

Transformations nucléaires

Cours de sciences physiques - niveau 2de

Enfin, le Soleil brille depuis plus de quatre milliards d'années sans s'éteindre, et une centrale nucléaire produit autant d'électricité que des milliers de tonnes de charbon avec quelques kilogrammes de combustible. Leur secret : des **transformations nucléaires**, qui modifient le noyau des atomes et libèrent des énergies un million de fois plus grandes que les réactions chimiques. Voyons comment les décrire et les écrire.

L'essentiel : Un noyau se note ${}^A_Z\mathrm{X}$, avec A nucléons dont Z protons. La fission scinde un noyau lourd, la fusion réunit des noyaux légers, et l'énergie libérée suit $E = \Delta m \cdot c^2$ avec $(c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s})$. Un défaut de masse de 1 g libère environ $(9 \times 10^{13} \text{ J})$.

Ensuite, ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Noyaux, nucléons et isotopes

Puis, un atome est formé d'un **noyau**, très petit (de l'ordre de 10^{-15} m), et d'électrons. Par ailleurs, le noyau contient des **nucléons** : des **protons** (charge +e) et des **neutrons** (sans charge). Puis on caractérise un noyau par deux nombres : le **numéro atomique Z** (nombre de protons) et le **nombre de nucléons A** (protons + neutrons). Ensuite, le nombre de neutrons est $N = A - Z$. Puis on l'écrit :

NOTATION



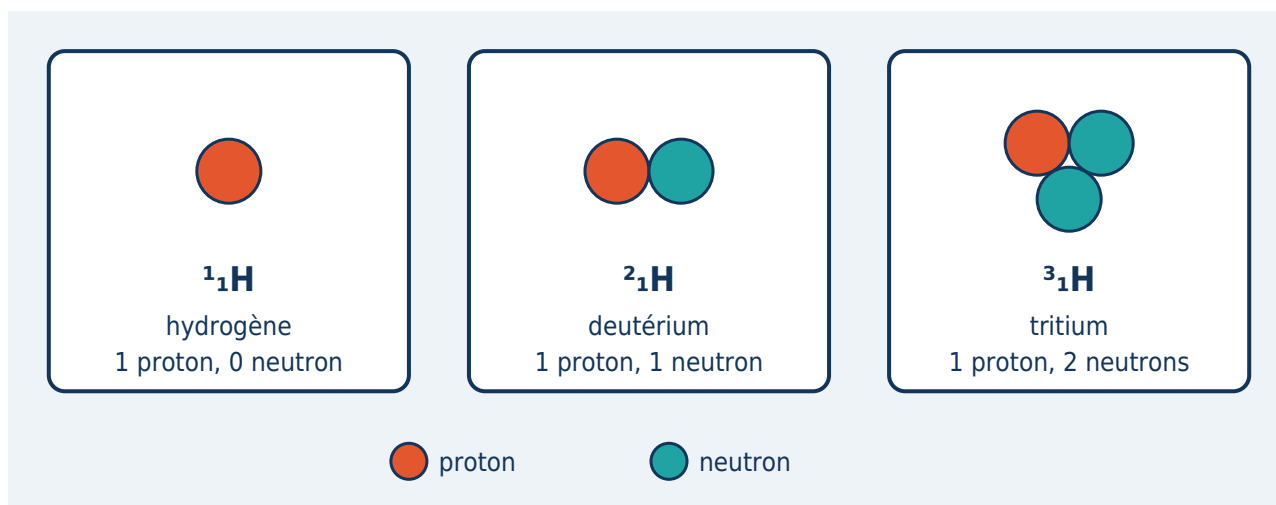
X : symbole de l'élément ; A : nombre de nucléons ; Z : nombre de protons ; $N = A - Z$ neutrons.

EXEMPLE

Ainsi, le noyau ${}^{14}_6\mathrm{C}$ contient $Z = 6$ protons et $N = 14 - 6 = \mathbf{8 \text{ neutrons}}$. De plus, le noyau ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ contient 92 protons et $235 - 92 = \mathbf{143 \text{ neutrons}}$.

