

# Radioactivité

## Le noyau

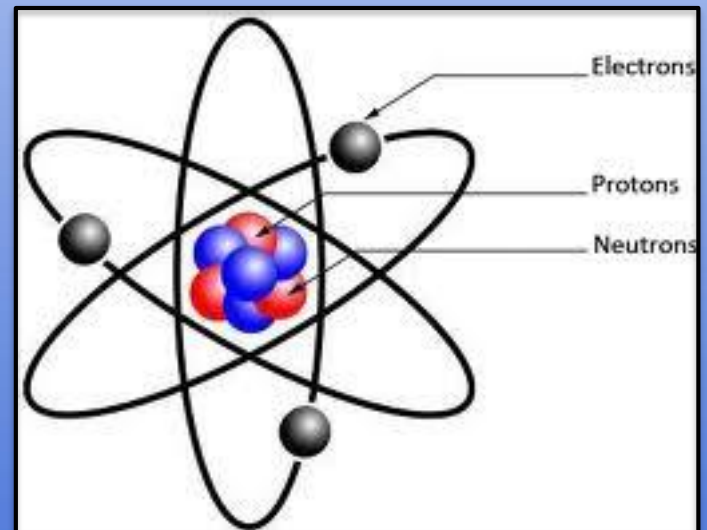


# Le noyau

- 1) Classification des nuclides
- 2) Composition des nuclides
- 3) Énergie de liaison et défaut de masse
- 4) Facteurs de stabilité nucléaire
- 5) Forces nucléaires
- 6) Modèles nucléaires
- 7) Fission et fusion

# INTRODUCTION

- Modèle de l'atome selon Rutherford :
  - Le noyau : au centre, très dense, chargé +
  - Les électrons : en périphérie, chargés –



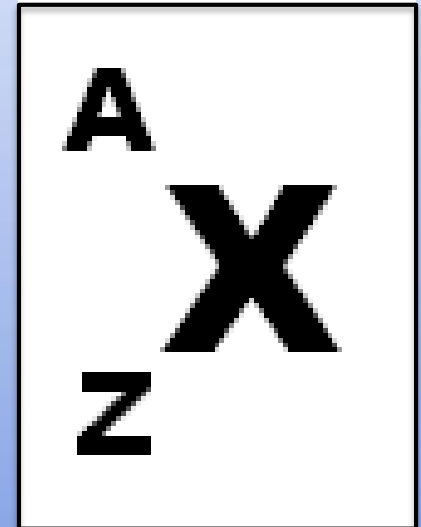
- 2 types de rayonnements :

- Les rayons X : interactions **électrons**/matière

- La radioactivité : modifications au sein du **noyau**

# 1) Classification des nuclides

- Nomenclature :



$A$  = Nombre de masse = nombre de nucléons

$Z$  = Numéro atomique = nombre de protons = nombre de charges =  
nombre d'électrons

$N = A - Z$  = nombre de neutrons

- Classification de Mendeleïv

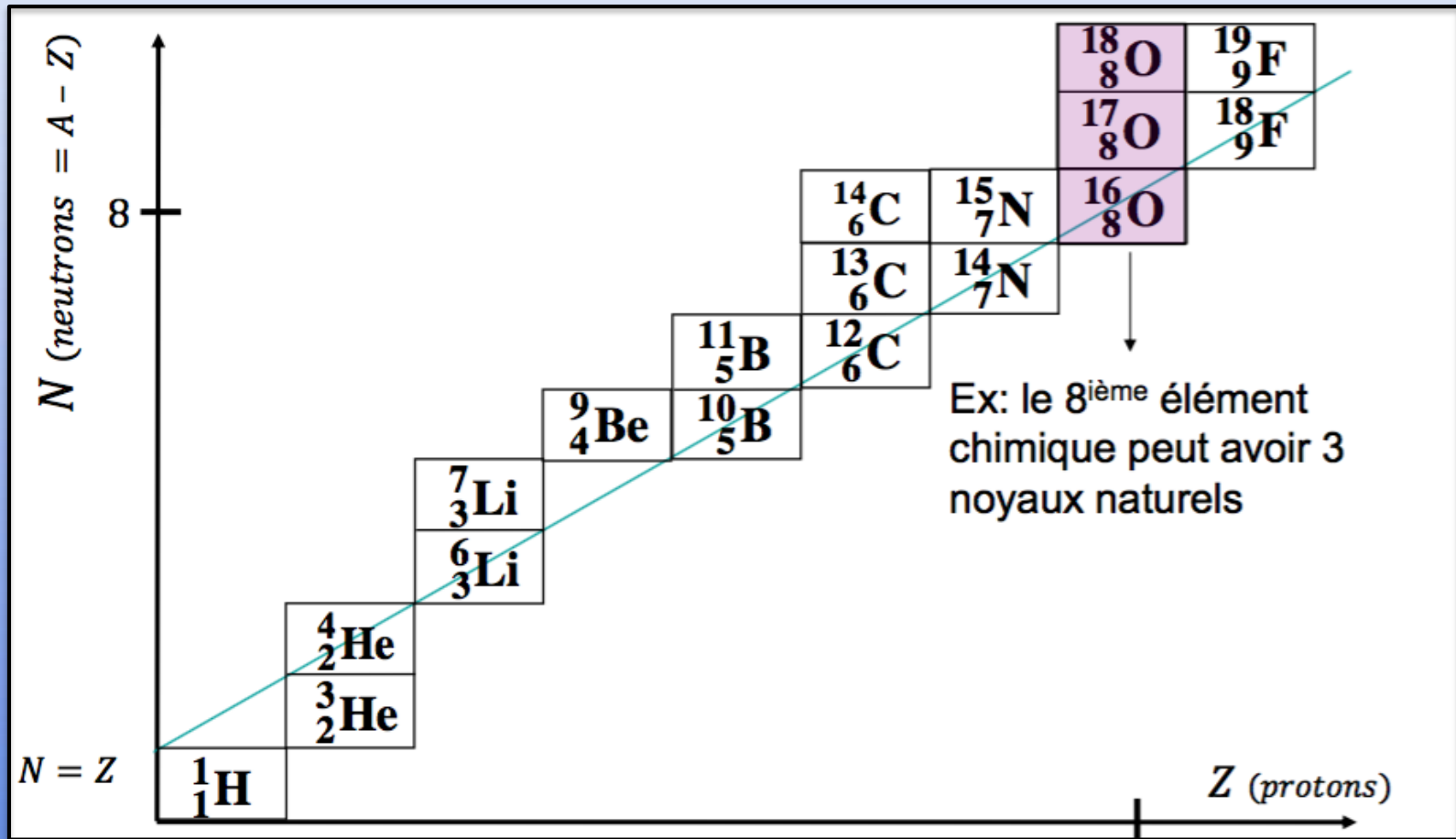
1 H						2 He		
3 Li	4 Be		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg							
19 K	20 Ca							

