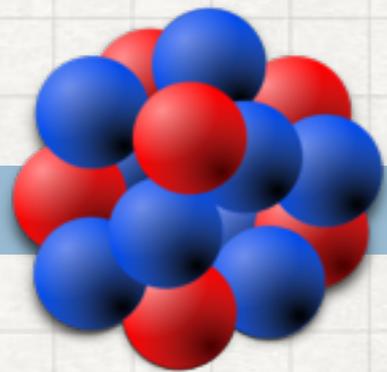


BIOPHY

# RADIOACTIVITÉ : LE NOYAU ATOMIQUE

COURS N°3



Année 2019–2020

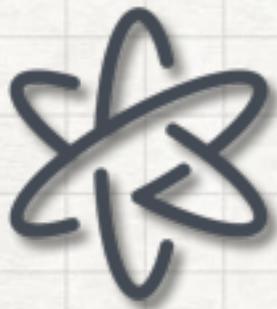
# PLAN

- 1 **Composition et classification**
- 2 **Énergie de liaison et défaut de masse**
- 3 **Facteurs de stabilité nucléaire**
- 4 **Forces nucléaires**
- 5 **Modèles nucléaires**
- 6 **Réactions de fissions et fusions nucléaire**

## 1

# COMPOSITION & CLASSIFICATION

## L'ATOME : UNE SPHÈRE PLEINE



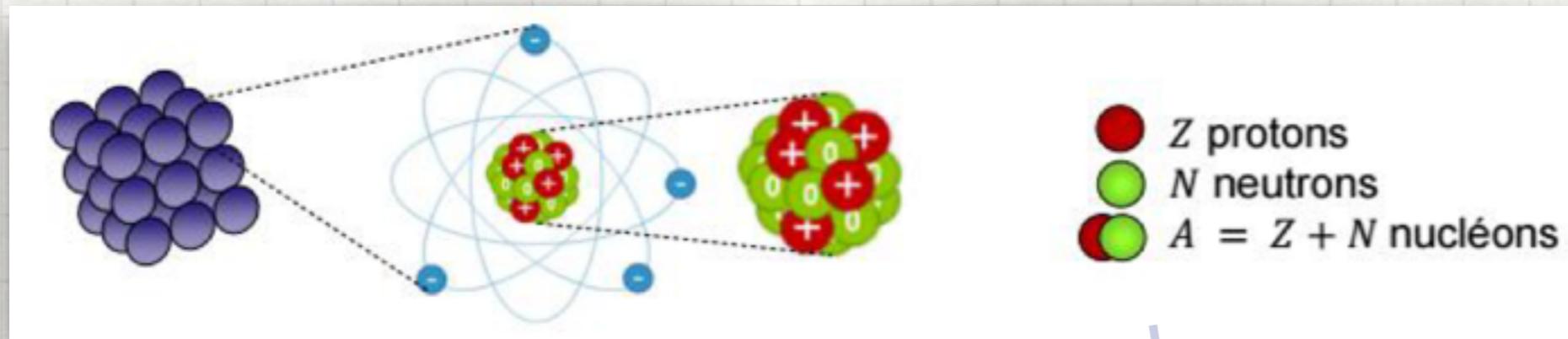
- Démocrite
- John Dalton
- Thomson

Jusqu'à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle : **atome sphère pleine positive** où étaient accrochées des **charges négatives**.

## Le modèle planétaire de **Rutherford**

Masse concentrée **noyau chargé +** et les **électrons chargés -** sont **refoulés** à la périphérie du vide péri-nucléaire.

# 1. COMPOSITION



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

**A** = nombre de masse = nombres de nucléons = nombre de protons + nombre de neutrons

**Z** = numéro atomique = nombres de protons

**N** = A - Z = nombre de neutrons

# 1. COMPOSITION



Les **NUCLÉONS** sont constitués eux-même de **particules élémentaires**.

