

Niveaux: SM PC SVT

Matière: Physique

PROF: Zakaryae Chriki

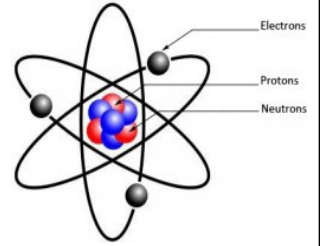
Résumé N:5

# Décroissance radioactive



## 1. Composition du noyau d'un atome.

- Le noyau de l'atome est 100 000 fois plus petit que l'atome.
- De plus, il rassemble pratiquement toute la masse de l'atome.
- Le noyau est constitué de particules appelées nucléons (les protons et les neutrons).
- Le noyau est représenté par  ${}^A_ZX$  avec
  - A : Le nombre de nucléons aussi le nombre de masse
  - Z : Le nombre de protons aussi Le nombre de charges
  - N : Le nombre de neutrons,  $N=A - Z$



## 2. Nucléides :

- **Nucléide** : ensemble d'atomes de noyaux identiques
- L'ensemble des noyaux ayant le même nombre Z de protons et le même nombre de neutrons N et de symbole  ${}^A_ZX$

## 3. Isotopie.

Isotopes : des noyaux possédant le même symbole chimique, le même nombre de protons, mais des nombres de neutrons différents (des nombres de nucléons A différents).

## 4. Noyau radioactif (ou noyau instable)

Un noyau radioactif (appelé noyau-père) est un noyau instable qui se désintègre spontanément en donnant un noyau différent plus stable (appelé noyau-fils) avec émission d'une ou plusieurs particules

## 5. Stabilité et instabilité des noyaux : diagramme (N, Z) (Diagramme de Ségré)

Diagramme de Ségré, permet de distinguer deux familles de noyaux :

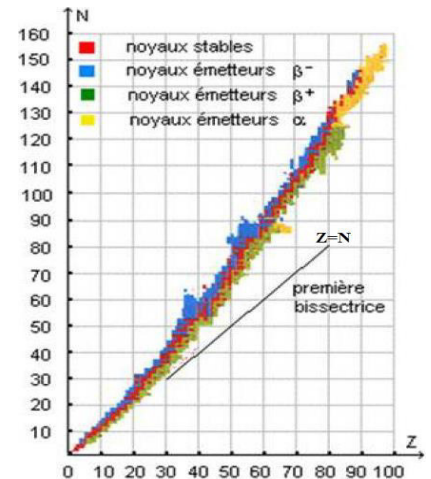
### a - Noyaux stables :

- Certains noyaux gardent indéfiniment la même composition : ce sont des noyaux stables.
- Pour  $Z < 20$ , les noyaux stables se situent **au voisinage** de la droite d'équation  $N = Z$ . Ils comportent à peu près autant de protons que de neutrons.
  - Pour  $Z > 20$ , le nombre de neutrons augmente plus vite que le nombre de protons ; les points se répartissent **au-dessus** de la droite  $N=Z$

### b - Noyaux instables :

L'instabilité du noyau a lieu si :

- Le noyau-père possède trop de neutrons par rapport au nombre de protons.
- Le noyau-père possède trop de protons par rapport au nombre de neutrons.
- Le noyau-père possède un grand nombre de nucléons ( $A > 208$ ).



## 6. LA RADIOACTIVITÉ

### 1° Définition.

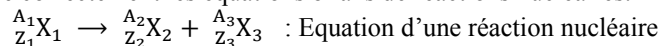
La radioactivité est une transformation naturelle, spontanée et imprévisible d'un noyau  ${}^A_ZX$  instable en un noyau  ${}^A_ZY$  plus stable avec l'émission d'une ou de plusieurs particules ( $\alpha$  et  $\beta$  et souvent d'un rayonnement  $\gamma$ )

NB : Les désintégrations radioactives sont :

- **Aléatoires** (impossible d'en prévoir l'instant) ; - **Spontanées** (sans intervention extérieure) ;
- **Inéluctables** (impossible d'empêcher le processus) ; - Indépendantes des paramètres de pression et de température.

### 2° Lois de conservation (Lois de SODDY).

- Les réactions nucléaires obéissent à deux lois de conservation :
  - \* conservation de la charge électrique (Conservation de Z nombre de proton) ;
  - \* conservation du nombre de nucléons (Conservation de A nombre de nucleon).
- Elles permettent d'écrire correctement les équations bilans de réactions nucléaires.



