



Cours n°3 Le Noyau

I. COMPOSITION DES NUCLIDES



A = nombre de masse

Z = numéro atomique

Le noyau X est composé de A nucléons répartis en Z protons et $A - Z$ neutrons.

Ⓜ Nombre de protons Z = nombre d'électrons = numéro atomique = nombre de charges

Il est à l'origine de la classification de Mendeleïev, dans laquelle Z est caractéristique de l'élément chimique.

Le proton est une particule **stable** à l'état libre.

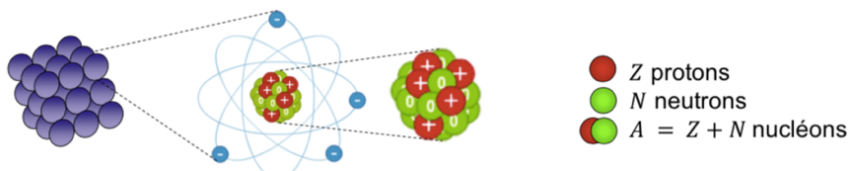
Ⓜ Nombre de neutrons $N = A - Z$

Le neutron est une particule instable hors du noyau et se transforme spontanément selon la

réaction suivante : ${}^1_0 n \rightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1} e + \bar{\nu}$ Il possède une demie vie très courte (12min)

Ⓜ Nombre de nucléons = nombre de masse = valeur entière la plus proche de la masse de l'atome exprimée en u (ou de la masse atomique en g).

m



Les nucléons sont eux mêmes constitués de particules élémentaires selon 3 familles :

Ⓜ **Les Quarks** : on a des quarks **up** avec une charge de $+\frac{2}{3}$ et des quarks **down** avec une charge de $-\frac{1}{3}$

Un neutron est composé de 2 quarks down et 1 quark up (udd)

Un proton est composé de 2 quarks up et 1 quark down (uud)

Ⓜ **Les Leptons** : électrons, neutrinos, antineutrinos

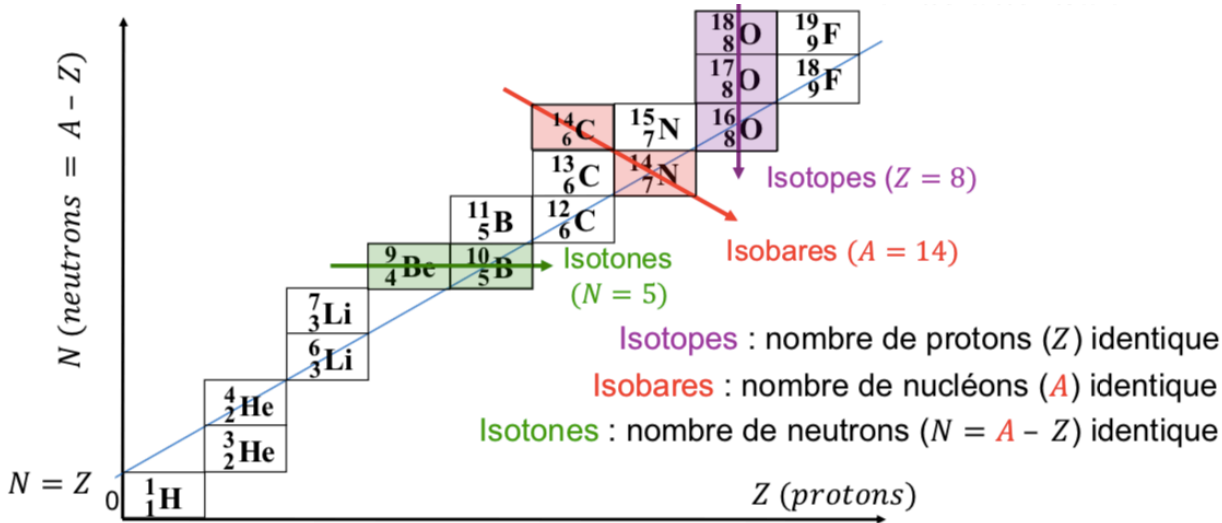
Ⓜ **Les particules d'interaction** : les bosons

II. CLASSIFICATION DES NUCLIDES (TOMBE TOUJOURS AU CC)

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

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Pour une classification « physique », on utilise **la table des nuclides** : +++



Les isotopes	Même nombre de P rotons 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 N eutrons N . Ils sont dans une même ligne .
Les isomères	Même Z et même A mais niveau d'énergie interne différent.

