

Chapitre II : principaux constituants de la matière

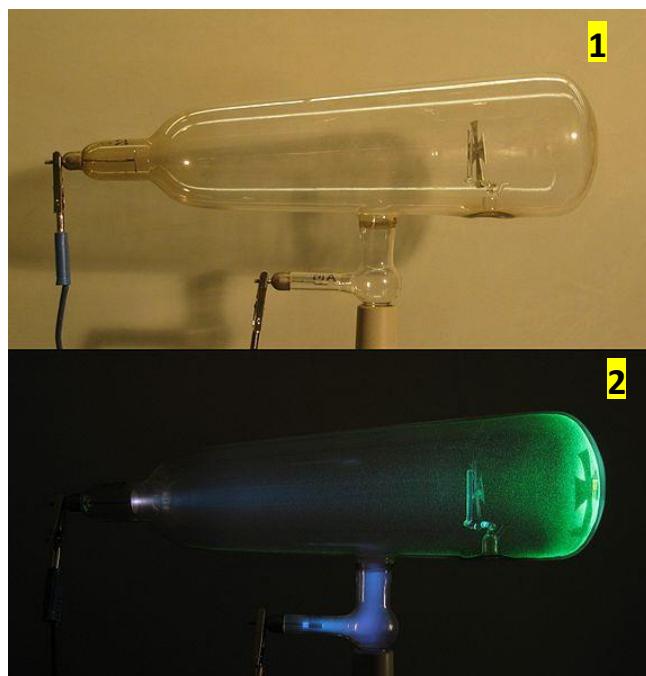
II.1. Introduction : Expérience de Faraday, relation entre matière et électricité

Les expériences de Faraday sur l'électrolyse, suggère une relation entre matière et électricité. Ce dernier se décompose en particules élémentaires contenues dans les atomes.

II .2. Mise en évidence des constituants de la matière

II .2.1. Electron

a- Expérience de Crooks (1879) et caractéristiques des rayonnements cathodiques :

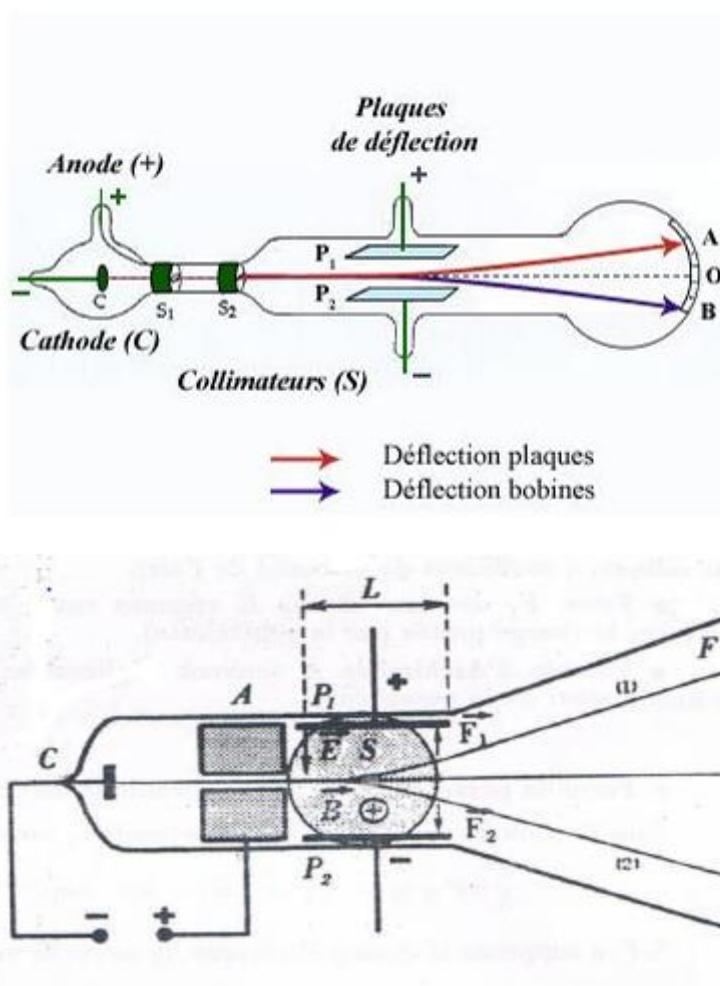


Cette expérience est réalisée dans un tube à décharge (figure 1). La pression du gaz (air, hélium, néonetc) dans le tube est réduite à 10^{-6} atm. Lorsqu'on établit une forte différence de potentiel (ddp) environ 1000 volts par cm entre les deux électrodes métalliques placées aux extrémités d'une ampoule de verre contenant de gaz. 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 »