DÉFINITION

Des **isotopes** sont des noyaux ayant **le même nombre de protons Z** (même élément chimique) mais **des nombres de neutrons différents** (donc des nombres de nucléons A différents).



Les trois isotopes de l'hydrogène : même $Z = 1$, mais $A = 1, 2$ ou 3 .

Par ailleurs, les isotopes d'un même élément ont les mêmes propriétés chimiques (le cortège électronique est identique), mais des noyaux de stabilité différente. Ensuite, le carbone existe sous forme de $^{12}_6\text{C}$ et $^{13}_6\text{C}$ (stables) et de $^{14}_6\text{C}$ (instable).

Noyaux instables et radioactivité

De plus, un noyau trop riche en protons ou en neutrons, ou trop gros, est **instable** : il se transforme spontanément en un autre noyau en émettant un rayonnement. C'est la **radioactivité**, une transformation nucléaire spontanée. Par ailleurs, le moment où un noyau donné se désintègre est **imprévisible** (phénomène aléatoire), même si l'on sait prévoir le comportement d'un grand nombre de noyaux.

Type	Particule émise	Ce qui change dans le noyau	Exemple
Radioactivité α	noyau d'hélium ^4_2He	Z diminue de 2, A diminue de 4	$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$
Radioactivité β^-	électron $^0_{-1}\text{e}$	Z augmente de 1, A inchangé	$^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}$
Radioactivité β^+	positon $^0_{+1}\text{e}$	Z diminue de 1, A inchangé	$^{18}_9\text{F} \rightarrow ^{18}_8\text{O} + ^0_{+1}\text{e}$
Émission γ	photon de grande énergie	rien (le noyau se désexcite)	noyau excité $\rightarrow$ même noyau + γ

LOI

Donc, dans toute réaction nucléaire, il y a **conservation du nombre de nucléons A** et **conservation de la charge** (somme des Z). Puis on écrit donc que la somme des A

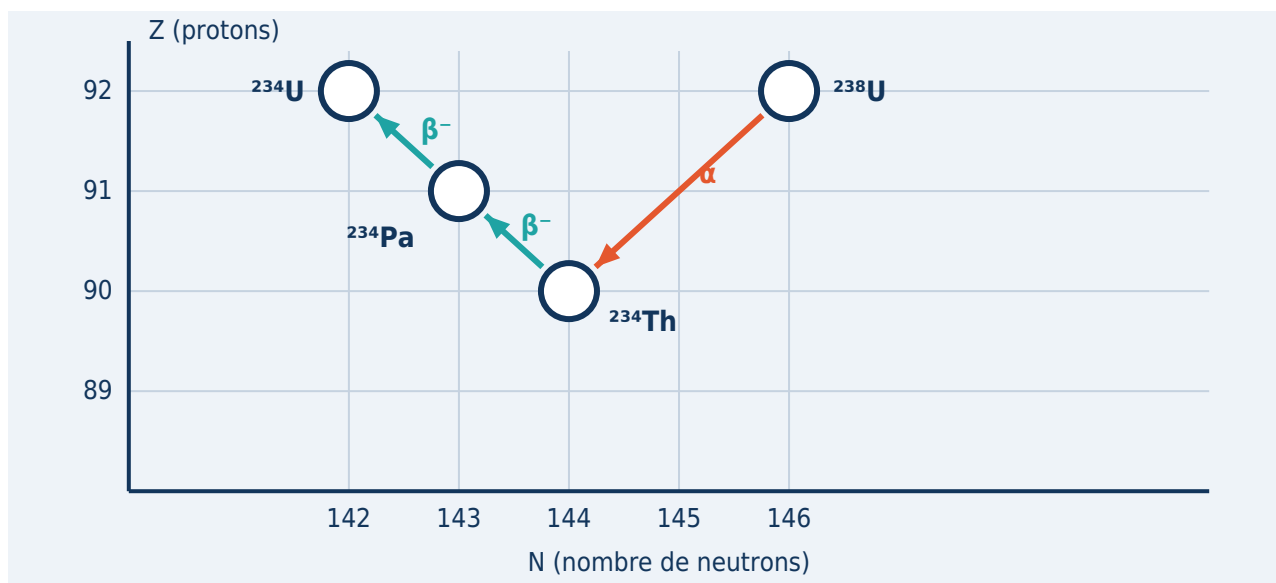
et la somme des Z sont les mêmes à gauche et à droite de la flèche. (Le neutrino émis en radioactivité β^- , de charge nulle et de nombre de nucléons nul, ne change pas ce bilan.)

