

# CHAPITRE 10 : RÉACTIONS NUCLÉAIRES, ÉNERGIE ET RADIOACTIVITÉ

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Mars 2017

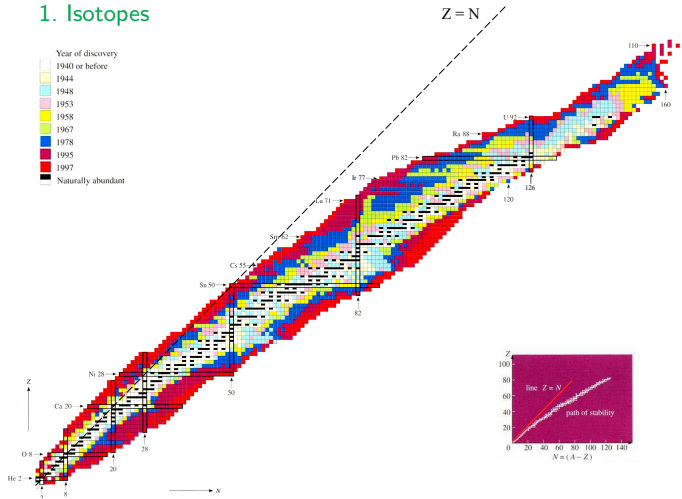
# I. Noyaux stables, noyaux instables

## 1. Isotopes

- Notation d'un noyau possédant  $Z$  protons et  $A$  nucléons :  ${}^A_ZX$
- $Z$  est appelé le numéro atomique et  $A$  le nombre de masse.  $A$  correspond à la somme de  $Z$  (nombre de protons) et  $N$  (nombre de neutrons) dans le noyau.
- **Définition** : on appelle isotopes deux noyaux possédant le même nombre de protons mais des nombres de neutrons différents.
- **Exemple** :  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$  et  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$  sont deux isotopes du chlore.
- Sous l'action des différentes forces en présence (voir chapitre suivant), certains noyaux sont stables alors que d'autres sont instables (ils se désintègrent spontanément).
- Le diagramme  $(N, Z)$  montre la stabilité ou l'instabilité des différents isotopes.

# I. Noyaux stables, noyaux instables

## 1. Isotopes



# I. Noyaux stables, noyaux instables

## 2. Réactions nucléaires

- **Définition** : lorsqu'un ou plusieurs noyaux subissent des transformations (modifications du nombre de protons et/ou de neutrons), on parle de réaction nucléaire.
- **Lois de conservation ou lois de Soddy** : au cours d'une réaction nucléaire, il y a **conservation du nombre total de nucléons** et **conservation de la charge électrique**.
- **Notations utilisées** :
  - proton :  ${}^1_1\text{H}$  ou  ${}^1_1\text{p}$
  - neutron :  ${}^1_0\text{n}$
  - électron :  ${}^0_{-1}\text{e}$
  - positon (même masse que l'électron mais charge opposée) :  ${}^0_1\text{e}$

## II. Réactions nucléaires spontanées

### 1. Radioactivité

- **Définition** : un **noyau radioactif** est un noyau instable (appelé noyau père) qui se transforme en un noyau plus stable (appelé noyau fils) au cours d'une réaction nucléaire spontanée, aléatoire et inéluctable.
- La radioactivité est dite naturelle lorsque le noyau père instable existe dans la nature. Elle est dite artificielle si le noyau père instable a été produit en laboratoire et n'existe pas dans la nature.

## II. Réactions nucléaires spontanées

### 2. Différents types de radioactivité

#### a. Radioactivité alpha (notée $\alpha$ )

- **Définition** : la radioactivité  $\alpha$  consiste en une réaction nucléaire accompagnée de l'émission d'une particule  $\alpha$  ou noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ .
- **Exemple** :  ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$

#### b. Radioactivité bêta moins (notée $\beta^-$ )

- **Définition** : la radioactivité  $\beta^-$  consiste en une réaction nucléaire accompagnée de l'émission d'un électron ou particule  $\beta^-$  ( ${}^0_{-1}\text{e}$ ) et d'un antineutrino ( ${}^0_0\overline{\nu}_e$ ).
- **Exemple** :  ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\overline{\nu}_e$

## II. Réactions nucléaires spontanées

### 2. Différents types de radioactivité

#### c. Radioactivité bêta plus (notée $\beta^+$ )

- **Définition** : la radioactivité  $\beta^+$  consiste en une réaction nucléaire accompagnée de l'émission d'un positon ou particule  $\beta^+$  ( ${}^0_1\text{e}$ ) et d'un neutrino ( ${}^0_0\nu_e$ ).
- **Exemple** :  ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_1\text{e} + {}^0_0\nu_e$

#### d. Désexcitation gamma (notée $\gamma$ )

- **Définition** : les noyaux fils sont généralement produits dans un état excité (noté  $*$ ) instable ; ils se dés excitent alors en émettant le surplus d'énergie sous la forme d'un photon  $\gamma$ .
- **Exemple** :  ${}^{60}_{28}\text{Ni}^* \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + \gamma$

## II. Réactions nucléaires spontanées

### 3. Activité d'une source radioactive

- **Définition** : l'activité  $A$  d'une source radioactive est le nombre moyen de désintégrations dont elle est le siège par seconde. L'activité  $A$  s'exprime en becquerels de symbole Bq. 1 Bq correspond à une désintégration par seconde.
- L'activité d'une source radioactive diminue avec le temps : on parle de décroissance radioactive.



