

## 1. Réactions nucléaires spontanées

### 1.1. Noyaux isotopes

Deux isotopes ont le même nombre de protons (Z) mais des nombres de neutrons différents (A - Z).

**Exemple :**  $^{12}_6C$  et  $^{13}_6C$  sont deux isotopes du carbone.

### 1.2. Cohésion du noyau et radioactivité

L'interaction forte assure la cohésion du noyau en s'opposant à la répulsion électrique entre protons mais lorsque le noyau possède un excès de protons (par rapport au nombre de neutrons), un excès de neutrons (par rapport au nombre de proton ou un excès de neutrons et de protons, il est alors instable : ce noyau va se transformer spontanément en un autre noyau.

Un noyau radioactif est un noyau instable.

La radioactivité est la manifestation spontanée d'une réaction nucléaire dans laquelle un noyau radioactif, appelé père, se désintègre en un autre noyau, appelé noyau fils, et émet une particule.

La radioactivité est dite naturelle lorsque les noyaux instables existent dans la nature, elle est dite artificielle lorsque les noyaux instables sont créés au laboratoire.

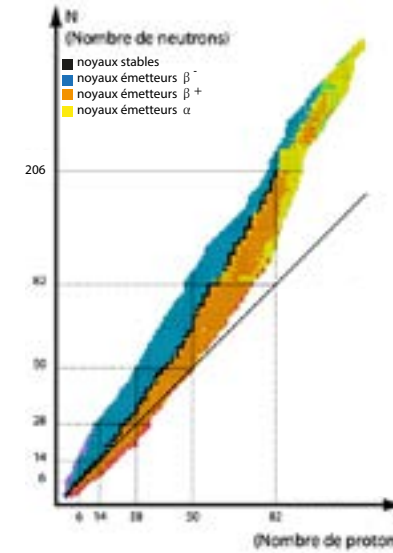
Les éléments radioactifs artificiels sont créés par collision de particules dans des accélérateurs de particules.

### 1.3. Lois de conservations (lois de Soddy)

Toutes les réactions nucléaires obéissent à des lois de conservation appelées lois de Soddy :

Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de charges et du nombre de nucléons : pour une réaction du type  $^A_ZX \rightarrow ^{A_1}_{Z_1}Y_1 + ^{A_2}_{Z_2}Y_2$  on a alors :  $A = A_1 + A_2$  pour la conservation du nombre de nucléons et  $Z = Z_1 + Z_2$  pour la conservation du nombre de charges.

## 1.4. Les différents types de désintégrations



Le diagramme de stabilité (Z, N) montre trois types de noyaux radioactifs:

- les noyaux riches en protons et neutrons qui émettent une particule  $\alpha$  (alpha) correspondant à un noyau d'hélium ( $^4_2He$ ) : radioactivité  $\alpha$ .

**Exemple :** le polonium 210 :  $^{210}_{84}Po \rightarrow ^{206}_{82}Pb + ^4_2He$

- les noyaux riches en neutrons qui émettent un électron  $^0_{-1}e$  (radioactivité  $\beta^-$ ) et un antineutrino  $\bar{\nu}_e$ , particule de masse quasi nulle.

**Exemple :** le cobalt 60 :  $^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + ^0_{-1}e + ^0_0\bar{\nu}_e$

- les noyaux riches en protons qui émettent un positon  $^0_1e$  (radioactivité  $\beta^+$ ) et un neutrino  $^0_0\nu_e$  particule de masse quasi nulle.

**Exemple :** le phosphore 30 :  $^{30}_{15}P \rightarrow ^{30}_{14}Si + ^0_1e + ^0_0\nu_e$

## 1.5. La désexcitation $\gamma$

À la suite d'une désintégration, le noyau fils peut être émis dans un état excité, son retour à l'état fondamental entraîne une libération d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique très énergétique (rayonnement  $\gamma$ ).

