

CHAPITRE II : Principaux constituants de la matière

II – 1) Introduction :

Au cours de la période 1875 – 1910, diverses expériences historiques ont apporté la preuve que les atomes ne sont pas les constituants ultimes de la matière, et qu'ils sont eux même formés de plusieurs types de particules.

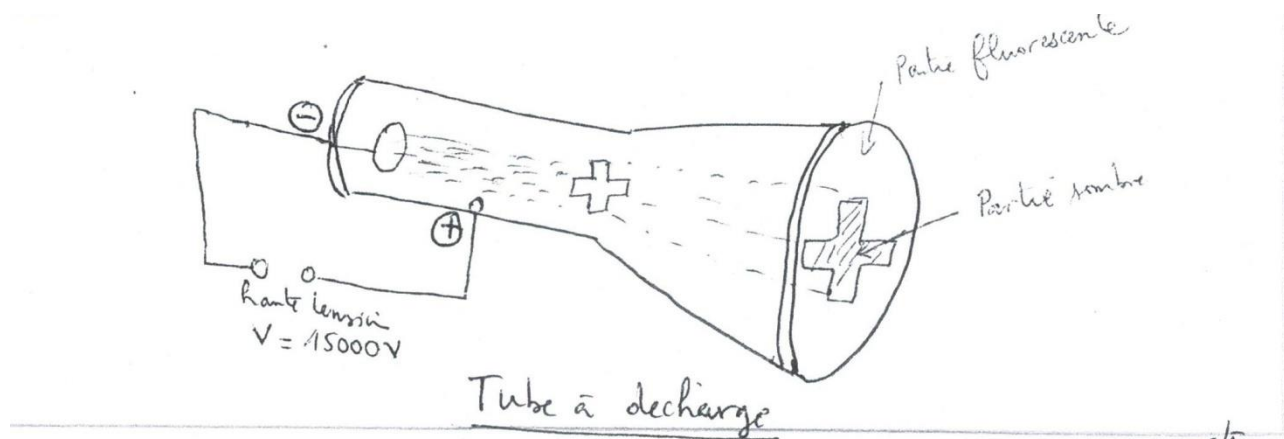
Donc la théorie atomique de DALTON (1808) est remise en cours. Les expériences de FARADAY (1833) ont démontré que l'électricité se décompose en particules élémentaires et que les atomes contiennent de telles particules.

II – 2) Mise en évidence des constituants de la matière :

II – 2 – 1) Électron :

a) Expérience de W. Crookes (1879) :

Crookes a fait une étude qualitative des rayons cathodiques.



