

Le Noyau

I. Introduction

Tut'rappel : rayons X : émis par le cortège électronique de l'atome
 c radioactivité se passe au niveau du noyau.
Noyau = nuclide / nucléide

A. Historique de l'atome et du noyau

♥ 1805 :

John Dalton → l'atome = **sphère dure pleine de matière**.
 Les réactions chimiques = des assemblages et les réarrangements d'atomes et de molécules.

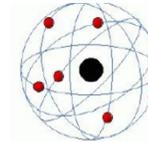
♥ 20^{ème} siècle :

Deux zones distinctes :
 - **noyau**, (charges +)
 - **nuage électronique**(charges -)

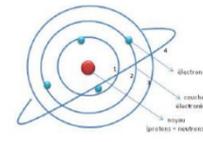
♥ Antiquité Grecque, vers 400 av JC :
 La **notion de noyau** apparait avec **Démocrite**
 Particules élémentaires invisibles et indivisible, = **atomes**
 → sont éternels et immuables (loin de la notion de radioactivité).
S'oppose à Aristote, pour qui la matière est composée de **4 éléments**
 Aristote est plus influent que Démocrite, c'est sa théorie qui a beaucoup de succès, et on abandonne un peu celle de

♥ 1897 :
Thomson → **composants de l'atome**
 → présence **d'électrons** (chargés -), masse très faible
 Modèle « pudding au raisins » :
 « Les électrons sont répartis dans l'atome comme des petits raisins secs dans un pudding. La pâte du pudding a globalement une charge positive, et on trouve au milieu ces petits électrons qui ont une charge négative »

Modèle de Rutherford : électrons sont répartis dans un nuage autour du noyau
Modèle de Bohr : notion de couches électroniques



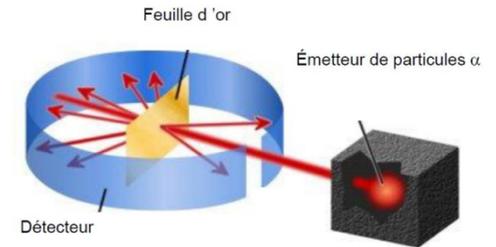
Le « nuage d'électron » du modèle de Rutherford



Le modèle « en couches » de Bohr

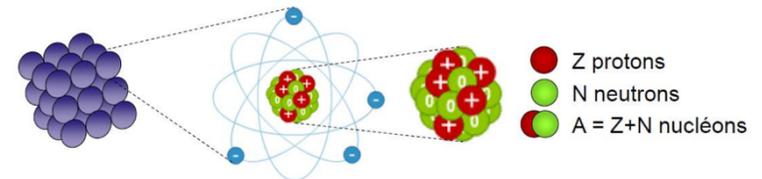
B. L'expérience de Rutherford (1911)

Cette expérience a permis de comprendre la structure de l'atome.
 Rutherford remarque que **la majeure partie des particules alpha ne sont pas déviées et traversent la feuille d'or** le résultat de l'expérience est incompatible avec la théorie sur l'atome de l'époque.



→ **L'atome a une structure lacunaire** : il est composé d'un **petit noyau central**, et beaucoup de vide autour
 => **modèle planétaire**, avec les électrons (chargés -) qui gravitent autour du noyau (chargé +)
Électrons → masse très faible par rapport à la masse de l'atome : la masse est située quasi-exclusivement dans le noyau.

II. Composition et classification



$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X \quad \begin{matrix} A = \text{nombre de masse} \\ Z = \text{numéro atomique} \end{matrix}$$

A. Les différentes manières de classer les atomes :

- ♥ Classification **en fonction du Z** (= nombre de protons / de charge / nombre d'électrons /numéro atomique)

C'est aussi la **classification périodique des éléments**

+ utilisée en chimie

Les éléments classés par Z croissant, nombre indissociable de l'élément chimique
 Dans une même colonne on va retrouver les éléments ayant des propriétés similaires, on parle de **famille d'éléments**

- ♥ En fonction de N la **table des nucléides** :

+ utilisée en physique nucléaire : tient compte du **nombre de neutrons**, caractérise les différentes formes du noyau en fonction de Z et N.

abscisses → nombre de **protons Z** // ordonnées → nombre de **neutrons N**.

La table des **nucléides** permet de **répertorier tous les noyaux** : naturels comme radioactifs !