Les quarks :

→ u = up avec une charge =  $+2/3$

→ d = down avec une charge =  $-1/3$

protons et neutrons sont composés de 3 quarks

→ proton = uud =  $+2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$

→ neutron = udd =  $-1/3 - 1/3 + 2/3 = 0$

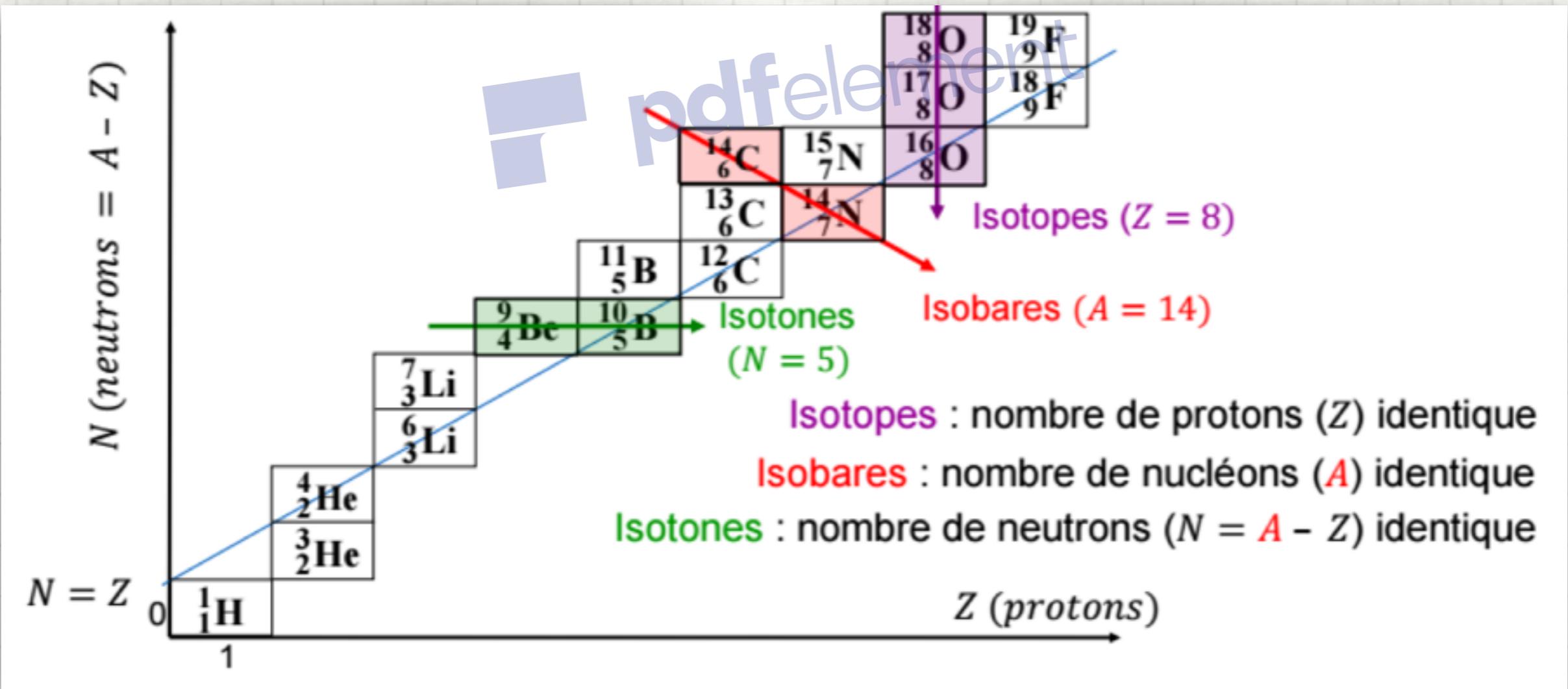
## 2. CLASSIFICATION

Classification périodique des éléments de **MENDELEEV**  
= classification chimique  
→ les éléments sont rangés par **Z croissant**

