

I. STRUCTURE DU NOYAU ATOMIQUE

1) Les constituants du noyau atomique

Le noyau atomique est composé de protons et de neutrons, ces constituants du noyau s'appellent les **nucléons**.

● Proton (p^+)

● Neutron (n^0)

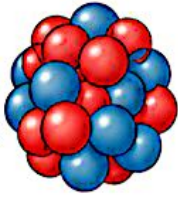
Nucléon = proton ou neutron

• Proton : charge $q_p = +e = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

masse $m_p = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$

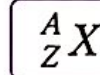
• Neutron : charge $q_n = 0$ (électriquement neutre)

masse $m_n = 1,6750 \times 10^{-27} \text{ kg}$



2) Représentation d'un noyau

On représente un noyau par le symbole :



• A : nombre de masse = nombre de nucléons ($p + n$)

• Z : numéro atomique = nombre de protons

• N : nombre de neutrons = $A - Z$

Exemples :

${}_{17}^{35}\text{Cl}$:
17 protons + 18 neutrons ($A = 35$)

${}_{11}^{24}\text{Na}$:
11 protons + 13 neutrons ($A = 24$)

${}_{92}^{238}\text{U}$:
92 protons + 146 neutrons ($A = 238$)

3) Nucléide

On appelle nucléide en physique nucléaire l'ensemble des noyaux identiques ayant même A et même Z.

Exemples :

${}_{42}^{98}\text{Mo}$ et ${}_{43}^{98}\text{Tc}$: nucléides différents
même A, Z différents.

${}_{92}^{235}\text{U}$ et ${}_{92}^{238}\text{U}$: nucléides différents
même Z, A différents.

4) Isotopes d'un élément chimique

Les isotopes d'un élément chimique sont les nucléides d'un même élément (même Z) mais qui diffèrent par leur nombre de masse A (donc par leur nombre de neutrons).

Exemple : Le carbone possède trois isotopes ${}_{6}^{12}\text{C}$, ${}_{6}^{13}\text{C}$ et ${}_{6}^{14}\text{C}$ qui possèdent tous 6 protons mais des nombres de neutrons différents :

• ${}_{6}^{12}\text{C}$: 6 neutrons • ${}_{6}^{13}\text{C}$: 7 neutrons
• ${}_{6}^{14}\text{C}$: 8 neutrons

Les isotopes diffèrent aussi par leur abondance dans la nature :

Isotope	${}_{6}^{12}\text{C}$	${}_{6}^{13}\text{C}$	${}_{6}^{14}\text{C}$
Abondance (%)	98,93	1,07	$\sim 10^{-10}$

À RETENIR

Pour un noyau ${}_{Z}^AX$:

- Protons = Z
- Neutrons = $A - Z$
- Nucléons = A

5) Dimensions et masse du noyau

• Rayon nucléaire :

$$r = r_0 A^{1/3}$$

avec $r_0 = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}$

• Masse d'un nucléon : $m_n \approx 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$

• Masse volumique de la matière nucléaire :

$$\rho = \frac{m_n \cdot A}{V} = \frac{m_n A}{\frac{4}{3} \pi r^3} = \frac{m_n A}{\frac{4}{3} \pi (r_0^3 A)} = \frac{3m_n}{4\pi r_0^3}$$

$$= \frac{3 \times 1,7 \times 10^{-27}}{4\pi (1,2 \times 10^{-15})^3} \approx 2 \times 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$



soit : $\rho \approx 2 \times 10^8 \text{ tonnes} / \text{cm}^3$

La masse de 1 cm^3 de matière nucléaire est 200 millions de tonnes.

La matière nucléaire est donc extrêmement dense !

6) La découverte de la radioactivité



Henri Becquerel
(1852-1908)

En 1896, Becquerel découvre que des sels d'uranium impressionnent une plaque photographique même dans l'obscurité. Il en déduit que l'uranium émet des **rayonnements invisibles** capables d'impressionner la plaque photographique.

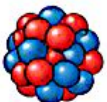
Ensuite, on a pu identifier les types de rayonnements naturels émis par la matière radioactive à l'aide d'un champ électrique.

À RETENIR

- ✓ Le noyau est formé de nucléons (p ou n).
- ✓ Un nucléide est défini par A et Z.
- ✓ Les isotopes : même Z, A différent.
- ✓ Rayon nucléaire : $r = r_0 A^{1/3}$.
- ✓ La matière nucléaire est extrêmement dense !

