

## I- Stabilité et instabilité des noyaux :

### 1- Composition du noyau :

Le noyau atomique est composé de protons et de neutrons, ces constituants du noyau s'appellent les nucléons. Le tableau suivant regroupe les caractéristiques des nucléons :

Composition du noyau	La masse en Kg	La charge en Coulomb (C)	Symbole
Proton p	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$q_p = + e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	${}^1\text{H}$
Neutron n	$m_n = 1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx m_p$	0C	${}^1\text{H}$

Le noyau d'un atome d'un élément chimique est représenté par le symbole :  $ZAX$  avec :

**A**: nombre de masse et représente le nombre de nucléons (protons et neutrons).

**Z**: nombre de charge positif dans le noyau, c'est le nombre de protons (numéro atomique).

**N**: nombre de neutrons dans le noyau tel que:  $N=A-Z$ .

### 2- L'élément chimique :

L'élément chimique est constitué par l'ensemble des atomes et des ions ayant le même nombre de protons.

### 3- Les nucléides :

Dans la physique atomique, un nucléide est l'ensemble des noyaux ayant le même nombre de nucléons **A** et le même nombre de protons **Z**.

Exemple :

${}^{612}\text{C}$  et  ${}^{614}\text{C}$  sont deux nucléides de l'élément carbone, et  ${}^{92235}\text{U}$  et  ${}^{92238}\text{U}$  sont deux nucléides de l'élément uranium.

### 4- Les isotopes :

On appelle les isotopes d'un élément chimique, les nucléides qui possèdent le même nombre de protons mais de nombre de neutrons différent (nombre de nucléons **A**).

Exemple :  ${}^{612}\text{C}$  et  ${}^{614}\text{C}$  sont deux isotopes du même élément de carbone.

Remarque : l'abondance naturelle  $\theta_i$  des isotopes est le pourcentage en masse de chacun des isotopes  $m_i$  dans le mélange naturel de masse  $m$  avec :  $m = \sum m_i \theta_i$ .

### 5- Densité de la matière nucléaire :

On modélise le noyau d'un atome par une sphère de rayon  $r$  varie avec le nombre de nucléons **A** selon l'expression suivante :  $r=r_0 A^{1/3}$  avec  $r_0=1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$  le rayon de l'atome d'hydrogène. La valeur

$$\text{approximative de la masse volumique du noyau est } \rho = \frac{A \cdot m}{V} = \frac{A \cdot m}{\frac{4}{3} \pi r^3} = \frac{A \cdot m}{\frac{4}{3} \pi (r_0 A^{1/3})^3} = \frac{3m}{4 \pi r_0^3}.$$

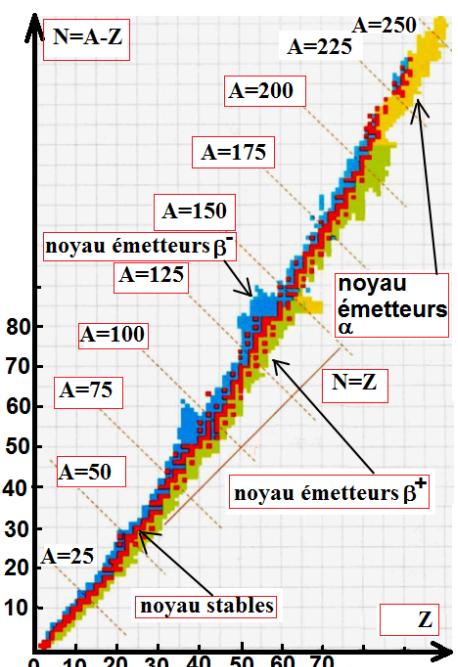
On considère la masse approximative du nucléon est :  $m=1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ , on trouve la masse volumique  $\rho \approx 2,31 \cdot 10^{17} \text{ kg.m}^{-3}$  et la masse volumique de la planète terrestre est  $1,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  : c'est ce qui explique que la matière nucléaire est très dense.