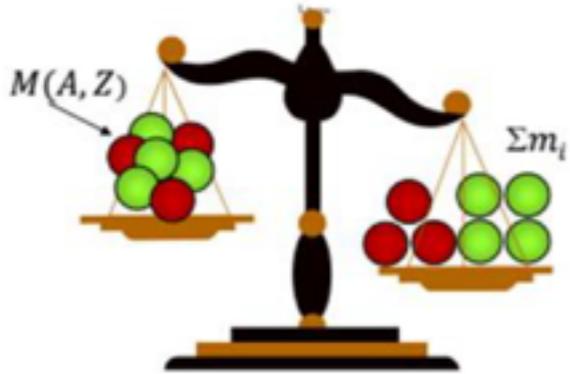
| Group →  | 1           | 2        | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13         | 14          | 15          | 16          | 17          | 18        |
|----------|-------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| Period ↓ | 1<br>1<br>H |          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |             |             |             |             | 2<br>He   |
| 2        | 3<br>Li     | 4<br>Be  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 5<br>B     | 6<br>C      | 7<br>N      | 8<br>O      | 9<br>F      | 10<br>Ne  |
| 3        | 11<br>Na    | 12<br>Mg |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 13<br>Al   | 14<br>Si    | 15<br>P     | 16<br>S     | 17<br>Cl    | 18<br>Ar  |
| 4        | 19<br>K     | 20<br>Ca | 21<br>Sc   | 22<br>Ti   | 23<br>V    | 24<br>Cr   | 25<br>Mn   | 26<br>Fe   | 27<br>Co   | 28<br>Ni   | 29<br>Cu   | 30<br>Zn   | 31<br>Ga   | 32<br>Ge    | 33<br>As    | 34<br>Se    | 35<br>Br    | 36<br>Kr  |
| 5        | 37<br>Rb    | 38<br>Sr | 39<br>Y    | 40<br>Zr   | 41<br>Nb   | 42<br>Mo   | 43<br>Tc   | 44<br>Ru   | 45<br>Rh   | 46<br>Pd   | 47<br>Ag   | 48<br>Cd   | 49<br>In   | 50<br>Sn    | 51<br>Sb    | 52<br>Te    | 53<br>I     | 54<br>Xe  |
| 6        | 55<br>Cs    | 56<br>Ba | 57<br>La * | 72<br>Hf   | 73<br>Ta   | 74<br>W    | 75<br>Re   | 76<br>Os   | 77<br>Ir   | 78<br>Pt   | 79<br>Au   | 80<br>Hg   | 81<br>Tl   | 82<br>Pb    | 83<br>Bi    | 84<br>Po    | 85<br>At    | 86<br>Rn  |
| 7        | 87<br>Fr    | 88<br>Ra | 89<br>Ac * | 104<br>Rf  | 105<br>Db  | 106<br>Sg  | 107<br>Bh  | 108<br>Hs  | 109<br>Mt  | 110<br>Ds  | 111<br>Rg  | 112<br>Cn  | 113<br>Nh  | 114<br>Fl   | 115<br>Mc   | 116<br>Lv   | 117<br>Ts   | 118<br>Og |
|          |             |          |            | * 58<br>Ce | * 59<br>Pr | * 60<br>Nd | * 61<br>Pm | * 62<br>Sm | * 63<br>Eu | * 64<br>Gd | * 65<br>Tb | * 66<br>Dy | * 67<br>Ho | * 68<br>Er  | * 69<br>Tm  | * 70<br>Yb  | * 71<br>Lu  |           |
|          |             |          |            | * 90<br>Th | * 91<br>Pa | * 92<br>U  | * 93<br>Np | * 94<br>Pu | * 95<br>Am | * 96<br>Cm | * 97<br>Bk | * 98<br>Cf | * 99<br>Es | * 100<br>Fm | * 101<br>Md | * 102<br>No | * 103<br>Lr |           |

## 2. CLASSIFICATION

Classification des **NUCLIDES**  
= classification de physique nucléaire



## 2 ÉNERGIE DE LIASON & DÉFAUT DE MASSE



La masse d'un noyau constitué de A nucléons est **inférieure** à la somme des masses de ses constituants  $\rightarrow M(A, Z) < \sum m_i$