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

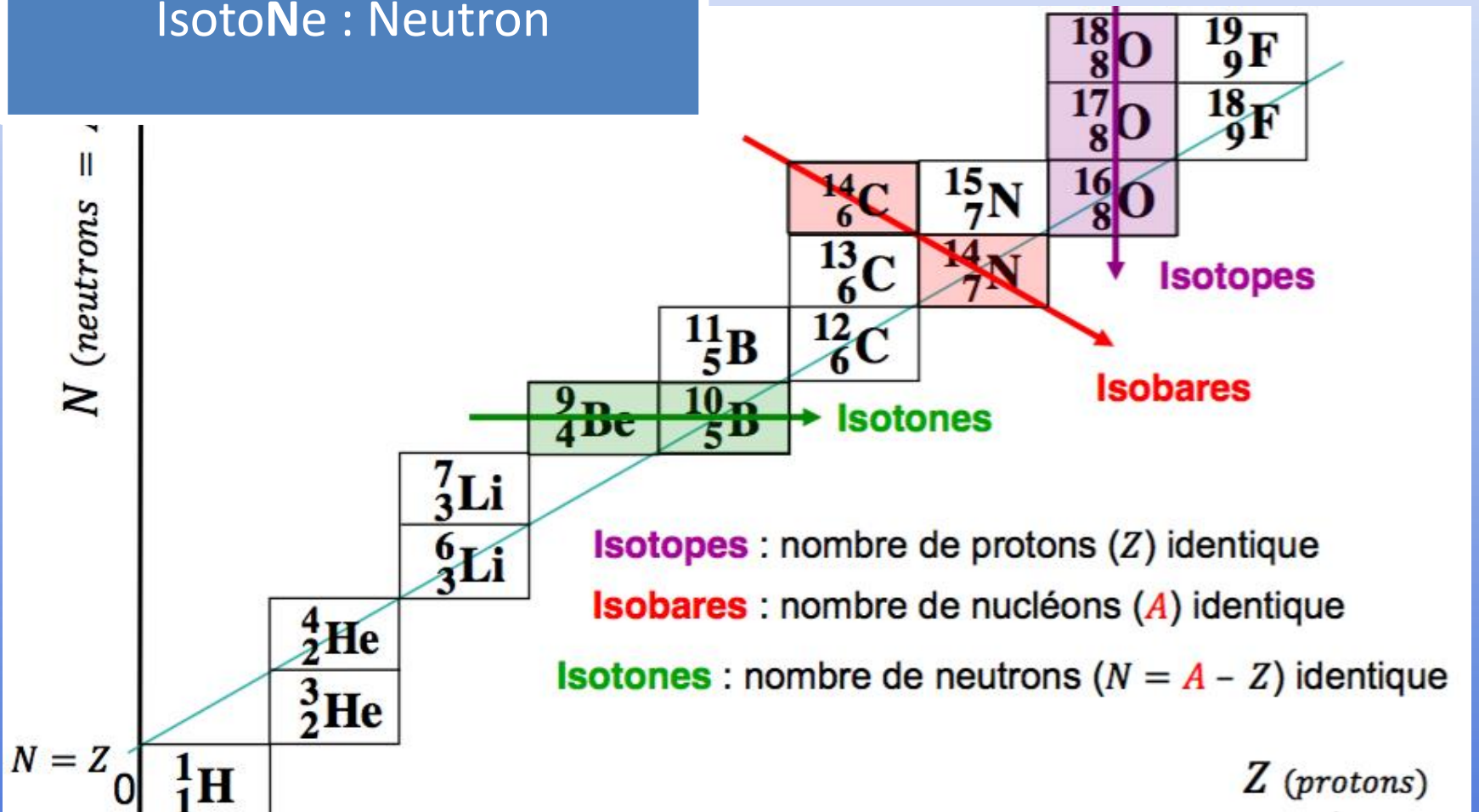
Classification « chimique »

Grâce au numéro atomique : Z

- Table des nuclides : « classification physique »

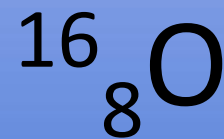
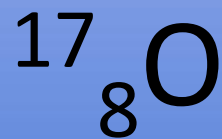
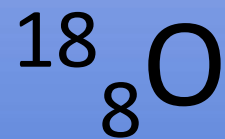


Moyen mnémo :  
 Iso**to**Pe : Proton  
 Iso**b**Are : A (nucléon)  
 Iso**to**Ne : Neutron



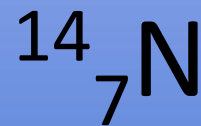
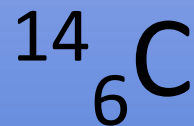
- Isotopes : nuclides ayant le même nombre de **protons** mais différent par leur nombre des neutrons, ils sont sur une même **colonne**.