Il existe une notion « d'abondance isotopique » :

Ex du Carbone

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

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

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

- 2 nuclides avec : Z identique } = **isotopes**
 $A \neq$
 Même symbole chimique, mais un nombre de neutrons \neq .
ex: les isotopes de l'hydrogène: ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$

- 2 nuclides avec : $Z \neq$ } = **isobares**
 A identique
ex: le carbone 14: ${}^{14}_6\text{C}$ et l'azote 14: ${}^{14}_7\text{N}$

- 2 nuclides avec : N identique = **isotones**
ex: le béryllium ${}^9_4\text{Be}$ et le bore: ${}^{10}_5\text{B}$

Remarque: 2 nuclides avec : Z identique } = **isomères**
 A identique

Seulement une différence d'énergie interne.

ex: le technétium stable et métastable: ${}^{99}_{43}\text{Tc}$ et ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$

III. DÉFAUT DE MASSE ET ÉNERGIE DE LIAISON +++

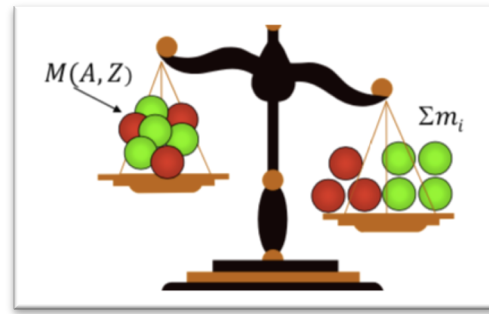
La masse d'un noyau est **inférieur** à la somme des masses de ses constituants (nucléons)

Il y a donc une perte de masse qui est convertie en énergie, appelée le **défaut de masse** $\Delta M(A,Z)$ qui est égal à la différence entre la somme de toutes les masses des constituants du noyau et la masse du noyau :

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

Le défaut de masse équivaut à une **énergie** : l'énergie de liaison des nucléons

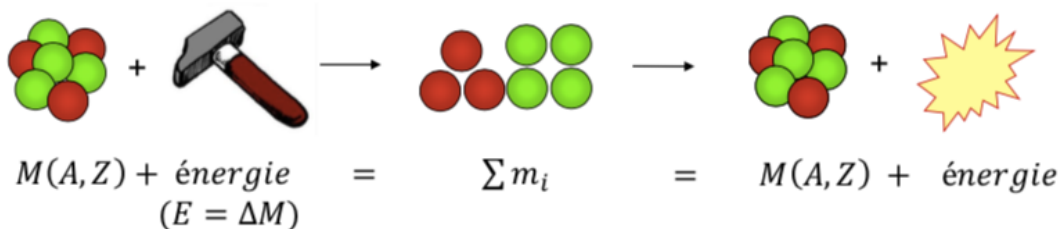
$$E_L [\text{MeV}] = 931,5 \times \Delta M [\text{u}]$$



Attention ! ; l'énergie de liaison des **électrons** (\neq énergie de liaison des nucléons E_L) est **négligeable** par rapport à celle des **nucléons**. Ainsi le défaut de masse de l'atome équivaut au défaut de masse du noyau.

L'énergie de liaison des nucléons est de l'ordre du MeV, celle des électrons du keV et celle des atomes de l'eV.

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



Au contraire si on veut **réunir** des nucléons pour en faire un noyau, le noyau résultant aura une **masse plus faible** et de **l'énergie sera libérée**.

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

Données :

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

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

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

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

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

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

Regardez bien ce tableau il est très très important et le calcul tombe toujours au concours, c'est la base de la Biophysique (sisi c'est vrai).

