



# COMMENT PERFECT LA BIOPHY LE NOYAU

Un cours sympa et pas hyper compliqué



# TABLE DES MATIÈRES



I

INTRODUCTION

3

COMPOSITION ET  
CLASSIFICATION



2

ÉNERGIE DE  
LIAISON ET  
DÉFAUT DE MASSE

4

FACTEURS DE  
STABILITÉ  
NUCLÉAIRE



# TABLE DES MATIÈRES

5

FORCES  
NUCLÉAIRES

6

MODÈLES  
NUCLÉAIRES

7

FUSION ET  
FISSION  
NUCLÉAIRES

8

APPLICATIONS

Vous quand vous voyez ce plan hyper long





# INTRODUCTION

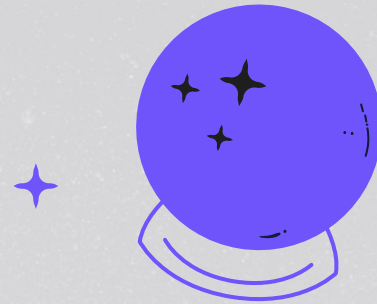




# QUELQUES PETITS RAPPELS...

- Les rayons X sont émis par le **cortège électronique**
- La radioactivité provient du **noyau**
- **Noyau = nuclide = nucléide**

IT'S MAGIC



# UN PEU D'HISTOIRE...



**JOHN  
DALTON**

Atome = sphère  
pleine de matière



**RUTHERFORD**

La matière est  
pleine de vide



**-400**

**DÉMOCRITE**

Notion de noyau

**1805**



**THOMSON**

Composants de  
l'atome  
"pudding au raisins"

**1897**

**1911**

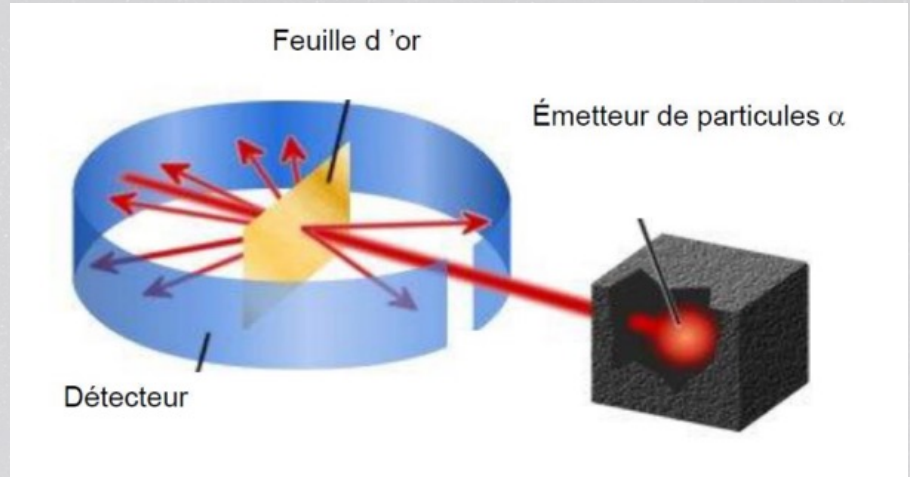


**1913**

**BOHR**

Notion de couches  
électronique

# L'EXPERIENCE DE RUTHERFORD





2

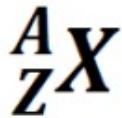
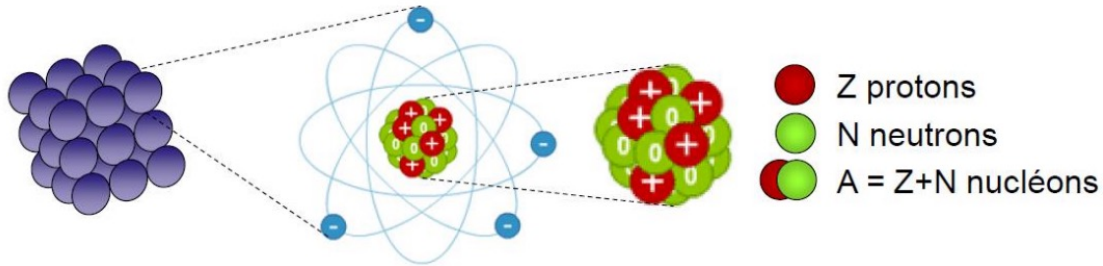


# COMPOSITION ET CLASSIFICATION





# QUELQUES PETITS RAPPELS...



A = nombre de masse

Z = numéro atomique



# CLASSIFICATIONS EN FONCTION DE $Z$



C'est la classification périodique des éléments, beaucoup utilisée en chimie

Les éléments sont **classés par Z croissant**

Dans une même colonne, on retrouve les **familles d'éléments**

1 H	
3 Li	4 Be
11 Na	12 Mg
19 K	20 Ca

5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	2 He
13 Al					10 Ne

↓  
Ex: le 8<sup>ième</sup> élément  
chimique (8 électrons)



