

3.1. Introduction :

Les noyaux de certains atomes sont susceptibles d'être le siège de transformations (passage d'un élément à un autre). Ces transformations peuvent être : spontanées (radioactivité naturelle) ou provoquées (radioactivité artificielle).

3.2. Loi de conservation de Soddy et Fajans :

Soit la réaction nucléaire suivante : ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^{A_2}_{Z_2}P$

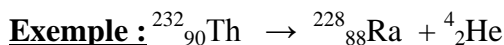
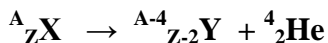
Où X est le noyau *père*, Y est le noyau *fil* et P est une particule éjectée. Au cours d'une réaction nucléaire naturelle ou artificielle, il y a :

- Conservation du nombre de nucléons (nombre de masse) : $A = A_1 + A_2$
- Conservation du nombre de charge (numéro atomique) : $Z = Z_1 + Z_2$

3.3. Radioactivité naturelle :

La radioactivité naturelle est un phénomène physique au cours duquel des noyaux atomiques instables se transforment spontanément en des noyaux plus stables, en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnements : **alpha (α)**, **béta moins (β^-)** et **gamma (γ)**.

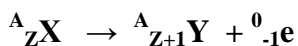
a) Emission α : elle concerne essentiellement les noyaux lourds de numéro atomique $Z > 84$, c'est-à-dire le noyau père est très massif, son instabilité est due à un excès de nucléons (excès de protons et de neutrons). La particule émise est le noyau d'**hélium** (${}^4_2\text{He}$) comme le montre la réaction générale suivante:



Le rayonnement α est très ionisant donc dangereux, très énergétique et peu pénétrant. Les particules α sont facilement arrêtées par quelques centimètres d'air ou par une feuille de papier.

b) Emission β^- :

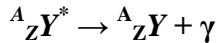
La radioactivité β^- concerne les noyaux présentant un excès de neutrons ($N > Z$). Elle correspond à la transformation d'un **neutron** en **proton** (${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$). La particule émise est un **électron** (${}^0_{-1}e$) suivant la réaction :



Le rayonnement β^- est très ionisant et pénétrant. Il est arrêté par une feuille d'aluminium de quelques millimètres d'épaisseur.

c) Emission γ :

Lors d'une désintégration α ou β^- , le noyau fils formé se trouve dans un état excité. La désexcitation de ce noyau libère une grande énergie sous forme de **rayonnement électromagnétique**, correspondant à l'émission de **photons** de très haute fréquence :



${}^A_Z Y^*$ noyau fils émis dans l'état excité et ${}^A_Z Y$ noyau fils désexcité.



Le rayonnement γ est moins ionisant et très pénétrant, il faut une forte épaisseur de béton ou de plomb pour s'en protéger.

3.4. Radioactivité artificielle et réactions nucléaires :

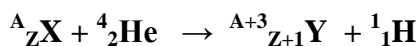
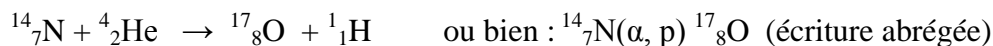
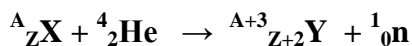
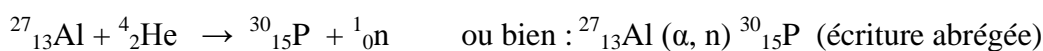
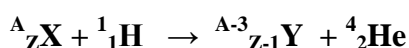
En 1934, *Frédéric Joliot-Curie* et *Irène Joliot-Curie* ont été les premiers qui ont découvert le phénomène. Ils ont bombardé de l'aluminium 27 avec des particules α pour produire du phosphore 30.