Si vous ne comprenez pas la résolution de ce QCM, le calcul de l' E_L , le calcul du défaut de masse venez sur le forum pour qu'on vous explique 😊

IV. FACTEUR DE STABILITÉ DE NUCLÉAIRE

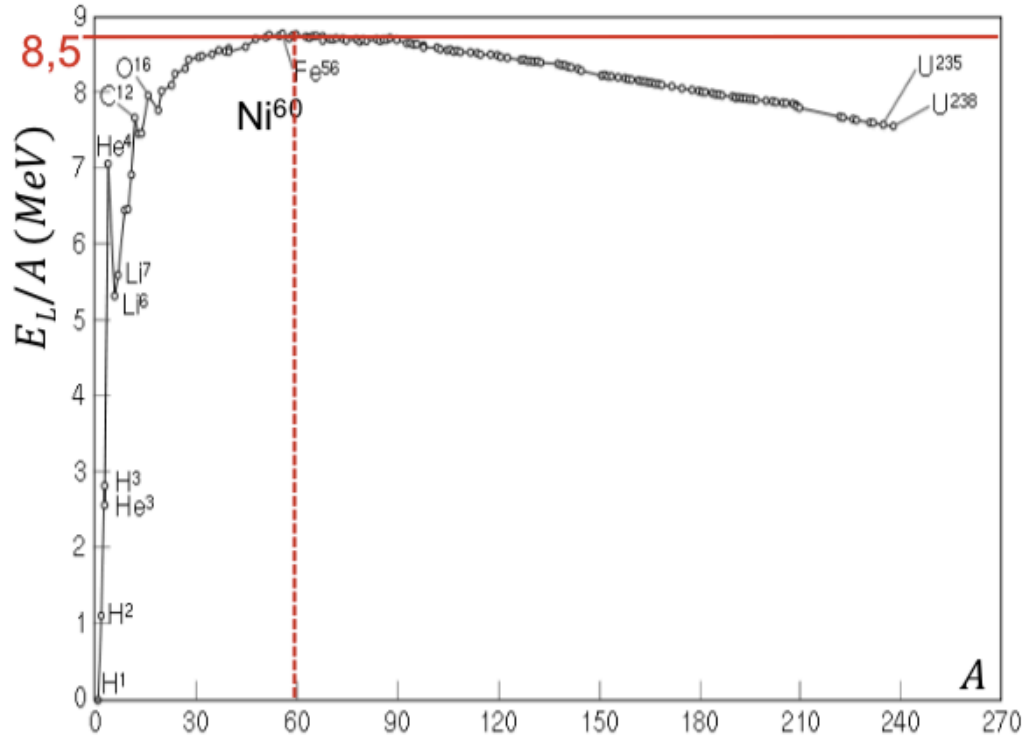
A. L'énergie de liaison par nucléon +++

Plus l'énergie de liaison par nucléons (E_L/A) est importante plus le noyau est **stable**. Le but pour être le plus stable possible est d'avoir une **masse minimale** avec une **énergie de liaison maximale**.

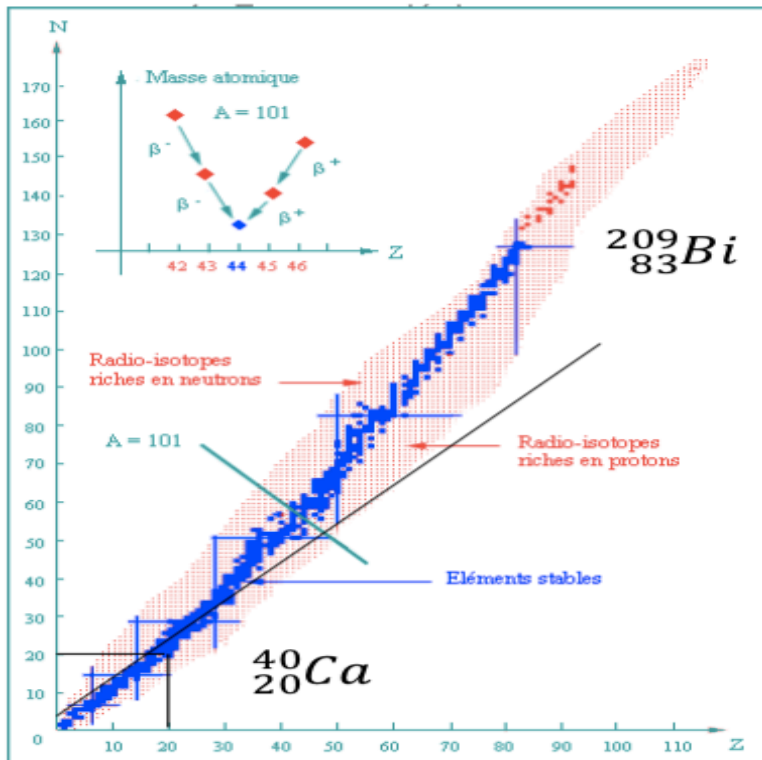
E_L/A augmente jusqu'à son **maximum (8,5MeV)** puis diminue pour les noyaux les plus lourds ($A > 120$).

