

Fiche de cours Transformations nucléaires

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 LE NOYAU, L'ÉLÉMENT, LES ISOTOPES

Notation. Un noyau s'écrit ${}^A_ZX$: Z est le **nombre de charge** (ou numéro atomique), c'est le nombre de *protons* ; A est le **nombre de masse**, c'est le nombre de *nucléons* (protons et neutrons). Le noyau contient donc $N = A - Z$ neutrons.

Définition. Deux noyaux **isotopes** ont le *même* nombre de charge Z et des nombres de masse A *différents* : ce sont des noyaux du même **élément chimique**, mais ils n'ont pas le même nombre de neutrons.

★ EXEMPLE — isotopes du carbone et de l'uranium

${}^{12}_6\text{C}$ et ${}^{14}_6\text{C}$: 6 protons chacun, mais 6 et 8 neutrons. ${}^{235}_{92}\text{U}$ et ${}^{238}_{92}\text{U}$: 92 protons, 143 et 146 neutrons. L'uranium naturel contient 0,7 % de ${}^{235}\text{U}$ et 99,3 % de ${}^{238}\text{U}$.

Remarque. Des isotopes ont les mêmes propriétés *chimiques* (même cortège électronique), mais des propriétés *nucléaires* différentes : l'uranium 235 est fissile, pas l'uranium 238.

2 TROIS TYPES DE TRANSFORMATIONS

Définition. Au cours d'une **transformation nucléaire**, les *noyaux* eux-mêmes sont modifiés : l'élément chimique peut changer. C'est le seul cas où un élément chimique n'est pas conservé.

Transformation	physique	chimique	nucléaire
Ce qui change	la disposition des entités (état physique)	les associations d'atomes (les molécules, les ions)	les noyaux
Ce qui est conservé	les entités elles-mêmes	les atomes, donc les éléments	A et Z , mais pas les éléments
Exemple	$\text{H}_2\text{O (s)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O (l)}$	$\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	fission de l'uranium 235
Énergie mise en jeu	faible	moyenne	très grande

3 ÉQUATION D'UNE RÉACTION NUCLÉAIRE

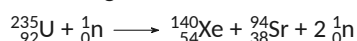
Propriété — lois de conservation. Dans l'équation d'une réaction nucléaire, il y a conservation du **nombre de masse** A et du **nombre de charge** Z : la somme des A et la somme des Z sont les mêmes avant et après la flèche.

Notation. Particules usuelles : neutron ${}_0^1\text{n}$ • proton ${}_1^1\text{H}$ • noyau d'hélium ${}_2^4\text{He}$ • électron ${}_{-1}^0\text{e}$ • positon ${}_{+1}^0\text{e}$ (de même masse que l'électron, mais de charge $+e$).

Méthode — compléter une équation. écrire l'équation avec le noyau inconnu ${}_Z^AX$; calculer A par la somme des nombres de masse, Z par la somme des nombres de charge ; identifier l'élément grâce à Z dans le tableau périodique.

4 LA FISSION

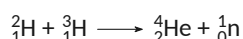
Définition. La **fission** est la rupture d'un noyau *lourd*, provoquée par le choc d'un neutron, en deux noyaux plus *légers*, avec émission de deux ou trois neutrons et libération d'une grande énergie.



Propriété. Les neutrons émis peuvent provoquer de nouvelles fissions : c'est la **réaction en chaîne**. Dans un réacteur, elle est *contrôlée* par des barres absorbant une partie des neutrons ; dans une bombe, elle n'est pas contrôlée et s'emballe.

5 LA FUSION

Définition. La **fusion** est l'union de deux noyaux *légers* en un noyau plus *lourd*, avec libération d'une grande énergie.



Propriété. Les deux noyaux sont chargés positivement et se repoussent : la fusion n'est possible qu'à très haute température : 15 millions de degrés Celsius au cœur du Soleil, 150 millions dans le réacteur ITER.

Remarque. L'énergie du Soleil vient de la fusion de l'hydrogène en hélium, de bilan $4\,{}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + 2\,{}^0_1\text{e}^-$.