Cette perte de masse est appelée **défaut de masse** :  $\Delta M(A, Z) = \sum m_i - M(A, Z)$

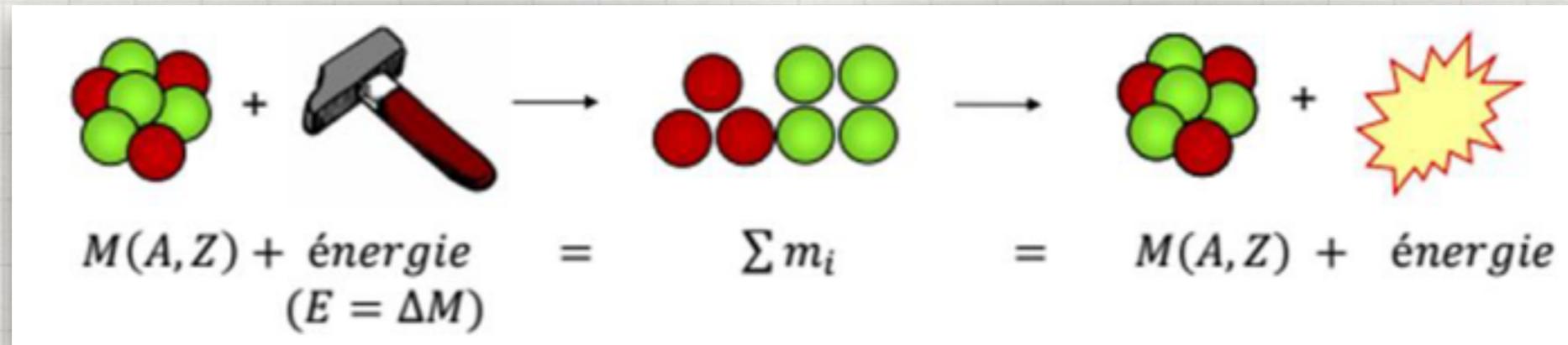
Ce défaut de masse est équivalent à l'énergie de liaison EL des nucléons du noyau



$$EL = 931,5 * \Delta M(A, Z) \text{ en Mev}$$



# 2 ÉNERGIE DE LIASON & DÉFAUT DE MASSE



→ Exemple de calcul de l'énergie de liaison de l'atome de magnésium.

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

$$\Delta M = 12m_e + 12m_p + 12m_n - \mathcal{M}(24,12)$$

$$\Delta M = 0,0066 + 12,08736 + 12,108 - 23,985 = 0,2169u$$

Données :

