

Chapitre II : Principaux constituants de la matière**II-1. Introduction**

Pour mettre en évidence les différentes particules élémentaires de la matière, plusieurs expériences ont été menées. Ces particules ont été découvertes entre 1875 et 1910 : il s'agit : de proton, de neutron et de l'électron.

- CROOKES : Découverte de l'électron
- GOLDSTEIN : Découverte du proton
- CHADWIK : Découverte du neutron.

II.2. Mise en évidence des constituants de la matière et donc de l'atome et quelques propriétés physiques (masse et charge)

Les caractéristiques de l'électron ont été obtenues à partir des travaux de CROOKES, J. PERRIN, MILLIKAN et J.J. THOMSON.

II.2.1. Électron :**a- Expérience de CROOKES et caractéristiques des rayonnements cathodiques :**

L'expérience de CROOKES consiste à appliquer une ddp de 50 KV à un gaz dans un tube en verre entre deux électrodes. On observe divers phénomènes :

- A pression atmosphérique, le courant ne passe pas. Donc le gaz n'est pas conducteur d'électricité;
- Pour une pression comprise entre 0,01 et 0,1 atmosphère, le gaz devient luminescent.

Ce rayonnement issu de la cathode responsable d'une faible lueur verdâtre est appelé le rayon cathodique ;

Pour CROOKES, le rayonnement est constitué de particules négatives en mouvement. Une première hypothèse fait appel à des anions résultants du choc des molécules sur la cathode. Puis SCHUSTER émet l'hypothèse d'une particule négative provenant de l'ionisation du gaz et commune à tous les corps (**1^{ère} approche de l'électron**).

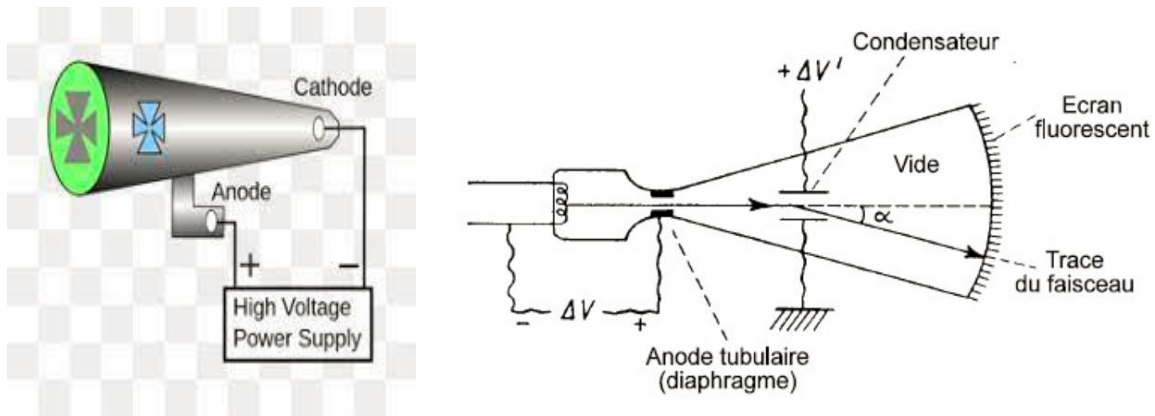


Figure II.2 Expérience de Crookes

b- Expérience de J.J.Thomson(1895) : Détermination du rapport e/m

Dans cette expérience il détermine le rapport e/m de l'électron. En étudiant le mouvement des rayons cathodiques dans un champ électrique et magnétique.

b.1. Description de l'appareil :

