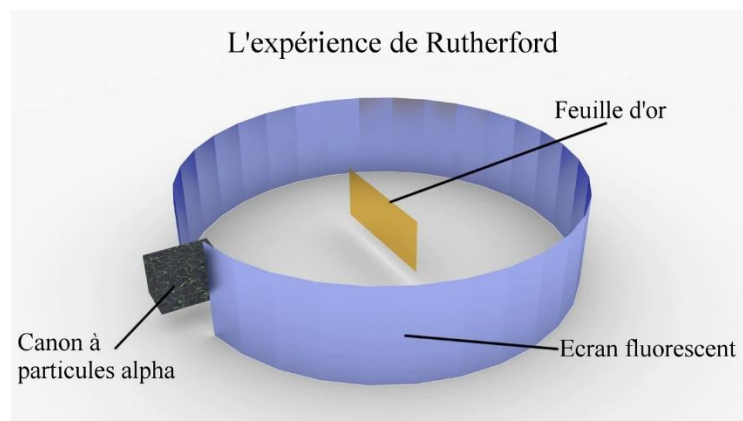


## CHAPITRE II

### Principaux constituants de la matière

#### II.1. Modèle planétaire de Rutherford

En 1909 Rutherford étudia la déviation des particules alpha par une mince feuille de métal en Or ( $6000 \text{ \AA}$  d'épaisseur). Les particules utilisées sont des ions  $\text{He}^{2+}$  issues des réactions radioactives orientées en direction de la feuille en Or. Un écran fluorescent est placé derrière la feuille afin d'observer l'impact des particules alpha.



#### Observation :

La plupart des particules (99.9%) traversent la feuille en or sans déviation.

1/100 particules subissent une déviation importante.

1/20000 particules sont renvoyées en arrière.

#### Interprétation :

Selon le modèle de Thomson, La masse étant supposée dispersée sur l'ensemble de l'atome donc rien n'est assez dense pour stopper ou dévier les particules alpha. Elles doivent donc toutes traverser la feuille en or. Les électrons ont également une très faible masse et ne peuvent dévier les particules.

Un autre modèle atomique a donc été proposé par Rutherford sur la base des résultats de l'expérience :

La majorité des particules alpha traversent la feuille car ne rencontrent aucun obstacle sauf les électrons de très faible masse donc l'atome est formé de vide. Les particules sont déviées car elles rencontrent le noyau. Rutherford conclut que :

**La quasi-totalité de la masse de l'atome est concentrée dans une petite région, chargée positivement c'est le noyau central et les électrons chargés négativement gravitent autour du noyau.**

Le rayon du noyau assimilé à une sphère est calculé. Il est de l'ordre de  $10^{-14}$  m alors que le rayon d'un atome est estimé à  $10^{-10}$  m. le rayon de l'atome est égale 10000 le rayon du noyau. L'atome est donc presque vide de matière.

## **II.2. Présentation et caractéristique de l'atome**

## **II.3. Isotopes, abondance relative et masse atomique moyenne**

### **II.5.1 Isotope**

Les isotopes sont des atomes ou nucléides d'un même élément chimique, ils ont le même nombre de protons (Z identique) mais un nombre de neutrons différents donc des nombres de masse et des masses atomiques différentes.

**Exemples :**  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$  ;  ${}^{25}_{12}\text{Mg}$  et  ${}^{26}_{12}\text{Mg}$

### **II.5.2 Abondance relative**

Dans la nature tous les éléments sont un mélange d'isotopes. Le calcul de la masse atomique d'un élément dépend de l'abondance de chacun des isotopes. L'abondance est le pourcentage de présence de l'isotope dans l'élément chimique.

