

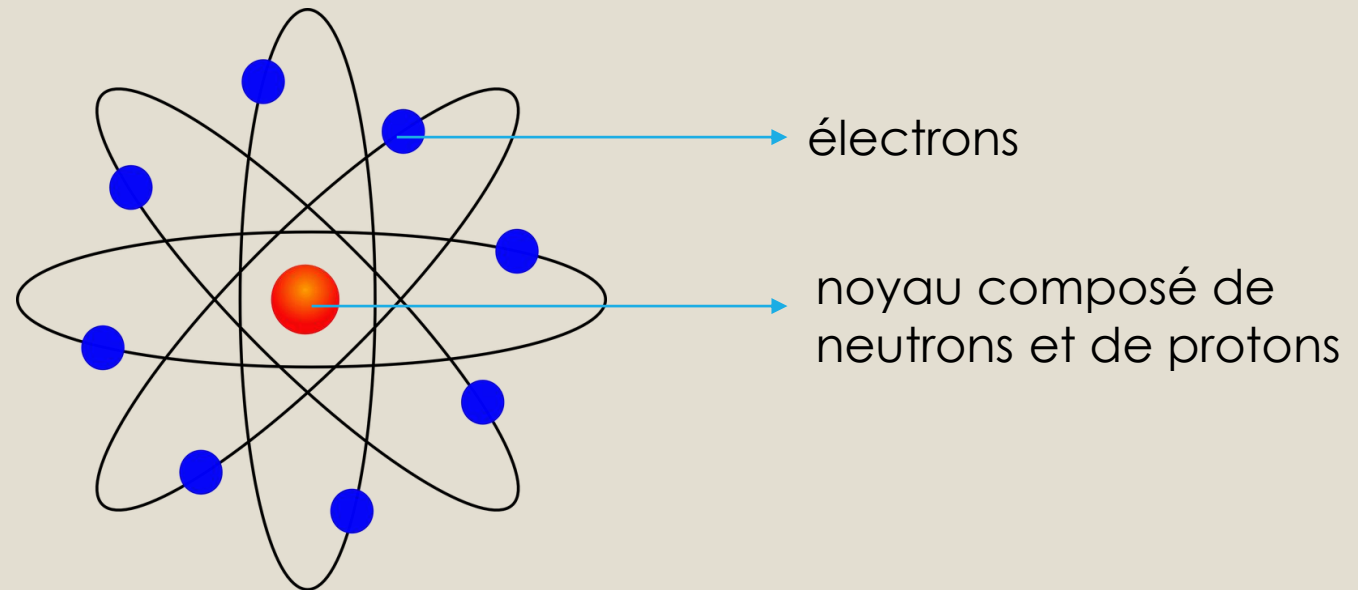


RADIOACTIVITÉ : LE NOYAU ATOMIQUE

Ue3a - biophysique

Introduction

- Jusqu'à la fin du XIX^{ème} 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

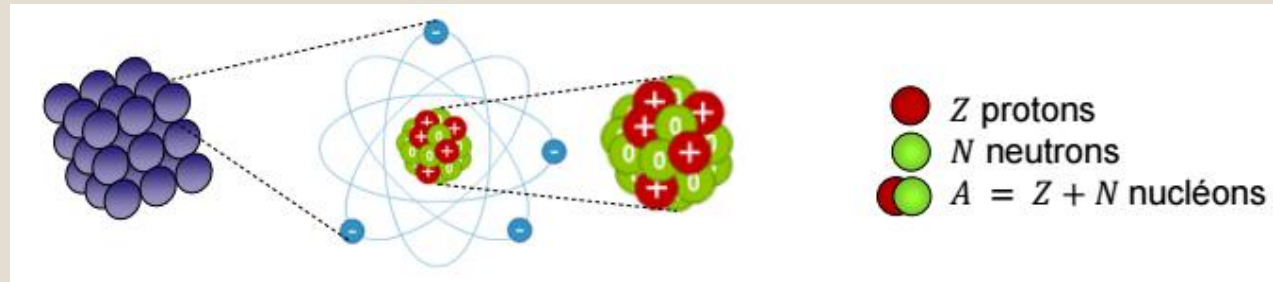
- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

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 : ${}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{p} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}$
- A représente la valeur entière la plus proche de la masse de l'atome en u

Exemple :
 ${}_{8}^{16}\text{O}$, m = 15,994u

I. Composition des nuclides

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

○ 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)