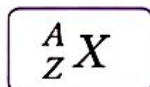
RÉCAPITULATIF RAPIDE

Constituants du noyau



Proton : p^+ , $q_p = +e$
 $m_p = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Neutron : n^0 , $q_n = 0$
 $m_n = 1,6750 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Nucléon = proton ou neutron

Symbole d'un noyau



A : nombre de masse
Z : numéro atomique
N = $A - Z$: neutrons

Isotopes

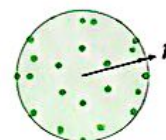
Même Z, A différent
(nombre de neutrons différent)

${}_{6}^{12}\text{C}$	${}_{6}^{13}\text{C}$	${}_{6}^{14}\text{C}$
Abondances (%)		
98,93	1,07	$\sim 10^{-10}$

Rayon nucléaire

$$r = r_0 A^{1/3}$$

$r_0 = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}$



Masse volumique

$$\rho \approx 2 \times 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$= 2 \times 10^8 \text{ tonnes} / \text{cm}^3$$



1) Découverte de la radioactivité



Henri Becquerel
(1852-1908)

En 1896, Becquerel découvre que des sels d'uranium impressionnent une plaque photographique même dans l'obscurité.
Il en déduit que l'uranium émet des **rayonnements invisibles** capables d'impressionner la plaque photographique.

2) Définition de la radioactivité

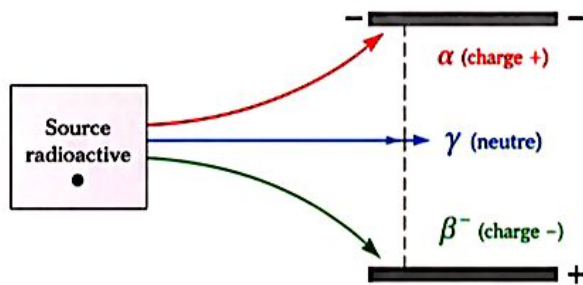
La radioactivité est la transformation spontanée d'un noyau atomique instable en un autre noyau plus stable, avec émission d'un rayonnement.

Cette transformation s'appelle : **DÉSINTÉGRATION RADIOACTIVE.**

3) Les types de rayonnements naturels

Rayonnement	Nature	Charge	Vitesse	Pouvoir pénétrant	Arrêté par
α (alpha)	Noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$	$+2e$ $= +3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$	$\approx 10^7 \text{ m.s}^{-1}$	Très faible	Feuille de papier, peau
β^- (bêta moins)	Électron ${}^0_{-1}e$	$-e$ $= -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$\approx \frac{c}{3}$	Moyen	Plaque d'aluminium (quelques mm) ou verre
β^+ (bêta plus)	Positron ${}^0_{+1}e$	$+e$ $= +1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$\approx \frac{c}{3}$	Moyen	Plaque d'aluminium (quelques mm) ou verre
γ (gamma)	Onde électromagnétique	0	$c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	Très élevé	Béton épais, plomb

4) Déviation des rayonnements dans un champ électrique



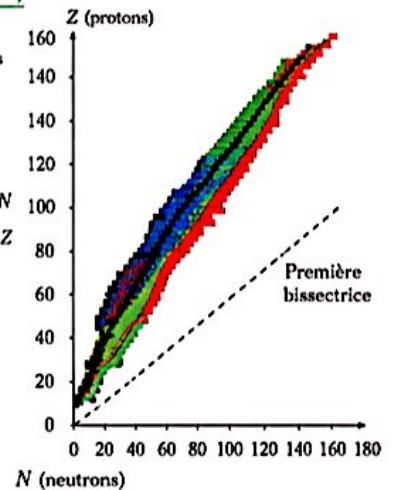
- α : déviation vers la plaque négative (car charge positive)
- β^- : déviation vers la plaque positive (car charge négative)
- γ : non dévié (charge nulle)

6) Diagramme de Segré (N, Z)

Le diagramme de Segré contient tous les noyaux stables et les noyaux radioactifs.

