

CHAPITRE 10 : RÉACTIONS NUCLÉAIRES, ÉNERGIE ET RADIOACTIVITÉ

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Janvier 2015

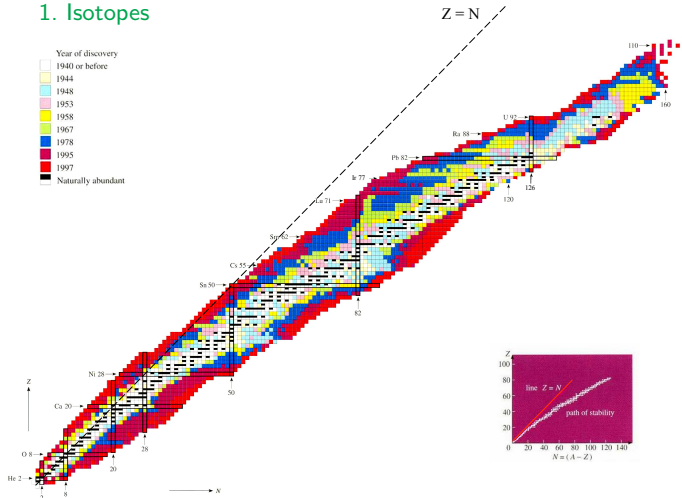
I. Noyaux stables, noyaux instables

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 : ${}_0^1\text{n}$
 - électron : ${}_{-1}^0\text{e}$
 - positon (même masse que l'électron mais charge opposée) : ${}_1^0\text{e}$

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 inélucltable.
- 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 α)

- **Définition** : la radioactivité α consiste en une réaction nucléaire accompagnée de l'émission d'une particule α 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 β^-)

- **Définition** : la radioactivité β^- consiste en une réaction nucléaire accompagnée de l'émission d'un électron ou particule β^- (${}^0_{-1}\text{e}$) 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 β^+)

- **Définition** : la radioactivité β^+ consiste en une réaction nucléaire accompagnée de l'émission d'un positon ou particule β^+ (0_1e) et d'un neutrino (${}^0_0\nu_e$).
- **Exemple** : ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_1e + {}^0_0\nu_e$

d. Désexcitation gamma (notée γ)

- **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 γ .
- **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}C , ^{222}Rn , ...), dans la croûte terrestre (^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ...), dans notre alimentation (^{40}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 α , β et γ 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, ...