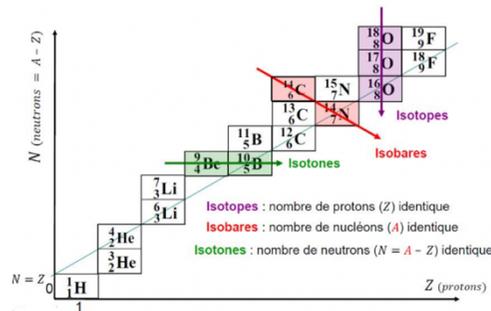
Définitions :

- ♥ **Isotopes** : même nombre de protons Z mais des A différents, sont indiscernables chimiquement.
- ♥ **Isobares** : même nombre de masse A mais des Z différents, deux éléments chimiques différents.
- ♥ **Isotones** : même nombre de Neutrons (A et Z différents), deux éléments chimiques différents.

Tut'souviens : Isotopes → même nombre de Protons

Isobares → même A

Isotones → même N



- ♥ Abondance isotopique :

Correspond à la **fraction molaire de chaque isotope**, exprimé en %. La majorité des éléments chimiques existent à l'état naturel sous la forme d'un mélange de plusieurs isotopes.

La somme des abondances isotopiques d'un même élément chimique est égale à 100 % ++

B. Les nucléons

A correspond à la **valeur entière la plus proche de la masse d'un atome**, puisque chaque nucléon a une masse d'à peu près 1u, et que la masse des électrons est négligeable.

Conventions d'écriture : \mathcal{M} = masse de l'atome ++

M = masse du noyau ($M = \mathcal{M}(A, Z) - Z m_e$) ++

ΔM = défaut de masse du noyau = énergie de liaison

Le défaut de masse correspond à l'**énergie de liaison**, grâce à l'équivalence masse-énergie :

$$E = mc^2 \text{ +++}$$

On a ainsi l'énergie de liaison : $E_d = \Delta M \times c^2$

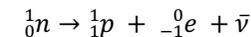
L'énergie est alors en Joules (J), la différence de masse en kg, et la célérité en m/s.

1 u correspond à 931,5 MeV/c², d'où :

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

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 1_0n . Il se dissocie alors selon la réaction :



| Particule | Charge (e=1,6.10 ⁻¹⁹ C) | A | Masse (u) | Masse (Mev/c ²) |
|--------------|------------------------------------|---|-----------|-----------------------------|
| 1_1p | +1 | 1 | 1,00728 | 938,28 |
| 1_0n | 0 | 1 | 1,00866 | 939,56 |
| ${}^0_{-1}e$ | -1 | 0 | 0,00055 | 0,511 |

On peut remarquer qu'il y a une légère différence de masse entre le neutron et le proton : le neutron est légèrement plus lourd (0,14%). Les stabilités de l'univers dépendent en grande partie sur cette différence de masse, elle est donc fondamentale.

C. Les particules élémentaires

Les particules élémentaires sont classées en 2 types et 3 familles (dans le modèle standard).

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

- Les **Quarks** : **u** (=up) et **d** (down), ne peuvent pas se déplacer librement.

Ces particules sont chargées : **u** = $+\frac{2}{3}e$; **d** = $-\frac{1}{3}e$

- Les **leptons** : **électron** et **neutrino de l'électrons** (=antineutrino), peuvent se déplacer librement

Toutes ces particules ont une **masse très faible** (particulièrement le neutrino).

On retrouve aussi des particules d'interaction, les **bosons**

Les nucléons ne sont pas les particules les plus élémentaires de la matière : ils sont eux-mêmes **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** : $u + d + d = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0e$

III. Energie de liaison et défaut de masse :

A. Définition :

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

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

Il existe donc ce qu'on appelle un **défaut de masse ΔM** , qui correspond à la différence de masse des nucléons pris séparément et la masse de ce noyau :

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

Point important :

Souvent en énoncé on donnera la **masse de l'atome** : (\mathcal{M}) qui n'est pas la même chose que la masse du noyau (M) !

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

(En gros en plus de la masse des protons et des neutrons ($\sum m_i = Nm_n + Zm_p$) on **ajoute la masse des électrons** et on **soustrait la masse de l'atome** au lieu de celle du noyau)

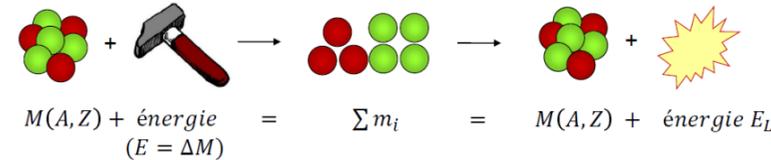
Cette différence de masse est liée à l'énergie de liaison entre les nucléons dans le noyau, donné par l'équivalence masse énergie d'Einstein :

$$E = \Delta mc^2$$

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

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

Avec E en MeV, et ΔM en u



B. Généralisation des notions de défaut de masse et énergie de liaison

A tout groupe cohérent de particule correspond un défaut de masse, qui est **lié à l'énergie de liaison** des particules entre elles.