### 6- Le diagramme ( $N, Z$ ) : Diagramme de Segré :

Certains noyaux conservent toujours la même structure, on dit que ces noyaux sont **stables**. Et il y a des noyaux qui se transforment spontanément à d'autres noyaux après l'émission de rayonnement, on dit que ces noyaux sont **instables** ou noyaux **radioactifs**. Le **diagramme Segré** montre l'emplacement des noyaux stables et des noyaux radioactifs. De sorte que la zone centrale rouge s'appelle la vallée de stabilité et comprend les noyaux stables.

#### Remarques :

- La zone en rouge contient des noyaux **stables** ( $N=Z$ , pour  $Z < 20$  et  $N > Z$  pour  $Z > 20$ ) appelée vallée de stabilité,
- La zone en bleu contient des noyaux **instables**, pour être stables doivent perdre des neutrons,
- La zone en vert contient des noyaux **instables**, pour être stables doivent perdre des protons,



- La zone en jaune contient des noyaux **instables** ( $Z > 82$ ) pour être stables doivent perdre des protons et des neutrons,

## II- La radioactivité :

### 1- Définition :

- 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,
- Radioactivité est une transformation nucléaire naturelle, spontanée et imprévisible d'un noyau  $ZAX$  instable en un noyau  $Z' A' Y$  plus stable avec l'émission d'une ou de plusieurs particules ( $\alpha$  ou  $\beta^+$  ou  $\beta^-$  et souvent d'un rayonnement  $\gamma$ ).

### 2- Lois de conservation (Lois 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 :  $ZAX \rightarrow Z' A' Y + Z'' A'' p$ : telles que :

$$\{ A = A' + A'' : \text{Conservation des nucléons} \quad Z = Z' + Z'' : \text{Conservation du nombre de charge}$$

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

**Exemple :**

### 3- Les différents types d'émissions radioactives :

#### a- Radioactivité $\alpha$ :

La radioactivité  $\alpha$  est une désintégration nucléaire naturelle spontanée correspond aux noyaux lourds

( $A > 200$ ), dans laquelle un noyau père  $ZAX$  se transforme en un noyau fils  $A' Z' - 2A - 4Y$  plus stable avec émission d'un noyau d'Hélium  $24He$  appelé particule  $\alpha$ , selon l'équation suivante :  $ZAX \rightarrow Z' - 2A - 4Y + 24He$ .

**Exemple :**  $88226Ra \rightarrow 86222Rn + 24He$ .

#### b- Radioactivité $\beta^-$ :

La radioactivité  $\beta^-$  est une désintégration nucléaire naturelle spontanée, dans laquelle un noyau père  $ZAX$  se transforme en un noyau fils  $Z + 1AY$  plus stable, accompagnée de l'émission d'un électron  $- 10e^-$  appelé particule  $\beta^-$ , selon l'équation suivante :

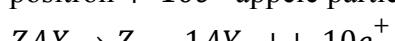


**Remarque :** lors de cette radioactivité  $\beta^-$  un neutron se transforme en un proton selon l'équation suivante :  $01n \rightarrow 11p + - 10e^-$ .

**Exemple :**  $614C \rightarrow 714N + - 10e^-$ .

#### c- Radioactivité $\beta^+$ :

La radioactivité  $\beta^+$  est une désintégration nucléaire naturelle spontanée, Il apparaît généralement pour les éléments radioactifs artificiels, dans laquelle un noyau père  $ZAX$  se transforme en un noyau fils  $Z - 1AY$  accompagnée de l'émission d'un positron  $+ 10e^+$  appelé particule  $\beta^+$ , selon l'équation suivante :



