

Physique nucléaire

" La physique nucléaire est bien plus facile à comprendre qu'une feuille d'imposition : les opérations sont logiques, et se font toujours de haut en bas. "

Jérolid Rochwald

Prérequis :

- ✓ Le **noyau** se situe au centre de l'atome. Il est constitué de **nucléons** (**protons** et **neutrons**).
- ✓ Le noyau d'un atome a pour représentation symbolique A_ZX . Il est constitué de A **nucléons** : Z **protons** et A-Z **neutrons**.

Objectifs :

- ✓ Connaître la définition et des ordres de grandeur de l'activité exprimée en becquerels.
- ✓ Utiliser les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire.
- ✓ Utiliser la relation de correspondance masse-énergie.

Les applications dans la vie de tous les jours :

- ✓ Albert Einstein est l'un des plus grands scientifiques de tous les temps. Ses travaux ont permis de grands progrès scientifiques. Sa célèbre formule d'équivalence masse-énergie explique la formidable énergie provenant du Soleil.

Introduction :

1896 : découverte fortuite de la radioactivité par Henri Becquerel.

1898 : Pierre et Marie Curie invente le terme « radioactivité » après la découverte du radium, et consacre leurs travaux à l'étude du phénomène. Ils obtiennent le prix Nobel en 1903.

I – La radioactivité :

1) Définitions :

Un noyau radioactif est instable et se transforme (se désintègre) en un noyau différent stable d'une transformation nucléaire.

2) Deux types de radioactivité :

Radioactivité naturelle : le noyau radioactif est naturellement présent dans notre environnement.

Radioactivité artificielle : le noyau radioactif est produit en laboratoire.

Exemples : le granit contient naturellement de l'uranium tandis que le fluor 18 est fabriqué pour utilisation en imagerie médicale.

3) Activité radioactive :

L'activité d'un échantillon est le nombre de désintégration par unité de temps. On la mesure en Becquerel (Bq), soit 1 désintégration par seconde.

Exemple : Un homme de 70 kg a une activité de 10^4 Bq tandis qu'un gramme de radium a une activité de 10^{10} Bq.

II – Transformations nucléaires :

1) Lois de conservation (ou loi de Soddy) :

Une désintégration respecte la **conservation** de la **charge électrique** et du nombre de **nucléons** :

- ✓ La charge du noyau père est égale à la somme des charges du noyau fils et de la particule émise (**conservation du nombre de protons**).
- ✓ Le nombre de nucléons du noyau père est égal à la somme des nombres de nucléons du noyau fils et de la particule émise (**conservation du nombre de masse**).

2) Transformations spontanées :

Type de désintégration	Désintégration α	Désintégration β^+	Désintégration β^-	Désintégration γ
Particule émise	${}^4_2\text{He}$ Noyau d'hélium	${}^0_{+1}\text{e}^+$ Positon ou positron (UK) ou antiélectron	${}^0_{-1}\text{e}^-$ Electron	${}^0_0\gamma$ Rayonnement EM (photon)
Equation	${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$	${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}\text{e}^+ (+{}^0_0\nu_e)$	${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}\text{e}^- (+{}^0_0\bar{\nu}_e)$	${}^A_Z\text{X}^* \rightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^0_0\gamma$
Exemple	${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$	${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^{18}_8\text{N} + {}^0_{+1}\text{e}^+ (+{}^0_0\nu_e)$	${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}^- (+{}^0_0\bar{\nu}_e)$	${}^{60}_{28}\text{Ni}^* \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_0\gamma$
Cause	Noyaux trop lourds	Noyaux instables avec un excès de protons.	Noyaux instables avec un excès de neutrons.	Si noyau fils dans un état excité

Le neutrino ${}^0_0\nu_e$ et l'antineutrino ${}^0_0\bar{\nu}_e$ sont des particules élémentaires ne possédant ni charge électrique, ni masse (ou masse très faible) : ils interagissent uniquement par interaction faible.

