

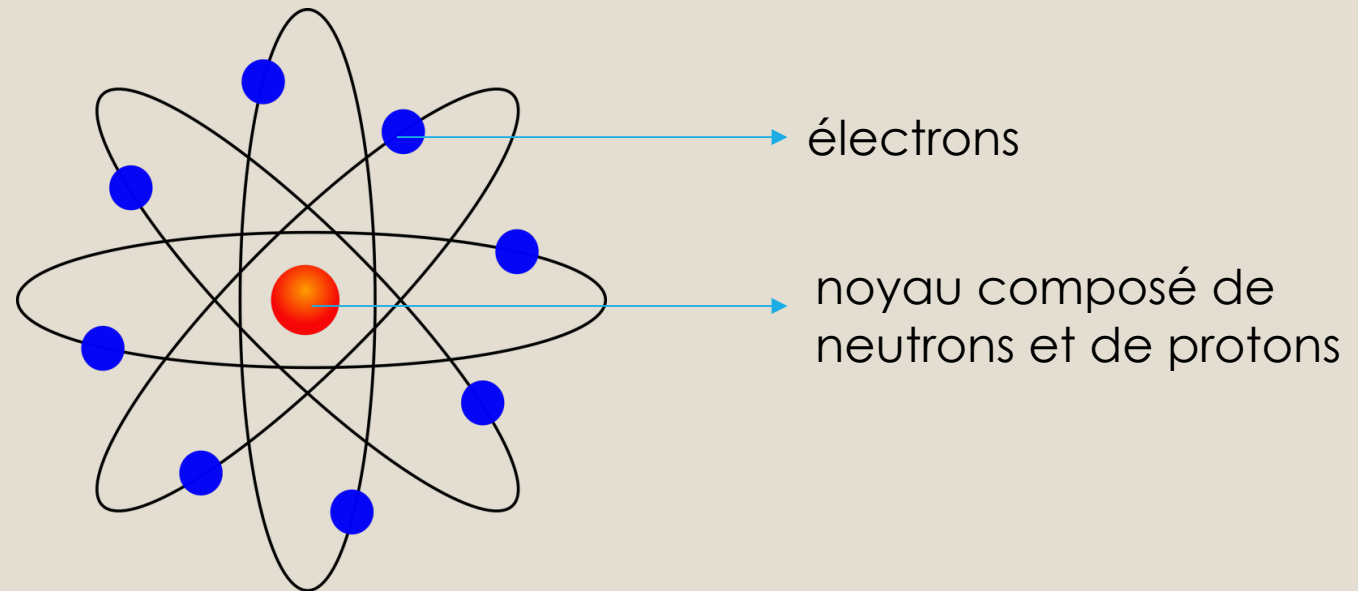


# RADIOACTIVITÉ : LE NOYAU ATOMIQUE

Ue3a - biophysique

# Introduction

- Jusqu'à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, le modèle de l'atome était une **sphère pleine**
- A partir de 1911 on adopte le **modèle planétaire de Rutheford**
  - Masse concentrée au niveau du noyau chargée positivement
  - Électrons chargés négativement refoulés à la périphérie du vide péri-nucléaire



# Plan

## **I. Composition des nuclides**

## **II. Classification des nuclides**

## **III. Défaut de masse et énergie de liaison**

## **IV. Facteurs de stabilité nucléaire**

- 1 – Energie de liaison par nucléons
- 2 – Nombre de neutrons
- 3 – Parité du nombre de nucléons