Le Fer et le Nickel sont les éléments les plus **stables**.

On observe des maxima pour certains noyaux légers à combinaison stable (**nombres magiques** : Z ou $N = 2, 8, 20, 50$)



B. Le nombre de neutrons



La répartition protons/neutrons intervient dans la **stabilité** du noyau.

Pour les **noyaux légers** : $Z = N$ jusqu'à $Z = 20$ et $N = 20$ ($Z = 20$ correspond au Ca_{20}^{40})

Au delà, plus de neutrons sont nécessaires pour assurer la stabilité (pour compenser les forces répulsives)

La **vallée de la stabilité** s'élève au dessus de la première diagonale.

Jusqu'au **maximum de 200 nucléons** (le Bismuth, Bi_{83}^{209}) on a de la stabilité : au-delà, pas de stabilité possible.

C. Parité du nombre de nucléons

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

La parité est un facteur de stabilité car les nucléons ont un spin de + ou - 1/2 donc ils ont tendance à se regrouper par paire avec un nucléon de signe opposé pour un maximum de stabilité.

V. FORCES NUCLÉAIRES

- 1) Elles sont responsables de la cohésion (stabilité) du noyau.
- 2) Leurs intensités correspondent à l'énergie moyenne de liaison du noyau.
- 3) Elles sont liées aux interactions des nucléons entre eux

A. Force électrostatique

- De type **coulombien** ($F = 1/r^2$)
- Concerne uniquement **les protons** dans le noyau
- Elle est **répulsive** donc elle s'oppose à la cohésion du noyau
- Elle explique **l'excès de neutron des noyaux lourds** car les neutrons s'interposent entre les protons pour diminuer cette force de répulsion

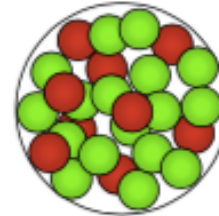
B. Forces nucléaires spécifiques

- Elles sont de 2 types
- S'exercent à des distances **très faibles** (Fermi ; 10^{-15}m)
- Existents **uniquement** au niveau du noyau
- ❖ L'interaction faible : elle est **répulsive** et explique les transformations radioactives isobariques
- ❖ L'interaction forte : elle est **attractive** et assure la **cohésion du noyau**, elle est 100 à 1000 fois supérieur à la force électrostatique ;
elle est cependant **répulsive à très courte distance** (imcompressibilité du noyau) et correspond à la mise en commun de particules d'interactions (les bosons) qui sont **les gluons**.

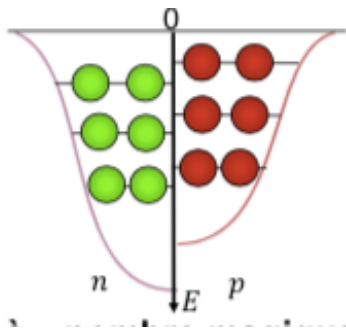
VI. MODÈLES NUCLÉAIRES

A. 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



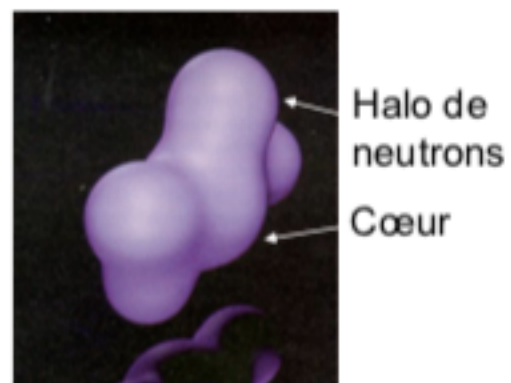
B. Modèle en couche



- 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**
- Répartition en couches
- Système différent pour les protons et les neutrons

