

Chapitre II : principaux constituant de la matière

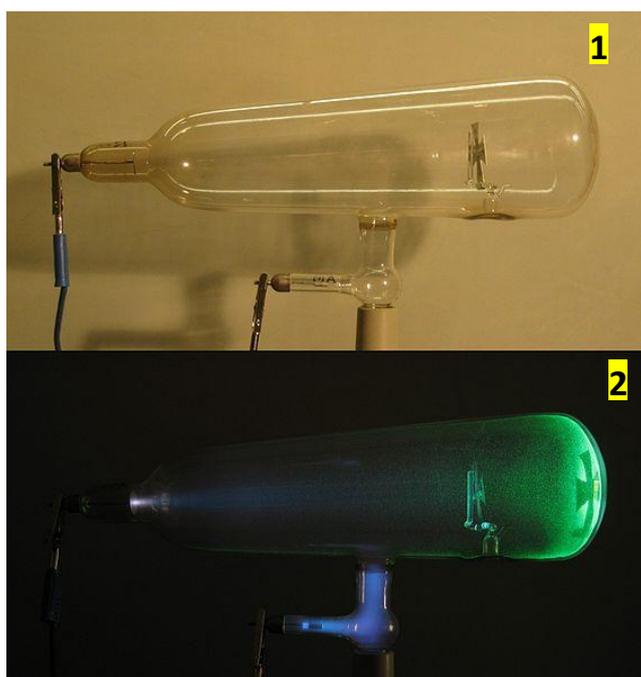
II.1. Introduction : Expérience de Faraday, relation entre matière et électricité

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 :

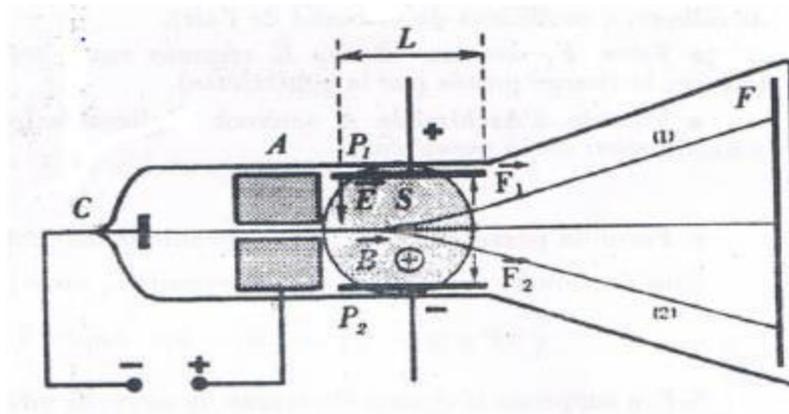


Cette expérience est réalisée dans un tube à décharge (figure 1). La pression du gaz (air, hélium, néonetc) dans le tube est réduite à 10^{-6} atm. Lorsqu'on établit une forte différence de potentiel (ddp) environ 1000 volts par cm entre les deux électrodes métalliques placées aux extrémités d'une ampoule de verre contenant de gaz. Le gaz reste obscur mais le verre de l'ampoule devient fluorescent à l'opposé de l'électrode négative (la cathode) (figure 2). En effet cette fluorescence observée est due à l'impact sur le verre d'un rayons (rayonnement) invisible, issus de la cathode d'où son nom rayonnement cathodique, CROOKS considère que ce rayonnement provoque la fluorescence du verre.

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 $|e|/m_e$

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



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 champ électrique E^{\rightarrow} et B^{\rightarrow} .

