

CHAPITRE II : LA RADIOACTIVITE

II-1. DEFINITION

La stabilité des noyaux résulte de la compétition entre l'interaction forte responsable de l'attraction des nucléons et l'interaction électrostatique responsable de la répulsion entre les protons.

Tous les noyaux n'ont pas la même force de cohésion (liaison) par nucléon $\left(\frac{E_L}{A}\right)$, donc l'énergie de cohésion augmente rapidement pour les noyaux légers de **H** à **O** (un max de 8,5 Mev) puis elle diminue lentement.

Si $\frac{A-Z}{Z} \geq 1,5$ on dit que les noyaux sont radioactifs.

On peut diviser le tableau périodique en trois parties :

- $1 \geq Z \geq 20$: ce sont des noyaux stables (le nombre de protons = nombre de neutrons).
- $20 > Z \geq 84$: ce sont des noyaux instables (le nombre de neutrons = nombre de protons).
- $Z > 84$: ce sont des noyaux instables et radioactifs.

II-2. RADIOACTIVITE NATURELLE

Certains nucléides instables émettent spontanément des radiations. Ils sont instables car leur combinaison de protons et neutrons forme une architecture fragile ; ils ont une certaine probabilité de se désintégrer, c'est-à-dire de modifier spontanément leur structure. Cette modification s'accompagne de réactions qui ne peuvent être modifiées par aucune intervention extérieure (température, pression...).

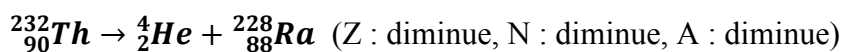
L'expérience ci-dessous montre l'existence de trois types de rayonnement : α, β, γ

II-2-1. Rayonnement α

Constitués de particules α (${}^4_2\text{He}$). Ils sont émis essentiellement par des noyaux lourds.

Le rayonnement α est très ionisant mais peu pénétrant.

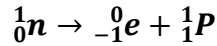
Exemple :



Avec ${}^{232}_{90}\text{Th}$ (Thorium), ${}^{228}_{88}\text{Ra}$ (Radium)

II-2-2. Rayonnement β

Lorsque le rapport N/Z est trop élevé les nucléides émettent des électrons, comme le noyau ne contient pas d'électrons (ou particules), il faut admettre qu'un processus interne crée l'électron. Ce processus est la conversion d'un neutron en proton.



Le rayonnement β est moins ionisant que celle de α , mais très pénétrant.

Exemple : ${}^{14}_6C \rightarrow {}^0_{-1}e + {}^{14}_7N$ (Z : augment et A : change pas)

II-2-3. Rayonnement γ

L'éjection des particules α et β s'accompagne souvent d'une très forte excitation interne du noyau, qui se traduit par l'émission d'un rayonnement électromagnétique de même nature que la lumière ou les rayons X .

Le passage de l'état fondamental libre des photons γ de grande énergie.

Le rayonnement γ est beaucoup moins ionisant que celui de β mais beaucoup plus pénétrant.

Exemple : ${}^{137}_{56}Ba \rightarrow {}^{137}_{56}Ba + {}^0_0\gamma$

II-3. RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE

C'est un processus obtenu par bombardement des nucléides par des particules alpha (α), proton, deutérium, électrons, neutron,...ect.

On distingue trois types de réactions nucléaires :

II-3-1. Fission nucléaire

La fission est une réaction nucléaire dans laquelle un noyau lourd ($A > 200$), dit **fissile**, est scindé en deux noyaux plus légers ($72 < A < 162$).

Dans la plupart des cas, la fission est provoquée par l'impact d'une particule incidente, notée dans le membre de gauche de l'équation de réaction. Le neutron, électriquement neutre, est généralement utilisé car il ne subit pas de répulsion électrostatique de la part du noyau cible.