Ex :



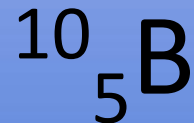
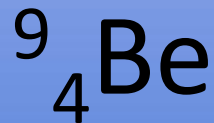
- Isobares : Nuclides ayant le même nombre de nucléons (A) mais différent par leur nombre de protons et de neutrons, ils sont sur une même diagonale.

Ex :



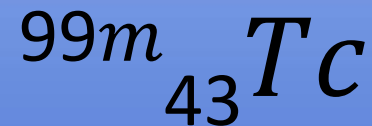
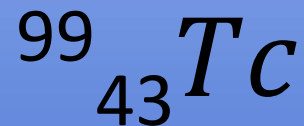
- Isotone : Nuclides ayant le même nombre de neutrons (N) mais différent par leur nombre de protons, ils sont sur une même ligne.

Ex :





- La classification physique ne permet pas de distinguer les ISOMÈRES :
- A, Z et N identiques
- Énergie interne différente
  
- ex: le technétium stable et métastable:



## 2) Composition des nuclides

### A) Les nucléons

#### Le Proton

- ${}^1_1\text{p}$  ou  ${}^1_1\text{H}$  ou  $\text{H}^+$
- Chargé positivement
- **STABLE** à l'état libre

#### Le Neutron

- ${}^1_0\text{n}$
- Neutre
- **INSTABLE** à l'état libre
- ${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{p} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}$

## B) Les particules élémentaires

### Les quarks

- Up : chargés  $+2/3$
- Down : chargés  $-1/3$
- N'EXISTENT PAS SEULS : ils constituent d'autres éléments (nucléons)

### Les leptons

- Neutrinos
- Électrons
- Peuvent se déplacer librement



Les bosons permettent les interactions.

- Les nucléons sont composés de 3 quarks
- Protons : 2 up + 1 down
- Neutron : 1 up + 2 down

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

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

### 3) Défaut de masse et énergie de liaison

- La masse d'un noyau constitué est inférieure à la somme des masses de ses nucléons :  $M(A,Z) < \sum m_i$
- « Défaut de masse »  $\rightarrow \Delta M_{A,Z} = \sum m_i - M(A,Z)$
- Défaut de masse équivaut à de **l'énergie** :  $E = mc^2$   
 $\rightarrow$  c'est l'énergie de liaison des nucléons

$$E_L(\text{MeV}) = 931,5 \times \Delta M_{A,Z} (\text{uma})$$

- Lors de la fragmentation d'un noyau : il faut **apporter** de l'énergie, pour **rompre** l'énergie de liaison qui lie les nucléons entre eux.
- Lors de la formation d'un noyau : il y a **libération** d'énergie, issue de l'énergie des nucléons entre eux au sein du noyau.

	Nucléons	Electrons	Atomes
Énergie de liaison (ordre de grandeur)	MeV	keV	eV

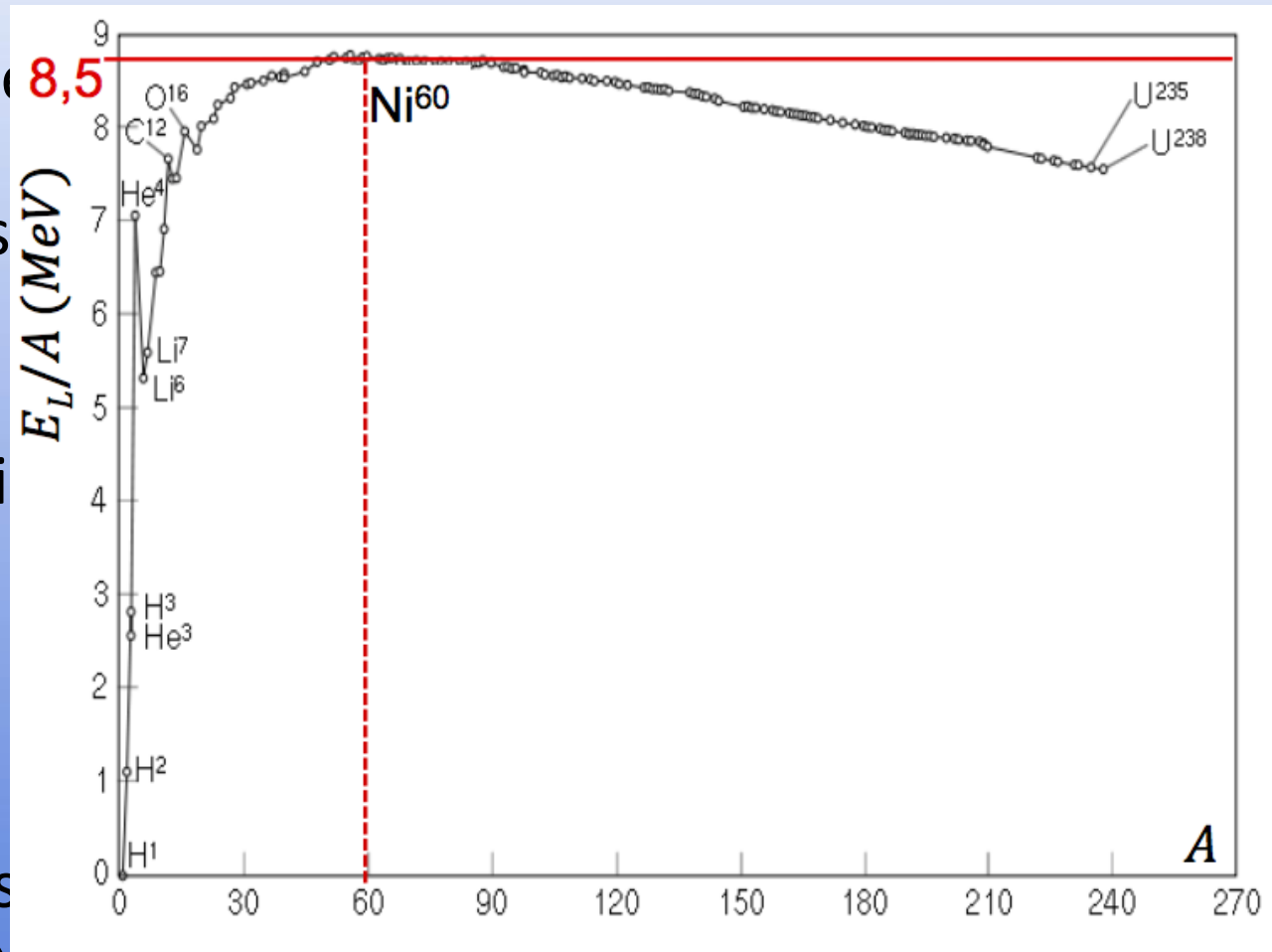
Remarque : L'énergie de liaison des électrons est **négligeable** devant celle des nucléons :