○ Les leptons

- Électrons et neutrinos

	I	II	III	
mass -	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	173.3 GeV/c ²	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	γ photon
Quarks	4.8 MeV/c ² - $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV/c ² - $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV/c ² - $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
Leptons	<2.2 eV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν _e electron neutrino	<0.17 MeV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν _μ muon neutrino	<1.8 MeV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ ν _τ tau neutrino	91.2 GeV/c ² 0 0 Z ⁰ Z boson
	0.511 MeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV/c ² ±1 1 W [±] 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

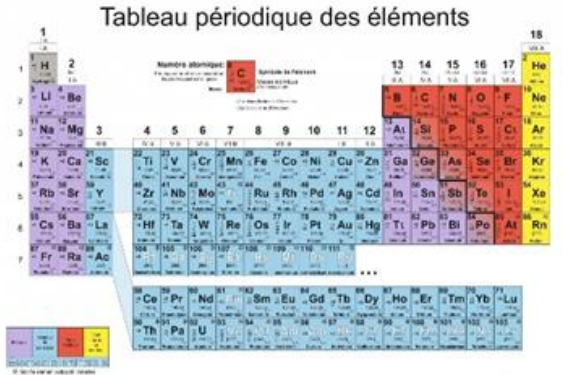
VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire

- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

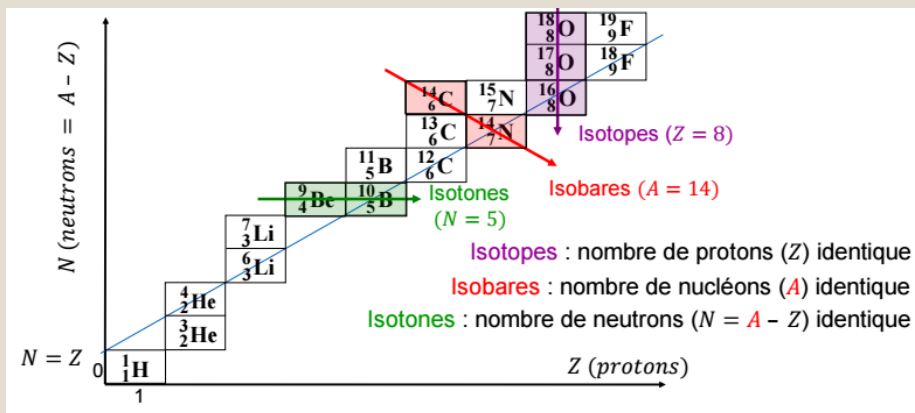
II. Classification des nuclides

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

Tableau périodique des éléments



- 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

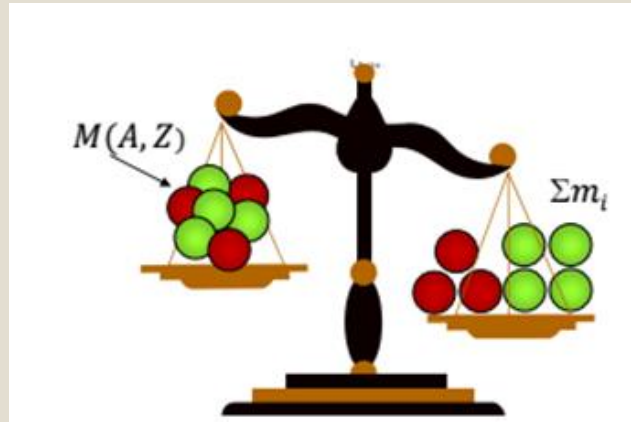
VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire

- 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 :

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

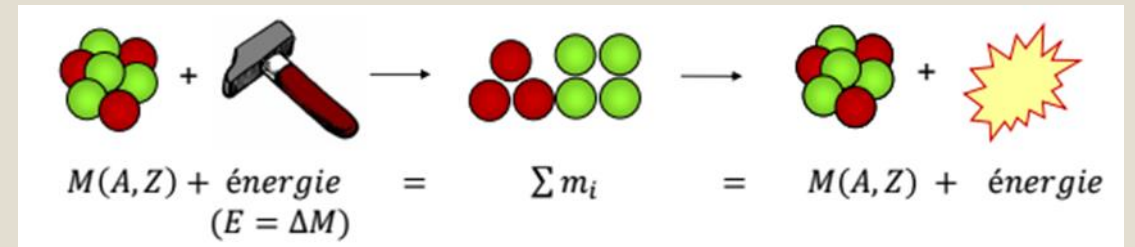


- Cette perte de masse est appelée **défaut de masse** : $\Delta M(A, Z) = \sum m_i - M(A, Z)$
- Ce défaut de masse équivaut à une énergie : l'**énergie de liaison des nucléons**