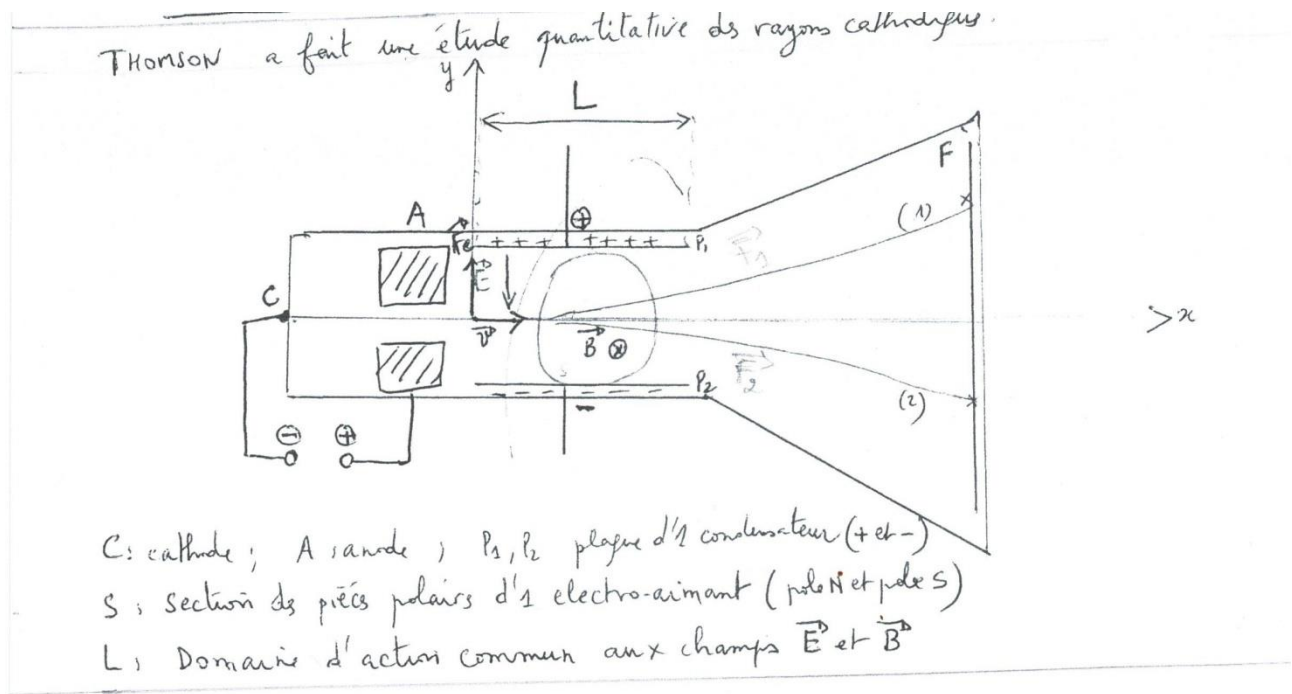
Si la pression du gaz (air, Hélium, Néon...) dans le tube à décharge est réduite à 10^{-6} atm. Le verre devient fluorescent sauf dans la zone hachurée sur la paroi du tube. L'ombre portée de la croix métallique prouve que le rayonnement se propage en ligne droite et qu'il est issu de la cathode d'où son nom rayonnement cathodique.

- 1) Ces rayonnements issus perpendiculairement de la cathode se propagent suivant des trajectoires rectilignes et sont très rapidement arrêtés par la matière (la croix).
- 2) Ces rayonnements sont porteurs d'électricité négative : déviation dans un champ électrique.

- 3) Ces rayonnements sont formés de particules transportant de l'énergie, ces particules sont nommées « **électrons** » (Stoney 1891).

b) Expérience de J.J. Thomson (1895) :

Thomson a fait une étude quantitative des rayons cathodiques.



C : cathode ; A : anode ; P₁ et P₂ plaques d'un condensateur (+, -).

L : Domaine d'action commun aux champs électrique \vec{E} , et magnétique \vec{B} .

1) **Champ électrique \vec{E} (trajectoire 01) :**

Suivant l'axe (Ox) : le mouvement est rectiligne uniforme.

$$\sum \vec{F} = \vec{0} ; \sum \delta \vec{x} = \vec{0}$$

Suivant l'axe (Oy) : le mouvement est rectiligne uniformément varié.

$$\sum \vec{F} = m_e \delta \vec{y} ; F_e = m_e \delta_y ; q.E = m_e \delta_y ; \delta_y = q.E/m_e$$

q : charge de l'électron ; m_e : masse de l'électron ; δ_y : accélération de l'électron

2) **Champ magnétique \vec{B} (trajectoire 02) :**

Suivant l'axe (Ox) : le mouvement est rectiligne uniforme.

$$\sum \vec{F} = \vec{0} ; \sum \delta \vec{x} = \vec{0}$$

Suivant l'axe (Oy) : le mouvement est rectiligne uniformément varié.

$$\sum \vec{F} = m_e \vec{\delta y}; F_m = m_e \delta_y; q.v.B = m_e \delta_y; \delta_y = q.v.B/m_e = v^2/R$$

$$\text{d'où : } v = \frac{q.B.R}{m_e};$$

v : vitesse de l'électron

m_e : masse de l'électron

R : rayon de la trajectoire

3) Action simultanée du champ électrique \vec{E} et du champ magnétique \vec{B} :