$$\mathcal{M}(24,12) = 23,985$$

u

$$m_p = 1,00728u \quad m_n =$$

$$= 1,009u$$

$$m_e = 0,00055u$$

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

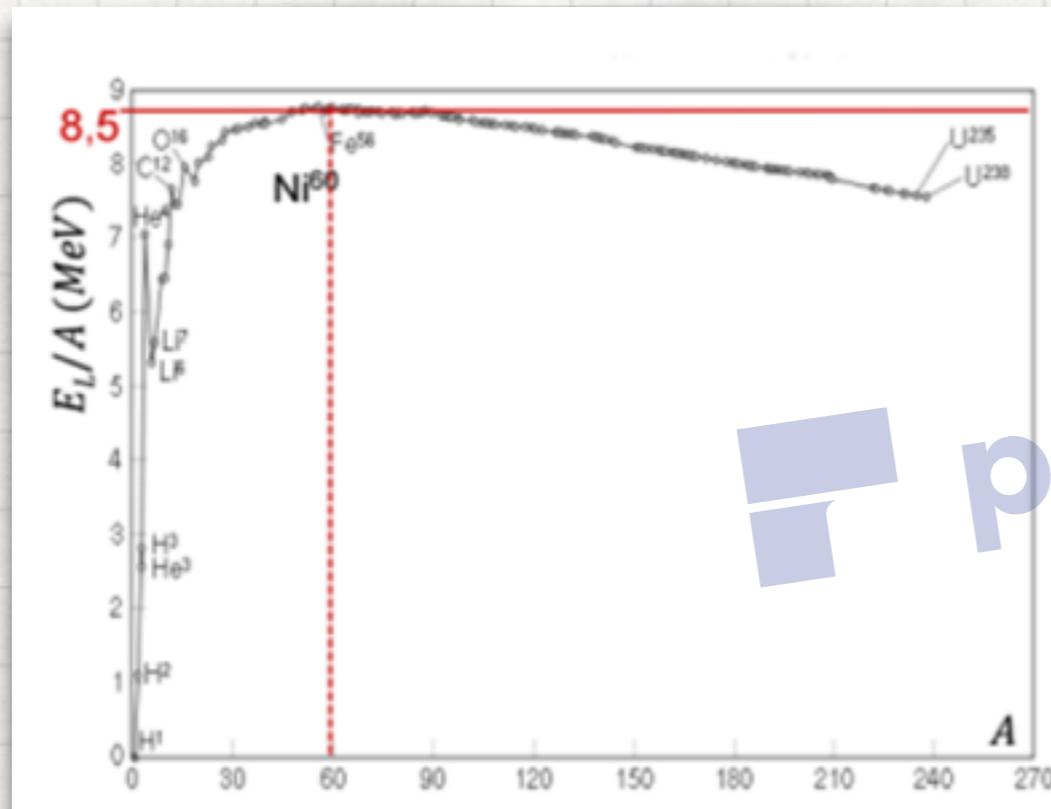
$$EL = 0,2169 \times 931,5 = 202 \text{ MeV}$$

## 1. L'ÉNERGIE DE LIAISON PAR NUCLÉONS

Pour comparer la stabilité des différents noyaux, on considère l'énergie de liaison rapportée aux **nombre de nucléons** =  $EL/A$ .