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

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 ΔM :

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

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

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

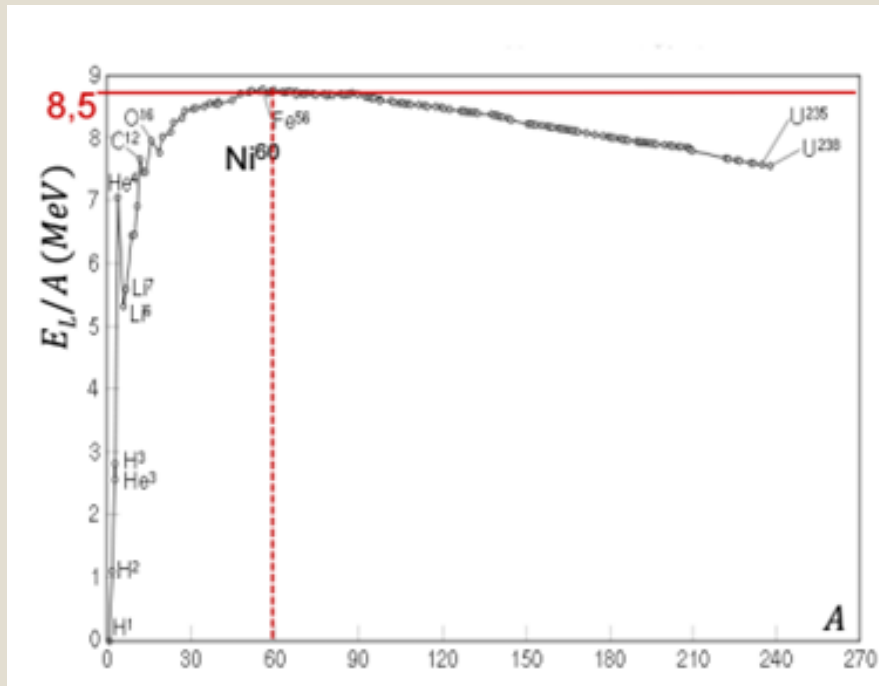
- 1 – Modèle de la goutte sphérique
- 2 – Modèle en couches
- 3 – Modèle mixte

VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire

- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

IV. Facteurs de stabilité nucléaire

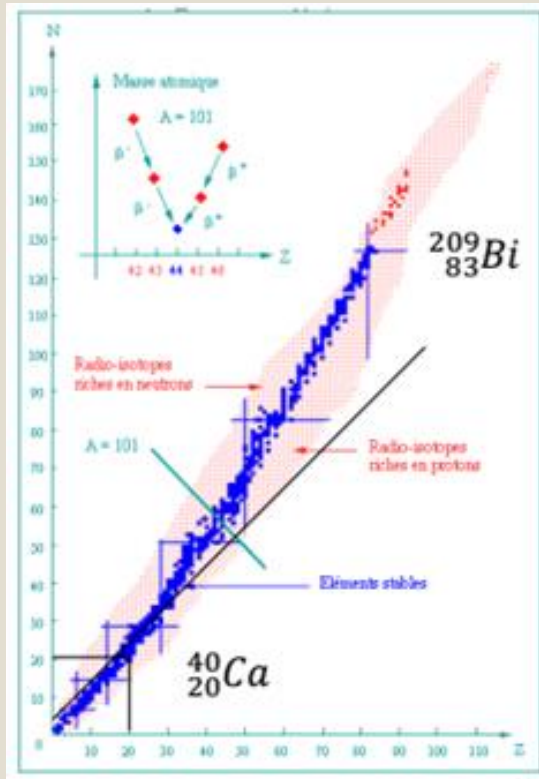
1 – L'énergie de liaison par nucléons



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)