le défaut de masse de l'atome équivaut au défaut de masse de son noyau

## 4) Facteurs de stabilité nucléaire

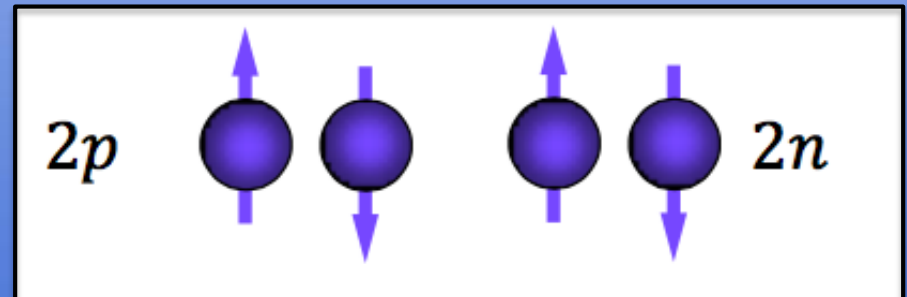
- A) Énergie de liaison par nucléon = énergie de liaison moyenne
- Pour comparer la stabilité des noyaux, on compare l'énergie de liaison moyenne :  $E_L/A$
- Plus elle est élevée plus le noyau est stable.

- $E_L/A$  augmente vite jusqu'à 8,5 MeV puis diminue lentement pour les noyaux lourds ( $A > 120$ )
- Les plus stables sont le Fe et le Ni
- Maxima pour certains noyaux légers à combinaisons stables : nombres magiques :  $Z$  ou  $N = 2, 8, 20 \dots$

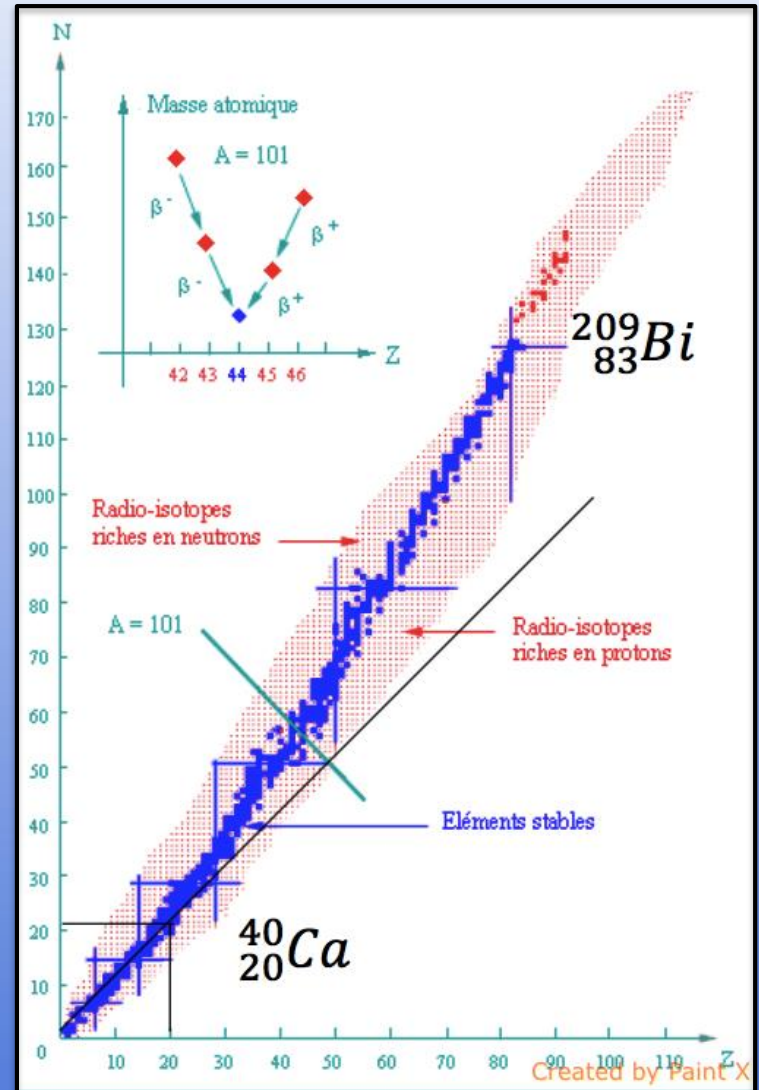


$E_L < 8,5 \text{ MeV}$

- B) Parité du nombre de nucléons
- La majorité des noyaux stables ont un Z et N pair, car les nucléons sont dotés d'un spin (+/-  $\frac{1}{2}$ ).
- Ils ont tendance à se regrouper par paire pour donner un système plus stable.