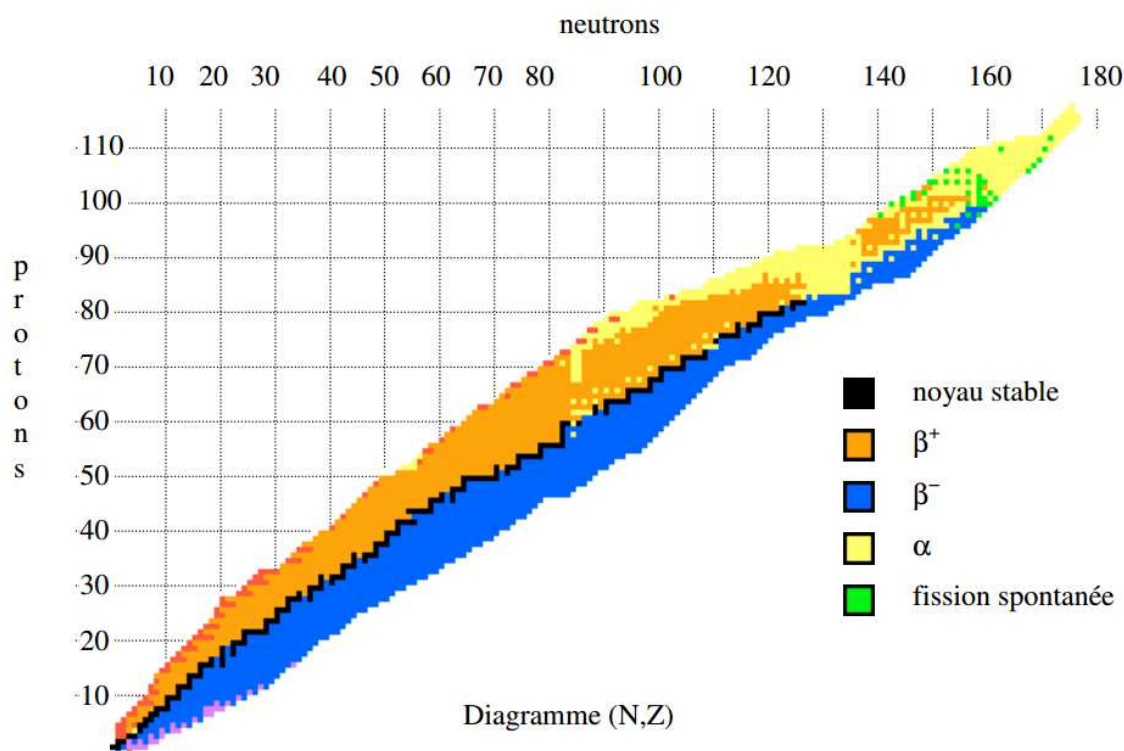


Diagramme de Segré : 325 noyaux naturels sur 2 000 isotopes connus environ

3) Transformations provoquées :

Type de réaction provoquée	Fission	Fusion
Particule utilisée	${}^1_0\text{n}$ Neutron	
Exemple	${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{139}_{54}\text{Xe} + 3{}^1_0\text{n}$	${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
Application	Centrales nucléaires	Réaction thermonucléaire du Soleil Projet ITER

III – Bilan énergétique :1) Perte de masse (Einstein, 1905) :

Lorsque la masse d'un système diminue, l'énergie qu'il libère est donnée par la relation d'**équivalence masse-énergie** :

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

- ✓ $E_{\text{libérée}}$ s'exprime en Joule (J).
- ✓ Δm représente la variation de la masse en kilogramme (kg).
- ✓ $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ est la célérité de la lumière dans le vide.

Lors de la plupart des réactions nucléaires, la masse totale des réactifs est supérieure à la masse totale des produits : de l'énergie est cédée à l'environnement par rayonnement (particule γ) ou par transfert thermique (réactions exothermiques).

Exemple de la fusion du deutérium avec le tritium :

$$\text{Variation de masse : } \Delta m = m\left({}_2^4\text{He}\right) + m\left({}_0^1\text{n}\right) - m\left({}_1^3\text{H}\right) - m\left({}_1^2\text{H}\right) = -3,135.10^{-29} \text{ kg}$$

$$\text{Variation d'énergie : } \Delta E = \Delta m \times c^2 = -9,398.10^{-21} \text{ J}$$

2) Défaut de masse d'un noyau :

La masse des nucléons d'un noyau est toujours supérieure à la masse d'un noyau. La différence représente l'énergie de liaison du noyau :

$$E_{\text{liaison}} = \left[(Z \times m_{\text{proton}} + N \times m_{\text{neutron}}) - m_{\text{noyau}} \right] \times c^2 > 0$$

Exemple : pour le noyau de fer 56, l'énergie de liaison est 8,8 MeV par nucléon tandis qu'il est de 7,6 MeV par nucléon pour un noyau d'uranium 238 ; le noyau de fer est plus stable que le noyau d'uranium.