Les noyaux **fissiles** sont rares ; le plus utilisé est l'**uranium 235**, qui ne représente que **0,72** % de l'uranium naturel. Sous l'impact de neutrons lents ($v = 2 \text{ km.s}^{-1}$), il fournit de très nombreux couples de noyaux, généralement instables.

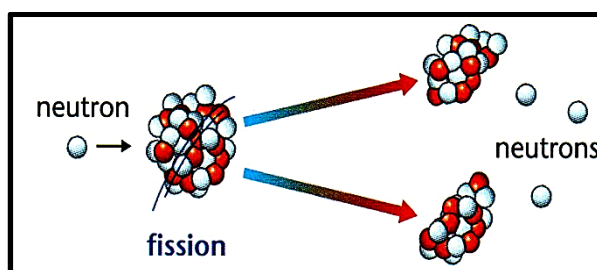
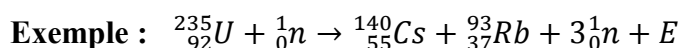
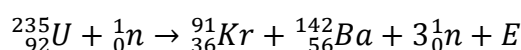
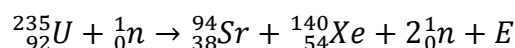


Figure 2. Réaction nucléaire de fission



D'autres réactions de fission de l'uranium 235 :



Une réaction de fission va **donner naissance à des noyaux fils mais aussi à des neutrons**, ceux-ci pouvant aller rencontrer d'autres noyaux d'uranium : on obtient alors une **réaction en chaîne**.

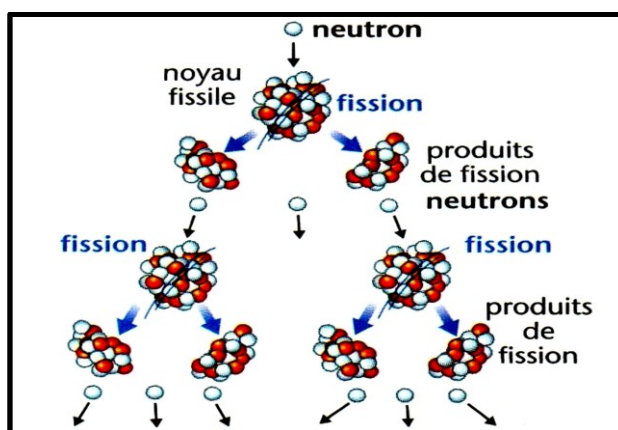
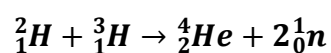


Figure 3. Réaction en chaîne

II-3-2. Fusion nucléaire

La fusion nucléaire est la formation d'un noyau plus lourd à partir de deux noyaux légers avec dégagement d'énergie considérable. Par exemple, avec les moyens dont nous disposons sur Terre, on peut envisager la fusion de l'hydrogène.



✓ La réaction de fusion nécessite une élévation de la température très importante.

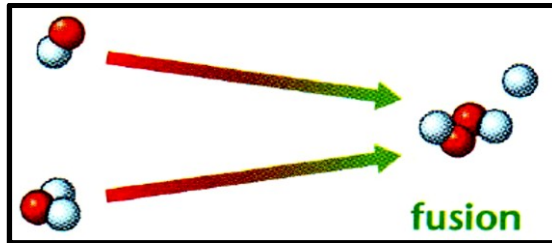
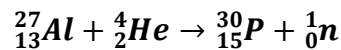
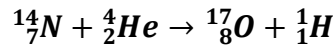


Figure 4. Réaction nucléaire de fusion

II-3-3. Transmutation nucléaire

Ces réactions produisent des nucléides de nombre de masse égal ou très voisin de celui du nucléide initial. Les nucléides formes sont stables ou radioactifs.

Exemples :



II-4. ENERGIE ET PERTE DE MASSE

La réaction nucléaire s'accompagne d'une perte de masse Δm cette perte se retrouve sous forme d'énergie ΔE . La relation d'EINSTEIN relie la masse et l'énergie qui sont deux grandeurs équivalentes :

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 = h\nu$$

$$\Delta m = \sum m_{\text{prouits}} - \sum m_{\text{réactifs}}$$

Avec c : Vitesse de la lumière ($c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

h : Constante de Planck ($h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$).