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 $F_1 = q \cdot E = m_e \cdot a \Rightarrow a = \frac{q \cdot E}{m_e}$

Avec : 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 $F_2 = q \cdot v \cdot B = m_e \cdot a \Rightarrow v = \frac{q \cdot B \cdot R}{m_e}$

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 :

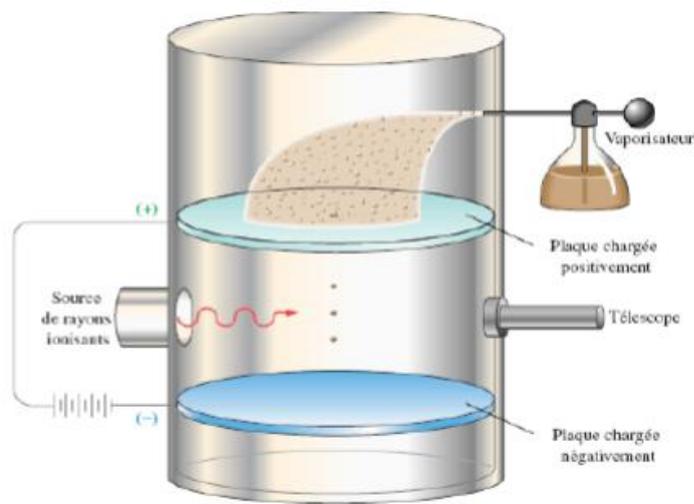
$q \cdot E = q \cdot v \cdot B \Rightarrow v = \frac{E}{B}$

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 |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



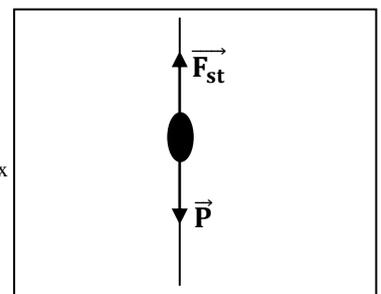
Les forces qui s'exercent sur une gouttelette chargée :

- Forces de stocks F_s qui s'opposent au déplacement de la gouttelette : $F_s = 6 \pi \eta r \cdot v$
 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 : $F_e = q \cdot E$
- Force de pesanteur P : $P = m \cdot g = 4/3 \pi r^3 \rho g$, ρ masse volumique de l'huile
- Poussé d'Archimède $F_A = m_{air} \cdot g$ (négligeable) : $\rho_{air} \ll \rho_{huile}$

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

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

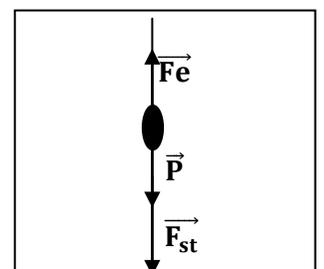
$$\Rightarrow 6 \pi \eta r v_{max} = \rho \cdot 4/3 \pi r^3 g \Rightarrow r = \sqrt{\frac{9 \eta v_{max}}{2 \rho g}}$$



