A \leq 40$
Peuvent subir la fusion
 - Les noyaux lourds : $A \geq 190$
Peuvent subir la fission



Les réactions provoquées : Fusion et Fission

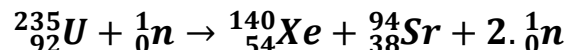
Fusion nucléaire

C'est le processus par lequel deux noyaux légers s'unissent pour en former un seul plus lourd en libérant une énorme énergie.



Fission nucléaire

C'est le phénomène par lequel un noyau lourd est scindé en deux noyaux plus légers et en libérant des neutrons et une énorme énergie.



Energie libérée lors d'une désintégration

Soit une désintégration nucléaire modélisée par l'équation suivante : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}\text{Y} + {}^{A_2}_{Z_2}\text{P}$

Défaut de masse associé

$$\Delta m = m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}} < 0$$

$$\Delta m = m(\text{Y}) + m(\text{P}) - m(\text{X}) < 0$$

Variation d'énergie de masse

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta E = [m(\text{Y}) + m(\text{P}) - m(\text{X})] \cdot c^2 < 0$$

$$E_{\text{libérée}} = -\Delta E = (m(\text{X}) - [m(\text{Y}) + m(\text{P})]) \cdot c^2 > 0$$

On peut calculer l'énergie libérée lors d'une désintégration en utilisant les énergies de liaison :

$$E_{\text{libérée}} = E_{\ell}(\text{Produits}) - E_{\ell}(\text{Réactifs}) > 0$$

$$E_{\text{libérée}} = [E_{\ell}(\text{Y}) + E_{\ell}(\text{P})] - E_{\ell}(\text{X})$$

Diagramme d'énergie associé à la désintégration

Considérons la désintégration modélisée par l'équation suivante : ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}\text{Y} + {}^{A_2}_{Z_2}\text{P}$

Le diagramme des énergies des masses associé à la désintégration :

①	②	③	④
$E_{\ell}(\text{X})$	$E_{\ell}(\text{Y}) + E_{\ell}(\text{P})$	$E_{\text{libérée}}$	ΔE
$E_1 - E_2$	$E_1 - E_3$	$E_2 - E_3 > 0$	$E_3 - E_2 < 0$

Unités pratiques de masse et énergie

Unités de masse	Unités d'énergie
$1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$	$1\text{eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{J}$
$1u = 931,5 \text{MeV} \cdot c^{-2}$	$1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{J}$