### III. Réactions nucléaires provoquées

#### 1. La fission nucléaire : une réaction en chaîne

- **Définition** : la fission est une réaction nucléaire provoquée par un neutron projectile et au cours de laquelle un noyau lourd fissile donne naissance à deux noyaux fils plus légers et plus stables.
- **Exemple** :  ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{38}^{94}\text{Sr} + {}_{54}^{140}\text{Xe} + 2 {}_0^1\text{n}$
- **Remarque** : les neutrons produits au cours de la réaction peuvent à leur tour initier d'autres réactions de fission qui vont produire de nouveaux neutrons projectiles, provoquant à leur tour de nouvelles fission, etc. On parle donc de réaction en chaîne (elle devient d'ailleurs vite incontrôlable si l'on ne fait rien pour arrêter les neutrons).
- **Applications** : centrales nucléaires, bombe atomique A

### III. Réactions nucléaires provoquées

#### 2. La fusion nucléaire

- **Définition** : la fusion est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd et plus stable.
- **Exemple** :  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{p}$
- **Remarque** : les deux noyaux légers doivent posséder une très grande énergie cinétique pour vaincre les répulsions électriques. Le milieu doit donc être porté à très haute température et les noyaux doivent être confinés.
- **Applications** : étoiles, bombe atomique H, projet ITER, centrales nucléaires du futur...

## IV. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

### 1. Équivalence masse-énergie

- **Relation d'Einstein (1905)** : un système de masse  $m$  possède, au repos, une énergie dite énergie de masse telle que  $E = m \cdot c^2$
- **Notations utilisées** :

$E$  : énergie de masse du système en joules (J)

$m$  : masse du système au repos en kilogrammes (kg)

$c$  : célérité de la lumière dans le vide  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

## IV. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

### 2. Unités de masse et d'énergie

- À l'échelle des subatomique, on utilise parfois comme unité de masse l'unité de masse atomique  $u$  telle que  $u = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- Cette unité est plus adaptée que le kilogramme pour exprimer les masses des noyaux.
- À l'échelle des atomes, on utilise souvent comme unité d'énergie l'électronvolt eV telle que  $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- À l'échelle des noyaux, on utilise plutôt le mégaélectronvolt MeV tel que  $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

## IV. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

### 3. Énergie libérée au cours d'une réaction nucléaire

- Lorsqu'une réaction nucléaire libère de l'énergie, **la masse des produits est inférieure à la masse des réactifs**. La masse perdue par les réactifs est convertie et libérée sous forme d'énergie.
- **Définition** : la variation de masse du système au cours d'une réaction nucléaire est  $\Delta m_r = m(\text{produits}) - m(\text{réactifs})$
- Lorsqu'une réaction libère de l'énergie, le système perd de la masse donc  $\Delta m_r < 0$
- **Définition** : l'énergie libérée par une réaction nucléaire est donnée par la relation  $\Delta E_r = \Delta m_r \cdot c^2$
- Cette énergie est négative car perdue par le système qui a perdu de l'énergie de masse.
- L'énergie utile récupérable par un opérateur extérieur au système est donc positive :  $E_{\text{utile}} = -\Delta E_r = |\Delta m_r \cdot c^2|$

## V. Aspects biologiques

- De nombreux radio-isotopes naturels sont présents dans notre environnement, par exemple : dans l'atmosphère ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ , ...), dans la croûte terrestre ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , ...), dans notre alimentation ( $^{40}\text{K}$ , ...)
- Nous sommes plongés dans un bain de radioactivité :

Exemple	Activité
1 kg de granite	1000 Bq
1 personne de 70 kg	8000 Bq
1 L de lait	80 Bq
1 L d'eau de mer	10 Bq

- En traversant la matière, les particules  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  y déposent de l'énergie, provoquant des ionisations responsables de certains dégâts : destructions cellulaires, cancers, anomalies génétiques, etc ; le danger augmente avec l'activité  $A$  de la source et dépend du type de radioactivité, de la distance à la source, de la durée d'exposition, ...
- Applications : datations, imagerie médicale, stérilisation dans l'industrie agroalimentaire, ...

## EXERCICES :

### EXERCICES POUR DÉBUTER :

PP164-167 n°6, 9, 10, 14, 17, 18

### EXERCICES PLUS AVANCÉS :

PP169-172 n°25, 26, 27, 38