Noyaux instables et radioactivité (suite)

APPLICATION

Complète : $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ?_{?}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$. Conservation de A : $226 = A' + 4$ donc $A' = 222$.

Conservation de Z : $88 = Z' + 2$ donc $Z' = 86$: c'est le radon $^{222}_{86}\text{Rn}$.

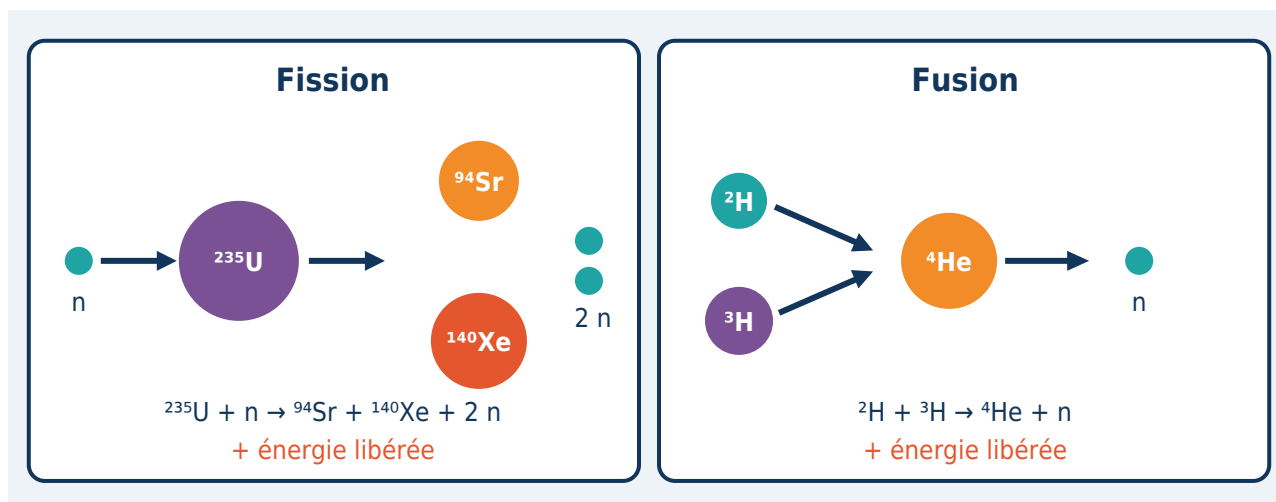


Sur la carte des noyaux, une désintégration α fait « descendre » de 2 cases en Z et en N ; une désintégration β^- ajoute un proton et retire un neutron.

Fission et fusion : les réactions nucléaires provoquées

Enfin, deux réactions nucléaires, non spontanées, libèrent d'énormes quantités d'énergie.

- Ensuite, la **fission** : un noyau lourd, frappé par un neutron, se casse en deux noyaux plus légers en libérant des neutrons. Exemple : $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{140}_{54}\text{Xe} + 2 {}^1_0\text{n}$. Les neutrons émis peuvent provoquer d'autres fissions : c'est une **réaction en chaîne**, contrôlée dans les centrales.
- Puis, la **fusion** : deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd. Exemple : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. Elle exige des températures de plusieurs millions de degrés pour que les noyaux, tous chargés positivement, se rapprochent malgré leur répulsion.



