

L'énergie nucléaire

I. Les réactions nucléaires spontanées

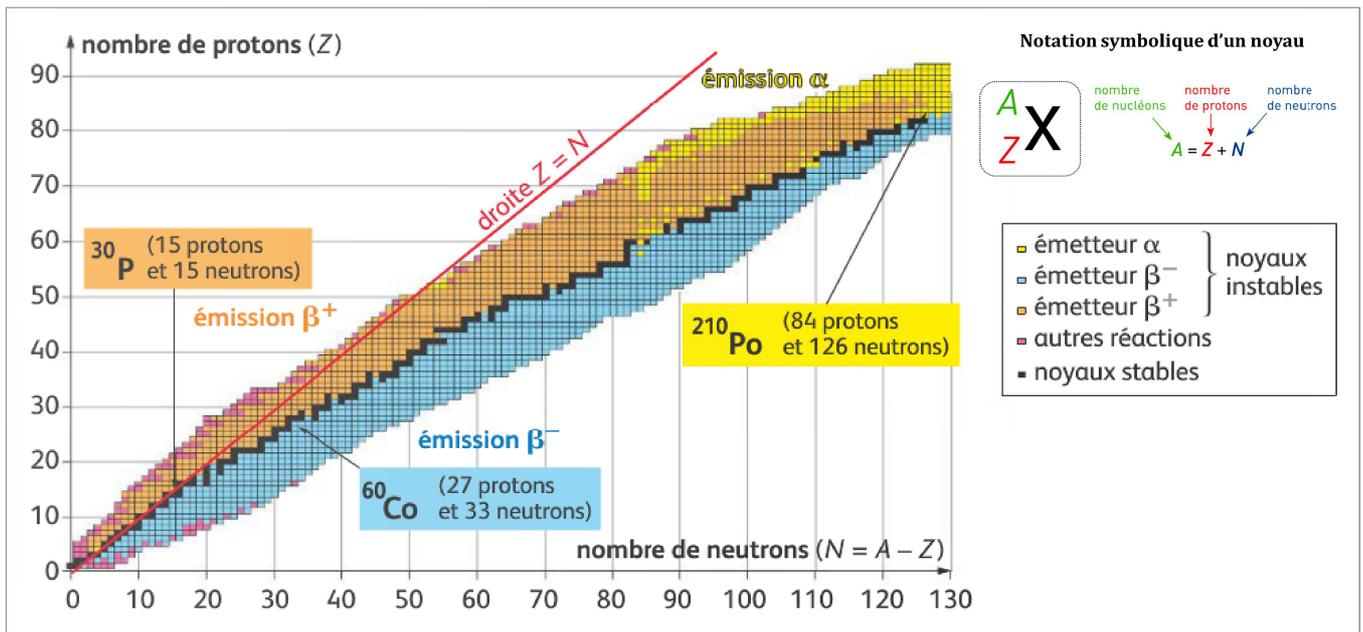
A. Stabilité d'un noyau

Les **principales interactions** qui interviennent au **niveau du noyau** sont:

- les interactions **électromagnétiques** (répulsives entre protons),
- les interactions **fortes** (attractives entre tous les nucléons).

La **cohésion** du noyau résulte d'un **équilibre entre ces interactions** auxquelles sont soumis ses nucléons.

Un **noyau est instable** lorsque sa cohésion n'est plus assurée: les **noyaux isotopes** d'un élément (même nombre de protons nombre de neutrons \neq) ne sont pas tous **stables**.



11 Diagramme (N, Z) et principaux types de désintégrations nucléaires.
Les noyaux stables (en noir) appartiennent à une zone appelée vallée de la stabilité.

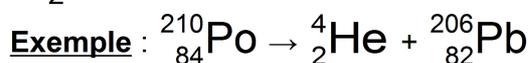
Lorsqu'un **noyau est instable** (appelé **noyau père**), il se **transforme spontanément** en un **noyau d'un autre élément** (appelé **noyau fils**) en **expulsant une particule**. Cette réaction est appelée **désintégration radioactive**.