+  $EL/A$  grand + le noyau est stable

## 1. L'ÉNERGIE DE LIAISON PAR NUCLÉONS



Valeur MAX = 8,5 MeV

Niquel-60 un des éléments les plus stables

Certains noyaux légers on observe des combinaisons particulières avec une grande stabilité → **les nombres magiques**

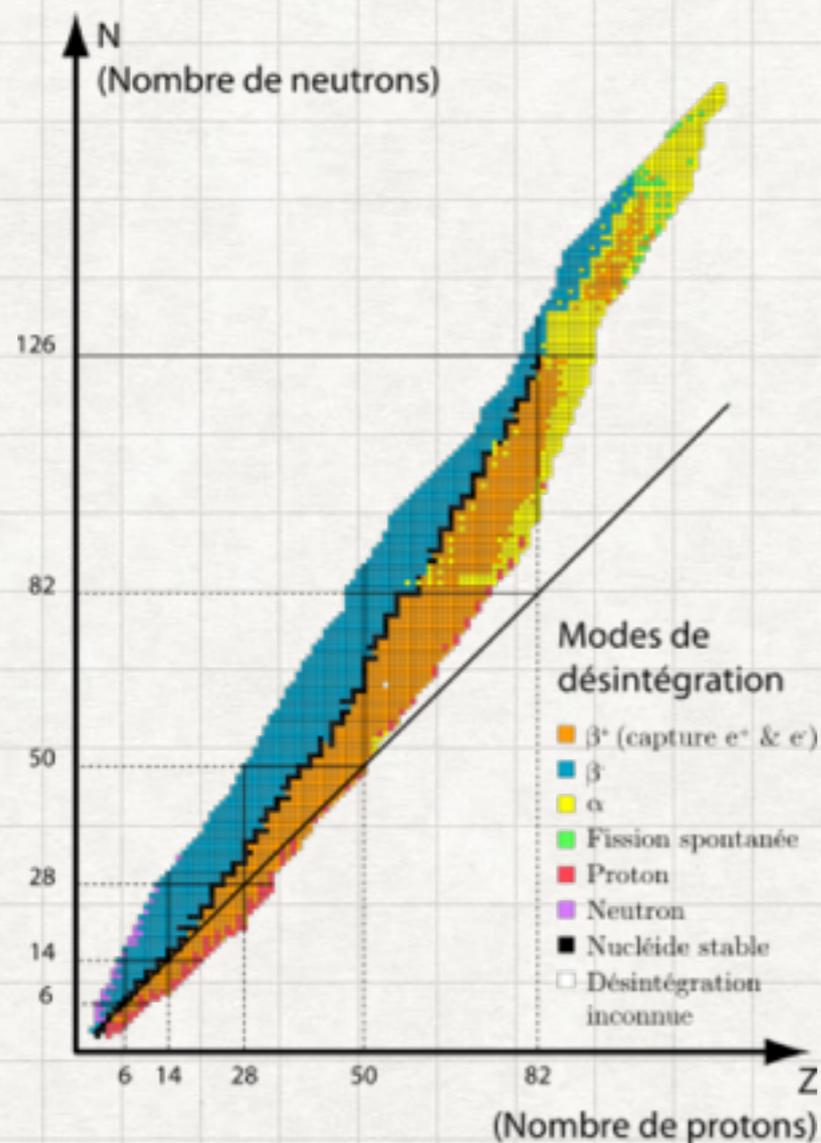
${}^4\text{He}$  doublement magique → **très stable** = Pic à 7 Mev/nucléons