$$\text{Dans ce cas : } F_e = F_m; q.E = q.v.B; v = \frac{E}{B}$$

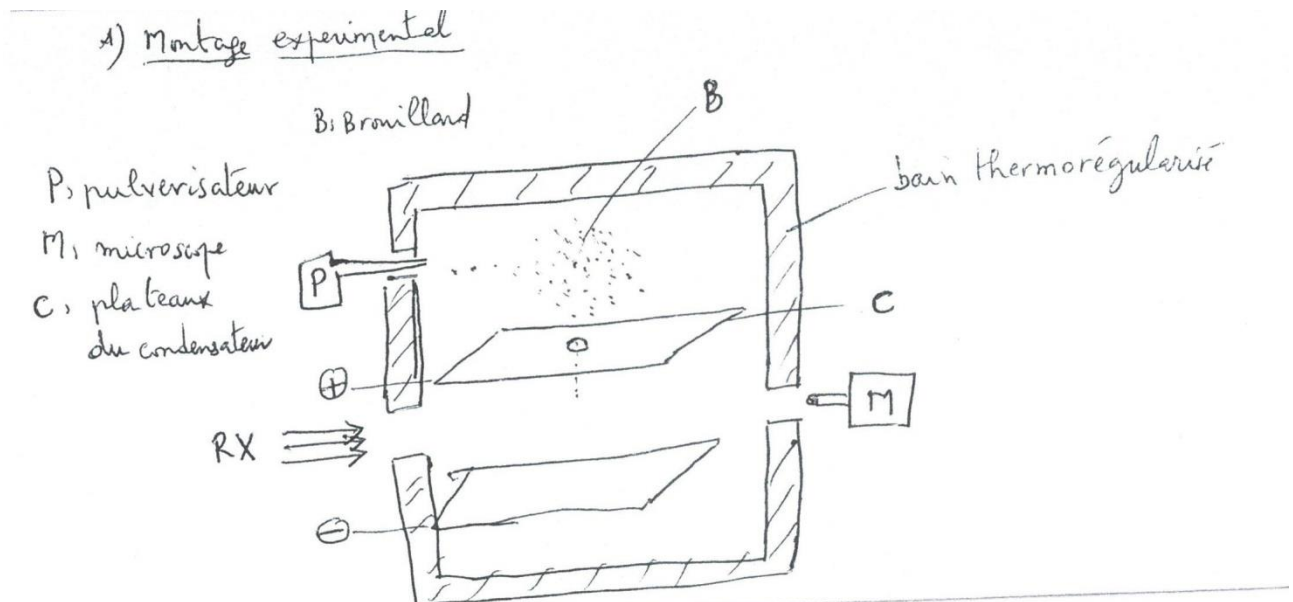
Conclusion :

Connaissant la vitesse des électrons et les données géométriques de l'appareil, THOMSON a pu déterminer le rapport q_e/m_e .

$$q_e/m_e = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ C.Kg}^{-1}$$

c) Expérience de Millikan :

Le pulvérisateur P produit des gouttelettes d'huile. A l'aide des rayons X, on charge les gouttelettes en ionisant l'air, les gouttelettes seront chargées, visionnées par le microscope.



Forces exercées sur une gouttelette chargée :

- ✓ Force électrique F_e (présence d'un champ électrique).

- ✓ Force de **Stokes** \vec{F}_s qui s'oppose au déplacement de la gouttelette, on considère que la gouttelette possède une forme sphérique.

$$\vec{F}_s = 6\pi r \eta \vec{v}$$

\vec{v} : vitesse de la gouttelette.

η : coefficient de viscosité de l'air.

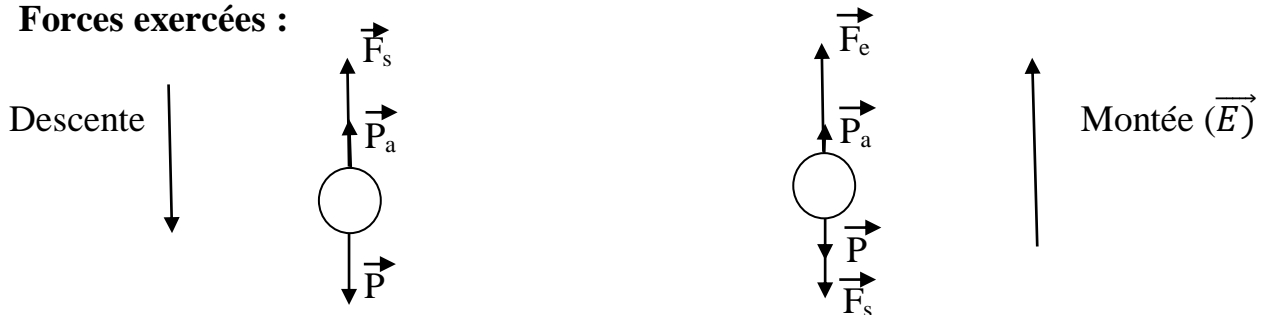
- ✓ Poussée d'Archimède \vec{P}_a ; souvent considérée négligeable ($\vec{P}_a = \vec{m}_{\text{air}} \times \vec{g}$; où \vec{g} : est la pesanteur).