# CLASSIFICATIONS EN FONCTION DE N

## TABLE DES NUCLIDES

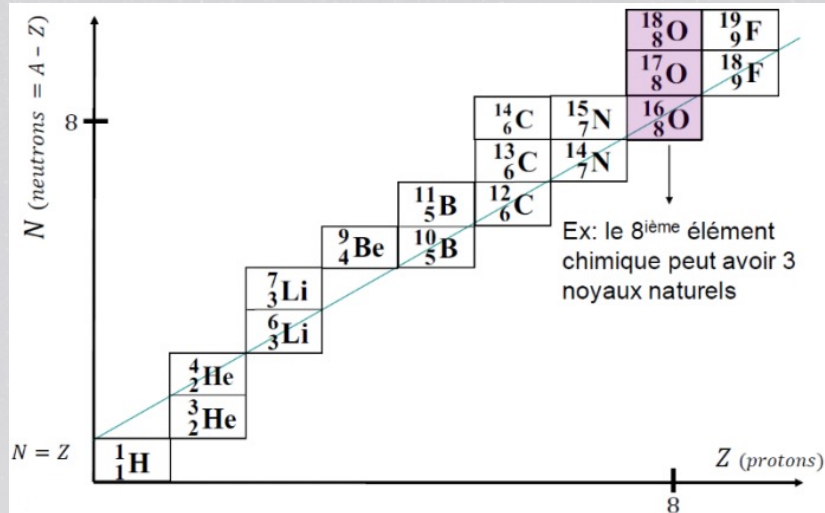


Plus utilisée en physique nucléaire

Tient compte du **nombre de neutrons**

Caractérise les **différentes formes du noyau** en fonction de N et Z

Permet de répertorier tous les noyaux (radioactifs comme naturels)

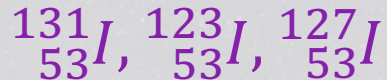


# QUELQUES PETITES DEFINITIONS...



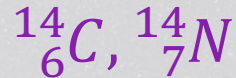
## ISOTOPES

Deux nucléides avec **le même Z mais des A différents** +++



## ISOBARES

Deux nucléides avec le **même A mais des Z différents** +++

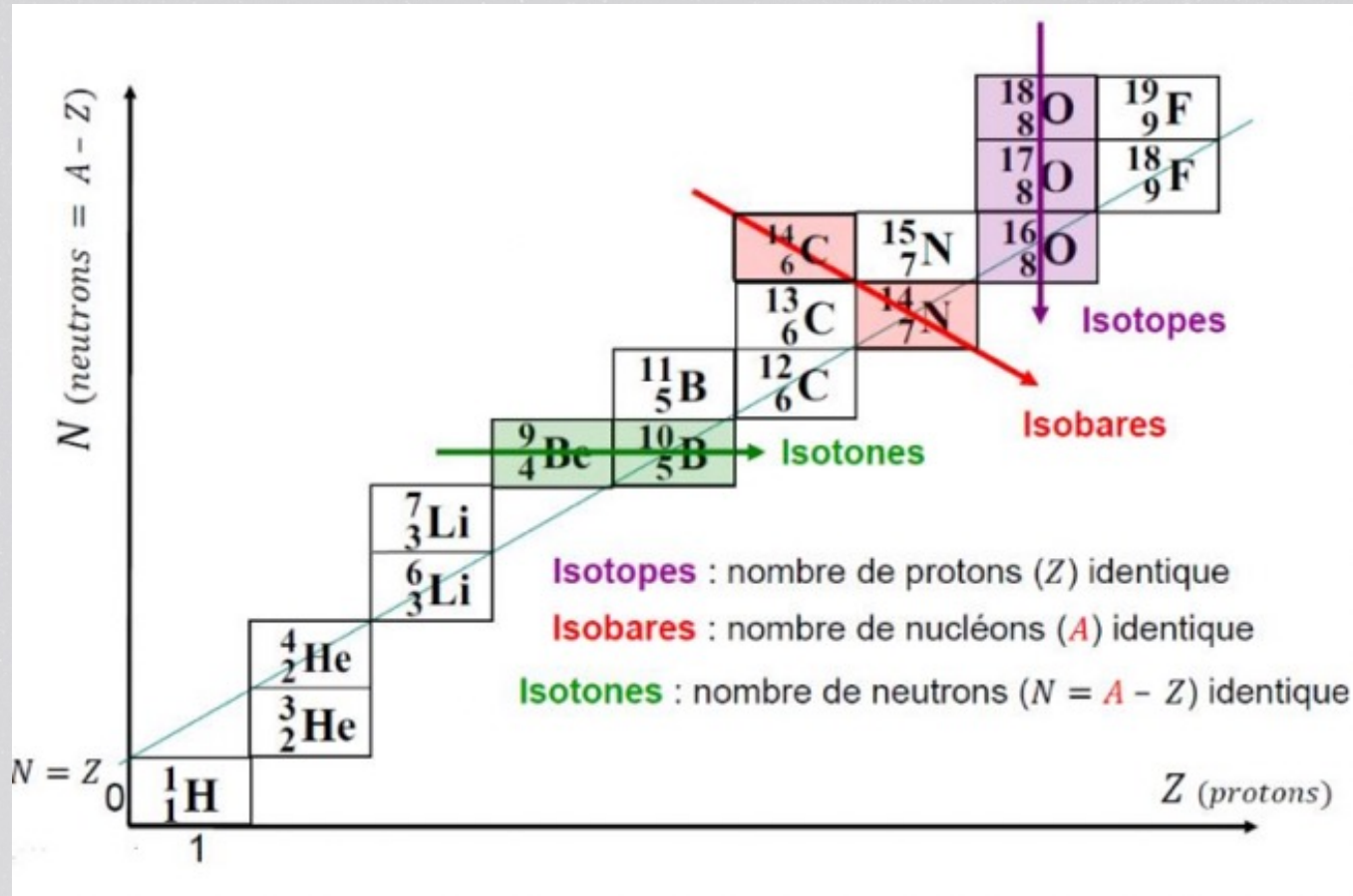


## ISOTONES

Deux nucléides avec le **même nombre de neutrons mais des A et Z différents** +++