6 L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Propriété. À masse égale, une transformation nucléaire libère environ **un million de fois plus** d'énergie qu'une transformation chimique : 1,0 kg d'uranium 235 fissionné libère $8,2 \times 10^{13}$ J, contre $3,0 \times 10^7$ J pour 1,0 kg de charbon brûlé.

Propriété — centrale nucléaire. La fission chauffe l'eau du cœur (circuit primaire) $\rightarrow$ dans le générateur de vapeur, cette eau vaporise l'eau d'un second circuit $\rightarrow$ la vapeur fait tourner la turbine $\rightarrow$ l'alternateur fournit l'énergie électrique. En fonctionnement, une centrale nucléaire ne rejette pas de CO_2 , mais elle produit des déchets radioactifs.

■ DONNÉES — Valeurs de référence du chapitre

- Fission d'un noyau de ${}^{235}\text{U}$: $3,2 \times 10^{-11}$ J • fusion ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H}$: $2,8 \times 10^{-12}$ J par réaction • combustion d'une molécule de méthane : $1,3 \times 10^{-18}$ J.
- Par kilogramme : uranium 235 fissionné $8,2 \times 10^{13}$ J • charbon brûlé $3,0 \times 10^7$ J.
- Uranium naturel : 0,7 % de ${}^{235}\text{U}$; le combustible d'un réacteur est enrichi à quelques pour cent.

7 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

➤ SAVOIR-FAIRE

- Donner la composition d'un noyau à partir de son écriture ${}^A_Z\text{X}$, et reconnaître des isotopes.
- Distinguer une transformation physique, chimique ou nucléaire et dire ce qui est conservé.
- Compléter l'équation d'une réaction nucléaire en utilisant la conservation de A et de Z .
- Reconnaître une fission ou une fusion à partir de son équation ou d'un schéma.
- Comparer l'énergie libérée par une réaction nucléaire et par une réaction chimique.
- Décrire les étapes de la production d'électricité dans une centrale nucléaire.

8 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — compléter une équation

${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^A_Z\text{X}$. Conservation de A : $6 + 1 = 4 + A$, donc $A = 3$. Conservation de Z : $3 + 0 = 2 + Z$, donc $Z = 1$. Le noyau formé est ${}^3_1\text{H}$, le tritium.

★ EXEMPLE — fission ou fusion ?

${}^{239}_{94}\text{Pu} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{134}_{54}\text{Xe} + {}^{103}_{40}\text{Zr} + 3\,{}^1_0\text{n}$: un noyau lourd frappé par un neutron donne deux noyaux plus légers et des neutrons, c'est une *fission*. ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$: deux noyaux légers s'unissent, c'est une *fusion*.

★ EXEMPLE — comparer des énergies

La fission d'un noyau d'uranium 235 libère $E_1 = 3,2 \times 10^{-11}$ J ; la combustion d'une molécule de méthane libère $E_2 = 1,3 \times 10^{-18}$ J. Le rapport vaut $\frac{E_1}{E_2} = \frac{3,2 \times 10^{-11}}{1,3 \times 10^{-18}} \approx 2,5 \times 10^7$: la fission libère des dizaines de millions de fois plus d'énergie qu'une combustion, par entité transformée.

✗ PIÈGES

- Écrire une équation nucléaire en conservant les *éléments* : c'est justement l'élément qui change ; seuls A et Z se conservent.
- Confondre fission (un noyau lourd *se casse*) et fusion (deux noyaux légers *s'unissent*).
- Croire que des isotopes se comportent différemment en chimie : ils ont les mêmes propriétés chimiques, seules leurs propriétés nucléaires diffèrent.
- Dire qu'une centrale nucléaire « brûle » de l'uranium : il n'y a aucune combustion, donc aucun rejet de CO_2 en fonctionnement.
- Oublier de compter les neutrons émis dans la vérification de A : chacun compte pour $A = 1$ et $Z = 0$.