- ✓ Poids de la gouttelette \vec{P} ; $\vec{P} = \vec{m} \times \vec{g}$; et $\vec{m} = \rho \times V$

Où : ρ : masse volumique d'huile.

$$V : \text{volume de la gouttelette ; } V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Forces exercées :



Ainsi, Millikan a pu suivre plusieurs gouttelettes avec différentes charges $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, avec différentes vitesses, $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$. Il a pu constater que les valeurs de q étaient toujours des multiples entiers d'une certaine valeur q_0 qui est la plus petite charge électrique que peut porter une gouttelette d'huile. q_0 est la charge électrique élémentaire e , où $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Connaissant q_e/m_e de J.J. Thomson, on en déduit la masse de l'électron $m_e = 9,108 \cdot 10^{-28} \text{ g} = 9,108 \cdot 10^{-31} \text{ Kg} = 0,000548 \text{ u.m.}$

II – 2 – 2) Proton :

a) Expérience de Goldstein :

On peut schématiser la formation des ions positifs :



Les chocs des électrons cathodiques avec les atomes gazeux produisent des ions positifs. Les électrons qui se dirigent vers l'anode proviennent à la fois de la cathode et des atomes gazeux. L'expérience de Goldstein démontre de manière claire que l'atome est constitué d'électrons et d'une matière chargée positivement.

b) Extraction du proton :

C'est le noyau de l'atome d'hydrogène, il a été découvert par **Rutherford (1918)**. On bombarde de l'azote gazeux avec des particules α : ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{P}$

$$m_p = 1,6726231 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,6726231 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,007277 \text{ u.m.a}$$

$$q_p = + q_e = + 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

II – 2 – 3) Neutron :

Le bombardement du **Béryllium** par des particules α (${}^4_2\text{He}$) produit un rayonnement pénétrant constitué de particules électriquement neutre. En heurtant les noyaux d'Hydrogène de la paraffine, les protons sont expulsés de leur édifice, et ils sont facilement détectés. Après avoir mesuré la vitesse des différents noyaux heurtés, **Chadwick** détermina la masse du neutron, électriquement neutre.

$$m_n = 1,674928 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,674928 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,008665 \text{ u.m.a}$$

$$q_n = 0$$

II – 3) Modèle planétaire de Rutherford (1911) :

Rutherford (1909), étudia la déviation des particules α (${}^4_2\text{He}$) par des minces feuilles de métal (or) d'épaisseur $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

a) **Observations** :

- ✓ La feuille d'or n'est pas endommagée.
- ✓ La plupart des particules traversent la feuille sans déviation, ou avec déviation très faible.
- ✓ Une particule sur cent subit une déviation importante.

✓ 1/20000 est renvoyée en arrière.

b) Conclusions :

- ❖ L'atome est presque vide de matière.
- ❖ La masse de l'atome est concentrée dans le centre de l'atome : le noyau central.
- ❖ Le noyau est chargé positivement.

$$r_{\text{atome}} = 10^{-10} \text{ m} ; r_{\text{noyau}} = 10^{-14} \text{ m} ; r_{\text{atome}} / r_{\text{noyau}} = 10000 \text{ fois.}$$

II – 4) Caractéristiques du noyau :

Un noyau atomique, au sens d'espace nucléaire, est appelé : Nucléide.

Il est caractérisé par trois grandeurs essentielles :

- ✓ Le nombre de charge ou numéro atomique **Z**.
- ✓ Le nombre de masse **A**.
- ✓ Le spin (Voir mécanique quantique).

II – 4 – 1) Nombre de charge Z :

Z représente en fait le nombre de protons du noyau de charge $q = + Z \times e$.