# ABONDANCE ISOTOPIQUE



Correspond à la fraction molaire de chaque isotope,  
en %

**La somme des  
abondances  
isotopiques d'un même  
élément = 100% +++**



Exemple : le carbone :

$${}^{12}_6\text{C} = 98,89 \%$$

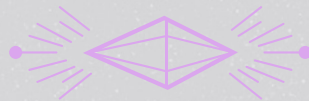
$${}^{13}_6\text{C} = 1,11\%$$

$${}^{14}_6\text{C} = \text{Traces}$$





# LES NUCLÉONS



$A$  = nombre de nucléons = nombre de masse  
correspond au nombre entier le plus proche de la masse d'un atome

*Conventions d'écriture:*

$\mathcal{M}$  = masse de **l'ATOME +++**

$M$  = masse du noyau

$\Delta M$  = défaut de masse

Le **défaut de masse** correspond à **l'énergie de liaison**

$$\underline{E_L = \Delta M c^2 +++}$$

( $E$  en joules,  $\Delta M$  en kg,  $c$  en m/s)

**1 u correspond à 931,5 MeV/c<sup>2</sup>**





On a deux types de nucléons:

- Le proton, existe à **l'état libre**:  ${}_1^1p$  ou  ${}_1^1H$  ou  $H^+$
- Le neutron, instable en dehors du noyau

Particule	Charge ( $e=1,6.10^{-19}$ C)	A	Masse (u)	Masse (Mev/c <sup>2</sup> )
${}_1^1p$	+1	1	1,00728	938,28
${}_0^1n$	0	1	1,00866	939,56
${}_{-1}^0e$	-1	0	0,00055	0,511

On remarque une légère différence de masse entre un neutron et le proton: le **neutron est légèrement plus lourd**.

Les stabilités de l'univers repose sur cette différence de masse !!





# LES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES

Classées en deux types et trois familles.

Dans la famille I, on retrouve 2 types de particules:

- Les **quarks**, u et d, ne peuvent pas se déplacer dans l'espace

$$u = +\frac{2}{3}e, d = -\frac{1}{3}e$$

- Les **leptons**: électrons et antineutrino, peuvent se déplacer librement

Ces particules ont une masse très faible

	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>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	Z <sup>0</sup> Z boson
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau	W <sup>±</sup> W boson
				Bosons de gauge

# LES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES



Les nucléons ne sont pas les particules les plus élémentaires de la matière, ils sont composés de Quarks +++

Les Quarks expliquent la charge du proton et du neutron:

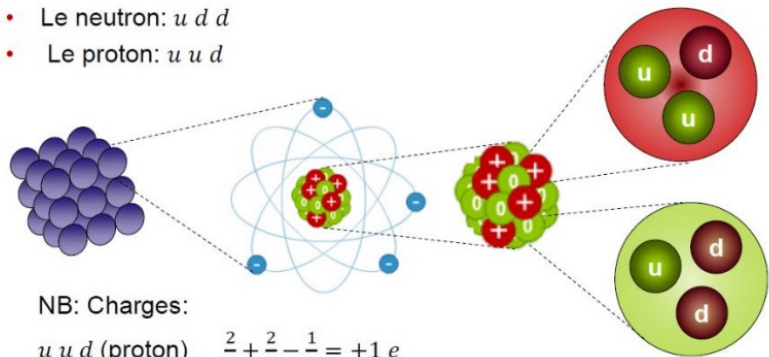
Proton : **2 quarks up** et **1 quark down**:  $u$

$$+ u + d = \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1e$$

Neutron : **1 quark up** et **2 quarks down** :

$$u + d + d = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0e$$

- Le neutron:  $u d d$
- Le proton:  $u u d$



NB: Charges:

$$u u d \text{ (proton)} \quad \frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1 e$$

$$u d d \text{ (neutron)} \quad \frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0 e$$



# INSTANT QCMS !



**QCM 1 : A propos de l'historique de l'atome et du noyau, indiquez la (les) proposition(s) exactes:**

- A) La notion de noyau apparait avec Démocrite
- B) La théorie de Démocrite était plus célèbre que celle d'Aristote
- C) Dans le modèle de Rutherford on retrouve la notion de couches électroniques
- D) Dans le modèle de Bohr, les électrons sont retrouvés dans un nuage autour du noyau
- E) Les propositions A, B, C et D sont inexactes







# INSTANT QCMS !



## Correction : A

A) Vrai

B) Faux : La théorie de Démocrite a été un peu abandonnée dans l'antiquité

C) Faux : couches électroniques → modèle de Bohr

D) Faux : électrons dans un nuage autour du noyau → modèle de Rutherford

E) Faux





# INSTANT QCMS !



**QCM 2 : A propos des différentes classifications, indiquez la (les) proposition(s) exactes:**

- A) Dans la classification en fonction du Z, les éléments sont classés en fonction de leur nombre de neutrons
- B) La table des nuclides prend compte du nombre de neutrons
- C) Des isotopes sont des nucléides avec le même nombre de protons mais des nombres de masse différents
- D)  $^{131}_{53}\text{I}$  et  $^{123}_{53}\text{I}$  sont des isobares
- ✦ E) Les propositions A, B, C et D sont inexactes



# INSTANT QCMS !



## Correction : BC

- A) Faux : Classification en fonction du  $Z \rightarrow$  en fonction du nombre de **protons**
- B) Vrai
- C) Vrai
- D) Faux : Ce sont des isotopes, **isobares = même A**
- E) Faux

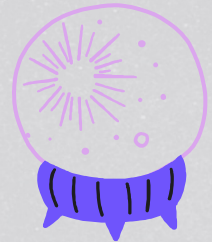


# INSTANT QCMS !



**QCM 3 : A propos des nucléons, indiquez la (les) proposition(s) exactes:**

- A)  $\mathcal{M}$  correspond à la masse de l'atome
- B)  $M$  correspond à la masse du noyau
- C) Le défaut de masse ne correspond pas à l'énergie de liaison
- D)  $1 \text{ u}$  correspond à  $931,5 \text{ MeV}/c^2$
- E) Les propositions A, B, C et D sont inexactes



# INSTANT QCMS !



## Correction : ABD

A) Vrai : +++

B) Vrai : +++

C) Faux : Le défaut de masse **CORRESPOND** à l'énergie de liaison !!