#### a - Loi de conservation du nombre de charge .

La somme des nombres de charge du noyau-fils et de la particule qui sont formés est égale au nombre de charge du noyau désintégré (noyau-père).

$$Z_1 = Z_2 + Z_3$$

#### b - Loi de conservation du nombre de nucléons.

La somme des nombres de nucléons du noyau-fils et de la particule qui sont formés est égale au nombre de nucléons du noyau désintégré (noyau-père).

$$A_1 = A_2 + A_3$$

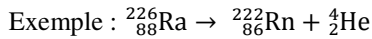
### 3° Les différentes désintégrations nucléaires :

#### 3.1. Radioactivité $\alpha$ :

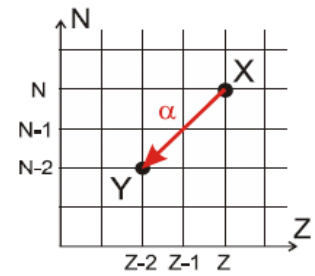
##### Définition :

La radioactivité  $\alpha$  est une transformation naturelle et spontanée d'un noyau  ${}^A_ZX$  instable en un noyau  ${}^A-4_{Z-2}Y$  plus stable avec émission d'un noyau d'Hélium  ${}^4_2\text{He}$

**Equation :**  ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$



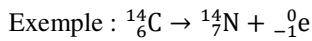
La radioactivité  $\alpha$  concerne les noyaux lourds instables à cause d'un excès de nucléons. Elle se traduit par l'émission d'une particule  $\alpha$  (noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ ).



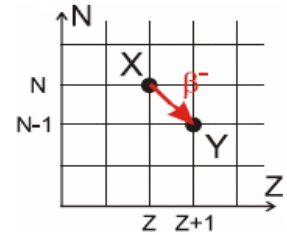
#### 3.2. Radioactivité $\beta^-$

La radioactivité  $\beta^-$  est une transformation naturelle et spontanée d'un noyau  ${}^A_ZX$  instable en un noyau  ${}^A_{Z+1}Y$  plus stable avec émission d'un électron  ${}^0_{-1}e$

**Equation :**  ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$



La radioactivité  $\beta^-$  concerne les noyaux instables à cause d'un excès de neutrons. Elle se traduit par l'émission d'un électron.



##### Mécanisme (ou Explication) :

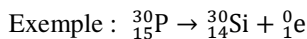
Au cours de la transformation  $\beta^-$ , et **dans le noyau** :

- Le nombre de nucléon A reste constante par contre le nombre de proton augmente d'une unité et le nombre de neutron diminue d'une unité
- **Un neutron s'est transformé en un proton avec émission d'un électron** :  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$  ou  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^0_{-1}e$

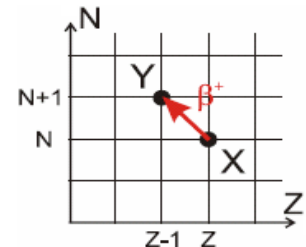
#### 3.3. Radioactivité $\beta^+$

La radioactivité  $\beta^+$  est une transformation naturelle et spontanée d'un noyau  ${}^A_ZX$  instable en un noyau  ${}^A_{Z-1}Y$  plus stable avec émission d'un positron  ${}^0_1e$

**Equation :**  ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_1e$



La radioactivité  $\beta^+$  concerne les noyaux instables à cause d'un excès de protons. Elle se traduit par l'émission d'un positon



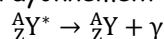
##### Mécanisme (ou Explication) :

Au cours de la transformation  $\beta^+$ , et **dans le noyau** :

- Le nombre de nucléon A reste constante par contre le nombre de proton diminue d'une unité et le nombre de neutron augmente d'une unité
- **Un proton s'est transformé en un neutron avec émission d'un positon** :  ${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e$  ou  ${}^1_1\text{H} \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e$

#### 3.4. Emission $\gamma$

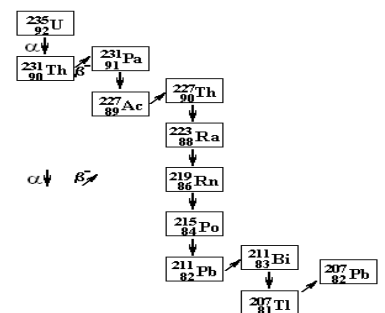
Le noyau issu d'une désintégration  $\alpha$  ou  $\beta$  est souvent dans un état instable (état excité). Il devient stable en libérant l'excédent d'énergie sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, le rayonnement  $\gamma$ .



### 4° Famille radioactive :

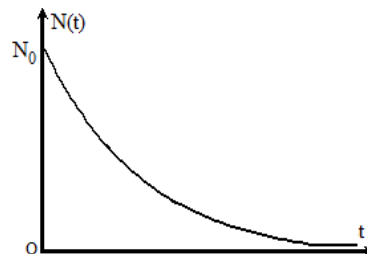
Une famille radioactive est une suite de nucléides descendant d'un même noyau, le noyau père, par une suite de désintégrations successives jusqu'à l'obtention d'un noyau stable.