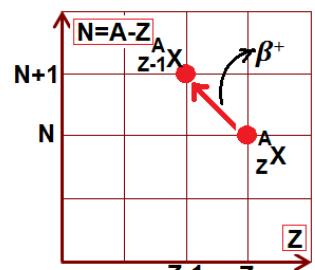
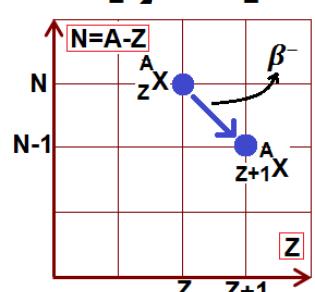
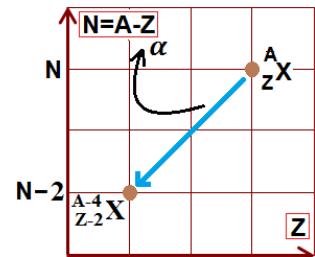
Le positron a une masse égale à celle de l'électron et une charge positive.

**Remarque :** lors de cette radioactivité  $\beta^+$  un proton se transforme en un neutron selon l'équation suivante :  $11p \rightarrow 01n ++ 10e^+$ .

**Exemple :**  $83206Bi \rightarrow 82206Pb ++ 10e^+$ .

#### d- Le rayonnement $\gamma$ :

Le rayonnement  $\gamma$  est des ondes électromagnétiques de très grande énergie, lors des désintégrations  $\alpha$  et  $\beta^-$  et  $\beta^+$ , le noyau fils est généralement produit dans un état excité (il possède un excédent d'énergie par rapport à son état fondamental). Ce noyau libère un rayonnement  $\gamma$  selon l'équation suivante :  $ZAX^* \rightarrow ZAX + \gamma$  :  $ZAX^*$  noyau fils dans l'état excité  $ZAX$  : noyau fils dans l'état fondamental.



**Exemple :**  $716N \rightarrow 816O^* \pm 10e^- (\beta)$ , puis  $816O^* \rightarrow 816O + \gamma$

#### e- 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 plus stable.

**Exemple :**  $92238U \rightarrow 82206Pb + 8.24He + 6. - 10e^-$ .

$92238U \rightarrow 90231Th \rightarrow 91231Pa \rightarrow 89227Ac \rightarrow 90227Th \rightarrow 88223Ra \rightarrow 86219Rn \rightarrow 84215Po \rightarrow 8221$

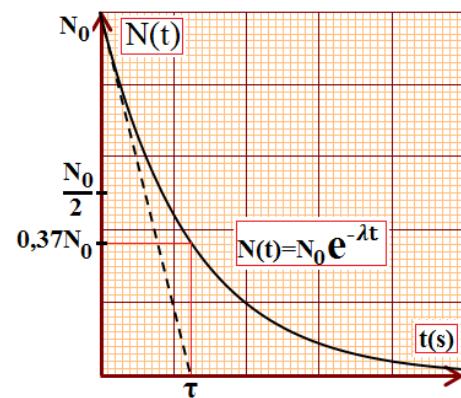
### III- Loi de décroissance radioactive :

#### 1- Mise en évidence :

La radioactivité est un phénomène aléatoire spontané, il n'est pas possible de prévoir à l'avance la date de désintégration d'un noyau et de changer les caractéristiques de ce phénomène. Cependant, l'évolution dans le temps d'un échantillon radioactif est soumise à une loi statistique appelée loi de décroissance radioactive (découverte par Rutherford et Soddy en 1902).

#### 2- La loi de décroissance radioactive :

- La loi de décroissance radioactive est représentée par la courbe ci-contre,
- Avec  $N_0$  est le nombre de nucléides radioactifs à l'instant  $t_0=0s$ , et  $N(t)$  est le nombre de nucléides radioactifs restants (non désintégrés) à l'instant  $t$ ,
- L'expression de la loi de décroissance radioactive d'un échantillon radioactif est :  $N(t)=N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ ,
- $\lambda$  est la constante de désintégration, ne dépend pas des conditions initiales et exprimée en  $s^{-1}$ .



