

## Atomistique.

### Plongez dans le Monde Mystérieux des Atomes!

L'Atomistique, cette fascinante discipline qui a évolué au fil du 20<sup>e</sup> siècle, passant de la simple philosophie à une science intégrée, est au cœur de tout ce qui compose notre univers. Dans les profondeurs atomiques, explorant la structure, les propriétés et le comportement de ces minuscules particules qui constituent toute matière. Que vous soyez passionné de chimie, de physique, de biologie ou de sciences des matériaux, l'atomistique ouvre les portes de la compréhension fondamentale de notre monde et propulse le développement de nouvelles technologies!

### Structure de la matière ; l'Univers des Atomes.

#### Structure, Propriétés et Énergie :

A l'échelle atomique, où la matière se présente sous trois formes distinctes – solide, liquide et gaz – et où chaque atome est une entité chargée d'une mystérieuse énergie. La structure intime de l'atome, avec son noyau central composé de protons et de neutrons, entouré par des électrons en orbite. Mais attention, chaque atome cache ses secrets dans son nuage électronique, où règne une incertitude quantique fascinante.

#### Au Cœur de l'Atome.

#### Noyau, Électrons et Forces Mystérieuses :

Dans le noyau atomique, où la masse est concentrée dans une sphère infiniment petite, gardée en équilibre par des forces nucléaires puissantes. Les énergies de liaison qui maintiennent les électrons en orbite, dansant autour du noyau telles des étoiles dans un univers miniature.

#### Généralités sur l'atome

Un atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent un ou plusieurs électrons.

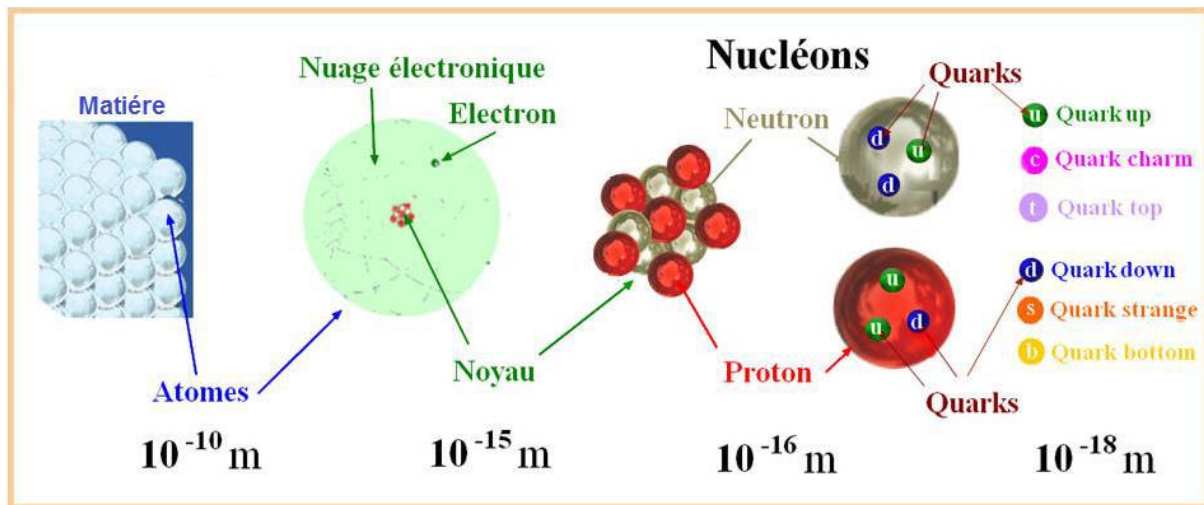
Le noyau de l'atome est composé de **nucléons**, les neutrons et les protons.

L'atome étant électriquement **neutre** (il y a autant de proton que d'électrons).

118 atomes ou éléments ont été découverts (jusqu'à 2022) et chacun d'eux est désigné par son nom et son symbole.