## **V. Forces nucléaires**

- 1 – Forces électrostatiques
- 2 – Forces nucléaires spécifiques

## **VI. Modèles nucléaires**

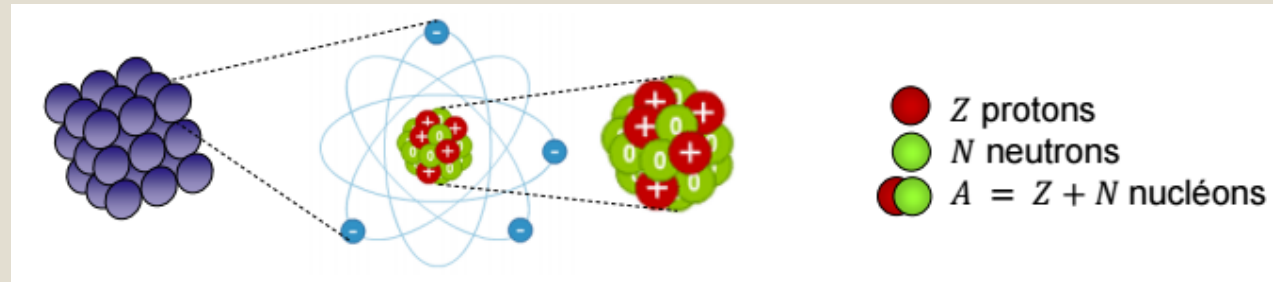
- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

## **VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire**

- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

# I. Composition des nuclides

Le noyau est constitué de **A nucléons**, répartis en **Z protons** et **N neutrons**



○ **Z = nombre de protons = nombre de charges = nombre d'électrons = numéro atomique**

- Le proton est à l'origine de la classification de Mendeleïv
- C'est une particule **stable** à l'état libre

○ **N = A - Z = nombre de neutrons**

- Particule **instable** hors du noyau
- Se transforme spontanément selon la réaction :  ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^{-1}_0e + \bar{\nu}$
- A représente la valeur entière la plus proche de la masse de l'atome en u

Exemple :  
 ${}^{16}_8O$ ,  $m = 15,994u$

# I. Composition des nuclides

Les nucléons sont eux-mêmes composés de **particules élémentaires**.

## o Les quarks

- quarks **up** avec une charge de  $+\frac{2}{3}$
- quarks **down** avec une charge de  $-\frac{1}{3}$
- Les neutrons sont composés de 2 quarks down et 1 quark up (udd)
- Les protons sont composés de 2 quarks up et 1 quark down (uud)

## o Les leptons

- Électrons et neutrinos

	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	u up	c charm	t top	$\gamma$ photon
Quarks	4.8 MeV/c <sup>2</sup> d down	104 MeV/c <sup>2</sup> s strange	4.2 GeV/c <sup>2</sup> b bottom	0 g gluon
Leptons	$< 2.2$ eV/c <sup>2</sup> $\nu_e$ electron neutrino	$\approx 0.17$ MeV/c <sup>2</sup> $\nu_\mu$ muon neutrino	$\approx 15.5$ MeV/c <sup>2</sup> $\nu_\tau$ tau neutrino	91.2 GeV/c <sup>2</sup> Z <sup>0</sup> Z boson
	0.511 MeV/c <sup>2</sup> -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV/c <sup>2</sup> -1 $\frac{1}{2}$ $\mu$ muon	1.777 GeV/c <sup>2</sup> -1 $\frac{1}{2}$ $\tau$ tau	80.4 GeV/c <sup>2</sup> $\pm 1$ 1 W <sup>±</sup> W boson
				Bosons de gauge

# Plan

## **I. Composition des nuclides**

## **II. Classification des nuclides**

## **III. Défaut de masse et énergie de liaison**

## **IV. Facteurs de stabilité nucléaire**

- 1 – Energie de liaison par nucléons
- 2 – Nombre de neutrons
- 3 – Parité du nombre de nucléons

## **V. Forces nucléaires**

- 1 – Forces électrostatiques
- 2 – Forces nucléaires spécifiques

## **VI. Modèles nucléaires**

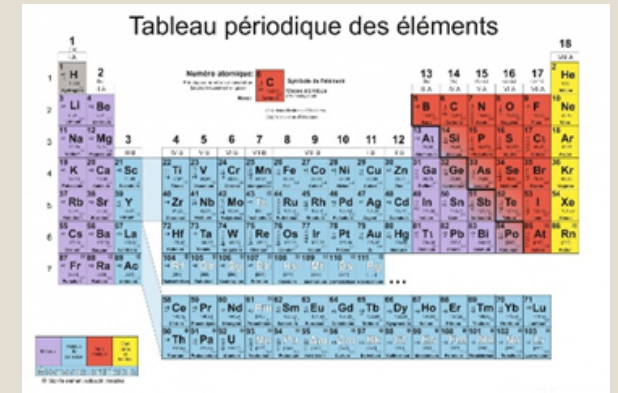
- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