**Exemple :** le carbone est un mélange isotopique composé de 98,9 % de  ${}^{12}_6\text{C}$  ; 1,09 % de  ${}^{13}_6\text{C}$  et 0,01 % de  ${}^{14}_6\text{C}$

La masse atomique moyenne  $M_{\text{moy}}$  ; ou la masse molaire moyenne ; qui figure dans le tableau périodique est calculée selon la relation suivante :

$$M_{\text{moy}} = \frac{\sum_1^n M_i \cdot X_i}{100}$$

Où :

$M_{\text{moy}}$  : Masse molaire ou atomique moyenne en g/mol ou en uma

$M_i$  : Masse molaire ou atomique moyenne de l'isotope i en g/mol ou en uma

$X_i$  : Abondance relative ou pourcentage en nombre de l'isotope i tel que :

$\sum_1^n X_i = 100 \%$  ; n : nombre d'isotopes présents dans le mélange.

**Exemple :** Calculer la masse atomique moyenne du Néon sachant les masses atomiques et les abondances relatives de chacun des isotopes :

$${}^{20}_{10}\text{Ne} : M_1 = 19,99244 \text{ u} \text{ et } X_1 = 90,51\%$$

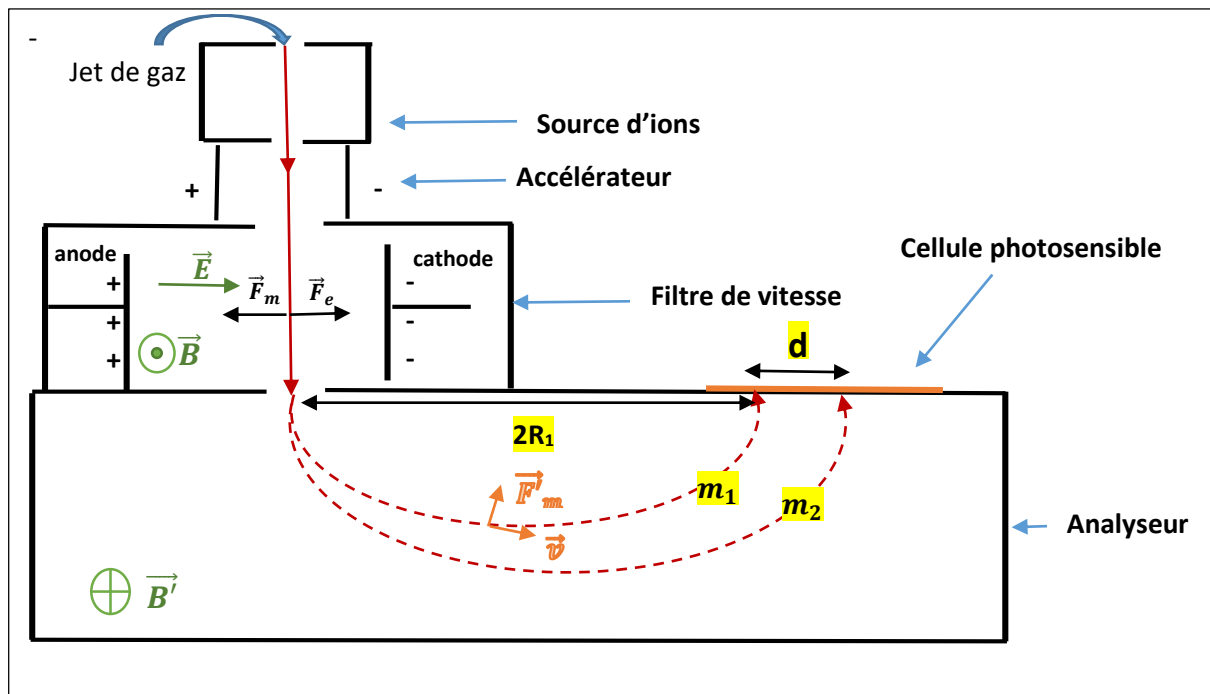
$${}^{21}_{10}\text{Ne} : M_2 = 20,99395 \text{ u} \text{ et } X_2 = 0,27\%$$

$${}^{22}_{10}\text{Ne} : M_3 = 21,99138 \text{ u} \text{ et } X_3 = 9,22\%$$

$$M_{\text{moy}}(\text{Ne}) = \frac{19,99244 \cdot 90,51 + 20,99395 \cdot 0,27 + 21,99138 \cdot 9,22}{100} = 20,179 \text{ u}$$

#### II.4. Séparation des isotopes et détermination de la masse atomique (spectrographe de Bainbridge)

Le spectrographe de masse de Bainbridge est un appareil qui permet de mesurer la masse atomique d'une particule chargée en mesurant sa déviation dans un champ magnétique uniforme. Il est composé d'une Source d'ions, Filtre de vitesse, Analyseur et Détecteur d'ion comme illustré en figure II.1.