## 1.6. Activité et décroissance radioactive

L'activité A d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégrations qu'il produit en une seconde. L'unité d'action est le becquerel (Bq) et correspond à une désintégration par seconde.

Quelques valeurs à connaître :

Homme de 70 kg	1L d'eau minérale	Isotopes utilisés en médecine	1kg de plutonium
7000 Bq	10 Bq	$10^6$ à $10^9$ Bq par kg	$10^{12}$ Bq

La radioactivité est un phénomène aléatoire : il est impossible d'estimer la date à laquelle un noyau radioactif va se désintégrer. Par contre on peut estimer le nombre de noyaux qui vont se désintégrer pendant un certaine durée.

L'activité est divisée par deux au bout d'une durée appelée demi-vie ( $t_{1/2}$ ). La demi-vie est caractéristique du noyau radioactif.

## 2. Réactions nucléaires provoquées

### 2.1. La fission nucléaire

La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd, dit fissile, se scinde en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.

**Exemple :** dans un réacteur nucléaire, on utilise de l'uranium 235:  ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{55}^{140}\text{Cs} + {}_{37}^{93}\text{Rb} + 3{}_0^1\text{n}$   
Les neutrons libérés peuvent à leur tour provoquer la fission d'autres noyaux d'uranium: on parle de réaction en chaîne.

### 2.2. La fusion nucléaire

La fusion nucléaire est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour donner un noyau plus lourd.

**Exemple :**  ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$  ; la fusion de deux noyaux (qui ont tendance à se repousser) nécessite des températures élevées, ces conditions existent dans les étoiles comme le Soleil. Sur Terre, les recherches de la maîtrise de la fusion sont en cours.

## 3. Bilan d'énergie

### 3.1. Perte de masse et énergie libérée

D'après la relation d'équivalence entre la masse et l'énergie postulée par Einstein, à une libération d'énergie correspond une perte de masse.

Lorsque la masse d'un système diminue, l'énergie qu'il libère est donnée par la relation d'Einstein :  $E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \cdot c^2$

où  $\Delta m$  représente la variation de masse entre l'état initial et l'état final,

donc :  $E_{\text{libérée}} = |m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}}| \cdot c^2$

avec les masses en kg,  $c$  la célérité de la lumière dans le vide ( $2,998 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ) et l'énergie en joules.

## 3.2. Réactions nucléaires et énergie libérée

Les réactions nucléaires spontanées, les réactions de fusion et de fission s'accompagnent d'une libération d'énergie liée à la perte de masse. Cette énergie est libérée sous forme d'énergie cinétique cédée aux différents noyaux et particules et sous forme de rayonnement électromagnétique.

Ce bilan d'énergie a permis à Pauli (en 1933) de postuler l'existence du neutrino, particule de charge nulle et de masse quasi nulle qui emporte l'énergie manquante au cours de la radioactivité  $\beta$ .

Quelques valeurs des énergies libérées (à savoir):

Type de réaction	Fusion	Fission	Désintégration $\alpha$	Combustion du pétrole
Énergie libérée	$2 \cdot 10^{11}$ J par gramme d'hydrogène	$8 \cdot 10^{10}$ J par gramme d'uranium 235	$2 \cdot 10^9$ J par gramme de radon 222	$4 \cdot 10^4$ J par gramme de pétrole

### 3.3. Défaut de masse des noyaux

Des mesures montrent que la masse d'un noyau est inférieure à la masse des nucléons qui le constituent : c'est le défaut de masse.

Le défaut de masse d'un noyau est la différence entre la masse des nucléons, isolés et au repos, et la masse du noyau :  $\Delta m = [Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n] - m({}_Z^A X)$ .

La formation d'un noyau s'accompagne d'une perte de masse donc d'une libération d'énergie appelée énergie de liaison du noyau et donnée par :

$$E_l = [Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n - m({}_Z^A X)] \cdot c^2$$

Pour comparer la stabilité de différents noyaux il faut comparer les énergies de liaison par nucléon : plus l'énergie de liaison par nucléon est grande, plus le noyau est stable.