D) Vrai : +++

E) Faux







3



# ÉNERGIE DE LIAISON, DÉFAUT DE MASSE





# DÉFINITION



La masse d'un noyau constitué est inférieure à la somme des masses de ses nucléons +++

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

$$\Delta M(A, Z) = \sum m_i - M(A, Z)$$



## POINT IMPORTANT:

Si en énoncé on vous donne la masse de l'atome, il faut adapter la formule !

$$M(A, Z) = \mathcal{M}(A, Z) - Zm_e$$

$$\Delta M(A, Z) = \sum m_i - M(A, Z) = \sum m_i - (\mathcal{M}(A, Z) - Zm_e) = \sum m_i + Zm_e - M(A, Z)$$



# LA DIFFÉRENCE DE MASSE EST LIÉE À L'ÉNERGIE DE LIAISON

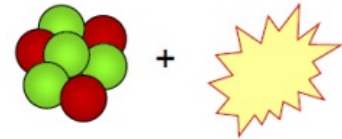
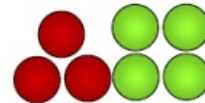
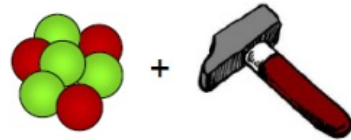


$$E = \Delta mc^2$$

Avec E en Joules,  $\Delta m$  en kg et  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$$E_L = 931,5 \times \Delta M$$

Avec E en MeV, et  $\Delta M$  en u



$M(A, Z) + \text{énergie}$   
( $E = \Delta M$ )

=

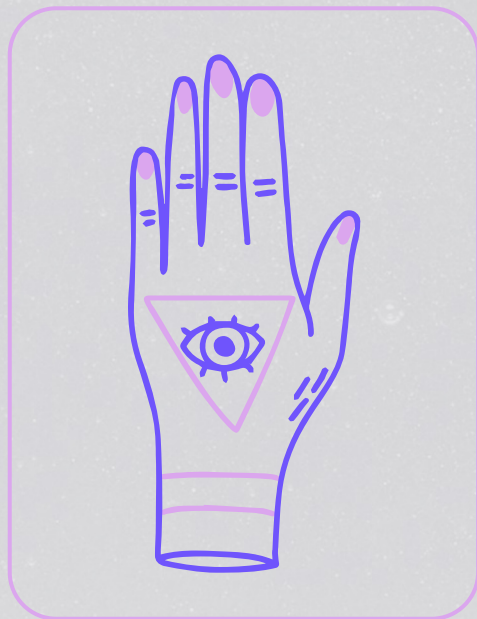
$\sum m_i$

=

$M(A, Z) + \text{énergie } E_L$



# GÉNÉRALISATION



NOYAU, MEV

Lié à l'énergie de liaison des nucléons



ATOME, KEV

$$\Delta\mathcal{M}_e(A, Z) =$$

$$M(A, Z) + Zm_e - \mathcal{M}(A, Z) = E_{le}$$

Ce défaut de masse correspond à **l'énergie de liaison** entre le noyau et les électrons

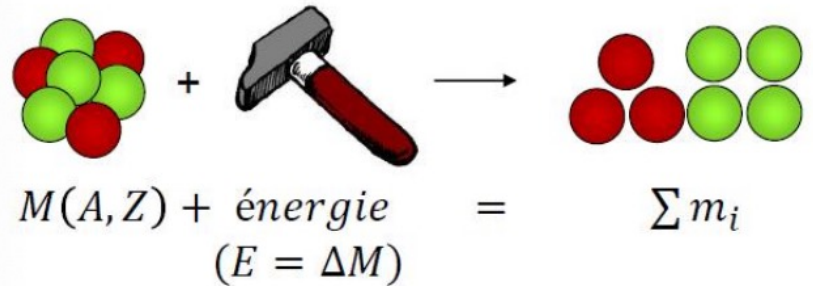
La masse d'un atome constitué est inférieure à la somme des masses de son noyau et de ses électrons pris séparément





# CONCLUSION

- ☆ **L'énergie de liaison du noyau** = énergie qu'il faut apporter pour le dissocier
- ☆ L'énergie est alors **transformée en masse**
- ☆ Énergie des nucléons → **MeV**
- ☆ Énergie des électrons → **keV**
- ☆ Énergie des atomes → **eV**





# INSTANT QCM!



**QCM 4 : A propos l'énergie de liaison et du défaut de masse, indiquez la (les) proposition(s) exactes:**

- A) La somme des masses d'un noyau et de ses électrons est inférieure à la masse de l'atome constitué
- B) La masse d'un noyau constituée est inférieure à la somme des masses de ses nucléons
- C) Au niveau de l'atome, l'énergie de liaison est en keV
- D) Au niveau des molécules, l'énergie de liaison est en MeV
- E) Les propositions A, B, C et D sont inexactes





# INSTANT QCM!



## **Correction : BC**

A) Faux : C'est l'inverse !!!