## **VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire**

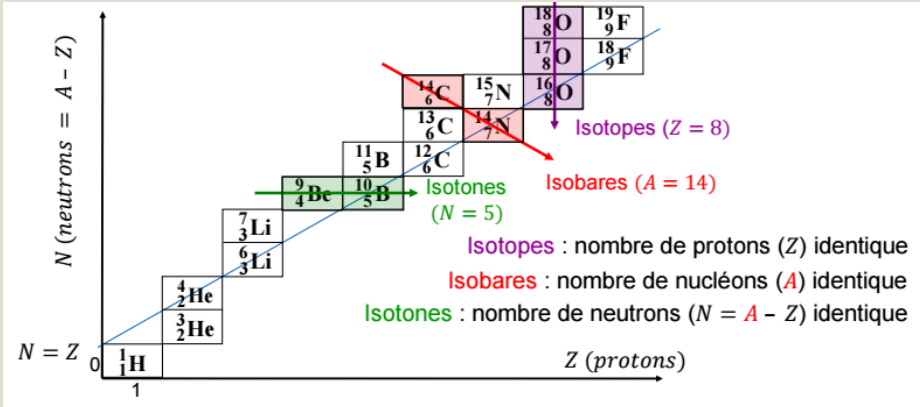
- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

# II. Classification des nuclides

- Classification « chimique » avec le tableau périodique des éléments, dite classification de Mendeleïv. On classe les éléments dans ce tableau grâce au **numéro atomique Z**.



- Classification « physique » avec la **table des nuclides**



## Les isotopes

Même nombre de Protons Z donc même élément chimique. Ils sont dans une même colonne.

## Les isobares

Même nombre de nucléons A. Ils sont dans une même diagonale.

## Les isotones

Même nombre de Neutrons N. Ils sont dans une même ligne.

## Les isomères

Même Z et même A mais niveau d'énergie interne différent.

# Plan

## **I. Composition des nuclides**

## **II. Classification des nuclides**

## **III. Défaut de masse et énergie de liaison**

## **IV. Facteurs de stabilité nucléaire**

- 1 – Energie de liaison par nucléons
- 2 – Nombre de neutrons
- 3 – Parité du nombre de nucléons

## **V. Forces nucléaires**

- 1 – Forces électrostatiques
- 2 – Forces nucléaires spécifiques

## **VI. Modèles nucléaires**

- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

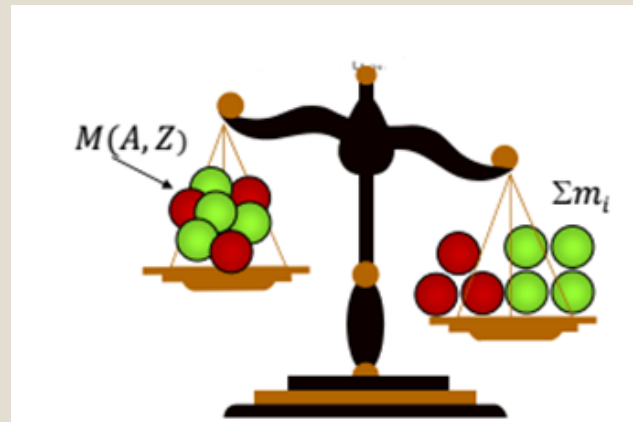
## **VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire**

- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

# III. Défaut de masse et énergie de liaison

- La masse d'un noyau constitué est **inférieure** à la somme des masses de ses constituants :

$$M(A, Z) < \sum m_i$$

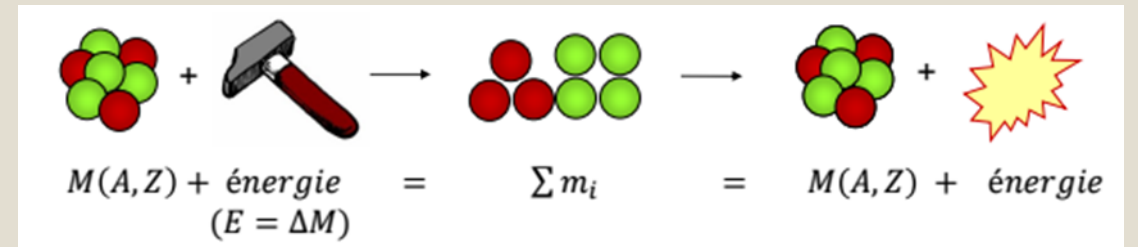


- Cette perte de masse est appelée **défaut de masse** :  $\Delta M(A, Z) = \sum m_i - M(A, Z)$
- Ce défaut de masse équivaut à une énergie : l'**énergie de liaison des nucléons**

$$E_l [\text{MeV}] = 931,5 \times \Delta M [\text{u}]$$

# III. Défaut de masse et énergie de liaison

Cette énergie de liaison des nucléons est celle qui les lie entre eux dans le noyau : c'est l'énergie qu'il faut apporter si on veut **fragmenter** un noyau en ses nucléons élémentaires.



Exemple de calcul de l'**énergie de liaison** du noyau d'Oxygène  $^{16}_8\text{O}$

On calcule d'abord le défaut de masse  $\Delta M$  :

$$\Delta M = 8m_e + 8m_p + 8m_n - M(16,8)$$

$$\Delta M = 0,0044 + 8,05824 + 8,06928 - 15,99491 = 0,137\text{u}$$

Puis on calcule l'équivalent du défaut de masse en énergie de liaison

$$E_L = 0,137 \times 931,5 = 127,6\text{MeV}$$

Données :

$$M(16,8) = 15,99491\text{u}$$

$$M_p = 1,00728\text{u}$$

$$M_n = 1,00866\text{u}$$

$$M_e = 0,00055\text{u}$$

# Plan

## **I. Composition des nuclides**

## **II. Classification des nuclides**

## **III. Défaut de masse et énergie de liaison**

## **IV. Facteurs de stabilité nucléaire**

- 1 – Energie de liaison par nucléons
- 2 – Nombre de neutrons
- 3 – Parité du nombre de nucléons

## **V. Forces nucléaires**

- 1 – Forces électrostatiques
- 2 – Forces nucléaires spécifiques

## **VI. Modèles nucléaires**

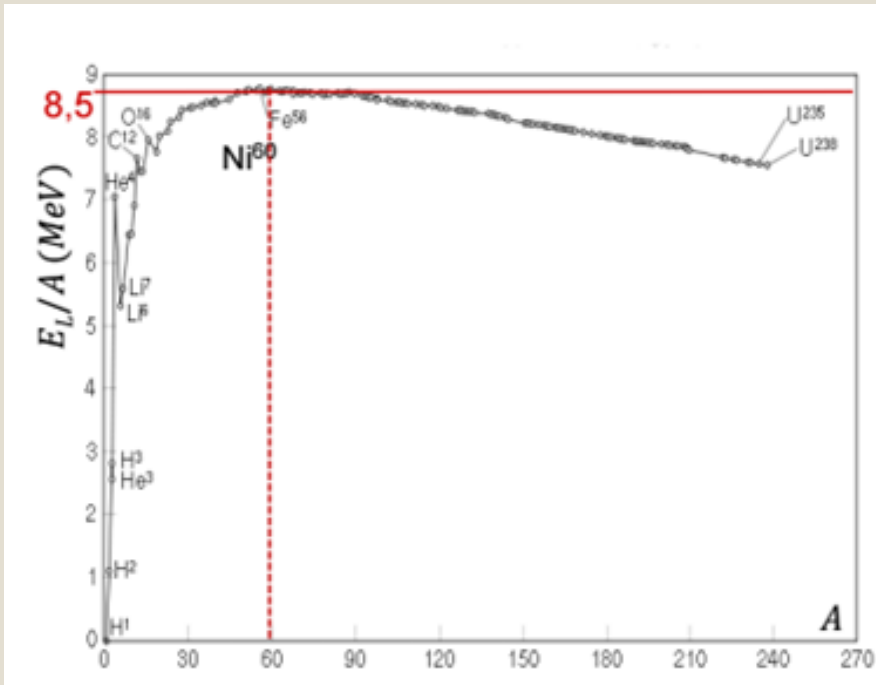
- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