## 2. LA PARITÉ DU NOMBRE DE NUCLÉONS

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

| Z             | N             | A             | 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                      |

## 3. LE NOMBRE DE NEUTRONS (A-Z)



Les noyaux stables sont regroupés au niveau de la **vallée de la stabilité**.

→ Les **noyaux légers** sont sur la première diagonale  $N=Z$ .

→ Les **noyaux lourds** on a  $N>Z$  car il faut plus de neutrons pour diminuer la répulsion des charges des protons.

- 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.

## 2. LES FORCES NUCLÉAIRES SPÉCIFIQUES

- De 2 types
- S'exercent à de distances **très faibles** (10<sup>-15</sup>m)
- Existent uniquement au niveau du noyau

## INTERACTION FAIBLE

- **Répulsive**
- Explique les transformations isobariques

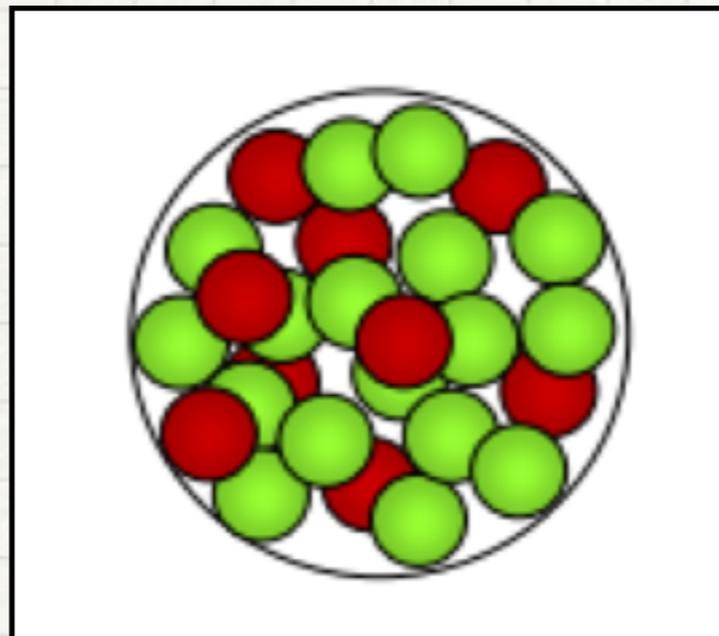


## INTERACTION FORTE

- **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