On a vu qu'au niveau du noyau, ce défaut de masse était lié à l'énergie de liaison des nucléons. On peut aussi s'intéresser au **défaut de masse de l'atome** en entier :

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

$$\mathcal{M}(A, Z) < M(A, Z) + Zm_e$$

On va alors calculer le défaut de masse de l'atome dans sa globalité :

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

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

Ordre de grandeur des énergies de liaisons selon l'échelle :

| | Noyau Nucléons | Atome Électrons | Molécules Atomes |
|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Énergie de liaison | MeV | keV | eV (4 pour C – H) |

IV. Facteurs de stabilité nucléaire

A. Énergie de liaison par nucléons

Pour mieux comparer les différents noyaux entre eux, on va rapporter l'énergie de liaison globale du noyau au nombre de masse, on obtient alors l'énergie de liaison par nucléons, E_L/A

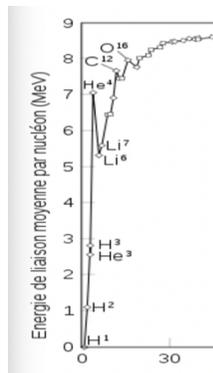
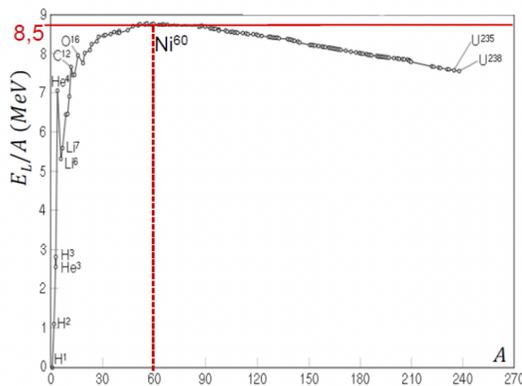
L'énergie de liaison varie entre 1 et 8,5 – 9 MeV. **Plus cette énergie de liaison augmente, plus le noyau va être stable.**

L'énergie de liaison va **augmenter avec le A** jusqu'à un **maximum de 8,5 MeV** pour le **Ni^{60}** . Ensuite, A va augmenter jusqu'au U^{238} mais l'énergie de liaison va légèrement diminuer pour ces noyaux plus lourds.

Noyaux les plus légers :

Abs de régularité de E_L/A .

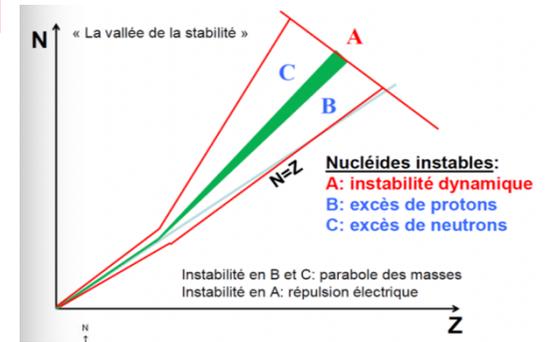
C'est dû à des combinaisons avec des « nombres magiques », c'est-à-dire lorsque Z ou A vaut 2, 8, 20, 50, 82...



B. Nombre de neutrons :

Les noyaux stables sont représentés en vert, dans ce qu'on appelle la vallée de la stabilité.

- Pour les noyaux légers, $A < 20$: sont stables si et seulement s'ils ont un **nombre de neutron égal au nombre de protons, $N = Z$** .
- Pour les noyaux lourds, $A > 20$: sont stables quand ils ont un **nombre de neutrons plus élevés que leur nombre de protons, $N > Z$** .



On voit les noyaux stables dans la vallée de la stabilité, avec une énergie de liaison supérieure à celle des noyaux avoisinants.

C. Parité du nombre de nucléons

Les noyaux avec un nombre de proton / neutrons pair sont généralement plus stables.

V. Forces nucléaires

Sont liées aux interactions des nucléons entre eux et au sein du noyau, responsables de la **stabilité** ou de **l'instabilité** du noyau

A. Interaction forte (force nucléaire spécifique)

Force attractive qui assure la cohésion du noyau.

S'exerce à des distances faibles

Correspond à la masse perdue par les nucléons.

Correspond à la mise en commun des particules d'interaction (les bosons) que sont les **gluons**.

B. Interaction faible (force nucléaire spécifique)

discrète et de **faible intensité**

s'exerce également à très courte distance, à l'intérieur même des nucléons.

elle peut changer la composition d'un noyau en changeant un proton en un neutron (ou vice versa), ce sont les transformations isobariques

C. Force électrostatique (non spécifique du noyau)

La force électrostatique est de type **coulombien** en $1/r^2$

Non spécifique au noyau

La distance entre les nucléons étant très faible, cette force est assez forte, mais moins que l'interaction forte.