B. Les différents types de désintégration

La radioactivité est dite **naturelle** lorsque les **noyaux instables existent dans la nature** (mise en évidence par Becquerel en 1896 puis expliquée par Pierre et Marie Curie qui obtiennent le prix Nobel de chimie en 1903, avec Becquerel); elle est dite **artificielle** lorsqu'ils sont **créés au laboratoire** (mise en évidence par Irène et Frédéric Joliot-Curie en 1834).

1. Radioactivité α (naturelle)

Concerne les noyaux instables par **excès de nucléons**. Ils se désintègrent en émettant un **noyau d'hélium** ${}^4_2\text{He}$, appelé **particule α** . Ces particules sont arrêtées par une feuille de papier.



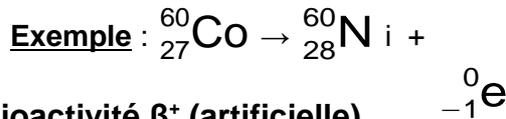
Les réactions nucléaires obéissent à des **lois de conservation** appelées **lois de Soddy** :

- conservation du **nombre de charge**
- conservation de la **charge électrique**

2. Radioactivité β^- (naturelle)

Concerne les noyaux instables par **excès de neutrons**. Ils se désintègrent en émettant un électron ${}_{-1}^0\text{e}$, appelé **particule β^-** . Ces particules sont arrêtées par une feuille d'aluminium.

Lors d'une désintégration β^- , **un neutron se transforme en proton**. Cette transformation est rendue possible par les **interactions faibles**, capables de transformer les nucléons.



3. Radioactivité β^+ (artificielle)

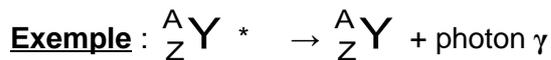
Concerne les noyaux instables par **excès de protons**. Ils se désintègrent en émettant un positon ${}_{+1}^0\text{e}$, appelé **particule β^+** . Ces particules sont arrêtées par une feuille d'aluminium.

Lors d'une désintégration β^+ , **un proton se transforme en neutron**. Cette transformation est rendue possible par les **interactions faibles**, capables de transformer les nucléons.



C. La désexcitation γ

À la suite d'une désintégration, le noyau fils est souvent dans un **état excité**. Il libère l'excédent d'énergie en émettant un **rayonnement électromagnétique** de fréquence très élevée (donc de grande énergie) appelé **rayonnement γ** . Ce rayonnement est arrêté par une grande épaisseur de béton.



D. Activité et décroissance radioactive

L'**activité A** d'un échantillon radioactif est le **nombre de désintégrations** qu'il produit en **une seconde**. Son unité est le **becquerel (Bq)** : 1 Bq = 1 désintégration par seconde. Elle est mesurée grâce à un **compteur Geiger-Müller**. L'activité **diminue au cours du temps**.

Activités de quelques objets quotidiens données pour 1 kg (l'activité d'un échantillon dépend de sa masse) :

- lait : 80 Bq (émission radioactive due au potassium 40)
- eau minérale : 1 à 2 Bq (radium ou uranium en quantité infinitésimale)
- poisson : 100 à 400 Bq
- homme : 110 à 140 Bq (potassium 40 dans nos os + carbone 14) – 8000 à 10000 Bq (70kg)
- engrais : 5 000 Bq (phosphates)
- pommes de T 100 à 150 Bq
- granit : 8 000 Bq
- eau de mer : 10 Bq

Désintégration du noyau radioactif

Un noyau radioactif est un noyau instable subissant spontanément une transformation appelée désintégration permettant un retour à la stabilité. Il ne "vieillit" donc pas puisqu'il se transforme sans subir de modifications progressives. Cela signifie qu'un noyau radioactif créé il y a 10 ans a autant de chance de se désintégrer à cet instant qu'un noyau identique venant d'être créé. Pour un noyau donné, le phénomène de désintégration est donc aléatoire et imprévisible. Par contre, l'évolution statistique d'une population de noyaux répond à une loi de probabilité bien déterminée.

Loi de décroissance radioactive d'une population

N_0 , le nombre de noyaux radioactifs tous identiques initialement présent dans l'échantillon.

Au bout d'un temps t , la population de noyaux a diminué. Soit $N(t)$, le nombre de noyaux radioactifs tous identiques présent dans l'échantillon à la date t .