**Figure II.1 :** Schéma d'un spectrographe de masse de Bainbridge

**Source d'ions** : les ions sont issus d'un gaz bombardés par un jet d'électrons émis par un filament chauffé.

**Accélérateur** : Les particules de charge  $q$  et de masse  $m$  sont accélérées sous une tension  $U$ . Leur vitesse initiale aléatoire est  $v$ .

**Filtre de vitesse** : les particules de vitesses différentes caractérisées par une charge massique  $q/m$  sont accélérées sous une tension  $U$  puis passe à travers la fente  $F2$ . Dans le filtre de vitesse les ions sont soumis à l'action d'un champ électrique  $E$  et magnétique  $B$  croisés (perpendiculaire entre eux) et orientés de façon à produire des déviations en sens opposés. Les ions sortent du filtre de vitesse avec la même vitesse. Seuls les ions ayant la même vitesse peuvent entrer dans l'analyseur en traversant la fente  $F3$ .

La force électrique est :

$$\vec{F}_e = q \vec{E} \rightarrow F_e = q E$$

La force magnétique de Lorentz :

$$\vec{F}_m = q \vec{v} \wedge \vec{B} \rightarrow F_m = q v B \sin 90 \text{ car } \vec{v} \text{ et } \vec{B} \text{ sont perpendiculaire}$$

**Remarque** : la direction de la force magnétique est déterminée par la règle de la main droite.

Pour que l'ion passe par la fente  $F3$  :  $|F_m| = |F_e|$

$$q E = q v B$$

$$\Rightarrow \boxed{v = \frac{E}{B}}$$

**Analyseur** : L'ion est soumis dans l'analyseur à l'action d'un champ magnétique  $\vec{B}'$  perpendiculaire à sa direction, il est dévié suivant un cercle de rayon  $R$ .

$$\vec{F}'_m = q \vec{v} \wedge \vec{B}' \rightarrow F'_m = q v B' \text{ (} v \text{ et } B' \text{ sont perpendiculaires)}$$

La force magnétique provoque donc un mouvement circulaire uniforme des

$$\text{ions : } F_c = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Dans l'analyseur on a égalité des forces :  $|F_c| = |F'_m|$

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = q v B'$$

$$d' \text{ où: } \boxed{\frac{q}{m} = \frac{v}{R \cdot B'}}$$

**Détecteur :** plaque photographique sur laquelle on peut mesurer la distance d séparant les points d'impact des différents ions sur la plaque.

Cette distance dans les cas de deux isotopes est : **d = 2 (R<sub>2</sub>-R<sub>1</sub>)**

$$\text{Pour l'ion 1 de masse } m_1 : \frac{q}{m_1} = \frac{v}{R_1 \cdot B'}$$

$$\text{Pour l'ion 2 de masse } m_2 : \frac{q}{m_2} = \frac{v}{R_2 \cdot B'}$$

**Avec :**

q : la charge de l'ion multiple de la charge élémentaire  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

m : la masse atomique de l'ion en Kg.

B : induction magnétique en Tesla

E : champ électrique en V/m ou N/C

R : rayon de la trajectoire de l'ion dans l'analyseur en m

v : vitesse des ions en m/s

## II.5. Energie de cohésion des noyaux

Un noyau est formé de protons chargés positivement et de neutrons électriquement neutres. La répulsion entre charges positives tend à les séparer, la cohésion du noyau est expliquée par l'existence d'une force nucléaire qui assure la stabilité du noyau.

L'énergie de liaison ou de cohésion d'un noyau atomique est l'énergie qu'il faut fournir pour dissocier un noyau en ses nucléons selon le schéma ci-dessous.