C. Modèle mixte

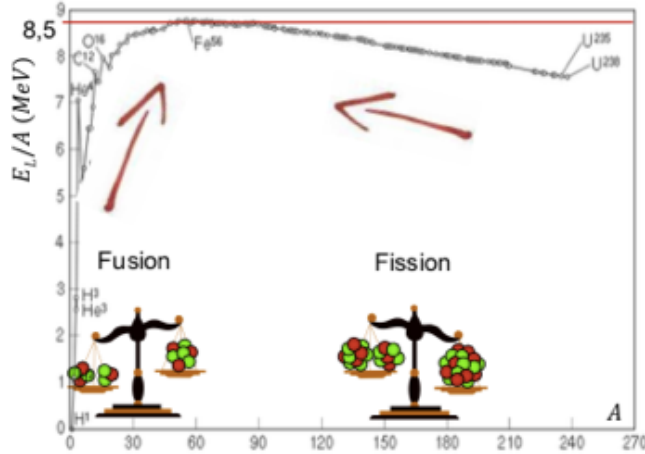
- Représente le noyau avec un cœur et un halo de neutrons à la périphérie
- Explique la **stabilité** particulière de certains **noyaux lourds riches en neutrons**



Le recherche 2000

VII. FISSION ET FUSION NUCLÉAIRE

- Au niveau des nucléons, un **gain de masse = consommation d'énergie** et une **perte de masse = libération d'énergie**
- A nombre égal de nucléons, une **perte de masse = augmentation de E_L/A = augmentation de la stabilité** (vous verrez souvent qu'un état fortement énergétique n'est pas du tout stable)
- La fusion et fission **libèrent de l'énergie** ++



A. La fission nucléaire

Exemple 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.



Calcul de l'énergie libérée :

Données :

$$M(235,92) = 235,04\text{u}$$

$$M(140,54) = 139,92\text{u}$$

$$M(93,38) = 92,91\text{u}$$

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

On calcule d'abord le défaut de masse ΔM :

$$\Delta M = M(235,92) + m_n - [M(140,54) + M(93,38) + 3 m_n]$$

$$\Delta M = 0,1927\text{u}$$

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

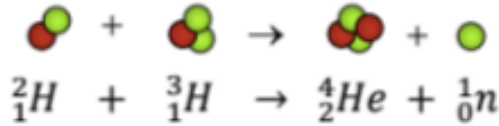
$$E_L = 0,1927 \times 931,5 = 179 \text{ MeV}$$

- ✓ La fission d'un gramme d'Uranium produit autant d'énergie que 2 tonnes de pétrole.

B. La fusion nucléaire

Exemple de la fusion de 2 isotopes de l'hydrogène :

Le deutérium ${}^2_1\text{H}$ et le tritium ${}^3_1\text{H}$ fusionnent pour donner un noyau d'Hélium ${}^4_2\text{He}$ beaucoup plus stable et un neutron .



Calcul de l'énergie libérée :

Données :

$$M(2,1) = 2,014102\text{u}$$

$$M(3,1) = 3,016049\text{u}$$

$$M(4,2) = 4,002603\text{u}$$

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

On calcule d'abord le défaut de masse ΔM :



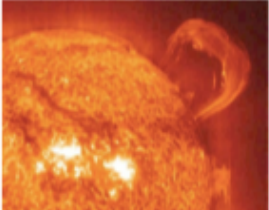

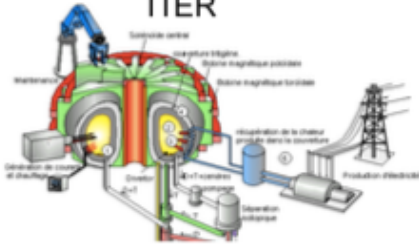
$$\Delta M = M(2,1) + M(3,1) - [M(4,2) + 1 m_n]$$

$$\Delta M = 0,018888\text{u}$$

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

$$E_L = 0,018888\text{u} \times 931,5 = 17,6 \text{ MeV}$$

- ✓ **La fusion d'un gramme d'Hélium** produit autant d'énergie que **12 tonnes de pétrole**.

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fission 		<p>Bombe A</p> 	<p>Centrale nucléaire</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fusion 	<p>Soleil</p> 	<p>Bombe H</p> 	<p>ITER</p>  <p>International Thermonuclear Reactor</p>

JeuneCéramide