B) Vrai : +++

C) Vrai

D) Faux : Au niveau des molécules  $\rightarrow$  eV // Au niveau du noyau  $\rightarrow$  MeV

E) Faux





4



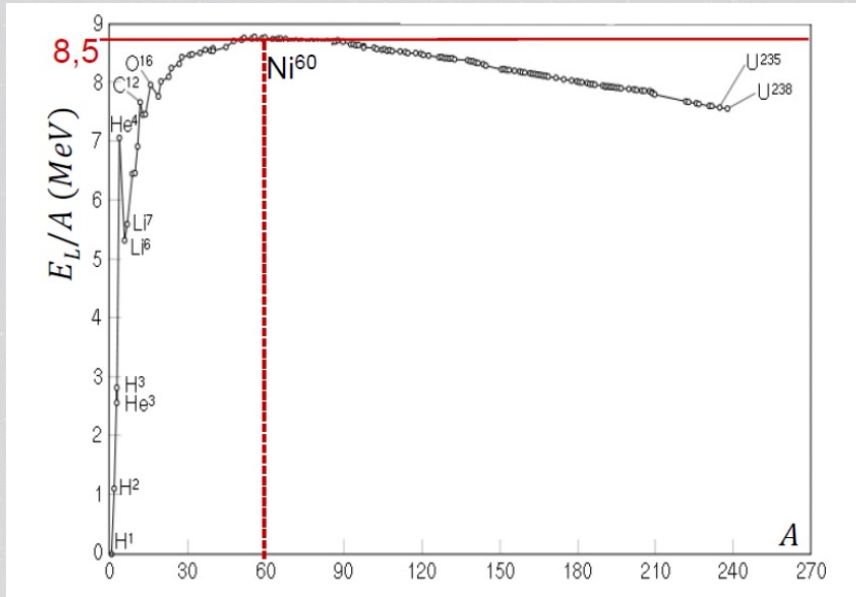
# FACTEURS DE STABILITÉ NUCLÉAIRE





# ENERGIE DE LIAISON PAR NUCLÉONS

On rapporte l'énergie globale du noyau au nombre de masse  $\rightarrow$  on obtient **l'énergie de liaison par nucléons**  $E_L/A$



**Maximum pour le  $Ni^{60}$**

Pour les noyaux les plus légers:

**Absence de régularité**, avec des pics spontanés

Dû à des **combinaisons de « nombres magique »**: 2, 8, 20, 50, 82...

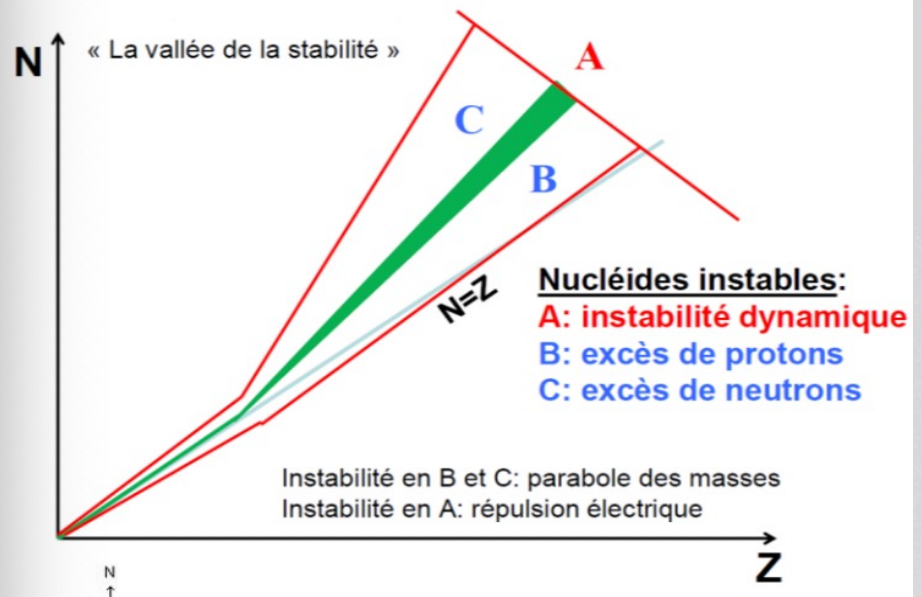
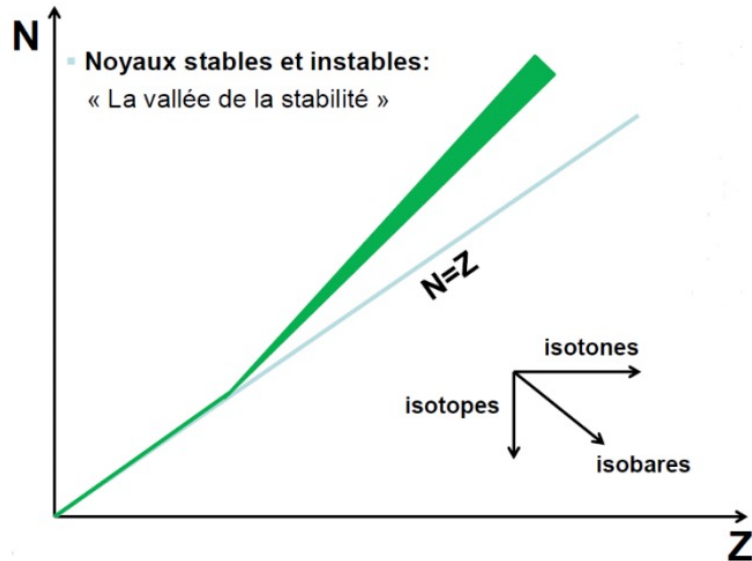
*Exemple:  $He^4$ , doublement magique*



# NOMBRE DE NEUTRONS

Noyaux légers :  $A < 20$  : stable si  $N = Z$  ++

Noyaux lourds :  $A > 20$  : stable si  $N > Z$  ++





# PARITÉ DU NOMBRE DE NUCLÉONS

La majorité des noyaux stables ont un **nombre de protons et de neutrons pair**

*Interprétation:* Les nucléons possèdent un **spin**.