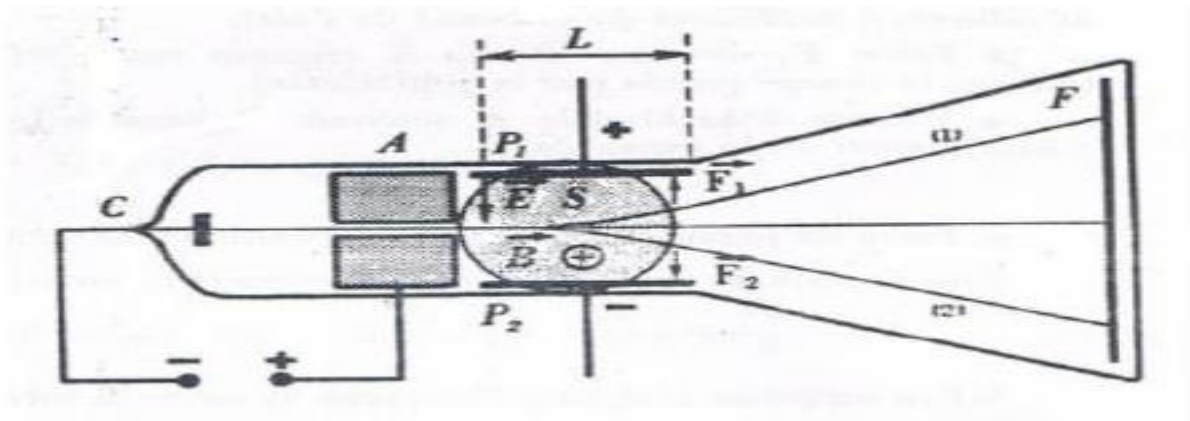


Figure II.4 : expériences de Jean Joseph Thomson

C : cathode, A : anode, F : écran fluorescent, P_1 et P_2 : plaques d'un condensateur, entre-lesquelles règne un champ électrique $\vec{E}$.

S : section des pièces polaires d'un électro-aimant entre lesquelles règne un champ d'induction magnétique $\vec{B}$.

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

b.2. Expérience

b.2-1. Action du champ électrique

Le faisceau d'électrons est dévié vers la plaque positive : trajectoire (1), sous l'action de la force :

$$F_1 = q \cdot E = m_e a \Rightarrow a = q \cdot E / m_e$$

q : charge de l'électron.

m_e : sa masse

a : accélération qui lui est communiquée par la force F_1

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 :

$$F_2 = q \cdot v \cdot B$$

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 :

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

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

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

c. Expérience de MILLIKAN : Détermination de la charge $|e|$ et déduction de sa masse

C.1. Description de l'appareil :

L'expérience consiste à vaporiser des gouttelettes d'huiles dans l'air entre les plateaux d'un condensateur. Sous l'effet des rayons γ (R-X), le gaz s'ionise et les gouttelettes d'huiles se chargent alors en électricité. Le mouvement de ces gouttelettes, entre les plaques du condensateur est suivi à l'aide d'un microscope. Le rayon des gouttelettes est supposé constant.

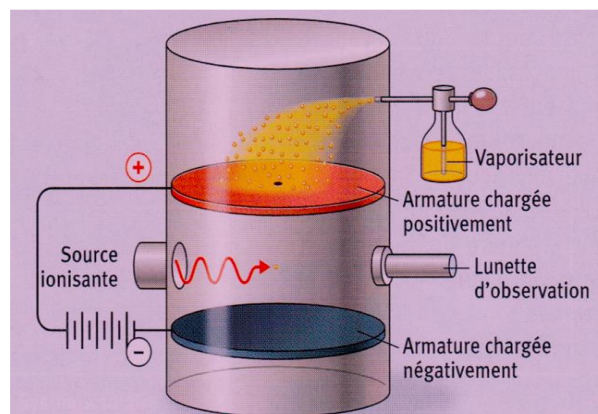


Figure II.6. Expérience de Millikan.

En l'absence du champ électrique :

- on observe une chute libre de la gouttelette soumise aux trois forces :

Pesanteur :

$$P = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g$$

où : ρ : la masse volumique de l'huile.

-Poussée d'Archimède due à l'air de masse volumique ρ_a :

$$P' = \pi A = (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_a \cdot g$$

Force de frottements visqueux donnée par la loi de Stokes :

$$F = +6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot V_0$$

Où : V_0 : Vitesse de la gouttelette ; r : Rayon de la gouttelette

On remarque que les gouttelettes atteignent rapidement une vitesse limite, l'accélération est alors nulle :

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{m \cdot \gamma} = 0 \Rightarrow P - P' - F = 0$$

$$\text{Soit : } (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g - (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_a \cdot g - 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot V_0 = 0$$

$$(4/3) \cdot r^2 \cdot (\rho - \rho_a) \cdot g - 6 \cdot \eta \cdot V_0 = 0 \Rightarrow r^2 = (9/2) \cdot (\eta \cdot V_0) / (\rho - \rho_a) \cdot g$$

En mesurant la vitesse V_0 de chute libre des gouttelettes, on détermine le rayon moyen des gouttelettes (La vitesse est calculée en mesurant le temps (t) mis par une gouttelette pour parcourir une distance d repérée par le microscope ($V_0 = d/t$)).

