Transformation Nucléaire

I. La radioactivité

Définition : Un noyau radioactif est un isotope instable d'un élément chimique dont la désintégration est aléatoire et au cours de laquelle il se transforme en un autre noyau.

Définition : La radioactivité est une réaction nucléaire spontanée avec émission d'une particule et de l'énergie.

Les désintégrations radioactives sont aléatoires, spontanées, inéluctables et indépendante de la combinaison chimique et des paramètres de pression et de température.

A. Le diagramme (Z, N)

Le diagramme (Z, N) représente l'ensemble des noyaux connus avec leur numéro atomique Z en abscisse et leur nombre de neutrons N en ordonnée (ou l'inverse).

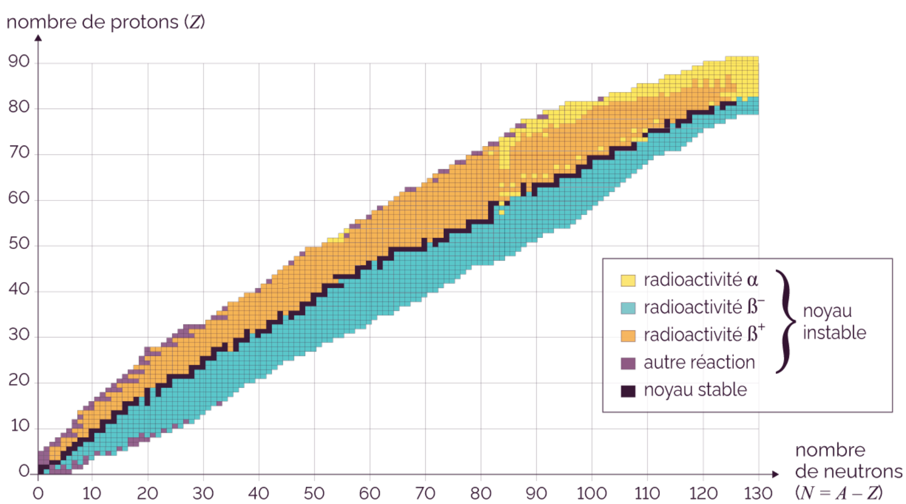

Figure 1 – Diagramme (N,Z)

Les noyaux en noir sont des noyaux stables, on appelle cette représentation la vallée de la stabilité On distingue 3 types de désintégrations, β^-, β^+ et α avec des couleurs différentes.

B) Les désintégrations.

1° Noyaux émetteurs.

Nous avons les noyaux émetteurs β^- :

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

n pour neutron et p pour proton.
La particule ${}^{0}_{\text{-}1}e$ est un électron, appelée particule β^-.
Nous avons les noyaux émetteurs β^+ :

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

La particule ${}^{0}_{e}{+1}$ est un positon, appelée particule β^+.
Nous avons les noyaux émetteurs α :

$$ {}^{A}_{Z} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X + {}^{4}_{2}He $$

Un noyau α émet un hélium ${}^{4}_{2}He$, qui est la particule α.

2° Équation de radioactivité

Pour chaque équation, nous appliquons les lois de conservation sur la charge et la masse A.

Pour les β^- on a :

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{\text{-}1}e $$

car $Z = Z + 1 - 1$ (loi de conservation).

* signifie que le noyau est excité. Pour se désexciter, le noyau émet un photon γ

Donc :

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y^{*} + {}^{0}_{\text{-}1}e + \gamma $$

Pour les β^+ on a :

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow^{A}_{Z+1} Y + {}^{0}_{+1}e $$

$$ \Rightarrow^{A}_{Z} X \rightarrow^{A}_{Z+1} Y + {}^{0}_{+1}e + \gamma $$

Pour les α on a :

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow^{A-4}_{Z-2} Y + {}^{4}_{2}\mathrm{He} $$

$$ \Rightarrow^{A}_{Z} X \rightarrow^{A-4}_{Z-2} Y + {}^{4}_{2}\mathrm{He} + \gamma $$

On remplace ensuite chaque X et Y par l'atome adéquat.

3°) Comment stopper les particules

Les particules α sont stoppées par quelques cm d'air ou une feuille de papier.

Les particules β^- ont une durée de vie très courte dans la matière car quand un positron rencontre un électron, on obtient un photon.

Les particules β ont besoin de quelques mm d'aluminium pour être stoppées.

II – Loi de décroissance rapide

A) L'activité $A(t)$

Définition : L'activité $A(t)$ d'un échantillon contenant un nombre $N(t)$ d'atomes radioactifs correspond au nombre de désintégrations par seconde ayant lieu au sein de l'échantillon, qui a pour unité le becquerel (Bq= s^{-1}).
$N(t)$ correspond au nombre d'atomes radioactifs restant.

On a :

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$$

B) Constante radioactive

Chaque noyau radioactif possède une constante radioactive λ en s^{-1} qui caractérise la capacité de ce type de noyau à se désintégrer plus ou moins rapidement.

On a :

$$A(t) = \lambda \times N(t)$$

C) Équation différentielle

Comme $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$ et $A(t) = \lambda \times N(t)$
alors on a :

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \times N(t)$$

Nous avons alors la loi de décroissance radioactive qui est la solution de cette équation différentielle.

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

où N_0 est le nombre de noyaux initiaux.
On pose $A_0 = \lambda \times N_0$.
On obtient :

$$\begin{aligned} A(t) &= \lambda \times N(t) = \lambda \times N_0 \times e^{-\lambda t} \\ &= A_0 \, e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

D) Temps de demi-vie

Définition : Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ correspond au temps nécessaire pour que la moitié des noyaux initiaux soient désintégrés.

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

et

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

E) Constante de temps τ

On pose $\tau = \frac{1}{\lambda}$.
Pour $t = \tau$, on a : $N(t) = 0.37 \times N_0$.
On trouve τ graphiquement en traçant la tangente à la courbe à N_0. L'intersection avec cette tangente et l'axe des abscisses est τ.