Cette force concerne les **protons** et est **répulsive**

VI. Modèles nucléaires

A. Modèle de la goutte sphérique

Le noyau est assimilé à un liquide constitué de nucléons. Ces derniers sont confinés dans cette goutte par l'interaction forte

Considéré comme **incompressible**, **sphérique** et permet une **densité homogène des charges**.

B. Modèle en couches

Les nucléons sont **répartis en couches**, remplies successivement avec un nombre maximal de nucléons par couche. Les protons et les neutrons sont rangés dans un système différent.

Permet d'expliquer différents phénomènes :

- La **stabilité particulière des noyaux** à « nombre magique », par le remplissage complet des couches.
- L'**existence d'un niveau fondamental et de niveaux excités**, avec retour par émission de photons, ce sont les transformations isomériques.

VII. Réaction de fission et de fusion nucléaire

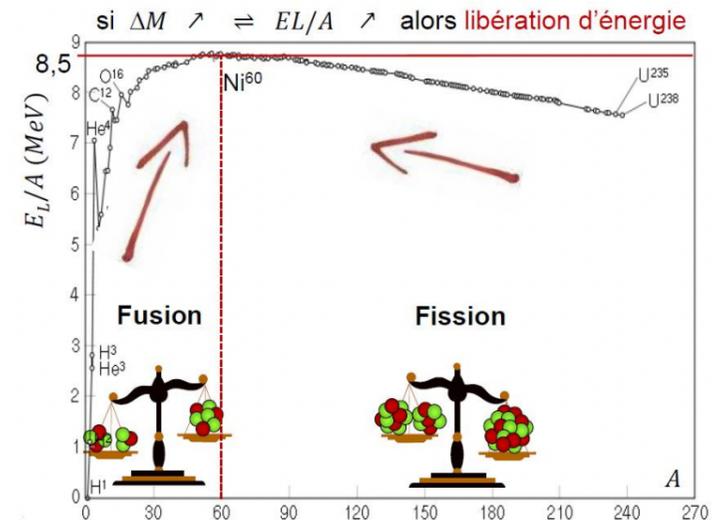
Fusion : consiste à **fusionner deux petits noyaux pour en faire un de taille plus importante**. Le noyau obtenu est plus léger, ce qui traduit une libération d'énergie

Fission : on part d'un **gros noyau que l'on fissionne en deux noyaux plus petits**. Le système final aura une masse plus faible que le système initial. On obtient également une perte de masse, donc une libération d'énergie.

La fusion et la fission sont donc deux phénomènes qui aboutissent à une perte de masse globale et à une libération d'énergie.

On **une augmentation de l'énergie de liaison par nucléon E_L/A signifie que le défaut de masse augmente aussi**, on a donc **une libération d'énergie**.

Ainsi, dans le cas de la **fusion**, qui concerne des **petits noyaux**, les noyaux obtenus auront une **E_L/A importante**, donc une **perte de masse avec libération d'énergie**. Dans le cas de la **fission**, qui concerne **les gros noyaux**, on obtient également **des noyaux avec une E_L/A plus importante**, donc on a aussi une **perte de masse avec libération d'énergie**.



La méthodologie est la même, et l'énergie libérée est de 17,6 MeV.

A. Applications

- ♥ La fission :

Il y a deux types de fission : **induite** et **spontanée**.

Exemple d'application :

- D'abord dans la **bombe nucléaire** utilisée par les Américains à Hiroshima, qui contenant de l'Uranium-235
- Également dans le civil, avec les **centrales nucléaires** qui produisent de l'électricité par la fission de l'Uranium.

♥ Fusion :

La **fusion** existe à l'état naturel mais il lui faut un environnement avec énormément d'énergie, elle n'est donc présente qu'au niveau du soleil.

Elle a également une application militaire, avec la *bombe H pour Hydrogène*, qui utilise la réaction de fusion. Elle est **nettement plus destructrice qu'une bombe nucléaire à l'uranium**, car elle libère nettement plus d'énergie.

Il y a aussi une application scientifique : les *réacteurs thermonucléaires ITER*, qui sont destinés à produire de **l'électricité** en utilisant la fusion.

Dédissssss

Dédi à juliete (avec un seul t) qui mérite une dédi à elle toute seule tellement elle est géniale

Mais dédi à vous quand même, vous avez tenu jusqu'ici c'est pour terminer ce semestre en boT, donc on se motive, on abandonne pas et on va démonter cet exam et perfect la biophy 💪

Jvous aime fort et bon courage pour la dernière ligne droite 💖

✨💖 Gros bisous pleins de paillettes 💖✨