## **VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire**

- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

# IV. Facteurs de stabilité nucléaire

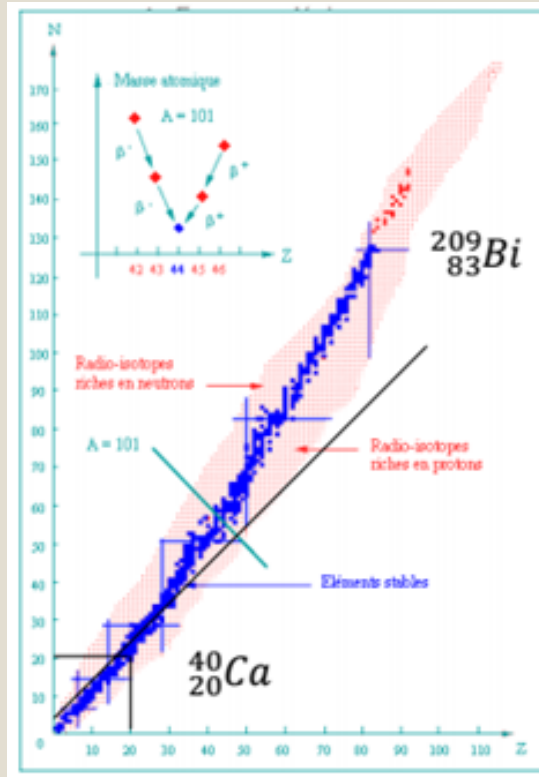
## 1 – L'énergie de liaison par nucléons



Plus l'**énergie de liaison par nucléons** ( $E_L/A$ ) est **importante** plus le noyau est **stable**

# IV. Facteurs de stabilité nucléaire

## 2 – Le nombre de neutrons (A-Z)



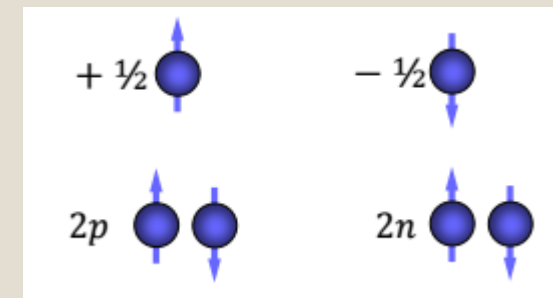
- Noyaux légers : on a  $Z=N$ . Les noyaux sont sur la première bissectrice qu'on appelle **vallée de la stabilité**
- Noyaux lourds :  $N>Z$  car il faut **+ de neutrons** pour diminuer la répulsion des charges des protons

# IV. Facteurs de stabilité nucléaire

## 3 – La parité du nombre de nucléons

<i>Z</i>	<i>N</i>	<i>A</i>	Nbre de noyaux stables
<i>pair</i>	<i>pair</i>	<i>pair</i>	166
<i>pair</i>	<i>impair</i>	<i>impair</i>	55
<i>impair</i>	<i>pair</i>	<i>impair</i>	51
<i>impair</i>	<i>impair</i>	<i>pair</i>	5

La **parité** est un facteur de **stabilité** car les nucléons ont un spin de  $\pm \frac{1}{2}$  donc ils ont tendance à se regrouper par paire avec un nucléon de signe opposé pour donner un système plus stable.