- C) Le nombre de neutrons
- La répartition neutrons/protons intervient dans la stabilité du noyau.
- Pour les noyaux légers :  $Z = N$  jusqu'à 20 :  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$

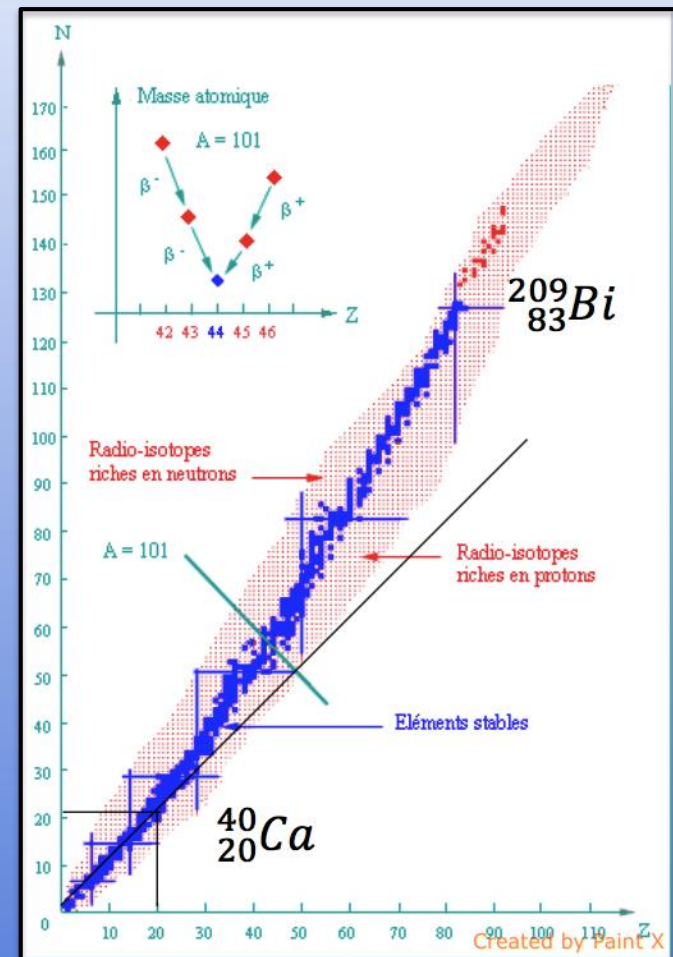


- Puis des neutrons sont nécessaires pour compenser les forces répulsives entre protons : la vallée de la stabilité s'éloigne de la 1<sup>ère</sup> bissectrice

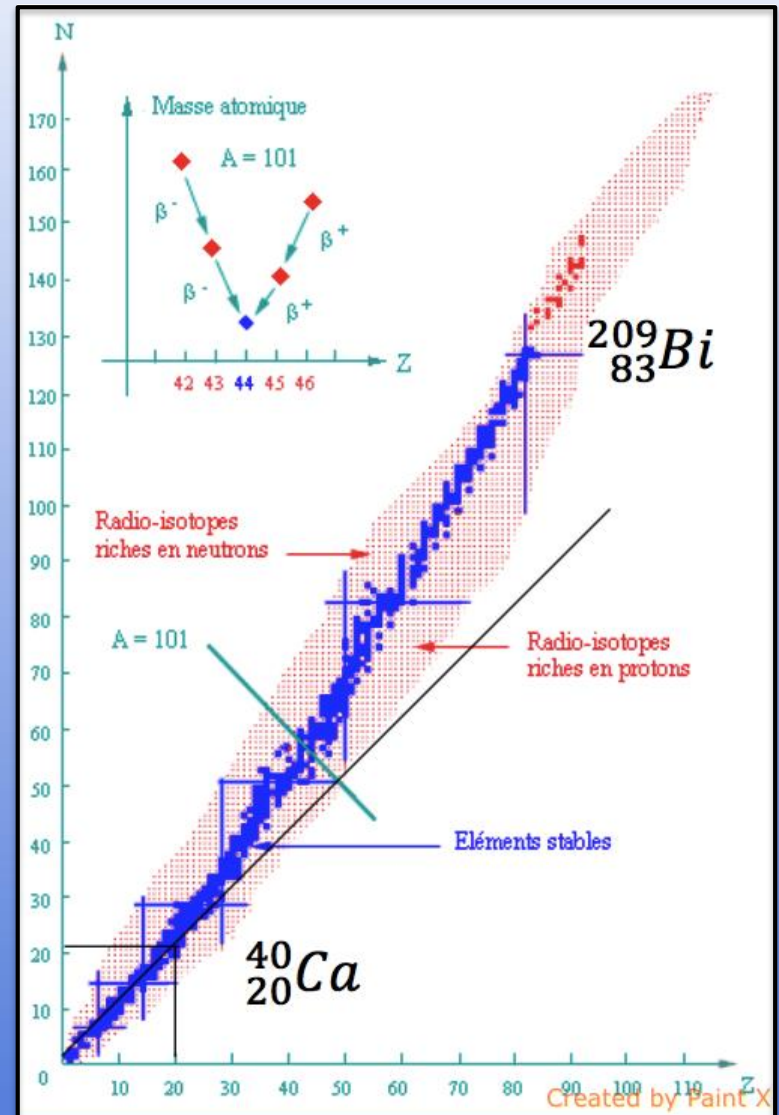
- La vallée de la stabilité est dessinée par les noyaux les plus stables:

-masses atomiques les plus faibles

- $E_L/A$  les plus importantes.



- La vallée de la stabilité atteint un maximum pour le bismuth 209 : il n'y a plus de noyaux stables au delà de 209 nucléons.



## 5) Les forces nucléaires spécifiques

- Responsables de la cohésion, la stabilité du noyau
- Leur intensités correspondent à l'énergie moyenne de liaison du noyau
- Liées aux interactions des nucléons entre eux.