λ : constante radioactive en s^{-1}

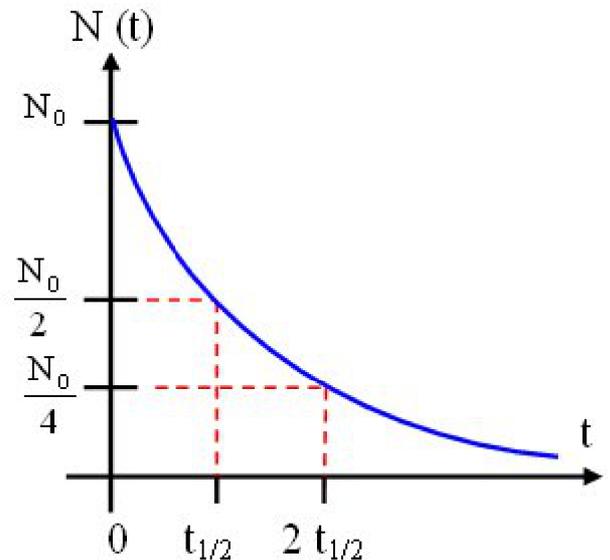
la loi de décroissance radioactive :

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda t)$$

Demi-vie d'un élément radioactif

Un noyau radioactif est plus souvent caractérisé par sa demi-vie notée $t_{1/2}$. La demi-vie est la durée au bout de laquelle la population initiale N_0 est divisée par deux.

$$t_{1/2} = \ln(2) / \lambda$$



II. Les réactions nucléaires provoquées

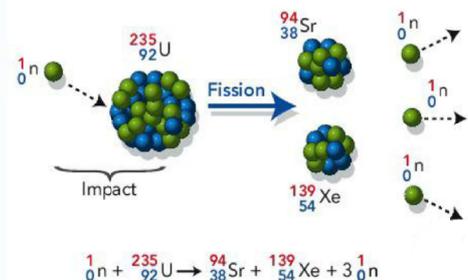
Une réaction nucléaire est **provoquée** lorsqu'on **bombarde** un **noyau cible** par un **noyau projectile**, pour donner naissance à de **nouveaux noyaux**.

A. La fission nucléaire

Un **noyau lourd** éclate et **se sépare en deux noyaux plus légers**, sous l'impact d'un neutron.

Les noyaux plus légers sont souvent **radioactifs** et un **rayonnement gamma** est émis. De l'énergie est libérée.

Ce phénomène est utilisé dans les **réacteurs des centrales nucléaires**.

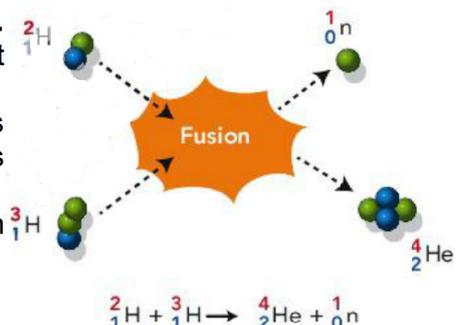


B. La fusion nucléaire

Deux **noyaux légers s'associent** pour former **un noyau plus lourd**. Des particules et un rayonnement gamma sont émis. De l'énergie est libérée.

Pour que la fusion se produise, il faut des températures très élevées pour vaincre la répulsion entre les noyaux. Dans le Soleil et les étoiles, ces réactions se produisent spontanément.

On travaille depuis 30 ans sur la fusion du deutérium et du tritium (projet Iter)



III. Énergie libérée par une réaction nucléaire

A. Perte de masse et énergie libérée

Lors d'une réaction nucléaire, la masse des produits obtenus est inférieure à la masse des réactifs.

D'après Einstein, la perte de masse correspond à l'énergie libérée selon la relation :

$$E_{\text{libérée}} = |\Delta m|.c^2$$

$E_{\text{libérée}}$ en Joule

$\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}$ en kg

$c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$.

B. Ordres de grandeur

- **fusion** : 2.10^{11} J par gramme d'H fusionné ;
- **fission** : 8.10^{10} J par gramme d'U fissionné ;
- **désintégration α** : 2.10^9 J par gramme de Radon désintégré
- **Combustion du pétrole** : 4.10^4 J par gramme de pétrole brûlé