En présence du champ électrique :

Prenons une gouttelette chargée positivement ($q > 0$). Les gouttelettes chargées sont soumises, dans le champ E, à une force électrique (F_e) : $F_e = q \cdot E$

On peut appliquer un champ électrique E de manière à ce qu'une gouttelette soit immobile (force de frottements sont nulles) alors $F = 0$

$$\sum F_{ext} = 0 \Rightarrow P - P' - F_e = 0 \quad P - q \cdot E - P' = 0$$

$$q \cdot E = P - P' = (4/3) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho - \rho_a) \cdot g$$

La charge q peut alors être déterminée.

MILLIKAN a montré que les charges captées par les gouttelettes étaient toutes des multiples de la charge élémentaire (e) :

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb.}$$

Connaissant la valeur e/m et e , on en déduit la masse de l'électron :

$$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$$

II.2.2. Le proton : expérience de GOLDSTEIN (Mise en évidence de la charge positive du noyau) :

GOLDSTEIN a repris l'expérience de CROOKES en provoquant une décharge électrique dans un gaz qui est l'hydrogène. Celui-ci est décomposé en H^+ par les rayons cathodiques (la ddp ionise les molécules de H_2 en formant H^+). Le faisceau de protons est observé à l'arrière de la cathode.

L'analyse (mesure q/m) de ces protons a permis de dégager les caractéristiques suivantes :

$$q = +e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} = 1836 \cdot m_e$$

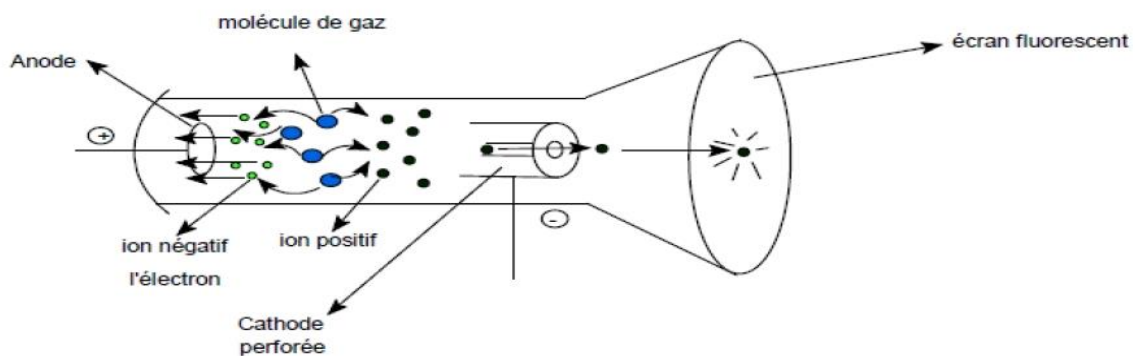
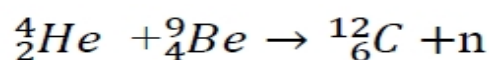


Figure II.7. Expérience de GOLDSTEIN

II.2.3. Le neutron : Expérience de CHADWICK (mise en évidence du neutron)

Il a été mis en évidence par James Chadwick (1932). Le bombardement d'une cible de béryllium par des noyaux d'hélium émet des neutrons :



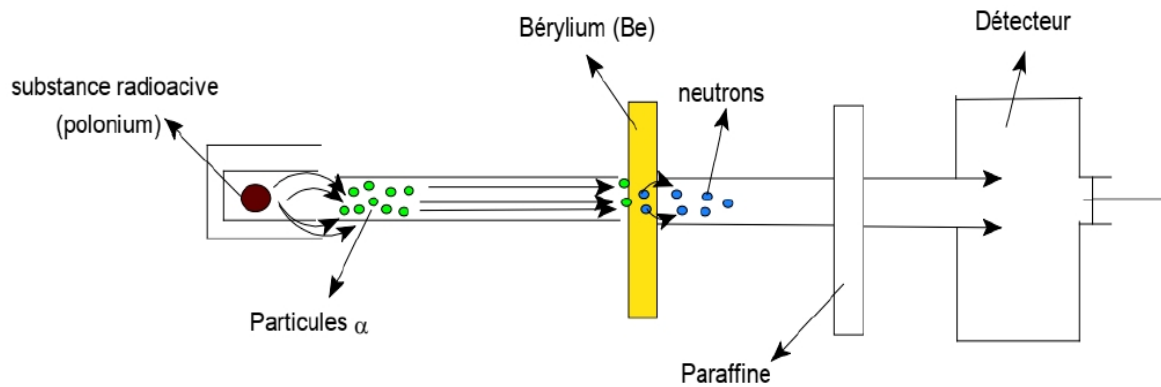


Figure 8. Expérience de Chadwick.