- 1) La force électrostatique
- Type coulombien :  $1/r^2$
- Concerne uniquement les protons dans le noyau
- Répulsive : s'oppose à la cohésion
- Permet d'expliquer l'excès de neutrons dans les noyaux lourds : ils s'interposent entre les protons :  
↗d donc ↘Fe

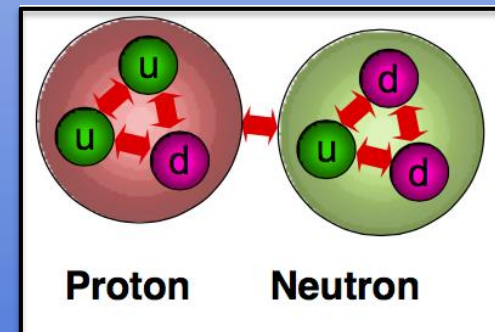
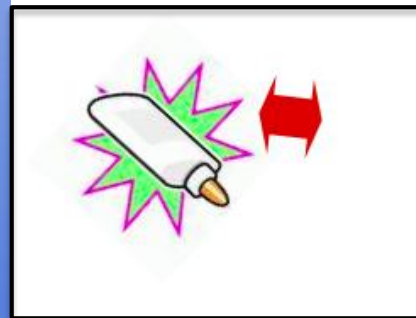
- 2) Les forces nucléaires spécifiques
- 2 types
- S'exercent à des distances très faibles ( $10^{-15}\text{m}$ )
- Existents uniquement au niveau du noyau

## a) L'interaction faible

- Répulsive
- Explique les transformations isobariques

## b) L'interaction forte

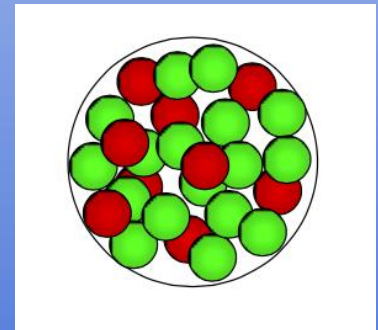
- **Attractive** : assure la cohésion des nucléons
- $100 \text{ à } 1000 > F_{\text{électrostatique}}$
- **Répulsive** à très courtes distances : permet l'incompressibilité des nucléons
- Correspond à la mise en commun de particules d'interactions entre les quarks : les gluons.