*Exemple :* Hydrogène: H ; Fer: Fe ; Oxygène: O ; Carbone : C

La masse de l'atome est principalement contenue dans le noyau et le volume de l'atome est principalement dû à la taille du cortège électronique (nuage électronique)



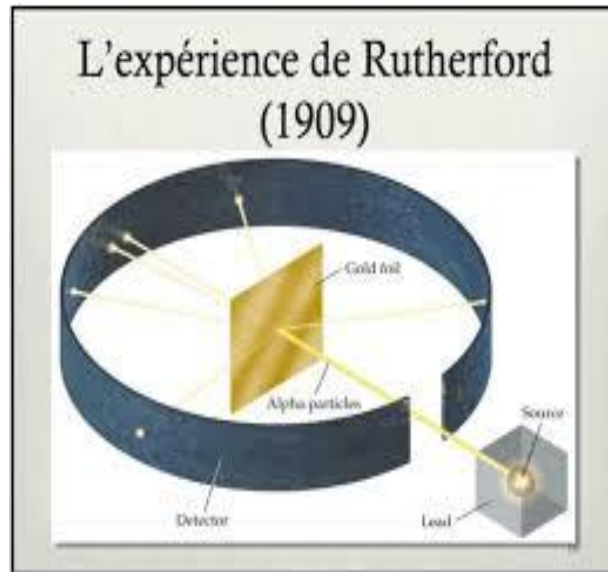
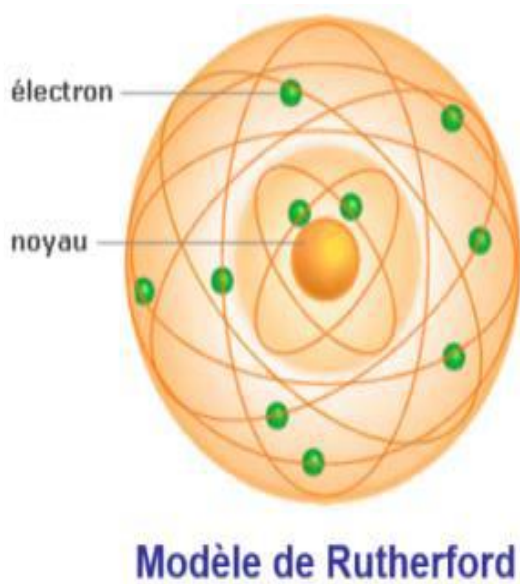
| Particule | Masse                 | Charge              |                 |
|-----------|-----------------------|---------------------|-----------------|
|           |                       | Coulomb             | Unité de charge |
| Proton    | $1.672 * 10^{-27} kg$ | $+1.602 * 10^{-19}$ | +1              |
| Neutron   | $1.675 * 10^{-27} kg$ | 0                   | 0               |
| Électron  | $9.110 * 10^{-31} kg$ | $-1.602 * 10^{-19}$ | -1              |

### Le noyau.

Il a été découvert grâce à l'expérience de Rutherford. Il a déduit que toute la masse de l'atome est concentrée dans une région chargée positivement c'est le **noyau central**. Les électrons négatifs gravitent autour du noyau comme les planètes autour du soleil.

Le noyau est sphérique et son volume sera calculé par la relation:  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$

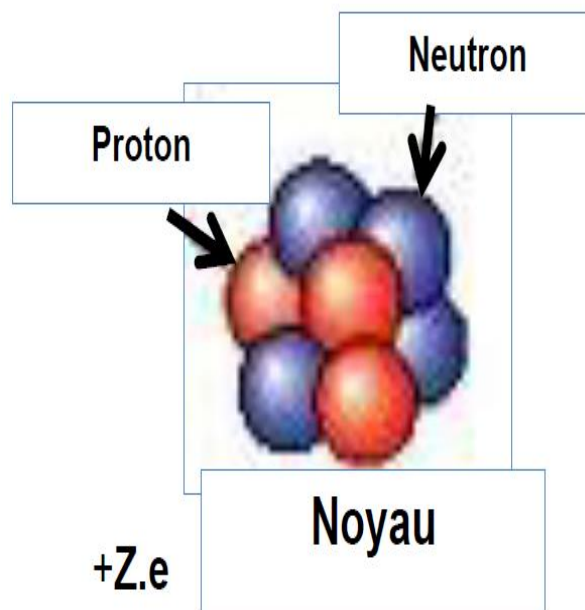
Le rayon de l'atome est 10000 fois plus grand que le rayon du noyau  $R_{atome} = 10^4 R_{noyau}$