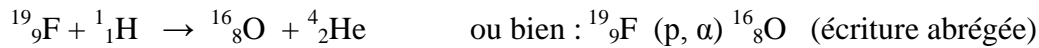
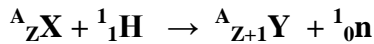
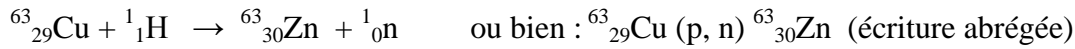
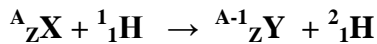
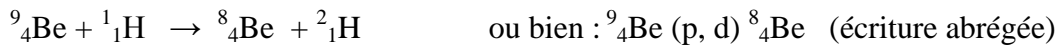
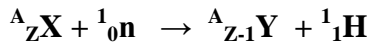
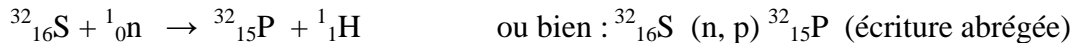
La radioactivité artificielle est créée artificiellement en bombardant des éléments stables avec diverses particules : neutron, proton, particule α .

On distingue les réactions nucléaires de : **transmutation, fission, fusion** et l'**émission β^+** .

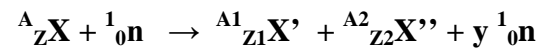
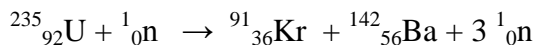
3.4.1. Réactions de transmutation :

La transmutation est la transformation d'un noyau en un autre tel que les valeurs de A et Z des deux noyaux soient proches.

a) Transmutation par l'hélium :**a.1. Libération de proton : réactions (α , p) :****Exemple :****a.2. Libération de neutron : réactions (α , n) :****Exemples :****b) Transmutation par proton :****b.1. Emission d'hélium : réactions (p, α) :**

Exemple :**b.2. Emission de neutron : réactions (p, n) :****Exemple :****b.3. Réactions (p, d) :****Exemple :****c) Transmutations par neutron :****c.1. Emission de protons : réactions (n, p) :****Exemple :****3.4.2. Réaction de fission :**

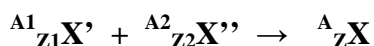
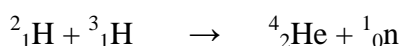
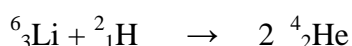
Un noyau lourd (nombre de masse $A > 200$) se casse en deux nouveaux noyaux plus légers ($72 < A < 162$) que le noyau cible et des neutrons selon le processus suivant :

**Exemple :**

Les neutrons libérés peuvent provoquer de nouvelles réactions de fission. Si le processus ne cesse pas, il donne lieu à une réaction en chaîne qui devient explosive : c'est le principe de la bombe atomique.

3.4.3. Réaction de fusion :

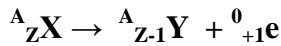
C'est l'union de deux noyaux légers pour former un noyau plus lourd. Cette réaction est amorcée par de haute température (107 K) et libère une quantité considérable d'énergie. Elle a lieu comme suit :

**Exemples :**

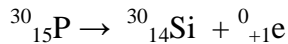
La fusion nucléaire est le principe de la bombe à hydrogène.

3.4.4. Emission β^+ :

L'émission β^+ concerne les noyaux possédant un excès de protons ($Z > N$). Elle correspond à la transformation d'un *proton* en *neutron* (${}^1_1\text{P} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_{+1}\text{e}$). La particule émise est un *positon* (${}^0_{+1}\text{e}$) selon la réaction :



Exemple :



Le rayonnement β^+ est moyennement pénétrant, il ne concerne que les noyaux artificiels.

3.5. Aspects quantitatifs des désintégrations radioactives :

a) Aspect énergétique :

Les réactions nucléaires s'accompagnent toujours d'une perte de masse (Δm) correspondant à la libération de la quantité d'énergie donnée par la relation d'Einstein : $\Delta E = \Delta m \cdot C^2$

Δm : perte de masse ($\Delta m = \sum m_{\text{réactifs}} - \sum m_{\text{produits}}$).