# 6) Les modèles nucléaires

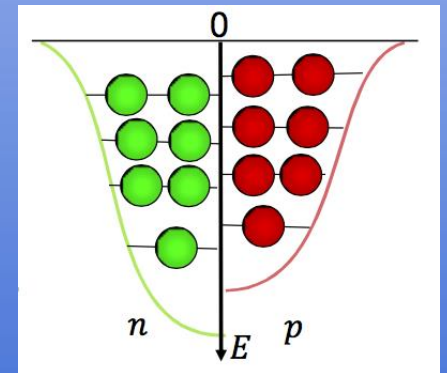
## a) Modèle de la goutte sphérique

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



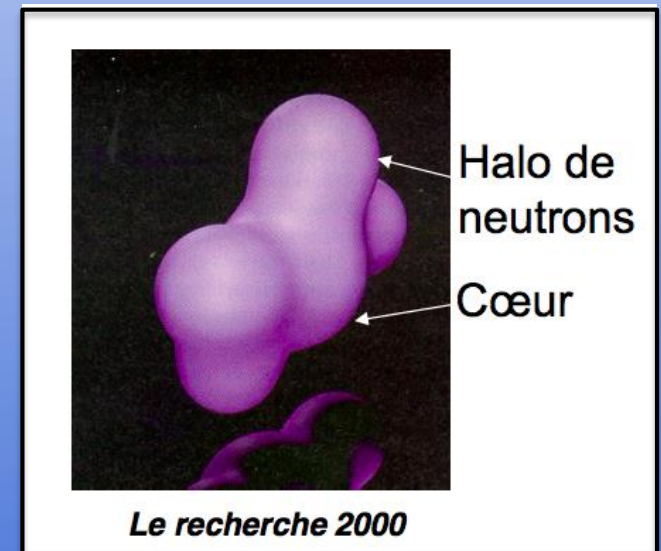
## b) Le modèle en couche

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



## c) Le 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.



# 7) Fission et fusion

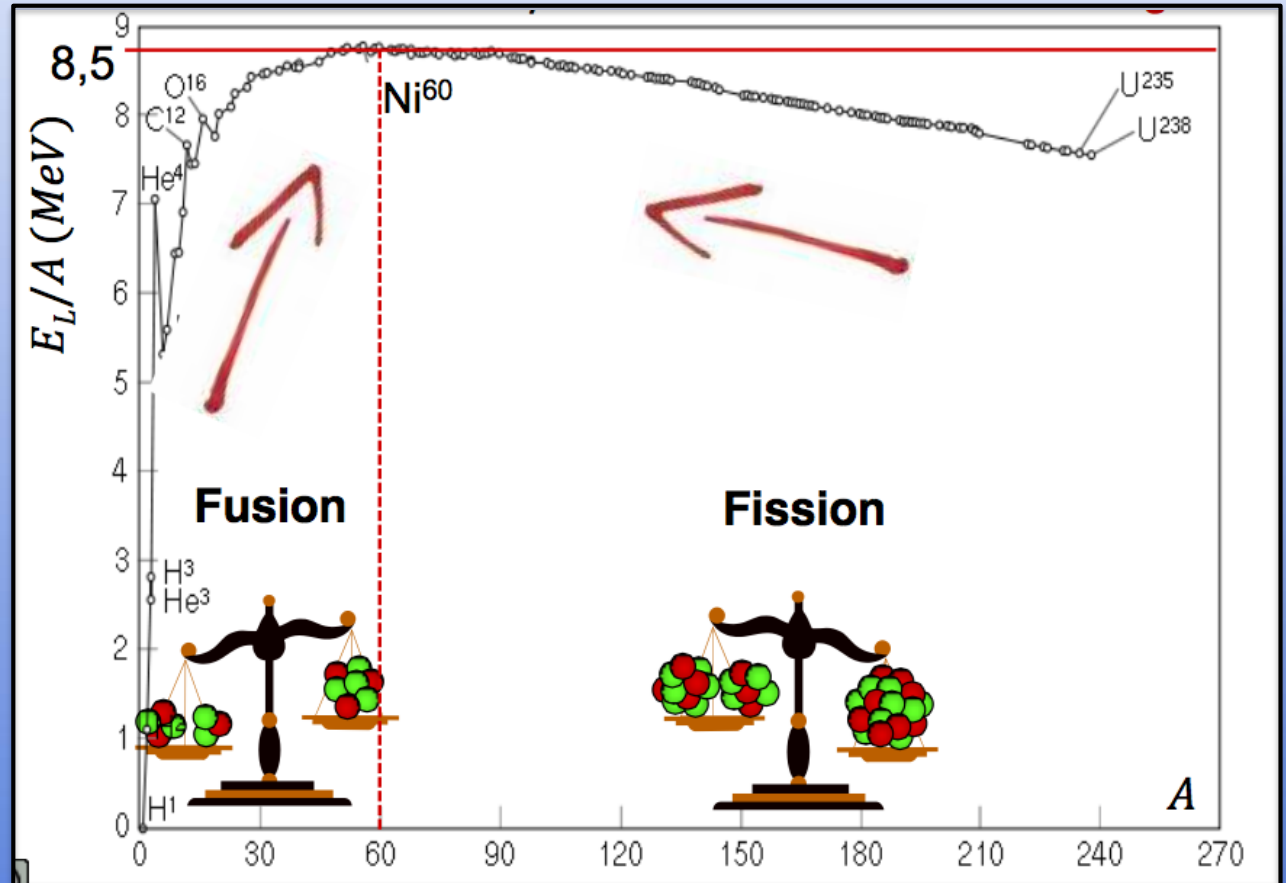
Rappel:

- Gain de masse = consommation d'énergie + rupture des énergie de liaison
- Perte de masse = libération d'énergie + création d'énergie de liaison
- → A nombre de nucléons égal, une perte de masse entraine une augmentation de  $E_l/A$  donc une plus grande stabilité

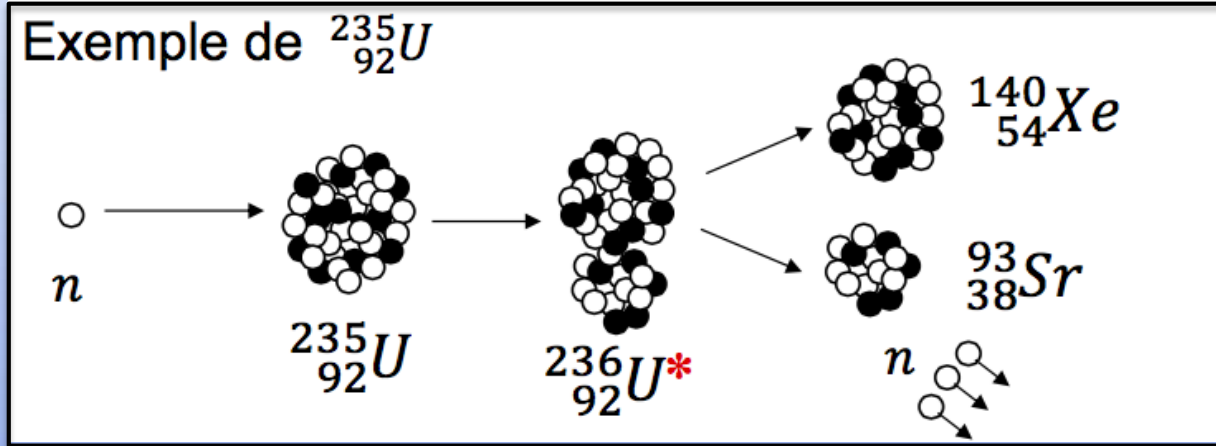
- Définitions

- Fusion :  
assemblage  
de 2 petits  
noyaux

- Fission :  
scission  
d'un gros  
noyau en 2  
petits



## a) La fission

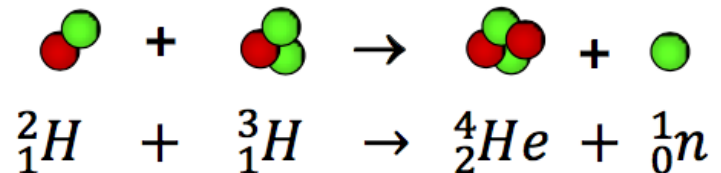


- 1) Le noyau (U) capte un neutron lent, il devient instable
- 2)  $^{235}_{92}\text{U}$  instable se fragmente alors en 2 noyaux de masse inférieure et éjecte 3 neutrons  $\rightarrow$  réactions en chaîne

## b) La fusion

- Certains petits noyaux peuvent fusionner pour former un noyau plus gros et des neutrons.
- La fusion est **thermonucléaire** : il faut une température extrêmement élevée pour amorcer la réaction.
- L'énergie libérée est transmise aux neutrons sous forme d'énergie cinétique

Exemple:



- Énergie
- Le fission d'1g d'uranium produit autant d'énergie que 2 tonnes de pétrole.
- La fusion d'1g d'hélium produit autant d'énergie que 12 tonnes de pétrole.

- Applications:

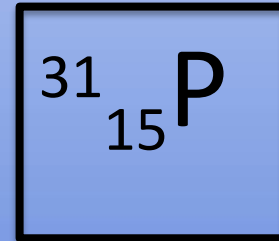
- ✓ Fusion : Soleil, bombe H, ITER

- ✓ Fission : Bombe A et centrale nucléaire.