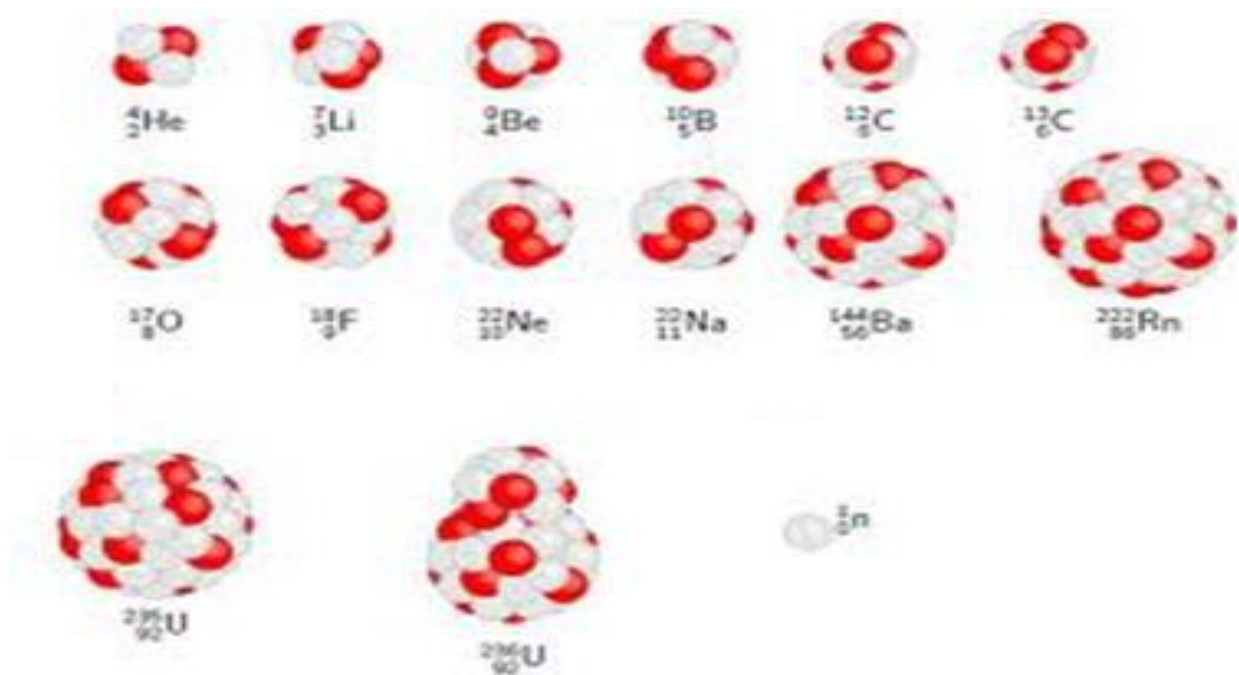


Le rayon d'un noyau mesure dans les environs de  $10^{-15}\text{m}$  (femto-mètre)

Le noyau atomique est constitué de protons et neutrons. Ces constituants du noyau sont appelés **Nucléons** dont le nombre diffère d'un atome à un autre.

Les noyaux atomiques de **nombre de masse A** sont constitués de **Z protons** et **N neutrons**, avec  $A = N + Z$ .





### Électron :

C'est une particule élémentaire de charge négative qui fait partie des composants fondamentaux de l'atome. Il est généralement représenté comme une petite particule en orbite autour du noyau atomique.

Les électrons sont responsables des liaisons chimiques, des propriétés électriques et magnétiques des atomes, ainsi que du comportement des matériaux conducteurs.

**Nuage électronique** : est une représentation probabiliste de la position des électrons autour d'un noyau atomique. Contrairement aux représentations classiques de l'atome avec des orbites spécifiques pour les électrons,

Selon la mécanique quantique, il est impossible de déterminer précisément la position et la vitesse d'un électron à un moment donné. Au lieu de cela, on utilise des fonctions d'onde pour décrire la probabilité de trouver un électron dans une certaine région de l'espace.