La masse du noyau est toujours inférieure à la somme des masses de ses nucléons qui s'attirent du fait de la force nucléaire.

Le défaut de masse  $\Delta m$  est défini comme la différence entre la somme des masses des nucléons et la masse de ce même noyau.

$$m_{\text{nucléons}} = (Z m_p + N m_N)$$

$$\Delta m = m_{\text{nucléons}} - m_{\text{noyau}} > 0$$

Z : nombre de proton ; N : nombre de neutron

$$m_p = 1,67252 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,007 \text{ u}$$

$$m_N = 1,67483 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,008 \text{ u}$$

Grace au principe d'équivalence masse-énergie exprimé par Einstein, ce défaut de masse se retrouve sous forme d'énergie  $E_l$  :

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

Avec :

C : célérité ou vitesse de la lumière  $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$\Delta m$  : Défaut de masse en (kg)

$E_l$  : énergie de liaison en (J )

**Remarque 1 :** l'unité de l'énergie est le Joule ou l'électronvolt

L'électronvolt est l'énergie d'un électron soumis à une différence de potentiel de 1 volt. C'est l'unité la plus adaptée à l'échelle microscopique

1eV = charge de l'électron \* ddp

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ volt}$$

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

$$; 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} ;$$

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

**Remarque 2 :** il est pratique d'exprimer le contenu énergétique d'un u.m.a. en MeV qui est de 931,5 MeV.

**Démonstration :** pour un défaut de masse de 1 u.

$$E_l = \Delta m \cdot C^2 = \frac{1,166054 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{1,602 \cdot 10^{-13}} = 931,5 \text{ MeV}$$

## II.6. Energie de liaison par nucléon et Stabilité des noyaux

Parmi environ 3500 nucléides (artificiels et naturels) existants seulement 287 noyaux sont stables (figure II.1). On définit l'énergie de cohésion moyenne par nucléon  $E_A$ , l'énergie nécessaire en moyenne pour arracher un nucléon d'un noyau. Cette énergie permet une mesure de la stabilité des noyaux. Plus cette énergie est élevée plus le noyau est stable.

L'énergie de liaison par nucléons est le rapport de l'énergie de liaison par le nombre de nucléons A.

$$E_A = \frac{E_l}{A}$$

$E_A$  : énergie de cohésion par nucléons en ( J/nucléons ou MeV/nucléons)

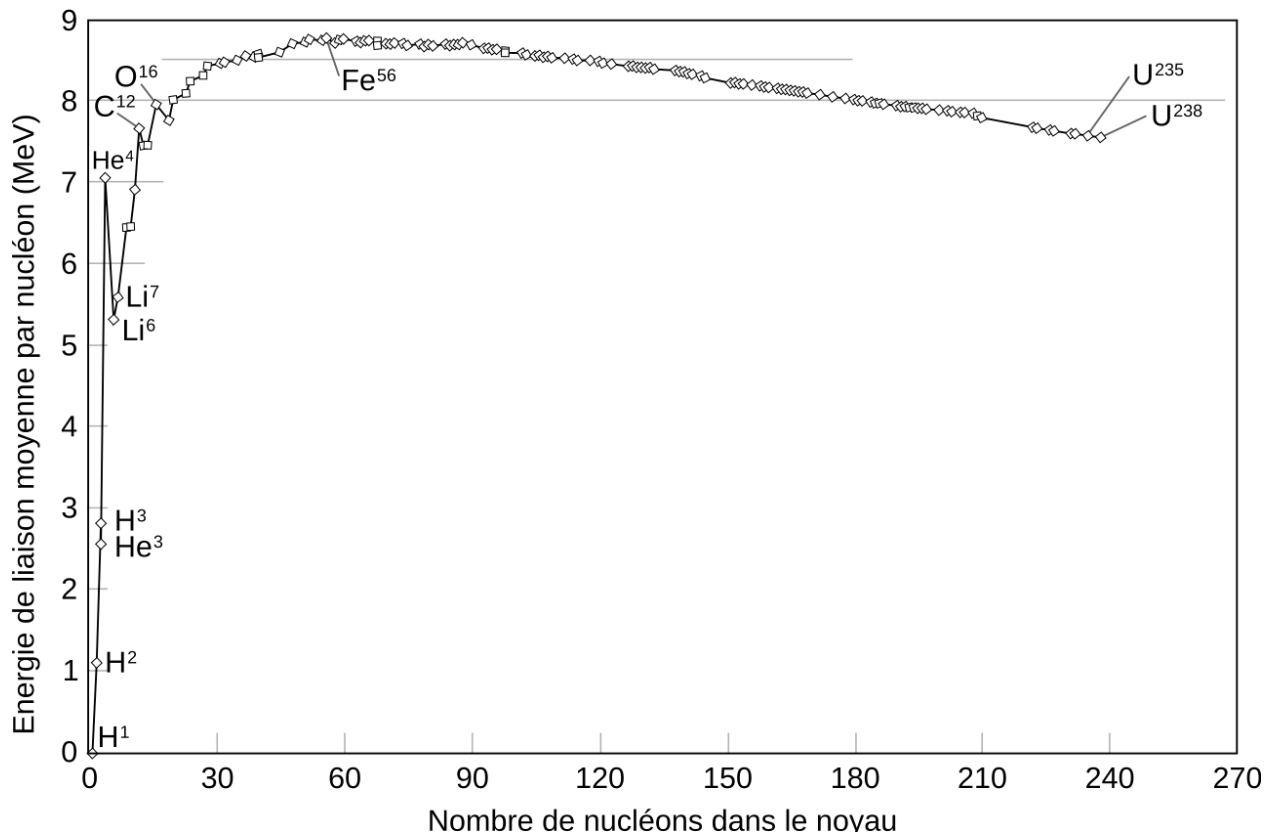
$E_l$  : Energie de cohésion du noyau en ( J ou en MeV)