# QCM

## CONCOURS 2005-2006

- Calculer l'énergie de liaison par nucléon (MeV/nucléon) du noyau de phosphore-31 sachant que la masse atomique est  $M(31,15) = 30,9737u$ .
- A. 4,5
- B. 9,5
- C. 8,5
- D. 263
- E. 13



- Résolution détaillée

- 1) Calculer le défaut de masse

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

$$\rightarrow = (Z \times M_H + N \times M_n) - M(31, 15)$$

$$\rightarrow = (15 \times 1,008 + 16 \times 1,009) - 30,9737$$

$$\rightarrow = 31,264 - 30,9737$$

$$\rightarrow = 0,2923 \text{ u}$$

Valeurs à

connaître :

$$M_z = 1,009 \text{ u}$$

$$M_n = 1,007 \text{ u}$$

- 2) Calculer de l'énergie de liaison

- $E_L = \Delta M \times 931,5$   
 $= 0,2923 \times 931,5$   
 $= 272,27 \text{ MeV}$

→ Ne pas hésiter à arrondir à 1000, et ensuite regarder les résultats inférieur à la valeur trouvée pour gagner du temps

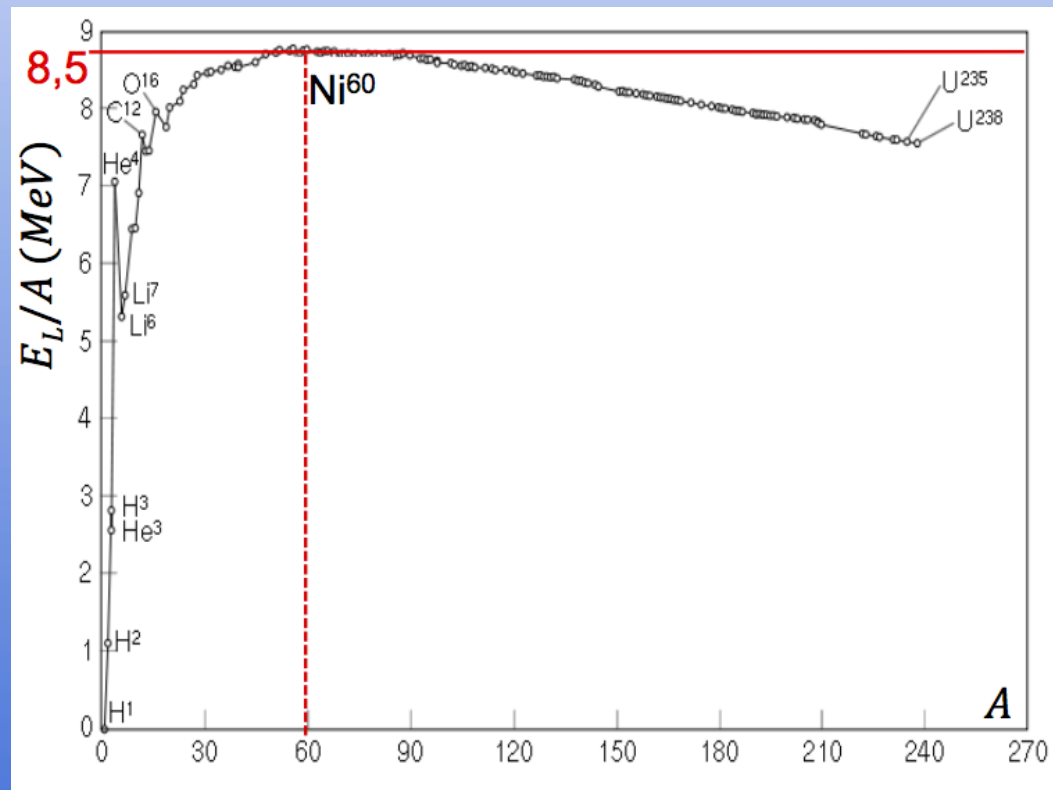
- 3) Calculer l'énergie de liaison par nucléon  
(attention à bien lire la consigne)

$$E_L/A = 272,27 / 31 = 8,7$$

- A. 4,5
- B. 9,5
- C. 8,5 → résultat le plus proche
- D. 263
- E. 13

+ Astuce gain de temps

**EL/A strictement inférieure à 8,5 MeV !**



- QCM 2
- Calculer l'énergie de liaison (en MeV) du noyau de carbone  $^{12}_6\text{C}$

- A) 0,09
- B) 8,91
- C) 12,10
- D) 81,37
- E) 92,16

Données :

$$M_{\text{H}} = 1,008 \text{ u}$$

$$M_{\text{n}} = 1,009 \text{ u}$$

$$M(^{12}_6\text{C}) = 12 \text{ u}$$

- QCM 2
- Calculer l'énergie de liaison (en MeV) du noyau de carbone  $^{12}_6\text{C}$

- A) 0,09
- B) 8,91
- C) 12,10
- D) 81,37
- E) 92,16**

Données :

$$M_{\text{H}} = 1,008 \text{ u}$$

$$M_{\text{n}} = 1,009 \text{ u}$$

$$M(^{12}_6\text{C}) = 12 \text{ u}$$

- Correction détaillée :

1) Calcul du défaut de masse

$$\begin{aligned}\Delta M &= (Z \times M_{\text{H}} + N \times M_{\text{n}}) - M(^{12}_6\text{C}) \\ &= (6 \times 1,008 + 6 \times 1,009) - 12 \\ &= 0,105 \text{ u}\end{aligned}$$

2) Calculer l'énergie de liaison

$$E_{\text{L}} = 0,105 \times 1000 = 105 \text{ MeV}$$

Donc le résultat le plus proche est 92,16 MeV (réponse E)

FIN !

Merci de votre attention