Exemple : ${}_6\text{C}$ possède 6 protons ; ${}_8\text{O}$ possède 8 protons.

II – 4 – 2) Nombre de masse A :

Un noyau est formé de protons et de neutrons (nucléons), $A = Z + N$.

Un nucléide s'écrit : ${}_Z^AX$: possède **Z** protons et $N = (A-Z)$ neutrons.

II – 5) Isotopie :

Les isotopes sont des atomes dont les noyaux possèdent le même nombre de protons **Z**, mais un nombre de neutrons **N** différent.

Exemple : ${}^{16}_8\text{O}$ (8 protons + 8 neutrons).

${}^{17}_8\text{O}$ (8 protons + 9 neutrons).

${}^{18}_8\text{O}$ (8 protons + 10 neutrons).

II – 5 – 1) Masse moyenne d'un atome (masse atomique apparente) :

La masse atomique apparente est donnée par la formule :

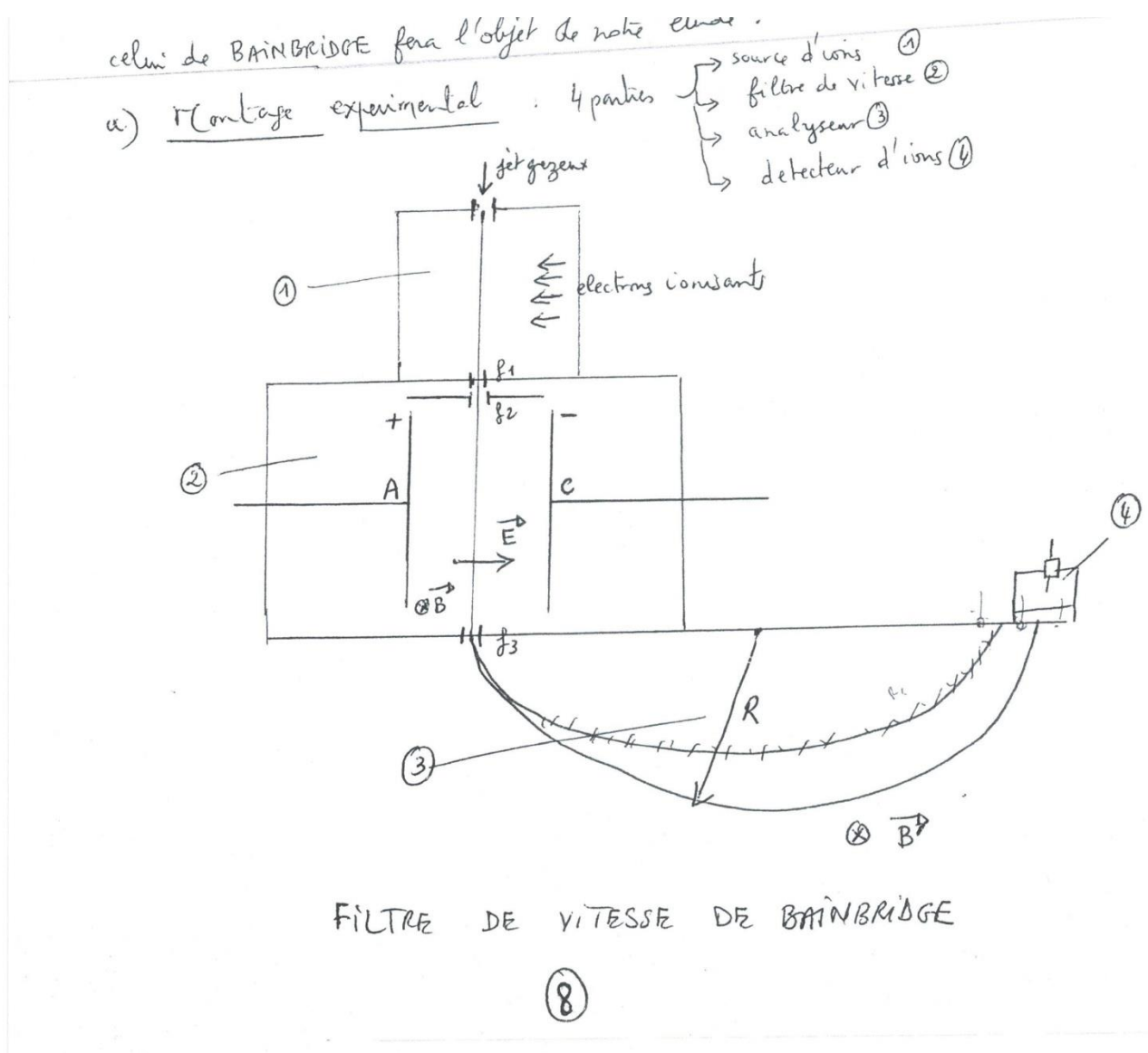
$$m_z X = \frac{\sum (\%) i X_i}{\sum (\%) i}$$