# Plan

## **I. Composition des nuclides**

## **II. Classification des nuclides**

## **III. Défaut de masse et énergie de liaison**

## **IV. Facteurs de stabilité nucléaire**

- 1 – Energie de liaison par nucléons
- 2 – Nombre de neutrons
- 3 – Parité du nombre de nucléons

## **V. Forces nucléaires**

- 1 – Forces électrostatiques
- 2 – Forces nucléaires spécifiques

## **VI. Modèles nucléaires**

- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

## **VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire**

- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

# V. Forces nucléaires

- ❖ Responsables de la cohésion du noyau
- ❖ Leurs intensités correspondent à l'énergie moyenne de liaison du noyau
- ❖ Elles sont liées aux interactions des nucléons entre eux

## 1 – La force électrostatique

- De type coulombien
- Concerne **uniquement les protons** dans le noyau
- Elle est **répulsive** : s'oppose à la cohésion
- Elle permet d'expliquer l'**excès de neutrons** dans les noyaux lourds : les neutrons s'interposent entre les protons pour diminuer cette force de répulsion

# V. Forces nucléaires

## 2 – Les forces nucléaires spécifiques

- De 2 types
- S'exercent à de distances **très faibles** ( $10^{-15}\text{m}$ )
- Existent uniquement au niveau du noyau

Interaction faible	Interaction forte
<ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Répulsive</b></li><li>- Explique les transformations isobariques</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Attractive</b></li><li>- 100 à 1000 fois &gt; à la force électrostatique</li><li>- <b>Répulsive à très courte distance</b>, ce qui permet l'incompressibilité des nucléons</li><li>- Correspond à la mise en commun de particules d'interactions entre les quarks : les gluons</li></ul>

# Plan

## **I. Composition des nuclides**

## **II. Classification des nuclides**

## **III. Défaut de masse et énergie de liaison**

## **IV. Facteurs de stabilité nucléaire**

- 1 – Energie de liaison par nucléons
- 2 – Nombre de neutrons
- 3 – Parité du nombre de nucléons

## **V. Forces nucléaires**

- 1 – Forces électrostatiques
- 2 – Forces nucléaires spécifiques

## **VI. Modèles nucléaires**

- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

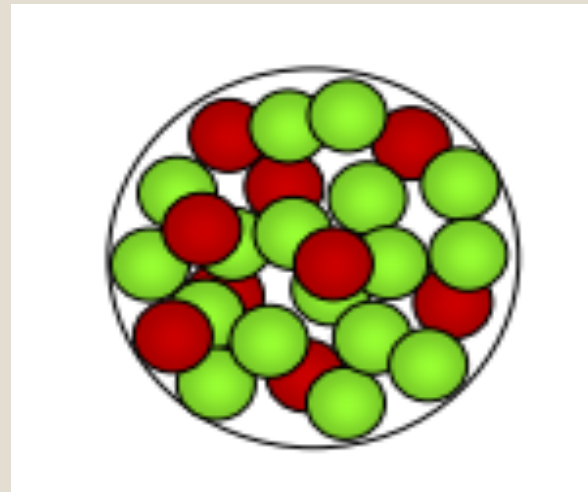
## **VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire**

- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

# VI. Modèles nucléaires

## 1 – Modèle de la goutte sphérique

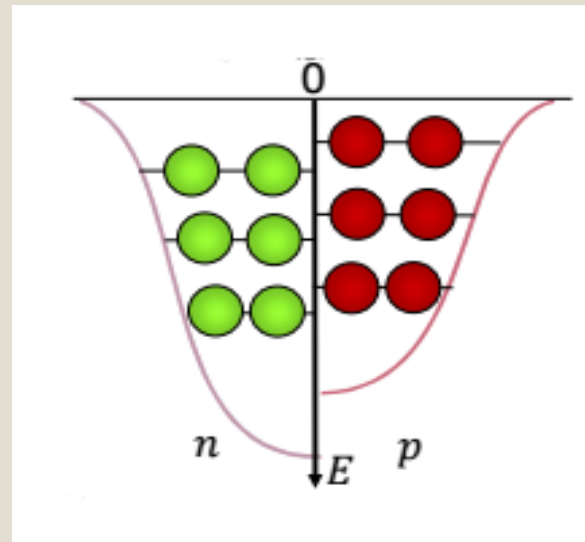
- Le noyau est une sphère contenant les nucléons liés entre eux par l'interaction forte
- Densité homogène des charges
- Explique l'**incompressibilité** du noyau
- Ne permet pas de comprendre les nombres magiques