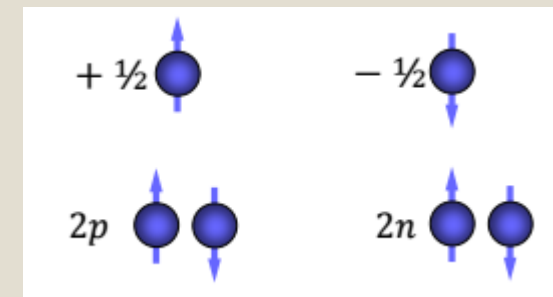
- Noyaux légers : on a $Z=N$. Les noyaux sont sur la première bissectrice qu'on appelle **vallée de la stabilité**
- Noyaux lourds : $N>Z$ car il faut **+ de neutrons** pour diminuer la répulsion des charges des protons

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}m)
- Existent uniquement au niveau du noyau

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

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

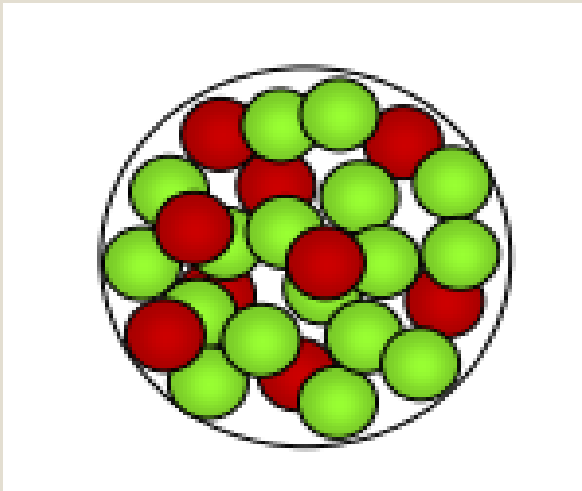
VII. Réactions de fission et de fusion nucléaire

- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

VI. Modèles nucléaires

1 – Modèle de la goutte sphérique

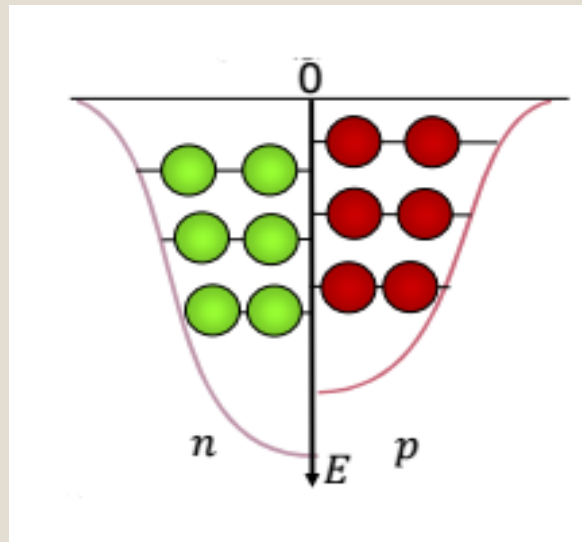
- Le noyau est une sphère contenant les nucléons liés entre eux par l'interaction forte
- Densité homogène des charges
- Explique l'**incompressibilité** du noyau
- Ne permet pas de comprendre les nombres magiques



VI. Modèles nucléaires

2 – Modèle en couche

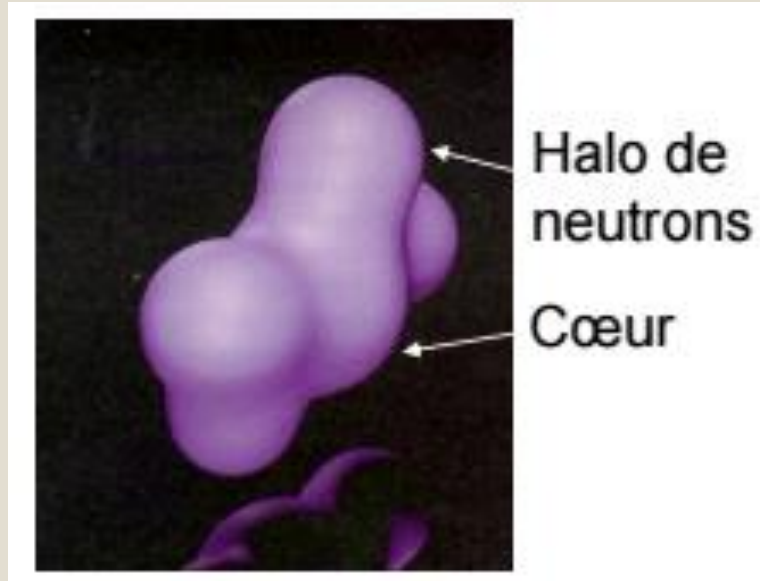
- Explique la stabilité particulière des noyaux à nombres magiques : les couches pleines permettent une meilleure stabilité
- Explique l'existence du niveau fondamental et des niveaux excités