C : Vitesse de la lumière dans le vide. ($C = 3 \cdot 10^8$ m/s)



$$m_{\text{Th}} = 230,1047 \text{ uma}, \quad m_{\text{Ra}} = 226,0957 \text{ uma}, \quad m_{\text{He}} = 4,0039 \text{ uma}$$

$$\Delta m = \sum m_{\text{réactifs}} - \sum m_{\text{produits}} = (m_{\text{Th}}) - (m_{\text{Ra}} + m_{\text{He}})$$

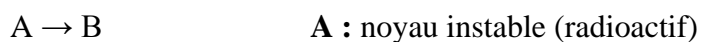
$$= (230,1047) - (226,0957 + 4,0039) = \mathbf{0,0051 \text{ uma} = 0,85 \cdot 10^{-29} \text{ Kg}}$$

$$\Delta E = \Delta m \cdot C^2 = 0,85 \cdot 10^{-29} * (3 \cdot 10^8)^2 = \mathbf{7,65 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 4,78 \text{ MeV}}$$

b) Aspect cinétique :

b.1. Loi de la désintégration radioactive :

Soit la réaction nucléaire suivante :



B : noyau stable (non radioactif)

L'expérience montre que le nombre de noyaux stables qui se désintègrent est proportionnel au nombre de noyaux instables (N) présents à l'instant (t) donnée.

La vitesse de désintégration s'écrit : $-dN/dt = \lambda \cdot N$

Après intégration : $\ln(N/N_0) = -\lambda \cdot t \rightarrow N/N_0 = e^{-\lambda t}$

La loi de désintégration s'écrit ainsi comme suit : $\mathbf{N = N_0 e^{-\lambda t}}$

Avec :

N : nombre de noyaux instables restant au temps (t).

N_0 : nombre de noyaux instables au temps initial (t=0).

λ : constante de désintégration ou constante radioactive (s^{-1} , min^{-1} , h^{-1} , an^{-1})

b.2. Période radioactive ou temps de demi-vie (T, ou, $t_{1/2}$) :

La période T (notée aussi $t_{1/2}$) est le temps nécessaire pour que le nombre de noyaux instables au temps initial (N_0) diminue de moitié.

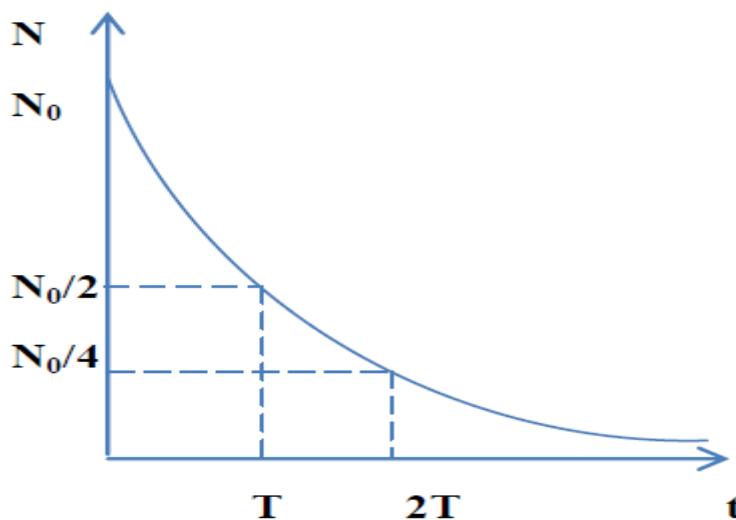
On a : $N = N_0 e^{-\lambda t}$

Quand : $t = T$; alors ; $N = N_0 / 2$

Donc : $(N_0 / 2) = N_0 e^{-\lambda T} \rightarrow e^{-\lambda T} = (1/2) \rightarrow \text{Ln}(e^{-\lambda T}) = \text{Ln}(1/2)$

$-\lambda T = \text{Ln}(1/2)$; or ; $\text{Ln}(1/2) = -\text{Ln}2$; d'où ; $-\lambda T = -\text{Ln}2$

Donc ; **$T = \text{Ln}2/\lambda$**



b.3. Activité radioactive (A) :

L'activité radioactive A d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations qui se produisent par seconde à un instant donné:

$A = -dN/dt = \lambda N \rightarrow$ **$A = \lambda.N$**

Unités :

*La *désintégration par seconde (dps)*.

*La *désintégration par minute (dpm)*.

*La *désintégration par heure (dph)*.

*Le *Becquerel (Bq)* : **$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$**

*Le *Curie (Ci)* : **$1 \text{ Ci} = 3,7.10^{10} \text{ dps} = 3,7.10^{10} \text{ Bq}$**

Nous avons aussi la loi de l'activité qui s'exprime par la relation suivante :

$N = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \lambda.N = \lambda.N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow$ **$A = A_0 e^{-\lambda t}$**

Avec :

A : Activité à l'instant $t \neq 0$.