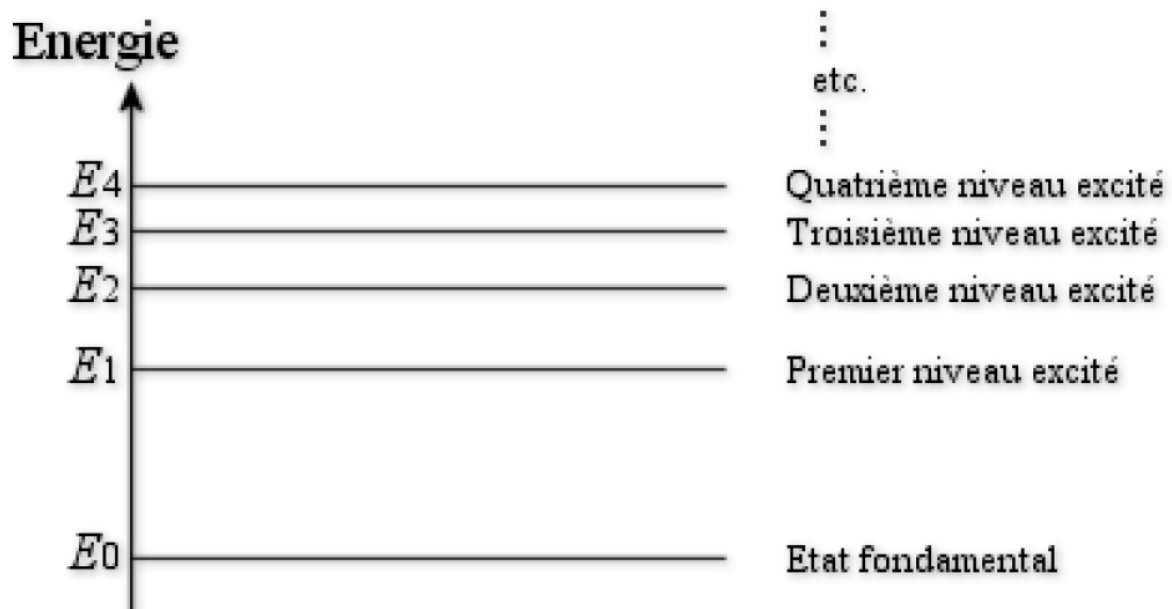
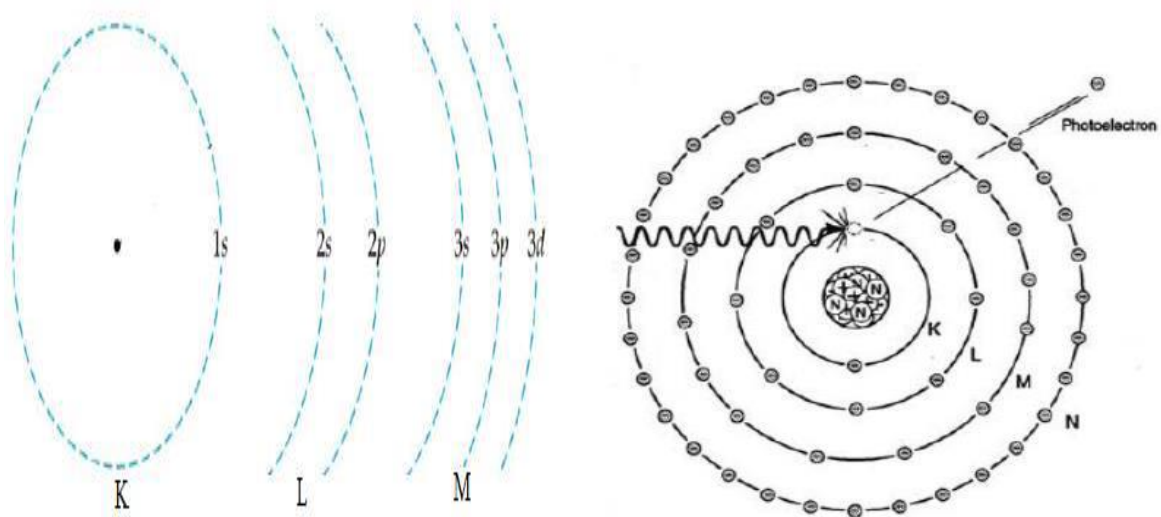
Le nuage électronique est donc une représentation de cette probabilité de localisation des électrons autour du noyau atomique.