Ces rayons cathodiques sont déviés par un champ électrique vers le pôle positif, ce qui indique que les particules constituant ces rayons sont chargées négativement. En 1891, Stoney a donné le nom de **l'électron** aux particules constituant les rayons cathodiques.

b- Expérience de J.J.Thomson (1895) : Détermination du rapport $|q_e|/m_e$

Thomson soumet un faisceau de rayon cathodique à l'action d'un champ électrique entre les plaques du condenseur :



b-1) Constitutions de l'expérience

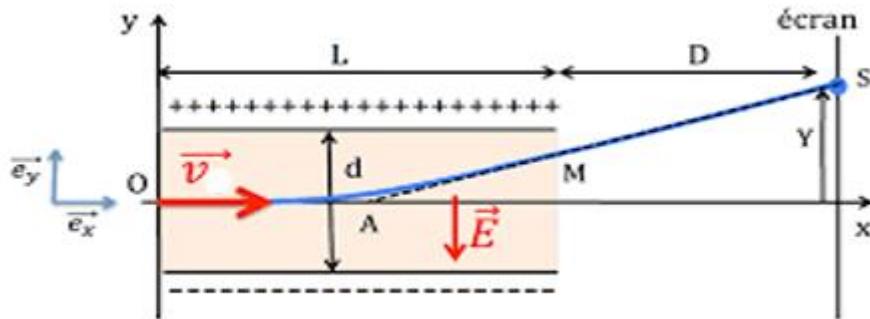
C : cathode, A : anode, F : écran fluorescent, P_1 et P_2 : plaques d'un condensateur, entre-les quelles règne un champ électrique E^{\rightarrow} .

S : section des pièces polaires d'un électro-aimant entre les quelles règne un champ d'induction magnétique B^{\rightarrow} .

L : domaine d'action commun aux champs électrique E^{\rightarrow} et B^{\rightarrow} .

b-2) Expérience

b-2-1) Action du champ électrique



Avec : q : charge de l'électron. m_e : sa masse, a : accélération qui lui est communiquée par la force F_1

Expression de la déviation y : Le mouvement de l'électron est :

- Rectiligne uniforme sur l'axe (ox), d'où $\mathbf{t} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{v}}$

- Rectiligne uniformément varié sur l'axe (oy) :

$$\sum F_1 = F_e = m_e \cdot a \Rightarrow q \cdot E = m_e \cdot a$$

$$a = \frac{q \cdot E}{m_e} = \frac{d^2 y}{dt^2}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{q \cdot E}{m_e} t$$

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot E}{m_e} t^2$$

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot E}{m_e} \left(\frac{L}{v}\right)^2$$

b-2-2) Action du champ magnétique

Le faisceau d'électrons est dévié vers le bas : trajectoire (2), sous l'action de la force magnétique $F_2 = F_m = q \cdot v \cdot B = m_e \cdot a = m_e \cdot \frac{v^2}{R} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{v} = \frac{\mathbf{q} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{R}}{\mathbf{m}_e}$

avec R =rayon de la trajectoire

b-2-3) Action simultanée des champs électrique et magnétique

En combinant leurs intensités, Le faisceau d'électrons peut ne pas être dévié de sa trajectoire initiale. Ceci aura lieu lorsque :