Fission d'un noyau lourd et fusion de deux noyaux légers : dans les deux cas, A et Z se conservent.

L'énergie des transformations nucléaires

L'énergie libérée par noyau est énorme : environ 3×10^{-11} J pour la fission d'un noyau d'uranium 235, contre quelques 10^{-19} J par molécule lors d'une réaction chimique. Rapportée à la masse, la différence est d'un facteur de l'ordre du million.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Fission de 1,0 g d'uranium 235 ($M = 235$ g/mol, $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol⁻¹). Quantité de matière : $n = 1,0 \div 235 = 4,26 \times 10^{-3}$ mol ; nombre de noyaux : $N = 4,26 \times 10^{-3} \times 6,02 \times 10^{23} \approx 2,6 \times 10^{21}$. Énergie libérée : $E = 2,6 \times 10^{21} \times 3,2 \times 10^{-11} \approx \mathbf{8 \times 10^{10} J}$, soit environ 2,7 millions de fois l'énergie fournie par la combustion d'un gramme de charbon (3×10^4 J).

Le Soleil tire son énergie de la fusion de noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium, dans son cœur, à environ 15 millions de degrés : $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_{+1}\text{e} + 2 \nu$ (+ neutrinos). Sa puissance rayonnée est d'environ $3,8 \times 10^{26}$ W. **Une centrale nucléaire** utilise la fission de l'uranium 235 : l'énergie libérée chauffe de l'eau, la vapeur fait tourner une turbine couplée à un alternateur qui produit l'électricité. Ensuite, ces installations exigent une radioprotection stricte : les rayonnements α , β , γ sont **ionisants**, donc dangereux à forte dose. Puis on se protège par la **distance**, la **durée d'exposition** réduite et des **écrans** (feuille de papier pour α , aluminium pour β , plomb ou béton épais pour γ).

Transformation physique, chimique ou nucléaire ?

Transformation	Ce qui change	Exemple
Physique	l'état physique ; les entités restent les mêmes	fusion de la glace
Chimique	les molécules ; les atomes et les noyaux sont conservés	combustion du méthane
Nucléaire	les noyaux ; l'élément chimique change	désintégration de ${}^{14}\text{C}$, fission, fusion

ERREUR FRÉQUENTE

Ainsi, la fission et la fusion ne sont pas à confondre avec la fusion de la glace (changement d'état) : le mot est le même mais il s'agit de transformations différentes. Ne pas non plus croire que le nombre de neutrons se conserve : ce sont A et Z qui se conservent (dans la désintégration β^- , un neutron se transforme en proton).

L'essentiel à retenir

- Par ailleurs, un noyau ${}^A_ZX$ contient Z protons et $A - Z$ neutrons ; des isotopes ont le même Z et des A différents.
- De plus, un noyau instable se désintègre spontanément (α , β^- , β^+ , γ) de façon aléatoire.
- Donc, dans une réaction nucléaire, A et Z se conservent : cela permet d'écrire et d'équilibrer les équations.
- Fission : un noyau lourd se casse (centrales). Fusion : deux noyaux légers s'unissent (Soleil).
- L'énergie libérée par kilogramme est de l'ordre du million de fois celle d'une réaction chimique.
- Enfin, les rayonnements ionisants imposent une radioprotection : distance, durée, écran.

Tout le chapitre « Isotopes et transformations nucléaires » en seconde

- Les exercices : Isotopes et transformations nucléaires
- Le corrigé des exercices : Isotopes et transformations nucléaires
- Le TP : Isotopes et transformations nucléaires
- Le corrigé du TP : Isotopes et transformations nucléaires
- Le QCM : Isotopes et transformations nucléaires

Chapitre précédent : Énergie de changement d'état (cours)

Chapitre suivant : Capteurs électriques et courbe d'étalonnage (cours)

Retrouve aussi tous les cours de sciences physiques en seconde et le programme complet de sciences physiques en seconde.