Selon leur spin, ils tournent avec une orientation. Les nucléons vont alors se **regrouper par paires, avec un spin opposé** (pour se compenser)

**La parité du nombre de nucléons favorise ainsi la stabilité du noyau**

Z	N	A	Nbre de noyaux stables
pair	pair	pair	166
pair	impair	impair	55
impair	pair	impair	51
impair	impair	pair	5



# INSTANT QCM!



**QCM 5 : A propos des facteurs de stabilité nucléaire, indiquez la (les) proposition(s) exactes:**

- A) Plus l'énergie de liaison par nucléon augmente, moins le noyau est stable
- B) Pour qu'un noyau léger soit stable, il faut que  $N > Z$
- C) Pour qu'un noyau lourd soit stable, il faut que  $N = Z$
- D) Il y a très peu de noyau stable ayant un nombre de protons et de neutrons impair
- E) Les propositions A, B, C et D sont inexactes





# INSTANT QCM!



## Correction : D

- A) Faux : Plus  $E_L/A$  augmente, plus le noyau est stable +++
- B) Faux : Noyau léger stable  $\rightarrow N = Z$
- C) Faux : Noyau lourd stable  $\rightarrow N > Z$
- D) Vrai
- E) Faux





5



# FORCES NUCLÉAIRES

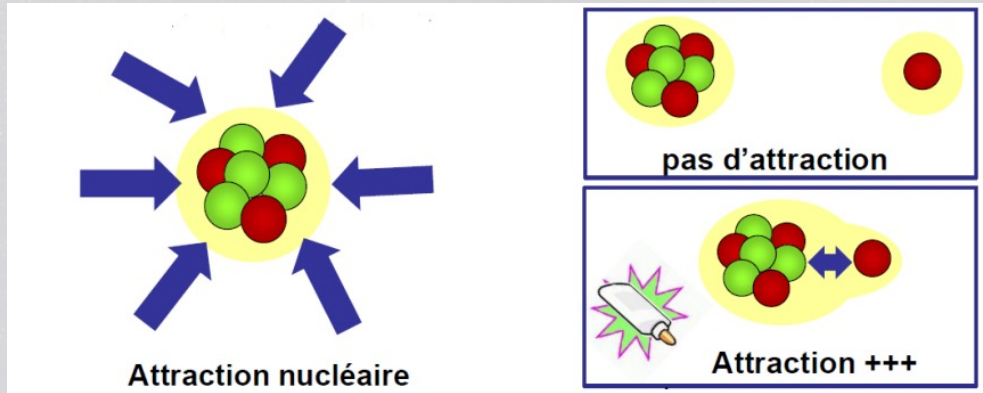


# INTERACTION FORTE

Il s'agit d'une force attractive qui assure la cohésion du noyau.

S'exerce à **des très courtes distances**

Correspond à **la masse perdue par les nucléons** (= mise en commun des particules d'interactions, les gluons)

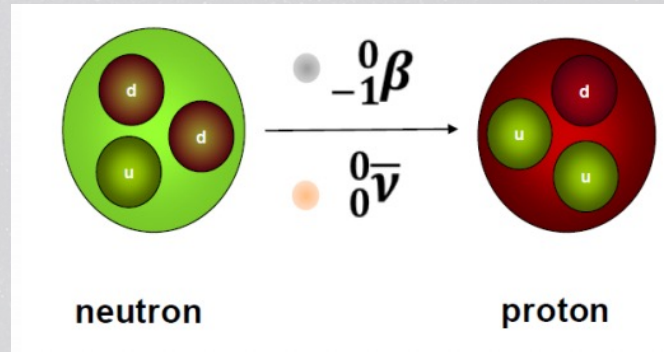


# INTERACTION FAIBLE

Discrète et de faible intensité

s'exerce à **courte distance** (à l'intérieur même des nucléons)

Peut **changer la composition d'un noyau** (en changeant un neutron en un proton ou vice versa)







# FORCE ÉLECTROSTATIQUE

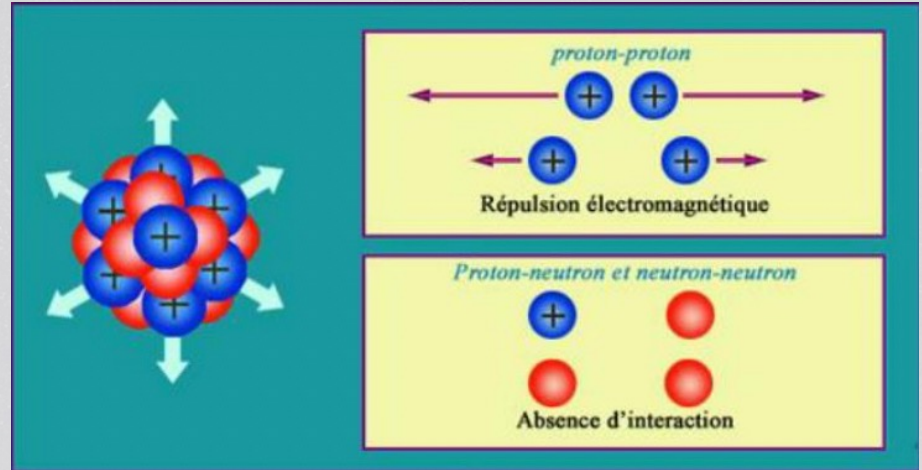
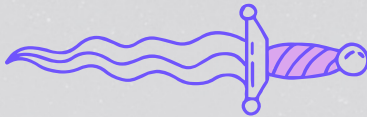
*Loi de coulomb:* « L'intensité de la force électrostatique entre deux charges électriques est proportionnelle au carré de la distance entre deux charges. La force est portée par la droite passant par les deux charges »