CHADWICK démontre qu'il s'agissait d'un faisceau de neutrons formés au cours de la collision, dont les caractéristiques sont les suivantes :

$$q = 0 \text{ Coulomb et } m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

II.3. Modèle de Rutherford :

En 1911, Rutherford effectua des expériences qui consistaient à bombarder une feuille métallique d'or avec un faisceau de particules alpha (figure II.9).

L'expérience de Rutherford

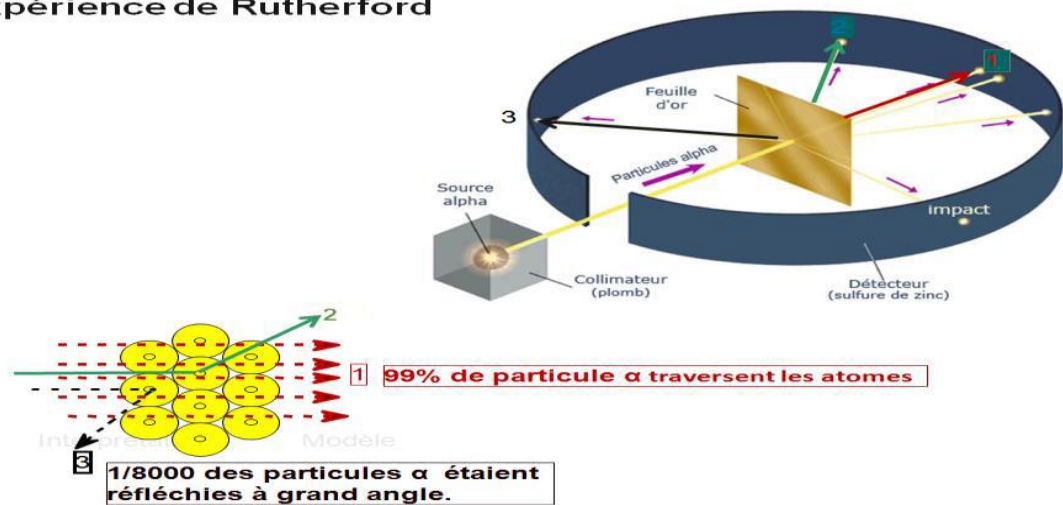


Figure II.9. Expérience de Rutherford 1911.

Rutherford déduit que la charge positive de chaque atome se trouve rassemblée dans un volume très petit par rapport à celui de l'atome.

Observation de l'expérience de Rutherford :

-99 pour cent des particules alpha traversaient les atomes comme s'ils ne trouvaient presque rien sur leur trajet donc Rutherford a conclu que « la matière solide est transparente ».

-Rutherford a conclu que l'atome contenait un cœur massif, de charge électrique positive, capable de repousser les alphas.

-L'expérience qui prouva l'existence d'un noyau dans l'atome.

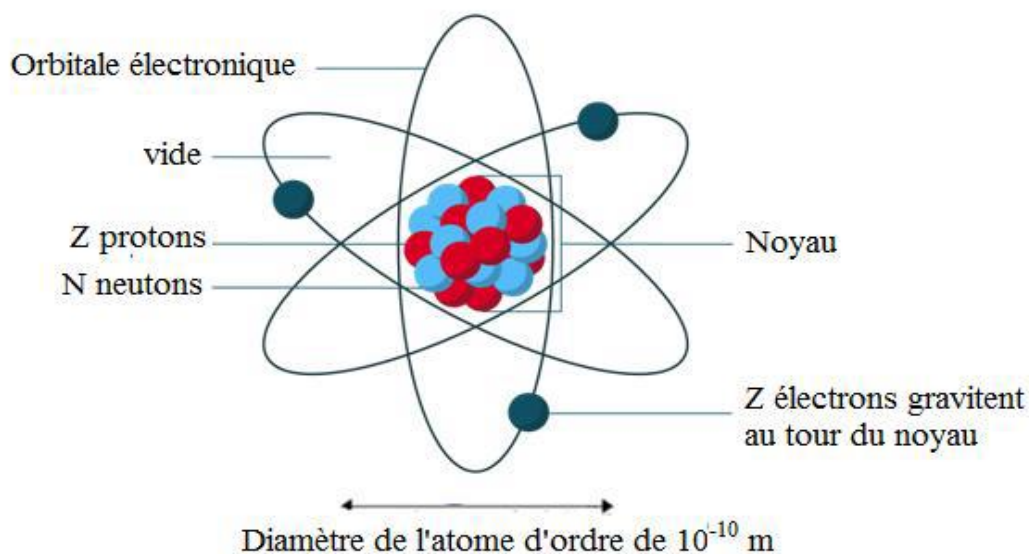


Figure II.10. Modèle de Rutherford.