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

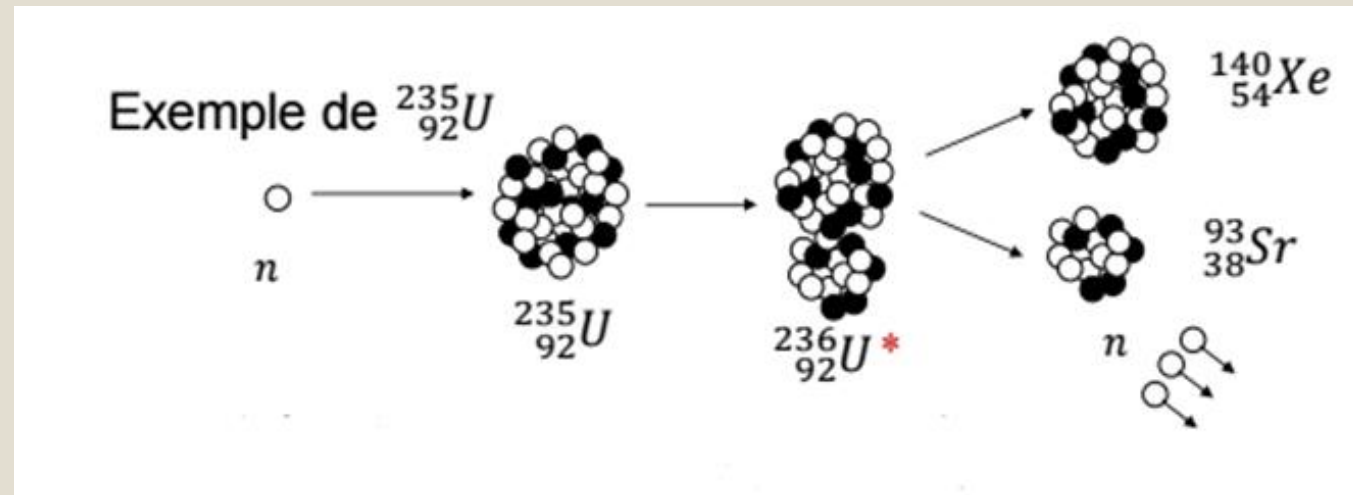
- 1 – Fission nucléaire
- 2 – Fusion nucléaire

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.

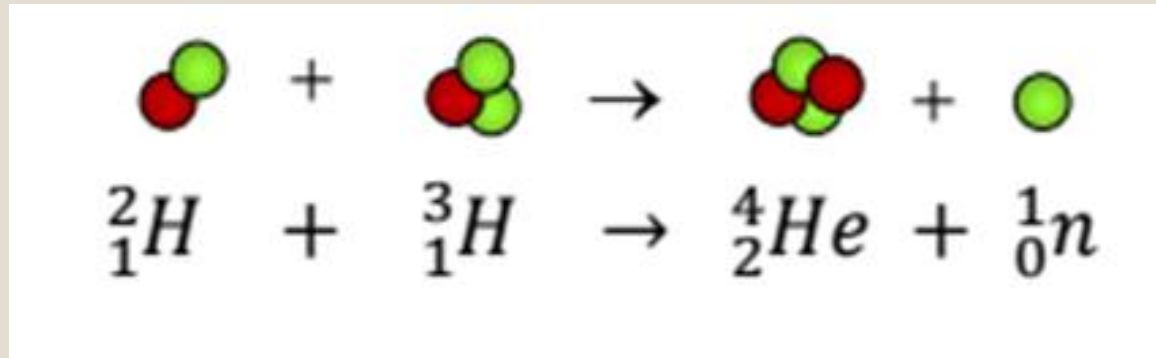


VII. Fission et fusion nucléaire

2 – Fusion nucléaire

Exemple de la fusion de deux isotopes de l'hydrogène

Le deutérium ${}^2_1\text{H}$ et le tritium ${}^3_1\text{H}$ 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