Il est généralement représenté comme une région de densité électronique plus élevée où la probabilité de trouver un électron est plus grande, et moins dense là où la probabilité est plus faible.

Les électrons qui tournent autour du noyau gravitent à des distances finies, ces électrons n'échappent pas du domaine atomique et restent liés à leur trajectoire grâce à une énergie dite « énergie de liaison » qui dépend de la position orbitale et elle est caractéristique de l'élément.

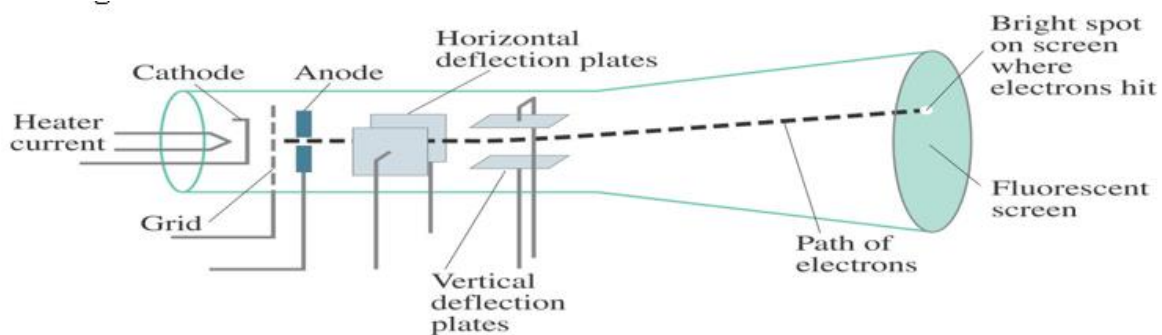
Les électrons les plus liés à l'atome sont les plus proches du noyau plus on s'éloigne plus cette énergie de liaison est faible,

Il est facilement arraché à l'édifice atomique (13.6eV)



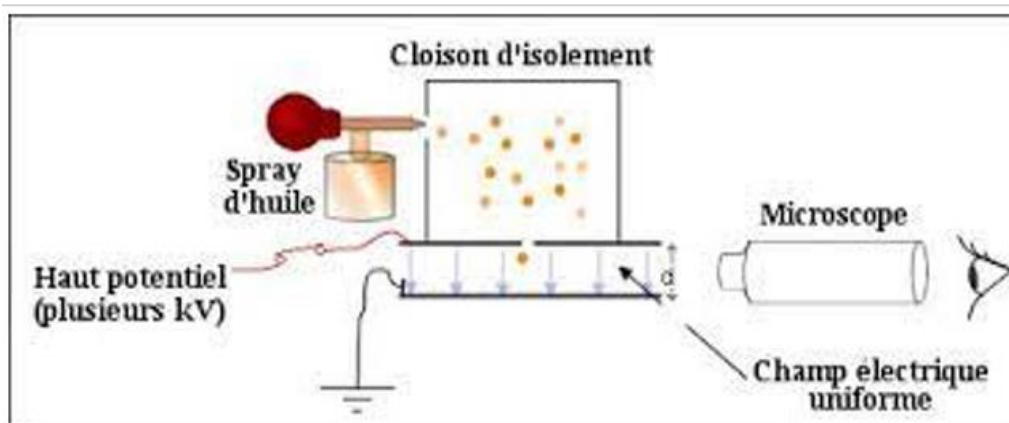
Le diagramme en énergie

La charge négative de l'électron a été mise en évidence par J. Perrin (physicien français) en 1895 par l'expérience dite des rayons cathodiques. En 1897, le physicien anglais J. J. Thomson a déterminé le rapport charge/masse de cette particule élémentaire. En 1906, Thomson montre que l'atome d'hydrogène ne contient qu'un électron.



L'expérience de Thomson

En 1909, l'américain R. Millikan grâce à une expérience dite de la gouttelette d'huile mesura la charge de l'électron.



L'expérience avec les gouttelettes d'huile

Un atome est caractérisé par deux entiers différents de zéro notés **A** et **Z** et est représenté par le nucléide.