A : Nombre de masse ou nombre de nucléons.

- **Courbe d'Aston :**

La courbe d'Aston en figure II.1 présente l'évolution de l'énergie de liaison moyenne par nucléons en fonction du nombre de masse A pour les isotopes les plus abondants. On peut constater sur cette figure ce qui suit :

- L'énergie de cohésion par nucléon de l'Hydrogène est nulle ; en effet ce dernier possède un seul proton.
- Les noyaux très légers sont très peu liés ; à l'exception de l'hélium caractérisé par une énergie de liaison par nucléons de 7.1 MeV/nucléons qui présente une très bonne stabilité.
- L'énergie de cohésion par nucléons croît en fonction de la taille des noyaux pour atteindre un maximum autour de 8.8 MeV/nucléons pour le Fe-56 et diminue lentement jusqu'à 7.6 MeV pour les noyaux les plus lourds.
- La zone de stabilité est située entre A=20 et A=190 où se trouvent les nucléides ayant des énergies de cohésion par nucléons supérieure à 8 MeV/nucléons.
- A partir du polonium (A=210) tous les nucléides sont instables (radioactifs).
- Les noyaux légers (A<20) s'unissent ou **fusionnent** pour former des noyaux plus lourds et plus stables. C'est le phénomène de **Fusion nucléaire**.
- Les noyaux les plus lourds (A>190) subissent des réactions de fission et se scindent en noyaux plus légers et plus stables. C'est le phénomène de **Fission nucléaire**.
- L'abondance naturelle de certains éléments (abondance élevée du fer dans l'univers) est sans doute liée à leur grande stabilité.