$$q \cdot E = q \cdot v \cdot B \Rightarrow$$

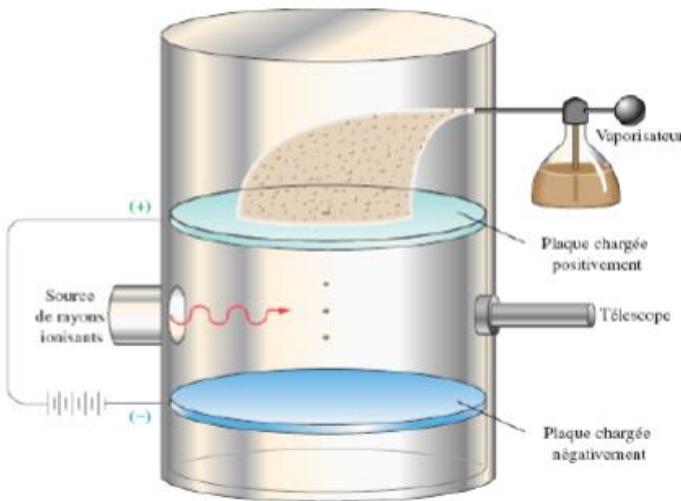
$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{B}}$$

Connaissant la vitesse de la réaction des électrons et les données de l'appareil, J.J. Thomson a pu déterminer la valeur de q_e/m_e , la valeur actuellement admise est :

$$q_e/m_e = 1,7589 \cdot 10^{11} \text{ coulombs / kg}$$

c- Expérience de Millikan : Détermination de la charge $|q|$ de l'électron et déduction de sa masse

On utilise dans L'expérience de Millikan un pulvérisateur qui produit des gouttelettes d'huile dans une enceinte contenant de l'air. A l'aide d'un microscope on suit l'évolution des gouttelettes lorsqu'elles pénètrent entre les plateaux d'un condensateur. Un faisceau de rayons X irradiant l'espace situé entre les plateaux crée des ions qui se fixent sur les gouttelettes



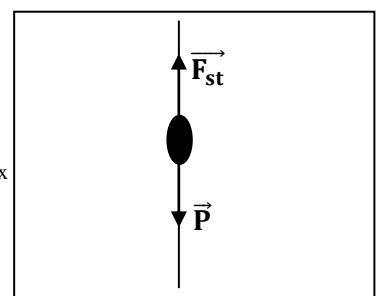
Les forces qui s'exercent sur une gouttelette chargée :

- Forces de stocks F_s qui s'opposent au déplacement de la gouttelette : $F_s = 6 \pi \eta r v$
v : vitesse de la gouttelette, η coefficient de viscosité de l'air, r : rayon de la gouttelette.
- Forces F_e due au champ E régnant entre les plateaux du condensateur : $F_e = q E$
- Force de pesanteur P : $P = m g = 4/3 \pi r^3 \rho g$, ρ masse volumique de l'huile
- Poussé d'Archimède $F_A = m_{\text{air}} g$ (négligeable) : $\rho_{\text{air}} \ll \rho_{\text{huile}}$

a) En absence du champ électrique $F_e = 0$

$$\vec{F}_{st} + \vec{P} = \vec{0} \Rightarrow P = F_{st} \text{ la gouttelette va atteindre une vitesse maximale } v = v_{\max}$$

$$\Rightarrow 6 \pi \eta r v_{\max} = \rho 4/3 \pi r^3 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{9 \eta v_{\max}}{2 \rho g}}$$

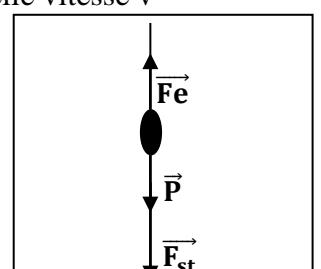


b) Sous l'effet du champ électrique

$$\vec{F}_{st} + \vec{P} + \vec{F}_e = \vec{0} \text{ le mouvement de la gouttelette est une montée et atteint une nouvelle vitesse } v$$