II.4. Présentation et caractéristiques de l'atome :

Un atome est un édifice électriquement neutre. Il est constitué d'un noyau, qui est chargé positivement et entouré d'un cortège de Z électrons.

Par convention, on représente un élément par le symbole : A_ZX

Z : est appelée numéro atomique ou nombre de charge,

A : est appelé numéro ou nombre de masse, il représente le nombre de nucléons.

N : Nombre de neutrons.

$$A = Z + N$$

Exemple : constituant de quelque élément

Élément	Nombre de protons	Nombre de masse A	Nombre de neutron N	Nombre d'électron
9_4Be	4	9	5	4
${}^{16}_8O$	8	16	8	8
${}^{12}_6C$	6	12	6	6
${}^{19}_9F$	9	19	10	9

II. 5. Isotopie et abondance relative des différents isotopes :

Les isotopes sont des atomes ou nucléides d'un même élément chimique (ils ont le même nombre de protons) mais un nombre de neutrons différents (donc des nombres de masse et masse atomique différents). Ces isotopes existent dans des proportions différentes dites abondance isotopique.

Exemple :

L'hydrogène naturel est constitué de trois isotopes

${}^1_1\text{H}$: hydrogène 1 électron + 1 proton + 0 neutron

${}^2_1\text{H}$: deutérium 1 électron + 1 proton + 1 neutron

${}^3_1\text{H}$: tritérium 1 électron + 1 proton + 2 neutrons

Isotopes du carbone : ${}^{12}_6\text{C}$ le carbone-12 présente trois isotopes ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{13}_6\text{C}$, ${}^{14}_6\text{C}$ contenant respectivement 6, 7 et 8 neutrons, l'abondance dans la nature : 98,9 %, 1,09%, 0,01%.

II.6. Séparation des isotopes et détermination de la masse atomique et de la masse moyenne d'un atome :

Spectrométrie de masse : spectrographe de Bainbridge :

La spectrographie de masse permet d'identifier les différents isotopes d'un élément en déterminant leurs masses et leurs abondances isotopiques. Il existe plusieurs types de spectromètre parmi eux : le spectromètre de Bainbridge figure ci-dessous.

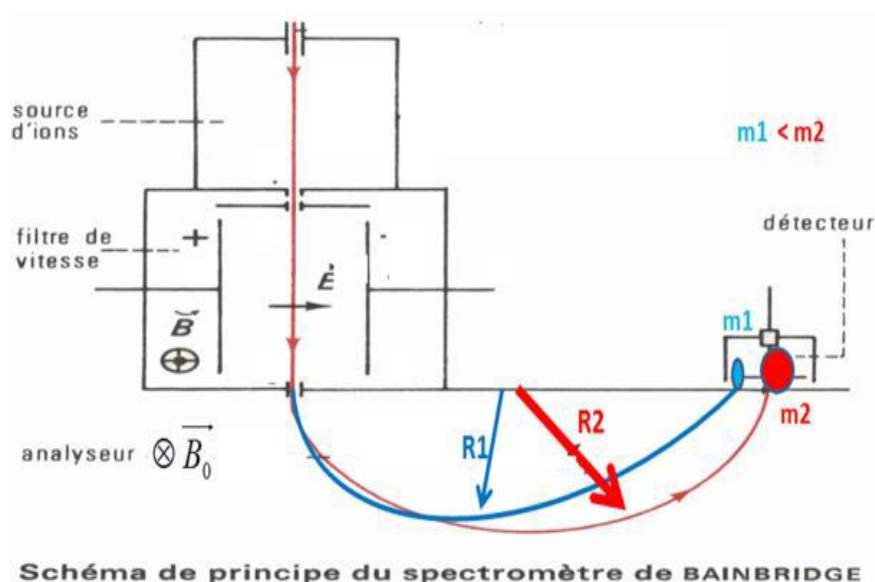


Figure II.11. Spectromètre de Bainbridge

Un spectrographe de masse est utilisé, il comprend quatre parties :

1. Ionisateur : Obtention d'ions positifs par bombardement de gaz.

2. Filtre de vitesse : Ions accélérés par un condensateur et introduction d'un filtre de vitesse de telle sorte que les ions entrent dans l'analyseur avec la même vitesse.