A_0 : Activité initiale à l'instant $t=0$.

* La loi de la désintégration radioactive peut être écrite sous une autre forme en fonction de la masse de l'élément radioactif étudié puisque :

Dans 1 mole de l'élément on a le nombre d'Avogadro (N_A)

1 mol $\longrightarrow N_A$

n mol de l'élément (m/M) $\longrightarrow N$

Donc : $N = m \cdot N_A / M$; et ; $N_0 = m_0 \cdot N_A / M$

On remplace N et N_0 par leur formules ; il en résulte que :

$$(m \cdot N_A / M) = (m_0 \cdot N_A / M) \cdot e^{-\lambda t} \text{ donc ; } m = m_0 e^{-\lambda t} \text{ ou } n = n_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Avec :

n : nombre de mole de l'élément radioactif à l'instant $t \neq 0$

n_0 : nombre de mole de l'élément radioactif à l'instant $t=0$

m : masse de l'élément radioactif à l'instant $t \neq 0$

m_0 : masse de l'élément radioactif à l'instant $t=0$

Nombre de noyaux désintégrés :

$$N' = N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \rightarrow N' = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

N' : nombre de noyaux désintégrés

Masse de noyaux désintégrés :

$$m' = m_0 - m = m_0 - m_0 e^{-\lambda t} = m_0 (1 - e^{-\lambda t}) \rightarrow m' = m_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

m' : masse de noyaux désintégrés

3.6. Applications de la radioactivité :

- Domaine de l'armement : missiles nucléaires, bombe atomique, bombe à hydrogène, etc...
- Source d'énergie (production de l'électricité)
- Médecine (l'iode radioactif est utilisé dans l'examen scintigraphique de la thyroïde, irradiations de tumeurs, etc...)
- Traceurs radioactifs pour le contrôle de nombreux procédés de fabrication industriels.
- Carbone 14 pour la datation d'objets anciens (jusqu'à environ 40 000 ans).

3.7. Dangers de la radioactivité :

Le rayonnement nucléaire détruit les molécules organiques: les cellules et les tissus. Ces effets sont :

- effets pathologiques : lésions, production de cancers et leucémies.
- effet génétique : modification des gènes.

Exercice :

I) Le $^{99}_{43}\text{Tc}$ se désintègre par radioactivité β^- .

-Ecrire sa réaction de désintégration ?

Partant d'une masse initiale m_0 , on constate qu'au bout d'un temps $t=5.10^4$ secondes, il ne reste que 20% de cette masse.

-Calculer la période de $^{99}_{43}\text{Tc}$ et déduire sa constante radioactive ?

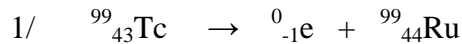
II) Partant de 1 mg de Tc.

-Calculer son activité en curie ?

-Au bout de combien de temps cette activité sera-t-elle réduite de 75% ?

Données : Masses en uma (Tc = 98,90625, Ru= 98,90594, $m_n= 1,00867$, $m_p= 1,00727$),

$$1\text{Ci}=3,7.10^{10}\text{ dps} \quad N=6,022.10^{23}.$$

Corrigé :

$$2/ \quad m = m_0.e^{-\lambda t} \rightarrow \text{Ln} (m_0 / m) = (\text{Ln} 2/T).t \rightarrow T = t. (\text{Ln}2/ \text{Ln} (m_0 / m))$$

$$T = 2,153.10^4 \text{ s} \approx 6 \text{ h} \quad , \text{ et, } \quad \lambda = 3.22 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$3/ \quad A_0 = \lambda N_0 = \lambda (m_0/M) N_A$$

$$A_0 = 19,58 \cdot 10^{13} \text{ Bq} = 5.29 \cdot 10^3 \text{ Ci}$$

$$4/ A = A_0.e^{-\lambda t} \rightarrow t = (1/\lambda). \text{Ln} (A_0 / A) \rightarrow t = \text{Ln} (4 / \lambda) = 2. (\text{Ln}2 / \text{Ln}2).T \rightarrow t = 2.T$$

$$t = 4,306 \cdot 10^4 \text{ s} \approx 12 \text{ h}$$