$$P + F_{st} = F_e \Rightarrow mg + 6 \pi \eta r v = qE$$

$$q = \frac{mg + 6 \pi \eta r v}{E}$$

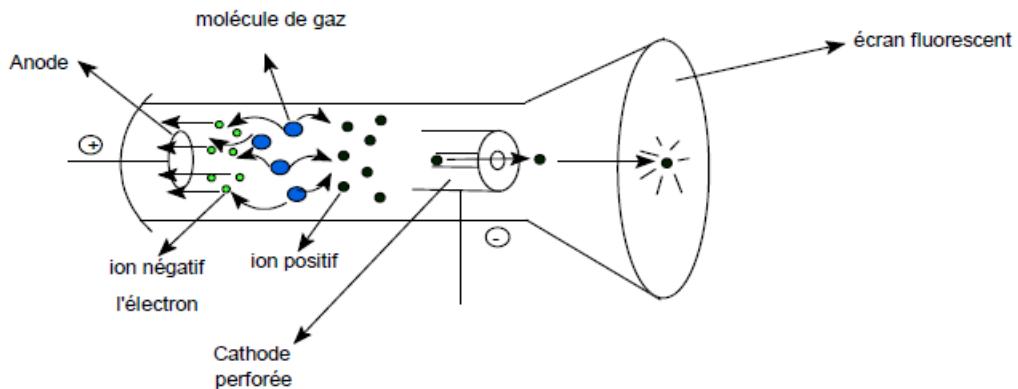


Les valeurs de q ainsi déterminé, sont des multiples d'une certaine valeur e qui est la plus petite charge électrique que peut porter une gouttelette d'huile chargée. C'est la charge

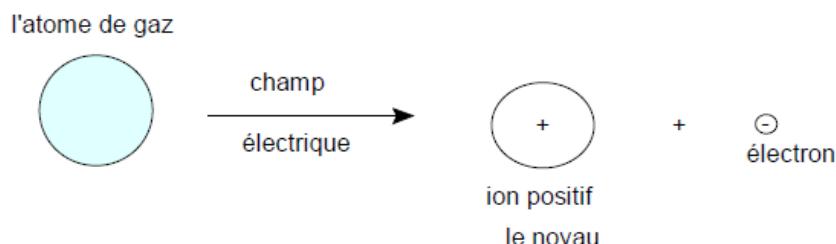
électrique élémentaire q_e avec $q_e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Connaissant la valeur q_e/m_e et q_e , on en déduit la masse de l'électron : $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ Kg.

II.2.2. Proton : expérience de Goldstein: mise en évidence de la charge positive du noyau

Si la cathode d'un tube à décharge est perforée, des particules positives la traversent, nommées rayons canaux, ces particules sont, en fait des ions dont la masse varie avec la nature du gaz contenu dans le tube.



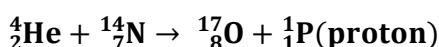
On peut donner le schéma suivant après application d'un champ électrique sur les atomes de gaz il y'a formation de deux ions :



Cette expérience démontre d'une manière claire que l'atome est constitué d'électrons et d'une partie chargée positivement c'est le noyau.

II.2.2.1. Extraction du proton

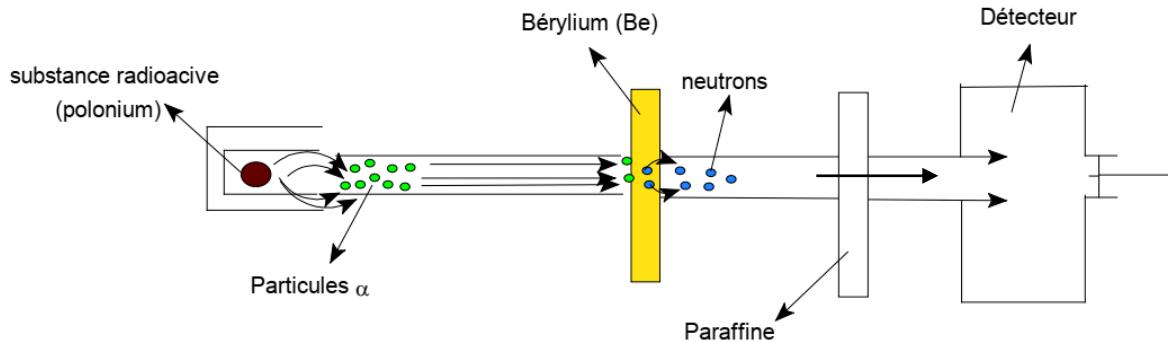
Le proton a été découvert par Rutherford en bombardant des atomes d'azote par des particules (α) selon la réaction nucléaire suivante