# VI. Modèles nucléaires

## 2 – Modèle en couche

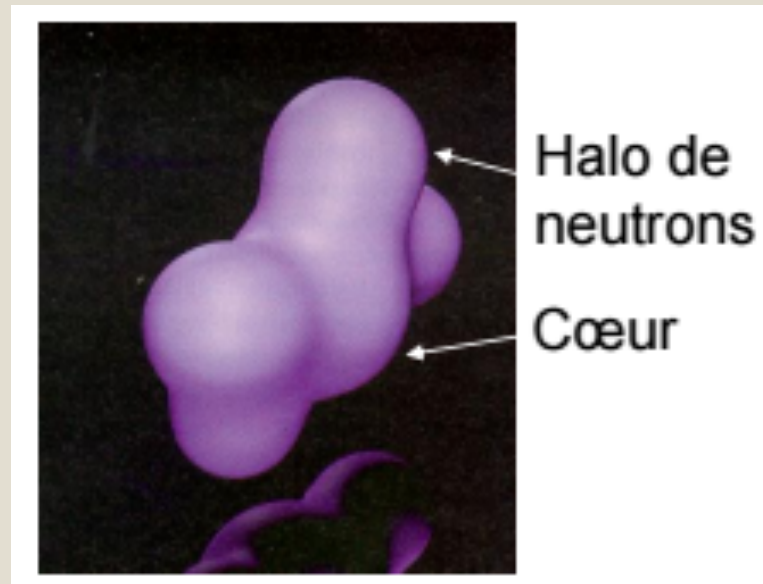
- Explique la stabilité particulière des noyaux à nombres magiques : les couches pleines permettent une meilleure stabilité
- Explique l'existence du niveau fondamental et des niveaux excités



# VI. Modèles nucléaires

## 3 – Modèle mixte

- Représente le noyau avec un cœur et un halo de neutrons à la périphérie
- Explique la stabilité particulière de certains noyaux lourds riches en neutrons



# Plan

## **I. Composition des nuclides**

## **II. Classification des nuclides**

## **III. Défaut de masse et énergie de liaison**

## **IV. Facteurs de stabilité nucléaire**

- 1 – Energie de liaison par nucléons
- 2 – Nombre de neutrons
- 3 – Parité du nombre de nucléons

## **V. Forces nucléaires**

- 1 – Forces électrostatiques
- 2 – Forces nucléaires spécifiques

## **VI. Modèles nucléaires**

- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

## **VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire**

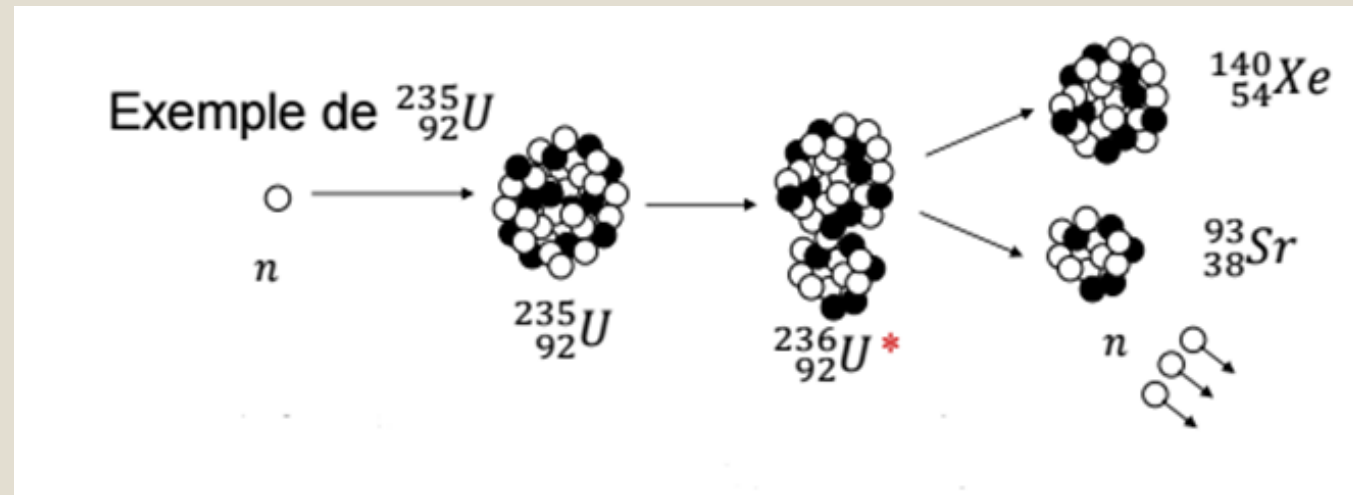
- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