**Un nucléide** est noté  ${}^A_ZX$ .

**X** est le nom du nucléide,

**A** est le nombre de masse qui correspond au nombre de nucléons (neutrons et protons)

**Z** est le numéro atomique qui correspond au nombre de protons, mais aussi d'électrons.

**Z=nombre de protons =nombre d'électrons**

On peut trouver le nombre de neutrons **N** par la formule **A = Z + N** donc **N = A - Z**

**Exemple.**  ${}^{12}_6C$  est le carbone qui possède 6 électrons, 6 protons, et  $12-6=6$  neutrons.

**L'unité de masse atomique (uma)** est l'unité pratique de mesure du poids d'un atome, la référence est l'atome  ${}^{12}_6C$  qui pèse 12u.

On estime ainsi que  $1u \sim m_{proton} \sim m_{neutron}$

On peut ainsi définir le **nombre d'Avogadro** qui est le nombre d'atomes de  $^{12}_6\text{C}$  contenus dans 12 grammes de  $^{12}_6\text{C}$ :  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}$ ,

Une mole est composée de  $6,022 \cdot 10^{23}$  entités (molécules, atomes etc...).

Cette unité n'appartient pas au système international (SI), et sa valeur est obtenue expérimentalement. Elle est définie comme 1/12 de la masse d'un atome du nucléide  $^{12}\text{C}$  (carbone), non lié, au repos, et dans son état fondamental. En d'autres termes un atome de  $^{12}\text{C}$  a une masse de 12 u et si on prend N (nombre d'Avogadro) atomes de  $^{12}\text{C}$ , on aura une masse de 12 g ;

En conséquence

Un électronvolt est égal à l'énergie acquise par un électron accéléré par une tension de un volt . Concrètement :  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

$$1 \text{ u.m.a} = 931 \cdot 10^6 \text{ eV} = 931 \text{ MeV}$$

**La masse molaire M** d'une entité est la masse d'une mole de cette entité : pour une mole d'atome  $^A_Z\text{X}$  alors  $M \sim A \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Par exemple**:  $M(^{12}_6\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(^{14}_7\text{N}) = 14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