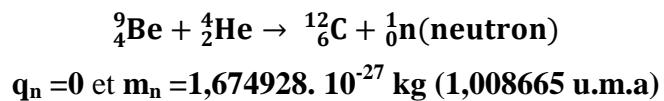
D'où :

$$q_p = +e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C et } m_p = 1,6724 \cdot 10^{-27} \text{ kg (1,007276470 u.m.a)}$$

II.2.3. Neutron : expérience de Chadwick : mise en évidence du neutron existant dans le noyau

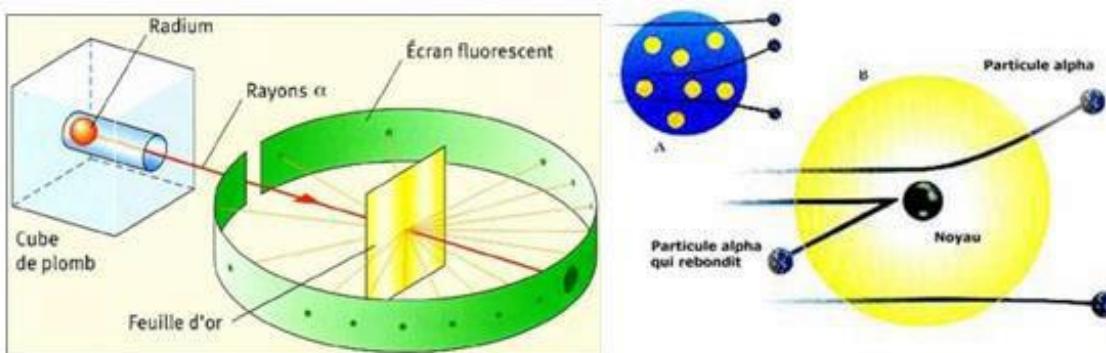


En bombardant des atomes légers comme le beryllium, le bore ou le lithium par des particules (α) selon la réaction nucléaire suivante :

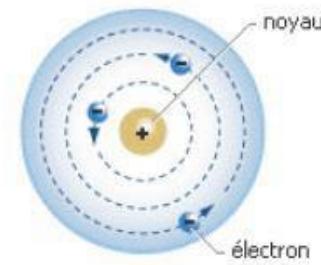


II.3. Modèle planétaire de Rutherford (1911)

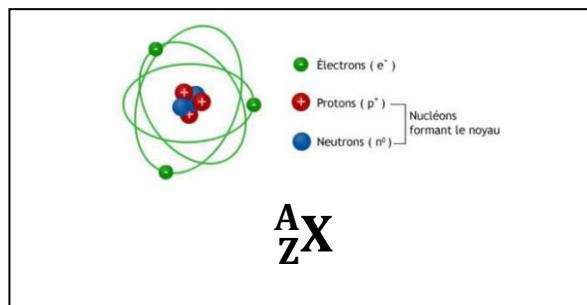
Rutherford bombarde une feuille d'or de très faible épaisseur ($0,6\mu\text{m}$) par des particules α (${}^4_2\text{He}^{2+}$).



Il constate alors que la grande majorité d'entre elles traversent la feuille d'or sans être dévié. Une fraction minime de ces particules était déviée, d'autres semblent renvoyé vers l'arrière. Il a déduit que la masse de l'atome est concentrée dans le centre : noyau central chargé positivement, autour duquel des électrons chargés négativement, sont en mouvement et restent à l'intérieur d'une sphère. C'est le modèle planétaire de l'atome : au centre, un noyau, charge positivement et autour, des électrons négatifs qui gravitent comme les planètes autour du soleil



II.4. Présentation et caractéristiques de l'atome



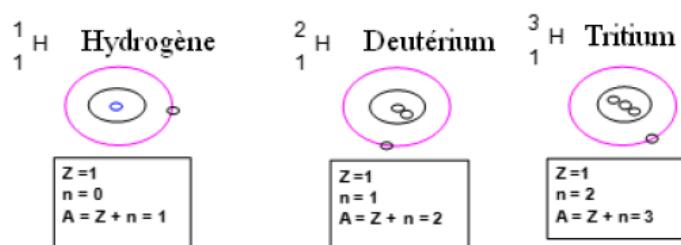
Un atome est constitué d'un noyau, qui est chargé positivement et entouré d'un cortège de **Z électrons**. Le noyau est un assemblage de **nucléons**: (**Z protons + n neutrons**). **Z** correspond au nombre de charges du noyau et **A=(Z+n)** est le **nombre de masse**.