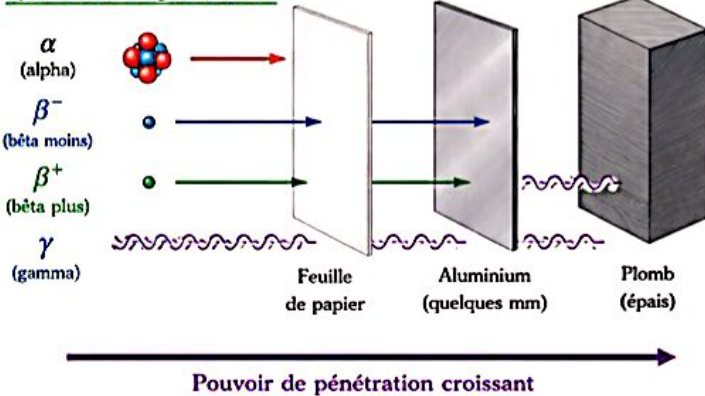
- En abscisse : nombre de neutrons N
- En ordonnée : nombre de protons Z

- Noyaux stables
- Émetteurs β^-
- Émetteurs β^+
- Émetteurs α



- Les isotopes d'un même élément chimique se trouvent sur une même ligne parallèle à l'axe des ordonnées.
- N et Z sont presque égaux pour les noyaux légers.
- Quand Z augmente, N doit être supérieur à Z pour que le noyau reste stable.

5) Pouvoir de pénétration



À retenir

- Les rayons α sont des noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$ (charge $+2e$).
- Les rayons β^- sont des électrons (charge $-e$).
- Les rayons β^+ sont des positrons (charge $+e$).
- Les rayons γ sont des ondes électromagnétiques (charge nulle).



Ordre du pouvoir pénétrant

$$\alpha < \beta^- \approx \beta^+ \ll \gamma$$

Ordre du pouvoir ionisant (inverse du pénétrant)

$$\alpha \gg \beta^- \approx \beta^+ \gg \gamma$$



Ne jamais confondre pénétration et ionisation !

Loi de conservation (loi de Soddy)

Lors d'une transformation nucléaire, le nombre de nucléons A et la charge électrique Z se conservent.

$$A = A_1 + A_2$$

$$Z = Z_1 + Z_2$$

La radioactivité est :

Un phénomène naturel et aléatoire : on ne peut pas prévoir quel noyau va se désintégrer, mais on peut prévoir combien vont se désintégrer.



Exemples de désintégration

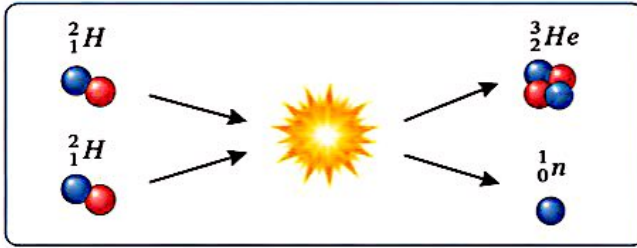
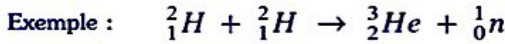
- α : ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$
- β^- : ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_{-1}e$
- β^+ : ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}e$
- γ : ${}^A_Z\text{X}^* \rightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^0_0\gamma$

X^* : noyau excité

${}^0_0\gamma$: photon gamma

1 LA FUSION NUCLÉAIRE

En quête de leur stabilité, certains noyaux légers peuvent, dans certaines conditions expérimentales, se fusionner pour former des noyaux plus lourds et plus stables.

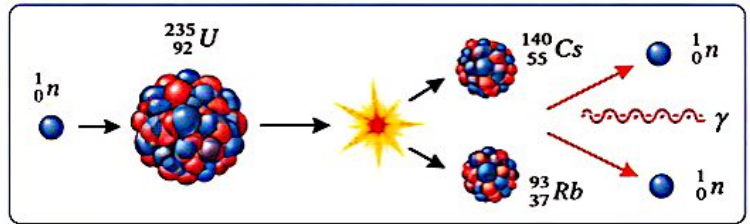
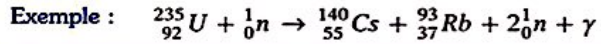


Remarque :

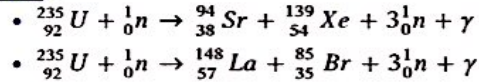
La réalisation de ce genre de transformations nucléaires nécessite une température et une pression très élevées (comme dans le cas d'une étoile) pour vaincre les interactions répulsives dues aux forces électriques.

2 LA FISSION NUCLÉAIRE

Cherchant à se stabiliser, certains noyaux lourds peuvent se décomposer en plusieurs noyaux plus légers et plus stables.