#### 3- Constante de temps d'un échantillon radioactif :

- On définit la constante de temps  $\tau$  par la relation suivante :  $\tau = \frac{1}{\lambda}$ , son unité dans (S.I) est : **seconde (s)**,
- On montre que :  $N(\tau)=0,37N_0$ , Alors  $\tau$  est la durée nécessaire pour la désintégration de **37%** du nombre initial  $N_0$  de nucléides.

#### Remarque :

La tangente de la courbe  $N=f(t)$  à l'instant  $t=0s$  coupe l'axe des abscisses au point de l'abscisse  $t=\tau$ ,

#### 4- Demi-vie radioactive :

- La demi-vie d'un nucléide radioactif  $t_{1/2}$  est la durée au bout de laquelle la moitié des nucléides radioactifs initialement présent dans l'échantillon se sont désintégrés.
- On montre que :  $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \tau \ln 2$ ,

Trouver la dimension de  $\tau$  puis déduire celle de  $\lambda$ ,

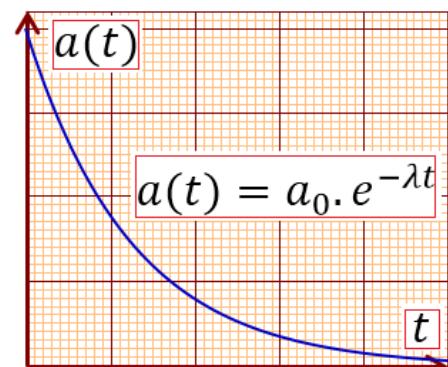
#### 5- Activité d'un échantillon radioactif :

L'activité  $a(t)$  d'un échantillon radioactif contient le nombre  $N(t)$  de noyaux radioactifs est le nombre de désintégration par seconde. Son expression est :  $a(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$ , son unité dans (S.I) est : Becquerel (B),

(1Bq correspond à une désintégration par seconde) et on utilise aussi Curie (Ci) tel que :  $1Ci = 3,7 \cdot 10^{10} Bq$ .

On montre que :  $a(t) = \lambda N(t)$ ,  $a_0 = \lambda N_0$  et  $a(t) = a_0 e^{-\lambda t}$

L'activité d'une source radioactive peut être mesurée avec : Le compteur Geiger et Le compteur Geiger-Muller.



#### 6- La datation par la radioactivité :

Les géologues et les archéologues utilisent différentes techniques pour déterminer l'âge des fossiles et des roches ... Parmi ces techniques, on compte celles qui reposent sur la radioactivité. Ainsi, un échantillon peut être daté en comparant son activité à celle d'autre échantillon témoin.

- Plus l'échantillon à dater est ancien, plus la demi-vie de nucléide utilisé est élevée,
- Le carbone 14 est produit en permanence par le rayonnement cosmique à partir de l'azote dans la haute atmosphère. Les échanges qui se produisent entre l'atmosphère et le monde vivant maintiennent quasiment constant le rapport entre la quantité de carbone 14 et celle de carbone 12. Mais, dès qu'un organisme meurt, le carbone 14 qu'il contient n'est plus renouvelé puisque les échanges avec le monde extérieur cessent, sa proportion se met à décroître car il est radioactif selon l'équation  

$$614C \rightarrow 714N + - 10e^-$$
. On applique la loi de décroissance radioactive :  $a(t) = a_0 \cdot e^{-\lambda t}$  On sait que :  $t_{1/2} = 5600$  ans,
- On mesure l'activité  $a(t)$  d'une masse d'échantillon connue, et connaître  $a_0$  l'activité de la même masse d'un échantillon témoin existant. Alors, on peut déterminer son âge  $t$  par la relation suivante :  

$$t = \frac{\ln(\frac{a_0}{a})}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \cdot \ln(\frac{a_0}{a})$$
 La relation à démontrer.