3. Analyseur : Ions déviés par un champ magnétique B_0 constant.

4. Détecteur : comptage électronique des impacts.

les forces appliquées à un ion de charge (q) et vitesse (v) sont :

*La force électrique (F_e) : $F'' = q \cdot E$

*La force magnétique (F_m) : $F' = q \cdot v \cdot B$

E et B sont orthogonaux ; F'' et F' ont des directions parallèles et des sens opposés.

Seuls les ions pour lesquels $F_e = F_m$ seront analysés et ils sortent du filtre avec la même vitesse.

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

$$\Rightarrow v = E/B$$

Dans l'analyseur, l'ion est soumis à un champ magnétique perpendiculaire à sa direction ; l'ion est dévié suivant un cercle de rayon R :

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

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

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

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

- 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 $m_2 > m_1$

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

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

II.7.1. Energie de liaison (E):

L'énergie de liaison est l'énergie nécessaire à la dissociation d'un noyau en particules nucléons.

$$E_L = \Delta m \cdot C^2$$

Δm : Défaut de masse du noyau (en kg)

C : Célérité ou vitesse de la lumière dans le vide (m/s)

Cette énergie est positive puisqu'elle est reçue par le système considéré (noyau).

E_L : Energie de liaison du noyau (en J, eV ou MeV)

II.7.2. Energie de cohésion:

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

$$E_L = -E$$

II.7.3. Stabilité des noyaux :

a- Détermination de l'énergie de cohésion par nucléon : courbe d'Aston

La courbe d'Aston permet de comparer la stabilité de différents noyaux atomiques. Les noyaux légers vont évoluer par fusion, alors que les noyaux lourds vont évoluer par fission.

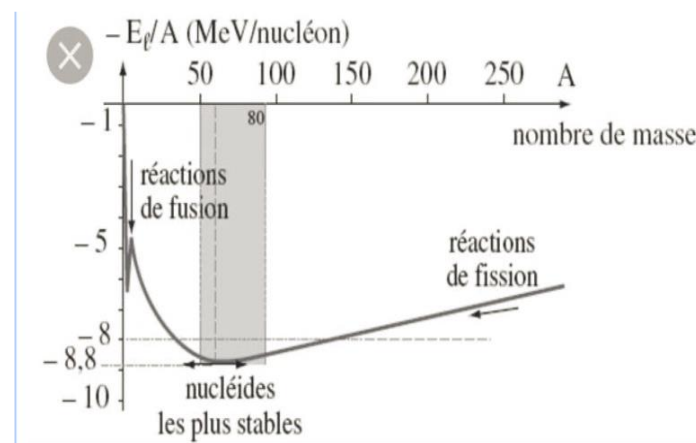


Figure II.12. Courbe d'Aston.

b- Stabilité et nombre de nucléons : courbe nombre de neutrons:

Le diagramme représente la variation du nombre de neutron N en fonction du numéro atomique Z dans les noyaux.

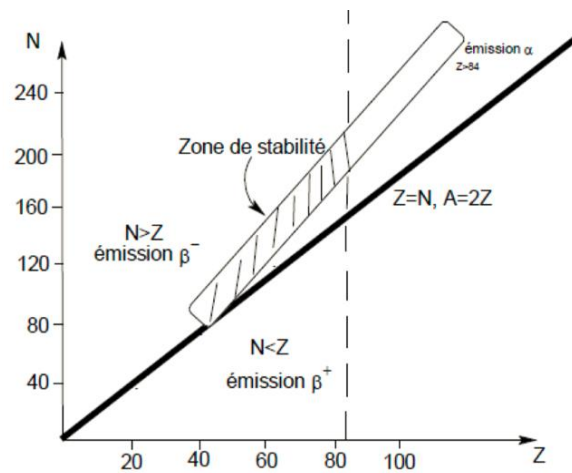


Figure II.13. Diagramme de stabilité $N = f(Z)$.

Ce diagramme peut être résumé comme suit :

Les noyaux stables se trouvent dans la zone de stabilité (voir le graphe) :

- les noyaux portés par la bissectrice ont une stabilité parfaite ($N=Z$).
- Noyaux instables par excès de protons ($N < Z$) : Émission de particules β^+ ;
- Noyaux instables par excès de neutrons ($N > Z$) : Émission de particules β^- .
- Noyaux lourds $A > 140$ Excès de nombre de neutron N et de proton Z. Fission spontanée avec émission de particule α (noyau d'hélium He).