Sachant que : X_i : est l'isotope i ; $(\%)_i$: pourcentage d'abondance de l'isotope i .

Exemple : ${}_{12}Mg$ possède 3 isotopes, ${}^{24}_{12}Mg$; ${}^{25}_{12}Mg$; ${}^{26}_{12}Mg$, avec les proportions : 78,60%, 10,11%, 11,29, Donc $m_{atomique} = 24,312 \text{ u.m.a.}$

II – 5 – 2) Spectrométrie de masse :

Il existe plusieurs types de spectrographes, celui de Bainbridge fera l'objet de notre étude.



Au niveau du filtre vitesse, tous les ions seront soumis à l'effet simultané de $\overrightarrow{F_e}$ et $\overrightarrow{F_m}$. Si v la vitesse des ions et q leur charge.

$$\mathbf{F_e} = \mathbf{F_m}; \quad q\mathbf{E} = q\mathbf{vB}; \quad \mathbf{v} = \mathbf{E/B}$$

Au niveau de l'analyseur, l'ion est soumis à un champ magnétique $\overrightarrow{B'}$, l'ion est alors dévié suivant un cercle de rayon R où : $q.v.B' = m v^2/R$, donc :

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{B'R} = \frac{E}{B.B'.R}$$

II – 6) Énergie de liaison et de cohésion des noyaux :

II – 6 – 1) Énergie de liaison ΔE_l :

Pour un noyau formé, les masses des protons et des neutrons à l'état libre est supérieur à celle du noyau formé :

$$Z m_p + (A - Z) m_n > m_X$$

Donc pour former un noyau A_ZX à partir de ses nucléons, il y'a perte de masse (défaut de masse Δm).

$$\Delta m = [Z m_p + (A - Z) m_n] - m_X$$

Cette perte de masse se traduit en énergie, comme la relation d'Einstein relie la masse et l'énergie ($E = mc^2$), où C : est la célérité de la lumière = $3 \cdot 10^8$ m/s.

➤ **Unité d'énergie : joule, eV**

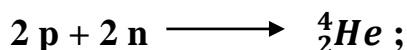
$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}; \quad 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

➤ **Équivalent énergétique de 1 u.m.a:**

$$E = m \cdot c^2 = (1,66 \cdot 10^{-27} \times 3 \cdot 10^8) / 1,6 \cdot 10^{-13} = 933 \text{ MeV}$$

Cela veut dire qu'une masse de **1 u.m.a** équivaut **933 MeV** et **$1.4928 \cdot 10^{-10}$ j.**

Exemple :



Sachant que ; $m_{He} = 4,00260$ u.m.a ; $m_p = 1,00727$ u.m.a ; $m_n = 1,00866$ u.m.a