Exemple : La famille de l'Uranium  ${}^{235}\text{U}$



## 7. LOI DE DECROISSANCE RADIOACTIVE

- La loi d'évolution du nombre N de noyaux radioactifs présents en fonction du temps
- La loi de décroissance radioactive est :  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$



$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{Avec} \quad \begin{array}{l} N_0 \text{ est le nombre de noyaux présents à la date } t=0 \\ N(t) \text{ le nombre de noyaux encore présents à l'instant } t. \\ \lambda \text{ (s}^{-1}\text{) une constante radioactive} \end{array}$$

### ❖ Autres expressions de la loi de décroissance radioactive

$$m = m_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} m_0 : \text{masse de l'échantillon présents à la date } t=0 \\ m : \text{masse de l'échantillon présents à l'instant } t \end{array}$$

$$n = n_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} n_0 : \text{Quantité de matière de l'échantillon présents à la date } t=0 \\ n : \text{Quantité de matière de l'échantillon présents à l'instant } t \end{array}$$

### ❖ La constante radioactive.

- Chaque nucléide radioactif est caractérisé par une constante radioactive  $\lambda$ , qui est la probabilité de désintégration d'un noyau par unité de temps.
- Elle s'exprime en  $s^{-1}$ .
- La constante  $\lambda$  ne dépend que du nucléide et est indépendante du temps, des conditions physiques et chimiques.
- $\tau = \frac{1}{\lambda}$  : la constante de temps, s'exprime en (s)

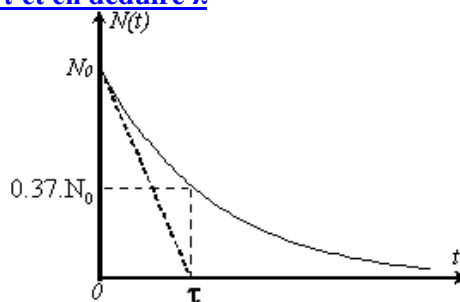
### \*\* Comment déterminer graphiquement $\tau$ et en déduire $\lambda$

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

À instant  $t = \tau$  on a  $N(\tau) = N_0 \cdot e^{-1}$  donc  $N(\tau) = 0.37 \cdot N_0$

$$\text{Ou } \frac{N(\tau)}{N_0} = 0.37 = 37\%$$

On repère sur l'axe N(t) le point  $N(\tau)$  et après projections sur l'axe des temps on détermine  $\tau$  et on peut en déduire  $\lambda = \frac{1}{\tau}$



### ❖ Demi-vie.

La demi-vie ( $t_{1/2}$ ) ou période radioactive :

- Est une caractéristique d'un nucléide
- C'est la durée correspondant à la désintégration de la moitié des noyaux radioactifs présents dans l'échantillon.
- Elle s'exprime en seconde (s).

$$\text{A } t_{1/2}, \text{ on a : } N\left(\frac{t_1}{2}\right) = \frac{N_0}{2} \quad \text{d'où} \quad t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

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

$a(t) = A(t)$  : L'activité d'un échantillon radioactif, est le nombre de désintégration de noyau radioactifs présents dans l'échantillon en une seconde.

L'unité de l'activité est le becquerel (Bq). Un becquerel correspond à une désintégration par seconde

$$1\text{Bq} = 1\text{désintégration/seconde}$$

$$a(t) = -\frac{dN}{dt} = -\frac{dN_0 \cdot e^{-\lambda t}}{dt} = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} = \lambda \cdot N(t)$$

avec  $a_0 = \lambda \cdot N_0$  : L'activité d'un échantillon radioactif à l'instant  $t=0$

d'où  $a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda t}$

### ❖ Equation différentielle

$$\text{On a } a(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N \text{ alors } \frac{dN}{dt} + \lambda \cdot N = 0 : \text{équation différentielle vérifié par } N$$

### ❖ La datation au carbone 14.

- La datation de matériaux organiques (végétaux ou animaux) est possible en mesurant l'activité du carbone 14 dans l'échantillon (l'isotope naturel du carbone 14 est le carbone 12). Pour le carbone 14,  $t_{1/2} = 5568$  ans.
- Dès qu'un être vivant meurt, le carbone 14 n'est plus renouvelé : sa proportion se met à décroître.
- Pour déterminer l'âge du matériau mort, on mesure l'activité  $a(t)$  du carbone 14 d'un échantillon de matériau mort et on applique la formule :  $a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda t}$

\*\*

## Comment Calculer l'activité a

$$a = \lambda \cdot N$$

Remplacer N par :

Remplacer  $\lambda$  par  $t_{1/2}$

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

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

$$\frac{N}{N_0}$$

Un quotient ou un pourcentage et  
en déduire N

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

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$$

$$m = N \cdot m_1$$