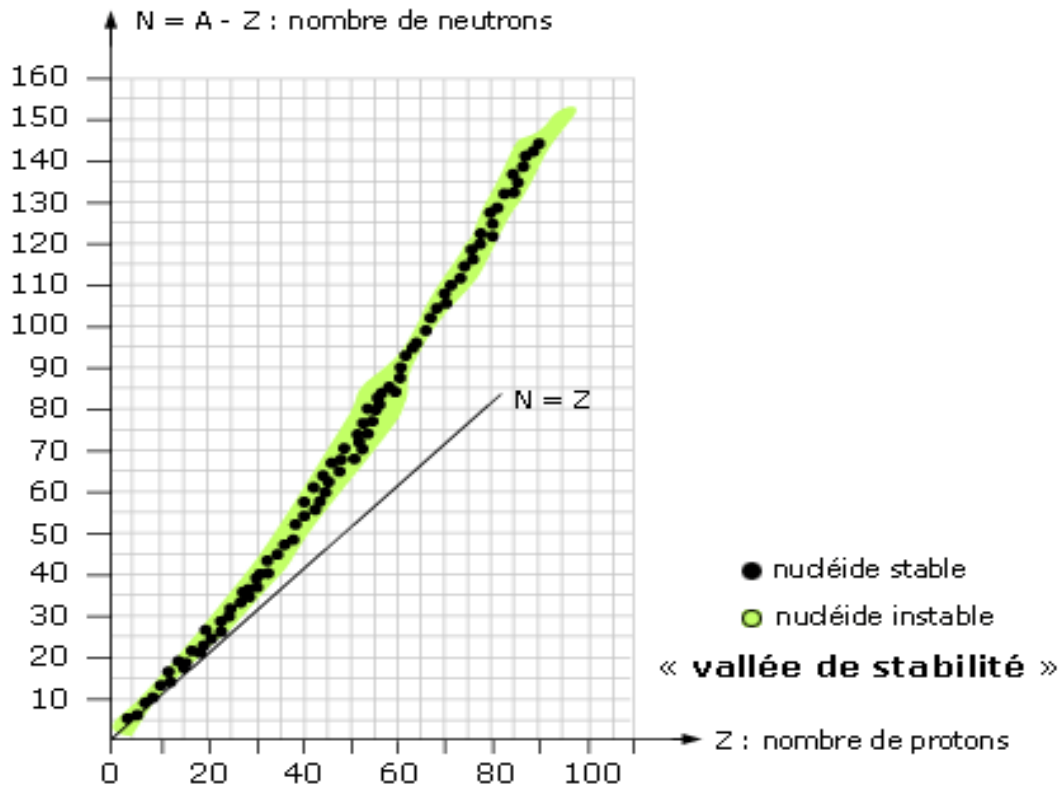
**Tableau de conversion**

| Particule | Kg ( $10^{-27}$ ) | u.m.a | MeV |
|-----------|-------------------|-------|-----|
| Proton    | 1,67              | 1,007 | 938 |
| neutron   | 1,68              | 1,008 | 939 |

**La stabilité du noyau.**

Les noyaux de faible poids atomique suivent la bissectrice ( $N=Z$ )

Le nuage des atomes dévie du côté de prédominance neutronique ( $N>Z$ ) mais restent stable)

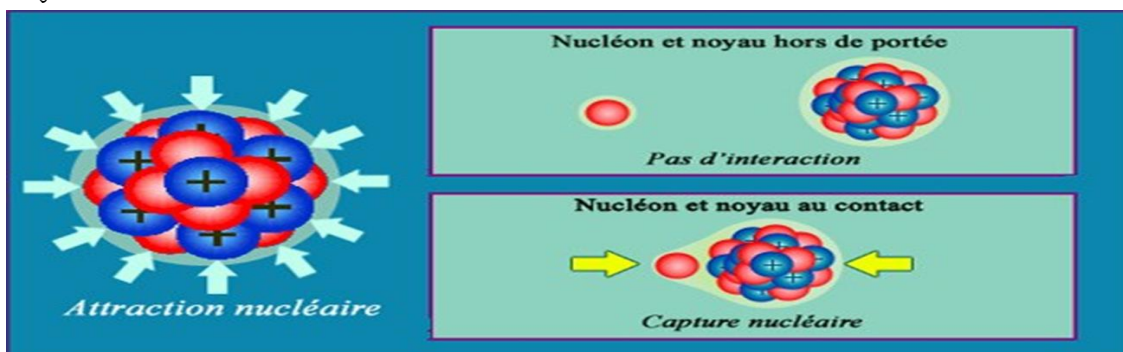


### Trois types de forces dans le noyau :

Dans les profondeurs du noyau, où trois forces – forte, électromagnétique et faible – *entrent en compétition* en une étrange harmonie expliquant ainsi les secrets de la radioactivité, où les noyaux instables cherchent désespérément la stabilité, échangeant des particules pour trouver leur équilibre.

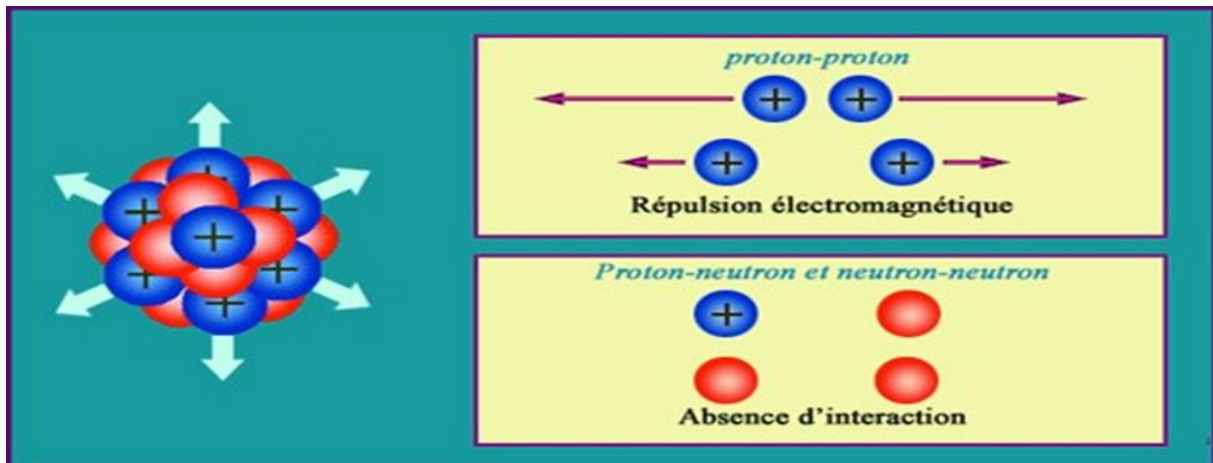
**La force interaction forte** qui assure la cohésion des noyaux car est attractive. Elle est responsable aussi de la radioactivité  $\alpha$ .