b) Sous l'effet du champ électrique

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

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

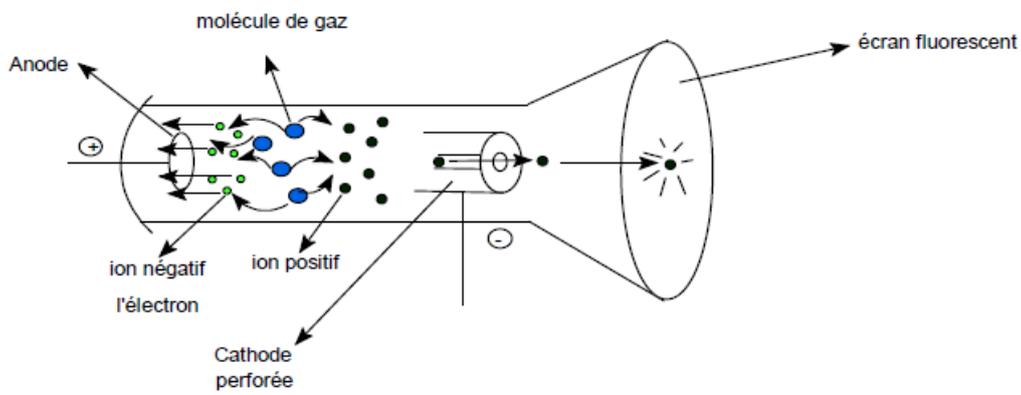


$$q = \frac{mg + 6 \pi \eta r v}{E}$$

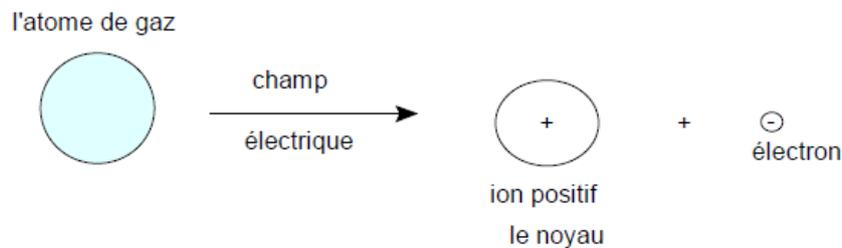
Les valeurs de q ainsi déterminé, sont des multiples d'une certaine valeur e qui est la plus petite charge électrique que peut porter une gouttelette d'huile chargée. C'est la charge électrique élémentaire e avec $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Connaissant la valeur e/m_e et e , on en déduit la masse 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.



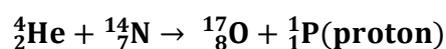
On peut donner le schéma suivant après application d'un champ électrique sur les atomes de gaz il y a formation de deux ions :



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

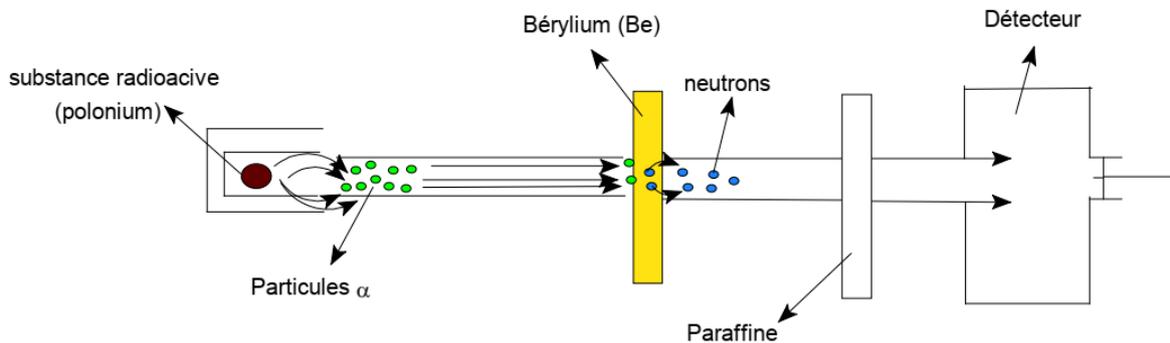
Le proton a été découvert par Rutherford en bombardant des atomes d'azote par des particules (α) selon la réaction nucléaire suivante



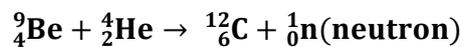
D'où :

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

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



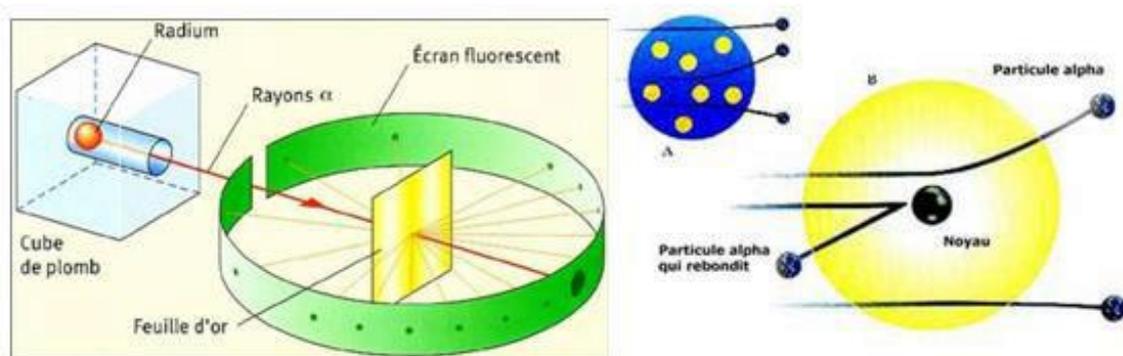
En bombardant des atomes légers comme le béryllium, le bore ou le lithium par des particules α selon la réaction nucléaire suivante :