$$\Delta E_l = [2 m_p + 2 m_n - m_{He}] \times 933$$

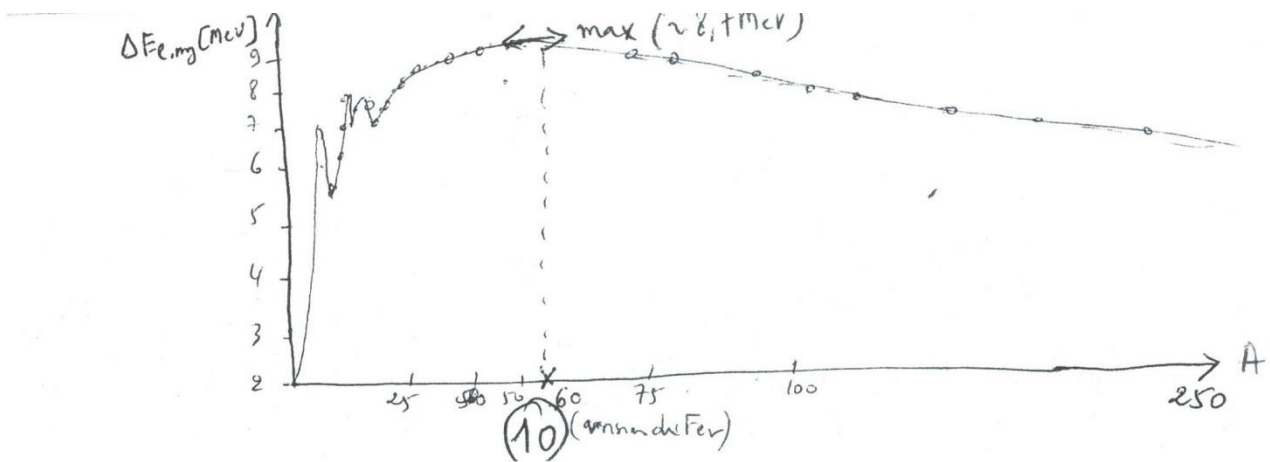
$$= [2 \times 1,00727 + 2 \times 1,00866 - 4,00260] \times 933 = 27,30 \text{ Mev}$$

II – 6 – 2) Stabilité des noyaux :

a) Énergie de l'énergie moyenne de cohésion par nucléon :

Par définition, l'énergie de liaison moyenne $\Delta E_{\text{moy}} = \frac{\Delta E}{A}$.

La courbe des différents ΔE_{moy} calculés en fonction de A .

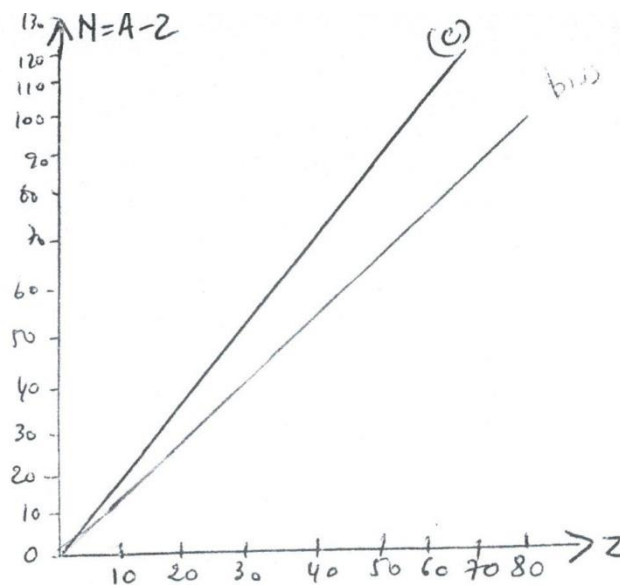


Remarques :

- 1) Courbe assez régulière.
- 2) Maximum aux environ de $A = 60$.
- 3) Pour les noyaux lourds, $\Delta E_{\text{moy}} \approx 7 \text{ Mev}$.
- 4) À partir de $A = 210$, tous les nucléides sont radioactifs.

b) Stabilité et nombre de nucléons :

Si on trace $N = A - Z$, nombre de neutrons en fonction du nombre de protons Z .



Remarques :

- 1) Les nucléides stables se situent tous sur la courbe (C).
- 2) Si $1 \leq Z \leq 20$: courbe et bissectrice se confondent pour $N \approx Z$
- 3) Si $20 < Z < 84$: $N > Z$, il faut d'avantage de neutrons pour compenser la répulsion des protons.
- 4) Si $Z \geq 84$, les nucléides sont radioactifs, le nombre de neutrons devient insuffisant.
- 5) La stabilité nucléaire est liée à la parité des deux nombres N et Z .
- 6) Si N ou Z sont égaux à 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, ces noyaux jouissent d'une stabilité particulière. Ces nombres sont appelés « **les nombres magiques** ».

En conclusion :

ΔE_{lmoy} / ceci implique : stabilité du noyau / et abondance naturelle /