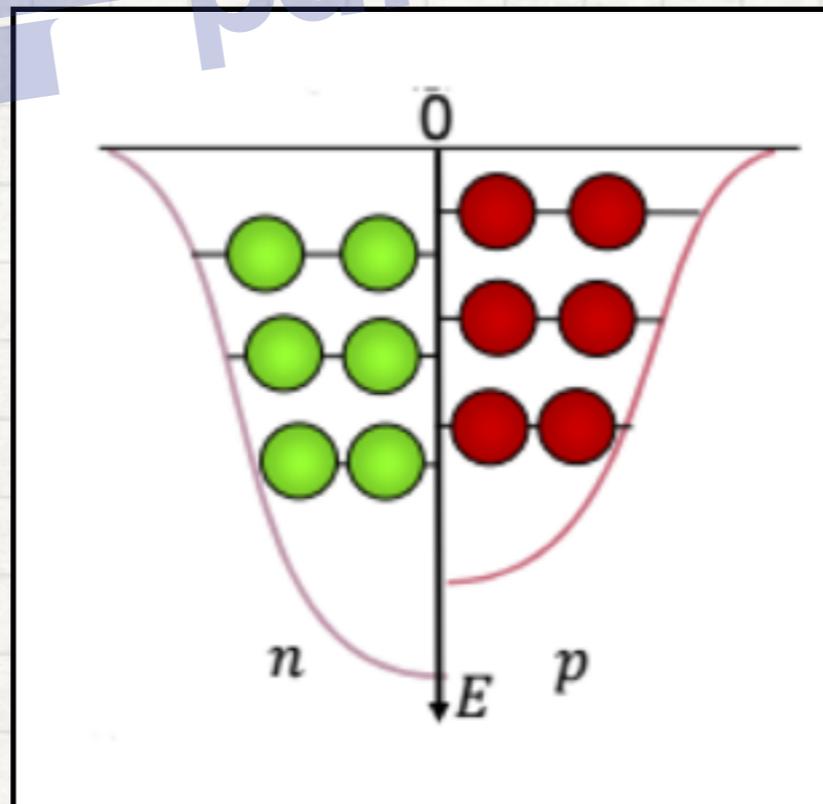
## 1. MODÈLE DE LA GOUTTE SPHÉRIQUE

- 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



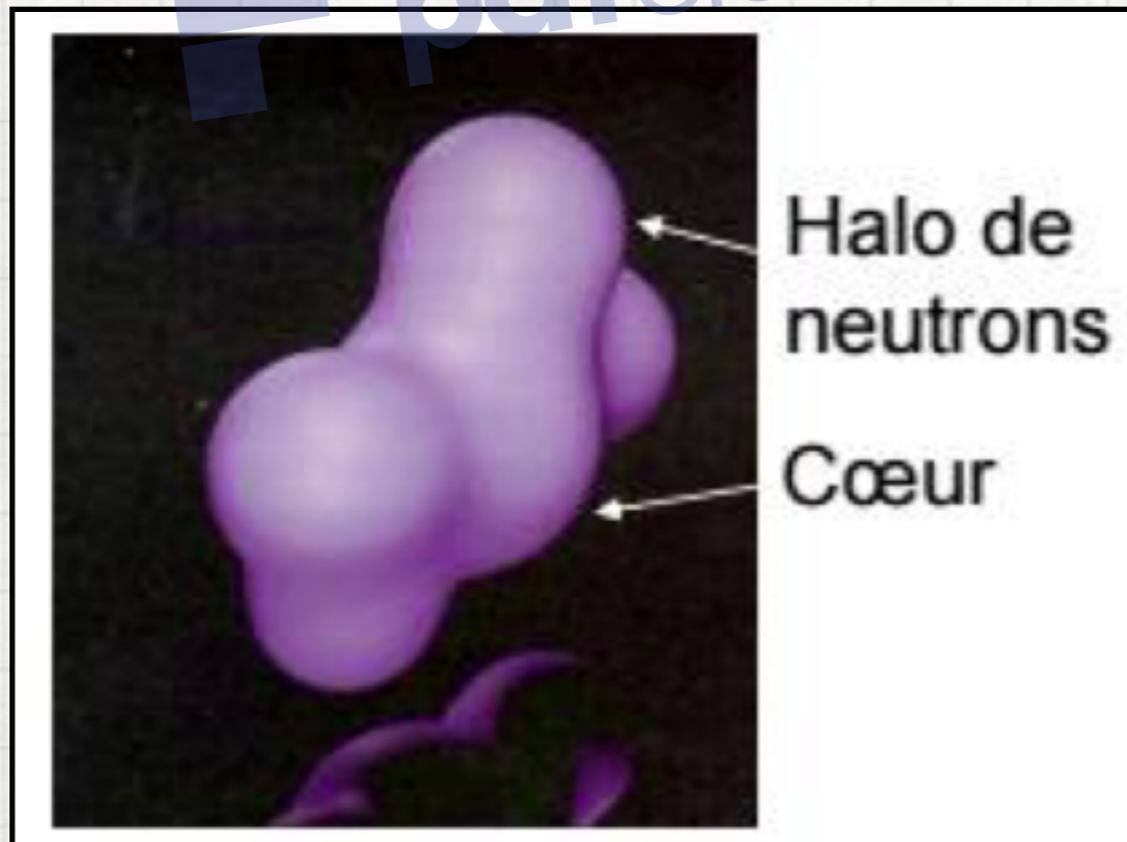
## 2. MODÈLE EN COUCHE

- 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



## 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





**Perte de masse = augmentation de  $E_{L/\alpha}$**

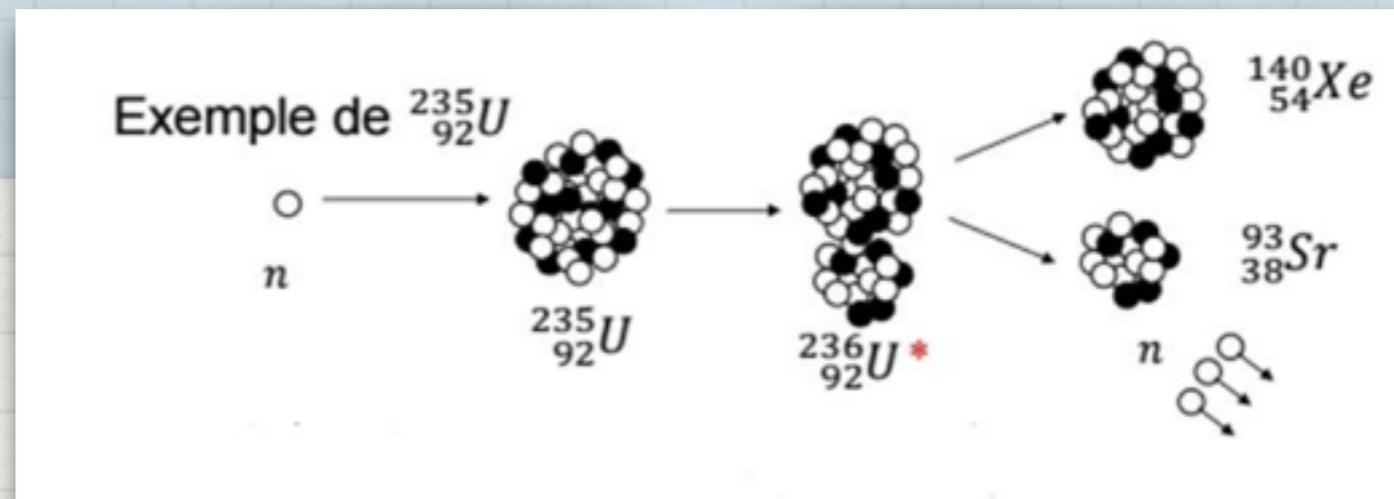


## 1. FISSION

1 noyau + lourd peut libérer de l'énergie en se fragmentant pour former 2 noyau + léger mais avec un rapport  $E_L/A$  plus élevé.

Exemple de la fission de l'uranium :

On envoie un neutron 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.



## 2. FUSION NUCLÉAIRE

**2 noyaux légers** peuvent fusionner pour donner un **noyau plus gros mais plus léger** avec un **rapport  $E_L/A$  plus élevé**.

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

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



MERCI POUR VOTRE  
ATTENTION