De **type coulombien**, **non spécifique** au noyau

Assez forte, mais moins que l'interaction forte

Concerne les **protons**, et est **répulsive**

Explique l'excès de neutrons des noyaux lourds





6



# MODÈLES NUCLÉAIRES

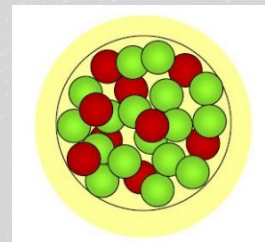




# MODÈLE DE LA COUCHE SPHÉRIQUE



Le noyau est assimilé à un liquide constitué de nucléons  
Confinés dans cette goutte par **l'interaction forte**  
**Incompressible, sphérique**, densité homogène des charges

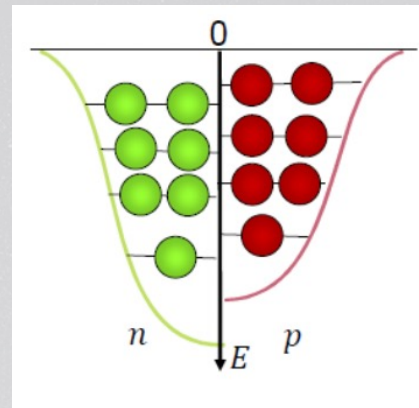


## MODÈLE EN COUCHE



Les nucléons sont **répartis en couches**, avec un nombre maximal de nucléons par couche  
Protons et neutrons sont **rangés dans un système différent**  
*Permet d'expliquer:*

- La stabilité des noyaux à « nombre magique », car remplissage complet des couches
- L'existence d'un niveau fondamental et de niveaux excités





# INSTANT QCM!

**QCM 6 : A propos des forces nucléaires, indiquez la (les) proposition(s) exactes:**

- A) L'interaction forte concerne uniquement protons
- B) L'interaction électrostatique est attractive
- C) L'interaction faible s'exerce à très grande distance
- D) L'interaction forte peut changer la composition des noyaux
- E) Les propositions A, B, C et D sont inexactes





# INSTANT QCM!

## Correction : E

- A) Faux : pas du tout ! C'est l'interaction électrostatique qui, dans le noyau, est spécifique des protons
- B) Faux : Cette interaction concerne les protons, chargés +, ils se **repoussent** entre eux !
- C) Faux : L'interaction faible s'exerce à très courte distance
- D) Faux : C'est l'interaction faible
- E) Vrai





7



# FUSION ET FISSION NUCLÉAIRE



**La masse d'un noyau constitué est inférieure à la somme des masses de ses nucléons.**

Pour assembler le noyau à partir de ses éléments, de l'énergie va être libérée, entraînant une perte de masse

**Fusion** : assembler deux petits noyaux pour en faire un plus gros: **noyau obtenu + léger = perte de masse**

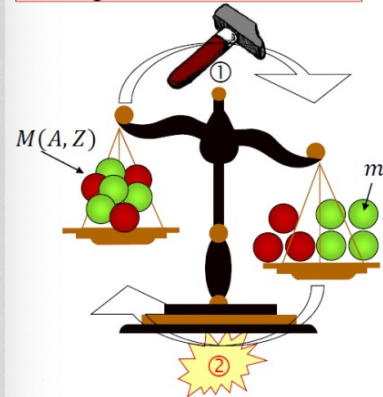
**Fission** : on part d'un gros noyau que l'on fissionne en plusieurs petits noyaux. Le système obtenu a une **masse inférieure au système initial = perte de masse**

Mais contradiction !

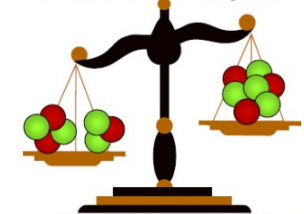
Au niveau des nucléons:

① Gain de masse = consommation d'énergie.

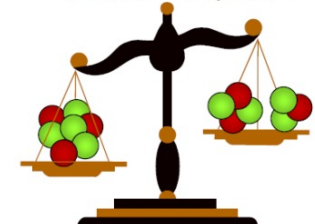
② Perte de masse = libération d'énergie.



Au niveau de noyaux ?



Fusion de 2 petits ?



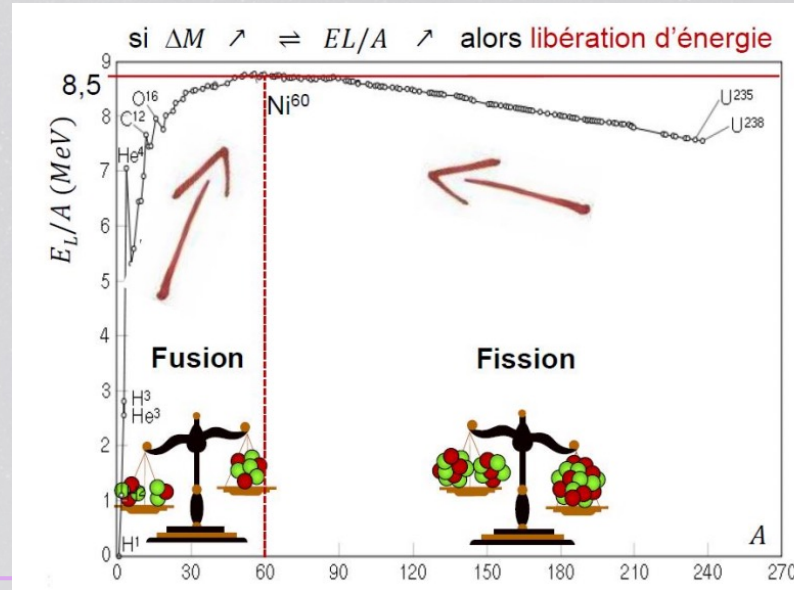
Fission d'un gros ?