II.5. Isotopie et abondance relative des différents isotopes

II.5.1. Isotopie

Ce sont des atomes de **même numéro atomique Z** et de **nombre de masse A différent**. Un élément peut avoir un ou plusieurs isotopes.

Exemple : Représentation symbolique des trois isotopes de l'hydrogène.



II.5.2. Abondance relative des différents isotopes

On désigne par abondance naturelle le pourcentage en nombre d'atomes de chacun des isotopes présents dans le mélange naturel.

On va pouvoir définir pour chaque élément une masse molaire moyenne:

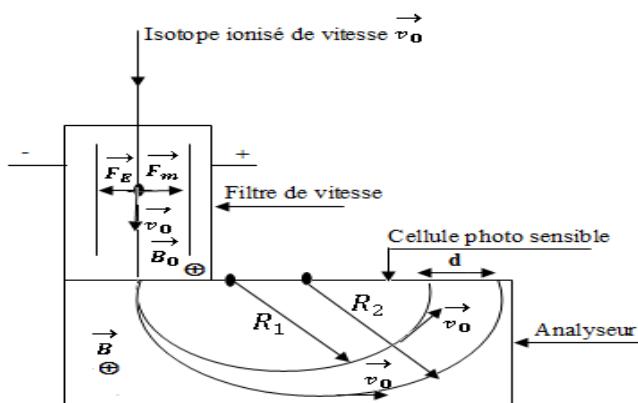
Masse molaire moyenne de l'élément

$$M_{X_Z} \frac{\sum(x_i \cdot M_i)}{\sum x_i}$$

Avec : $\sum_{i=1}^n x_i = 100\%$

x_i : abondance naturelle de l'élément i de masse molaire M_i

II.6. Spectrométrie de masse : spectrographe de Bainbridge



- **Source d'ions**

Un jet d'électron émis par un filament chauffé ionise positivement les atomes d'un gaz

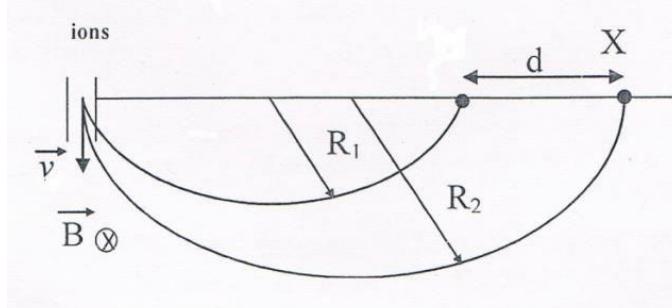
- **Filtre de vitesse**

Les ions sont soumis à l'action simultanée d'un champ électrique \vec{E} et d'un champ magnétique \vec{B}_0 orthogonaux.

Si v_0 est la vitesse d'un ion, q sa charge, il subira alors l'effet de deux forces : \vec{F}_e et \vec{F}_m

$$\begin{aligned}\vec{F}_e &= \vec{F}_m \\ qE &= qv_0 B_0 \\ v_0 &= \frac{E}{B_0}\end{aligned}$$

- **L'analyseur**



Un ion de masse m est soumis à un champ magnétique constant d'induction B. L'ion est alors dévié suivant un cercle de rayon R tel que :

$$\vec{F}_m = \vec{F}_c$$

\vec{F}_m étant la force magnétique et \vec{F}_c la force centrifuge

$$qv_0B = m \cdot a = \frac{mv_0^2}{R}$$

$$R = \frac{mv_0}{qB} \text{ et } m = \frac{RqB}{v_0}$$

- **Isotope 1 :** $R_1 = \frac{m_1 v_0}{qB}$
- **Isotope 2 :** $R_2 = \frac{m_2 v_0}{qB}$
- $R_i = \frac{D_i}{2}$ et $m_2 > m_1$

$$d = (D_2 - D_1) = 2(R_2 - R_1) = \frac{2v_0}{qB}(m_2 - m_1)$$

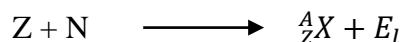
et

$$\frac{q}{m} = \frac{E}{RB^2}$$

II.7. Energie de liaison et de cohésion des noyaux

II.7.1. Energie de liaison E_l

Energie de liaison est l'énergie nécessaire à la formation d'un noyau quelconque à partir de particules élémentaires protons et neutrons :



$$\Delta E_l = \Delta m C^2$$

E_l : énergie de liaison du noyau (en **J**, **eV** ou **MeV**)