Autres possibilités :



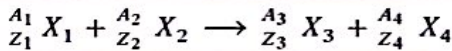
Remarque :

Les neutrons produits par ces réactions exothermiques peuvent, s'ils ne sont pas contrôlés, provoquer la fission d'autres noyaux et rendre la réaction nucléaire cyclique (**réaction en chaîne**). L'énergie s'accumulera jusqu'à une **explosion !**

3 BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UNE TRANSFORMATION NUCLÉAIRE

a) Le cas général

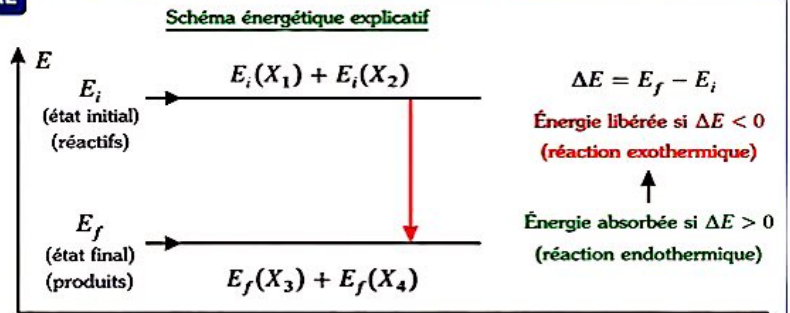
Considérons une transformation nucléaire symbolisée par :



Le système étudié : $\{ {}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \}$ devient $\{ {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4 \}$

L'énergie reçue par notre système cédée par son extérieur lors de sa transformation est :

$$\Delta E = E_f - E_i$$



En se basant sur ce schéma énergétique, on peut écrire :

$$\Delta E = [E_i(X_1) + E_i(X_2)] - [E_f(X_3) + E_f(X_4)]$$

$$\Delta E = \sum E_i(\text{réactifs}) - \sum E_f(\text{produits})$$

D'une autre manière :

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

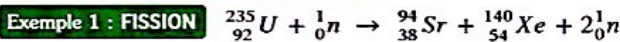
$$\Delta E = [(m_3 + m_4) - (m_1 + m_2)] c^2$$

$$\Delta E = [\sum m(\text{produits}) - \sum m(\text{réactifs})] c^2$$

Où :

- m_i : masse du réactif i
- m_f : masse du produit f
- c : célérité de la lumière ($c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

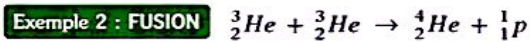
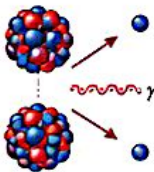
4 APPLICATION À DES EXEMPLES



- Calculer ΔE (énergie libérée par la fission d'un seul noyau ${}^{235}_{92}\text{U}$).
- Établir le schéma énergétique de cette réaction.
- Calculer l'énergie libérée par la fission de 1 g de ${}^{235}_{92}\text{U}$.

Données :

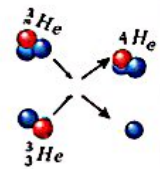
- $m({}^{94}_{38}\text{Sr}) = 93,8945 \text{ u}$
- $m({}^{140}_{54}\text{Xe}) = 139,8920 \text{ u}$
- $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 234,9935 \text{ u}$
- $m({}^1_0\text{n}) = 1,0087 \text{ u}$
- $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
- $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$



- Calculer ΔE (énergie libérée par la fusion de deux noyaux ${}^3_2\text{He}$).
- Établir le schéma énergétique de cette réaction.
- Calculer l'énergie libérée par la fusion de 1 g de ${}^3_2\text{He}$.

Données :

- $m({}^4_2\text{He}) = 4,0015 \text{ u}$
- $m({}^3_2\text{He}) = 3,0149 \text{ u}$
- $m({}^1_1\text{p}) = 1,0073 \text{ u}$
- $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
- $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$



À RETENIR

Stabilité nucléaire :

Plus $\frac{E_L}{A}$ est grand, plus le noyau est stable.

Fusion : noyaux légers

→ noyaux plus lourds + stabilité + énergie

FiSSION : noyaux lourds

→ noyaux plus légers + stabilité + énergie

Bilan énergétique :

$\Delta E = \Delta m c^2$
Énergie libérée si $\Delta E < 0$

Réaction en chaîne :

⚠ risque d'explosion si non contrôlée !