# VII. Fission et fusion nucléaire

## 1 – Fission nucléaire

*Exemple de la fission de l'uranium*

On envoie un neutron lent qui va percuter un gros noyau (uranium). Le noyau devient alors **instable** et se sépare en **2 noyaux plus petits**. La réaction libère aussi 3 neutrons.

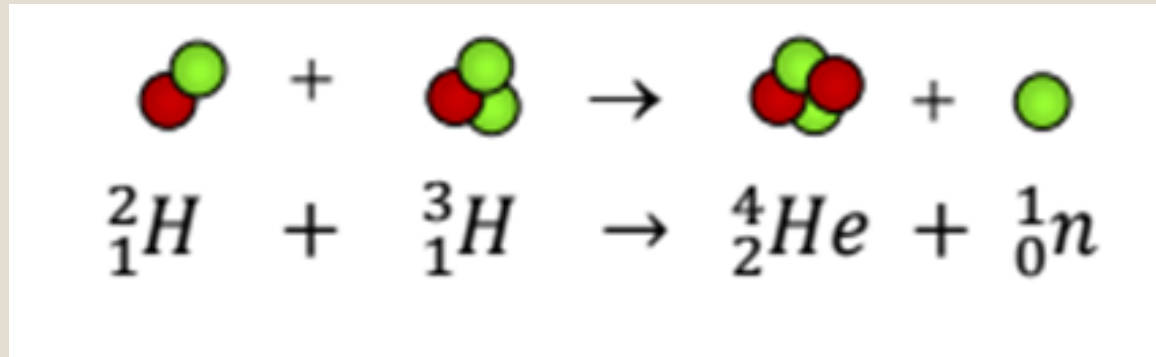


# VII. Fission et fusion nucléaire

## 2 – Fusion nucléaire

*Exemple de la fusion de deux isotopes de l'hydrogène*

L'hydrogène naturel  ${}^1_1\text{H}$  et le deutérium  ${}^2_1\text{H}$  fusionnent pour donner un noyau d'Helium  ${}^4_2\text{He}$ , beaucoup plus stable, et un neutron.



# QCM time

Calculez l'énergie de liaison du néon ( $Z=10$ ) sachant que la masse d'un atome de néon vaut  $20,1108u$ .

Données :  $m(\text{neutron}) = 1,00866$  ;  $m(\text{proton}) = 1,00728$  ;  $m(\text{électron}) = 0,00055$

a) 50 eV

b) 22 eV

c) 980 MeV

d) 20 MeV

e) 50 MeV

# QCM time

Calculez l'énergie de liaison du néon ( $Z=10$ ) sachant que la masse d'un atome de néon vaut  $20,1108u$ .

Données :  $m(\text{neutron}) = 1,00866$  ;  $m(\text{proton}) = 1,00728$  ;  $m(\text{électron}) = 0,00055$

a) 50 eV

b) 22 eV

c) 980 MeV

d) 20 MeV

e) 50 MeV

PAUSE 5 MINUTES