Δm : défaut de masse ou perte de masse du noyau (en kg)

$$\Delta m = [(Zm_p + (A - Z)m_n] - m_{\text{noyau}}$$

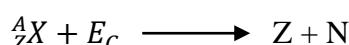
C: célérité de la lumière dans le vide ($3 \cdot 10^8$ m/s)

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

$$1\text{u.m.a} \equiv 933\text{Mev}$$

II.7.2. Energie de cohésion E_c

Energie de cohésion est l'énergie nécessaire à la destruction d'un noyau. Cette énergie est négative et on peut écrire :



$$\Delta E_c = -\Delta E_l$$

E_c :Energie de cohésion

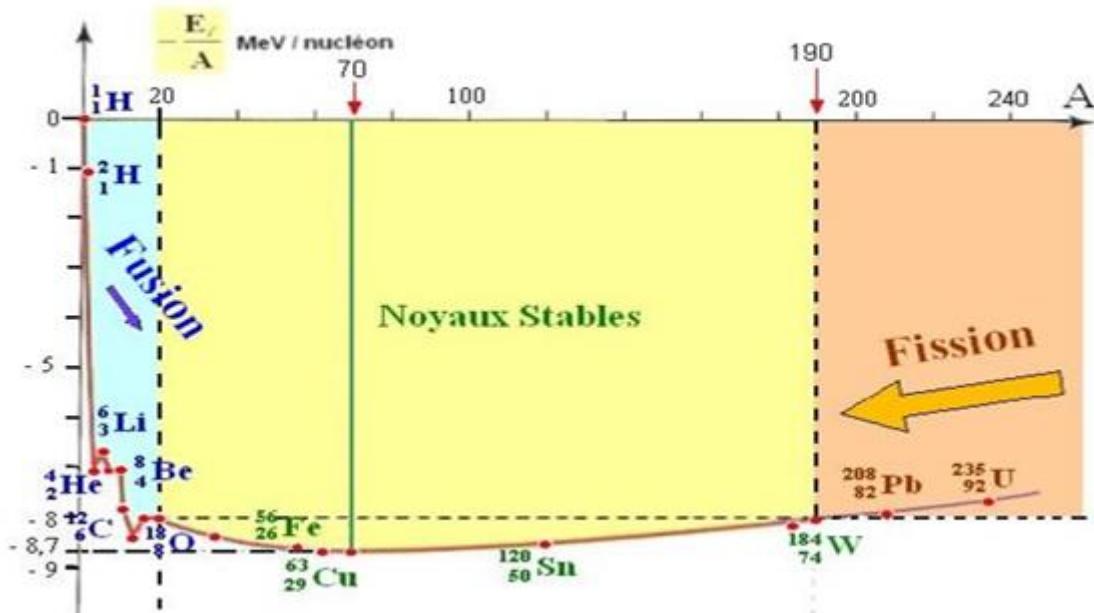
II.8. Stabilité des noyaux

On définit aussi l'**énergie de cohésion par nucléon** par la relation :

$$\Delta E' = \frac{-\Delta E_c}{A} = \frac{\Delta E_l}{A}$$

Cette énergie mesure la stabilité des noyaux

En général, l'énergie de cohésion par nucléon est inférieure à 8,9 MeV quelque soit l'élément considéré. La courbe d'Aston, représentée ci-dessous, donne la variation de : $-\Delta E_l/A$ en fonction de A. Cette courbe permet de visualiser facilement les noyaux les plus stables. Ceux-ci correspondent aux plus basses valeurs de $-\Delta E_l/A$.



Remarque

Plus l'énergie de cohésion par nucléon $\Delta E'$ est grande, plus le noyau est stable