$$q_n = 0 \text{ et } m_n = 1,674928 \cdot 10^{-27} \text{ kg (1,008665 u.m.a)}$$

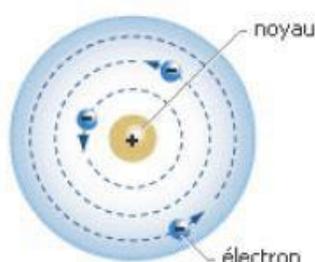
II.3. Modèle planétaire de Rutherford (1911)

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 (1 sur 8000) de ces particules étaient défléchies, d'autres (1 sur 20 000 à 30 000) semblent renvoyé vers l'arrière

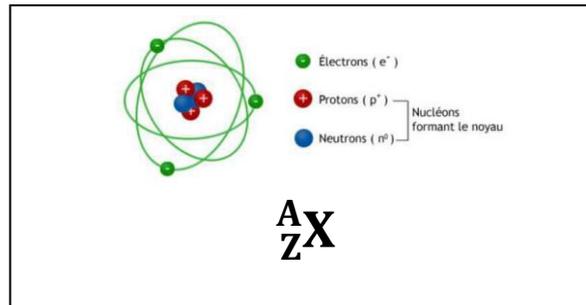


Il a déduit que l'atome est constitué d'un noyau chargé positivement, autour duquel des électrons chargé négativement, sont en mouvement et restent à l'intérieur d'une sphère.

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



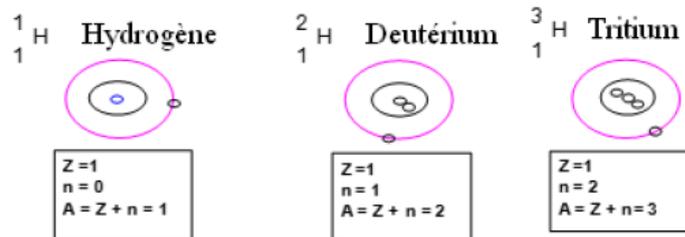
Un atome est un édifice électriquement neutre. Il est constitué d'un noyau, qui est chargé positivement et entouré d'un cortège de **Z électrons**. Le noyau est un assemblage de **nucléons: Z protons et n neutrons**. **Z est le numéro atomique**; il correspond au nombre de charges du noyau. **A=(Z+n)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

Exemple : les isotopes de plomb

Isotope	²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb
Abondance(%)	1,4	24,1	22,1	52,4

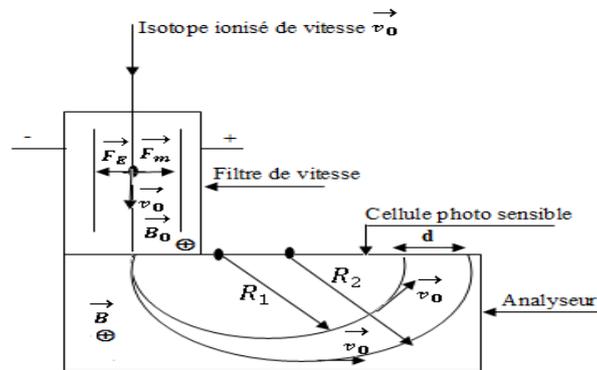
On va pouvoir définir pour chaque élément une masse molaire moyenne:

Masse molaire moyenne de l'élément $M_{eX} = \sum x_i M_i$

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

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{F}_e et d'un champ magnétique \vec{F}_m orthogonaux.