**Figure II.1 : Energie de liaison moyenne par nucléon en fonction du nombre de masse A (Courbe d'Aston)**

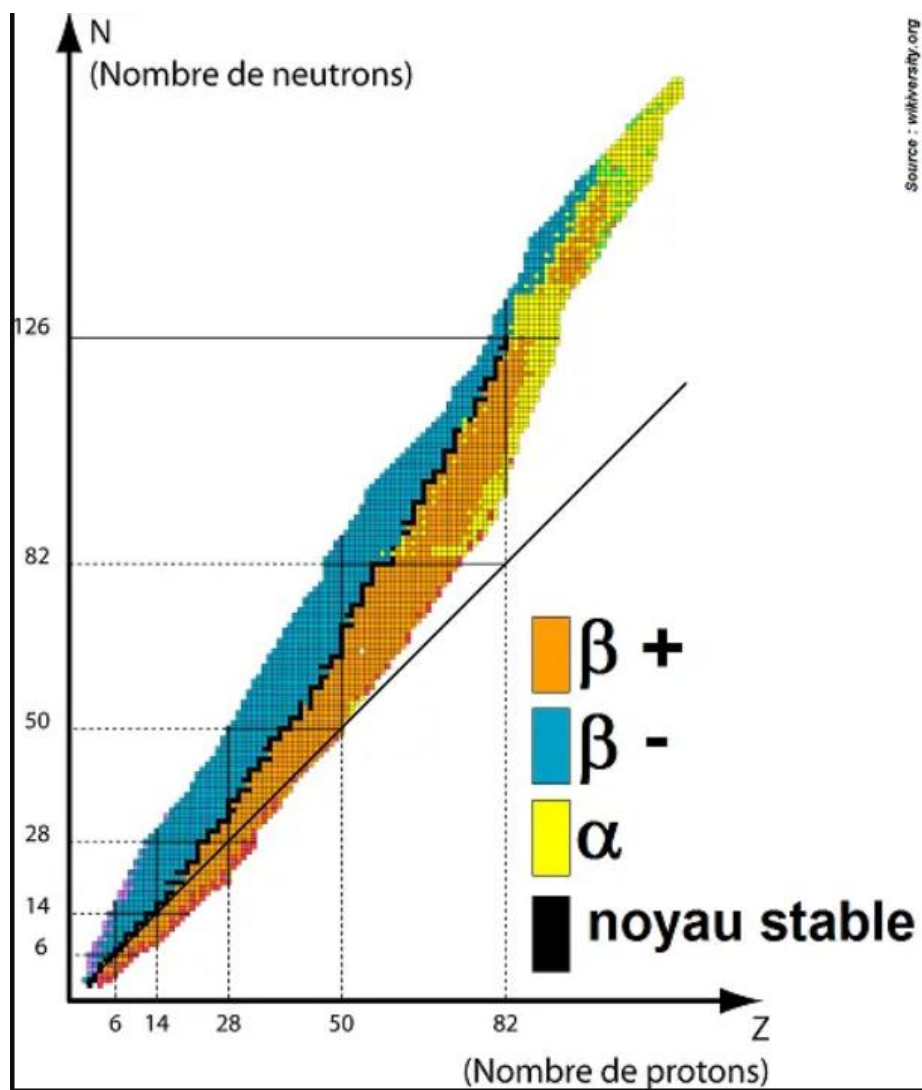
- **Vallée de stabilité :**

Les isotopes stables sont regroupés autour d'une courbe nommée vallée de stabilité (Diagramme de Segré). Cette courbe en figure II.2 représente le nombre de neutrons en fonction du nombre de protons des isotopes connus. Les isotopes stables sont représentés en noir sur le diagramme.

- On constate que pour  $Z < 20$  les isotopes stables suivent la droite bissectrice  $Z = N$ .
- Au-delà de  $Z > 20$  : les éléments stables se situent au-dessus de la droite  $Z = N$  ; il faut davantage de neutrons pour compenser la répulsion électrostatique des protons.
- La vallée de stabilité se termine avec le bismuth 83 au-delà duquel on ne trouve aucuns nucléides stables. les noyaux sont trop lourds et les neutrons ne trouvent plus de place.
- En jaune les éléments lourds et instables donnant lieu à une radioactivité de type  $\alpha$ .



- en bleu, on trouve les isotopes qui subissent une radioactivité de type  $\beta^-$  ce sont les noyaux qui possèdent un excès de neutrons par rapport aux noyaux stables ayant le même nombre de masse A.
- En orange, les noyaux ont un excès de protons par rapport aux noyaux stables ayant le même nombre de masse A. ces noyaux donnent lieu à une radioactivité  $\beta^+$



**Figure II.2 :** Carte des nucléides par type de désintégration  
(Diagramme de Segré)