Une augmentation de  $E_L/A$  signifie que le défaut de masse augmente → **libération d'énergie**

**Fusion** (pour les petits noyaux): les noyaux obtenus auront une  $E_L/A$  importante, donc **perte de masse + libération d'énergie**

**Fission** (pour les gros noyaux): on obtient également des noyaux avec une  $E_L/A$  importante, donc on a aussi une **perte de masse + libération d'énergie**







# FISSION NUCLÉAIRE



## EXEMPLE DE L'URANIUM - 235

$$\begin{array}{ccccccc} {}^1_0n & + & {}^{235}_{92}U & \rightarrow & {}^{140}_{54}Xe & + & {}^{93}_{38}Sr & + & 3{}^1_0n \\ E_{L/A} & & 0 & & 7,5 & & 8,2 & & 8,5 & & 0 \\ & & & & \times 235 & & \times 140 & & \times 93 & & \\ E_L (\Delta M) & & 0 & & 1762,5 & & 1148 & & 790,5 & & 0 \\ \text{Total avant} & = & 1762,5 \text{ MeV} & & \text{après} & = & 1938,5 \text{ MeV} \\ \Delta E_L & = & 1938,5 - 1762,5 & = & 176 \text{ MeV} \end{array}$$



# CALCUL DE L'ÉNERGIE LIBÉRÉE

## ÉTAPE 01



Multiplie chaque élément par  
le nombre de nucléons

Obtient l'énergie de liaison  
globale

## ÉTAPE 02



Additionne les énergies de  
chaque côté

Obtient énergies totales de  
liaison avant/après

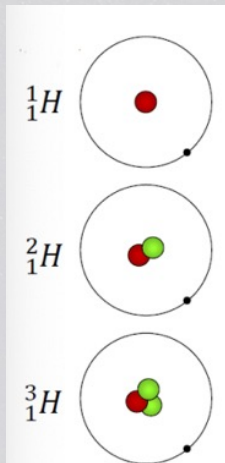
## ÉTAPE 03



Calcul la différence d'énergie  
de liaison

Obtient l'énergie libérée !

# FUSION NUCLÉAIRE



$$\begin{array}{rcccl}
 & {}^2_1\text{H} & + & {}^3_1\text{H} & \rightarrow & {}^4_2\text{He} & + & {}^1_0\text{n} \\
 E_{L/A}(\text{MeV}) & 1 & + & 2,8 & \rightarrow & 7 & & 0 \\
 E_L(\Delta M) & \frac{\times 2}{2} & & \frac{\times 3}{8,4} & & \frac{\times 4}{28} & & 
 \end{array}$$

Total avant = 10,4 MeV      après = 28 MeV

$\Delta E = 28 - 10,4 = 17,6 \text{ MeV libérés}$

# AUTRE MÉTHODE – EN PARTANT DES MASSES

ÉTAPE 01



Multiplie masse de  
chaque élément par  
sa quantité

ÉTAPE 02



Additionne les  
masses de chaque  
côté

ÉTAPE 03



Calcul la différence  
de masse

ÉTAPE 04



Utilise loi  
équivalence  
masse/énergie

Masse globale  
avant/après réaction

Obtient le défaut de  
masse

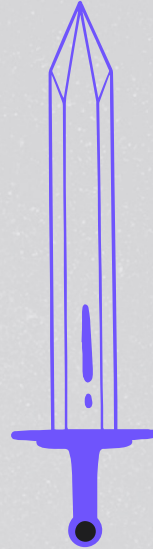
Obtient l'énergie  
libérée !



# PETIT POINT SUR QUELLE LOI D'ÉQUIVALENCE FAUT-IL UTILISER

$$E_l = \Delta m c^2$$

E en joules  
 $\Delta m$  en kg  
 $C = 3.10^8 m.s^{-1}$



$$E_l = \Delta m \times 931,5$$

E en MeV  
 $\Delta m$  en u

$$1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} J$$



# INSTANT QCM!



**QCM 7 : A propos de la fusion et de la fission nucléaire, indiquez la (les) proposition(s) exactes:**

- A) La fusion consiste à fusionner deux gros noyaux pour en donner un de taille moins importante
- B) La fission part d'un gros noyau que l'on fissionne en deux petits noyaux
- C) Dans les deux cas, on aboutit à une perte de masse globale et une libération d'énergie
- D)  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{19}\text{J}$
- E) Les propositions A, B, C et D sont inexactes



# INSTANT QCM!



## Correction : BC

- A) Faux : La fusion on fusionne deux **PETITS** noyaux pour en donner un de taille **PLUS** imp
- B) Vrai
- C) Vrai
- D) Faux :  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$
- E) Faux





# APPLICATIONS







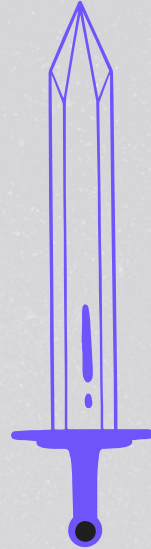
# FISSION

*Fission spontanée:*

- Existe dans la nature

*Fission induite:*

- Bombe nucléaire
- Centrales nucléaires




# FUSION

Existe à l'état naturel:

uniquement au niveau du soleil

*Application militaire:* Bombe H

*Application scientifique:*  
réacteurs ITER (électricité)



# FIN !

Merci d'avoir écouté jusqu'à la fin, bon courage pour la suite !