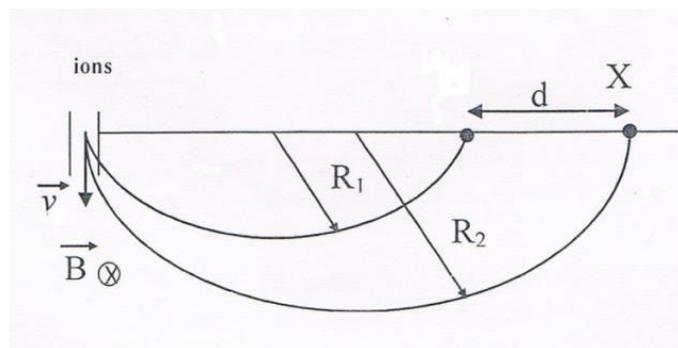
Si v_0 est la vitesse d'un ion, q sa charge, il subira alors l'effet de deux forces :

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

$$qE = qv_0B_0$$

$$v_0 = \frac{E}{B_0}$$

- **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

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

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

- 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 $m_2 > m_1$

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

et

$$\frac{q}{m} = \frac{E}{RBB_0}$$

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

II.7.1. Energie de liaison

Energie de liaison est l'énergie nécessaire à la formation d'un noyau quelconque à partir de particule :

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

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

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

$$E_c = -E_l$$

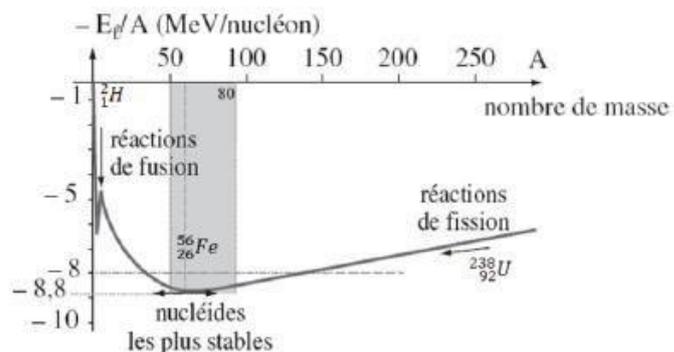
E_c : Energie de cohésion

II.8. Stabilité des noyaux

II.8.1. Détermination de l'énergie de cohésion moyenne par nucléon : courbe d'Aston

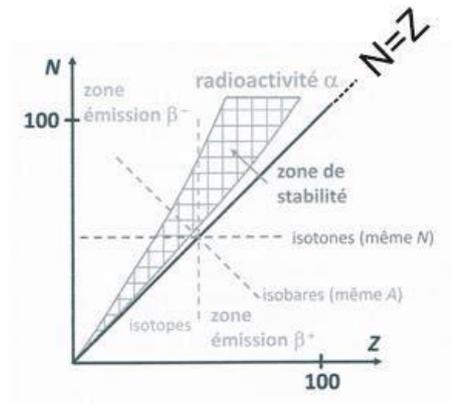
$$\Delta E' = \frac{-E_l}{A}$$

Plus $\Delta E'$ est grande, plus le noyau est stable



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.

II.8.2. Stabilité et nombre de nucléons : courbe nombre de neutrons



Ce diagramme peut être résumé comme suite :

Augmentation de Z et N \Rightarrow on s'éloigne de la première bissectrice

Augmentation de Z \Rightarrow on aura des noyaux stables $N > Z$

- **Noyaux instables par excès de protons**

Sous la ligne de stabilité

♦ Réaction nucléaire interne : $1p \rightarrow 1n$ (Emission de particules β^+)

- **Noyaux instables par excès de neutrons**

Au dessus de la ligne de stabilité

♦ Réaction nucléaire interne : $1n \rightarrow 1p$ émission de particules β^-

- **Noyaux lourds $A > 140$**

Excès de nombre de neutron N et de masse Z

♦ fission spontanée avec émission de particule α