L'électron vol (eV) est l'énergie d'un électron soumis à une différence de potentiel de 1 Volt.

$$1eV = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

$$1erg = 10^{-7} \text{ J}.$$

$$1cal = 4,18 \text{ J}.$$

II-5. LOI DE LA DESINTEGRATION RADIOACTIVE

Les noyaux radioactifs n'ont pas toujours la même capacité de désintégration ; on constate que certains mettent beaucoup de temps, d'autres très peu.

Ce qui caractérise la propension d'un nucléide radioactif à se désintégrer, c'est sa **constante Radioactive « λ »**.

Soit la réaction désintégration :



$$t = 0 \quad N_0 \quad 0$$

$$t \neq 0 \quad N_t \quad N_B$$

Sachant que : N_0 : Le nombre des noyaux initiales de A ($a \ t = 0$) / $N = \frac{m}{M} \times N_A$

N_t : Le nombre des noyaux restantes de A ($a \ t \neq 0$).

N_B : Le nombre des noyaux désintégrés de A .

N_A : Nombre d'Avogadro = $6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Expérimentalement, on peut compter le nombre des particules émises par unité de temps.

$$\frac{-dN}{dt} = \lambda N$$

$\frac{-dN}{dt}$: Variation du nombre de noyaux radioactifs pendant le temps dt (vitesse de désintégration).

N : Le nombre de noyaux instables présents dans l'échantillon à l'instant t .

λ : Constante radioactive.

$$\frac{-dN}{dt} = \lambda N \Rightarrow -\frac{dN}{N} = \lambda dt$$

D'où

$$\int_{N_0}^N \frac{-dN}{N} = \int_0^t \lambda dt \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\Rightarrow \boxed{N = N_0 \exp^{-\lambda t}}$$

La loi de désintégration radioactive

II-6. ACTIVITE RADIOACTIVE

Activité absolue A est donnée par :

$$A = A_0 \exp^{-\lambda t}$$

$$\text{ou } A = \lambda N = \lambda \frac{mN_A}{M}$$

On peut l'exprimer l'activité absolue A en :

- désintégration par minute (**dpm**)
- désintégration par seconde (**dps**)
- Becquerel (**Bq**) = **1dps**
- Curie (**Ci**) **1Curie = 3,7 × 10¹⁰ dps**

II-7. PERIODE RADIOACTIVE OU LE TEMPS DE DEMIE VIE ($T = t_{1/2}$) :

La période est le temps au bout duquel la moitié des noyaux se désintègre.

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

$$\text{a } t = t_{1/2} = T \Rightarrow N = \frac{N_0}{2}$$

Donc

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \exp^{-\lambda t} \Rightarrow \ln \frac{1}{2} = -T\lambda \Rightarrow t_{1/2} = T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

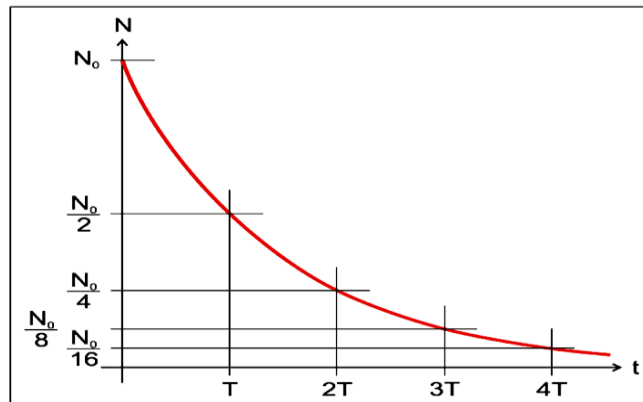


Figure 5. Variation de N en fonction du temps.

Dr. KAABI ILHEM