A distance d'un noyau, un proton ou un neutron ne la ressentent pas. L'attraction se fait fortement sentir dès que le nucléon (ici un neutron) entre en contact avec le noyau. Il est alors capturé. Cette colle nucléaire a été représentée sur la figure enrobant nucléons et les noyaux.



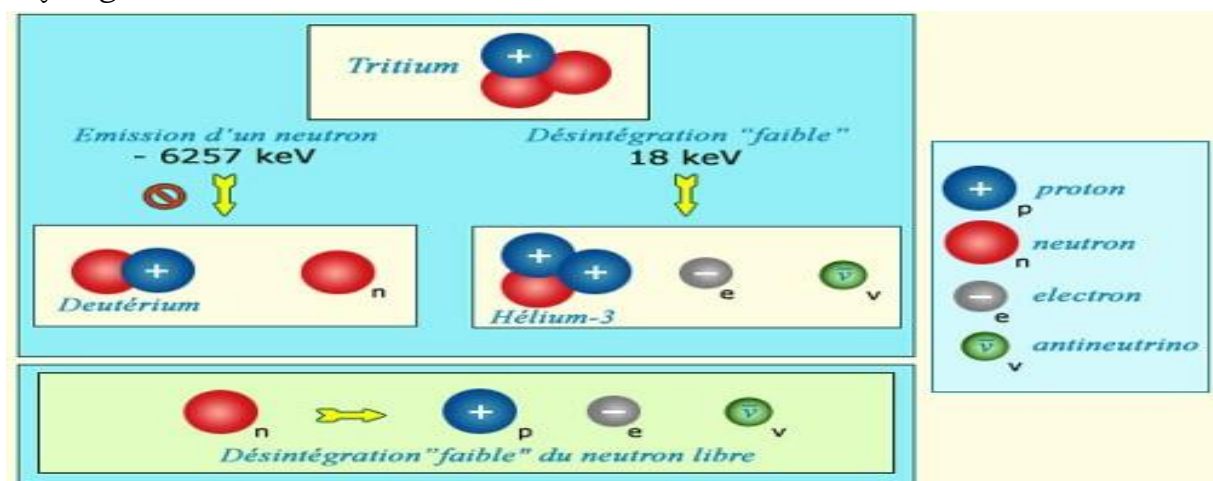
**La force d'interaction électromagnétique** ou bien **la répulsion électromagnétique des protons** qui est moins intense.

Deux charges électriques de même signe se repoussent. Cette répulsion varie en raison inverse de la distance selon la loi de Coulomb. Les protons (en bleu) sont soumis à cette répulsion dans le noyau, contrairement aux neutrons (en rouge) dépourvus de charge électrique qui ne subissent pas la « répulsion coulombienne ». Sans les forces nucléaires qui combattent la répulsion des protons, le noyau exploserait. Il faut que ces forces soient très intenses pour arriver à confiner les protons dans un volume aussi petit que le noyau.



La **force d'interaction faible**, est ni attractive, ni répulsive, elle agit à l'intérieur même des nucléons. Elle transforme une espèce de nucléon (proton ou neutron) dans l'autre espèce et vice-versa, provoquant la radioactivité  $\beta$ . La stabilité ou l'instabilité d'un noyau sont le résultat de la compétition entre ces trois interactions.

Sans la « **force faible** », le soleil s'arrêterait de briller parce qu'il ne pourrait pas fusionner l'hydrogène en deutérium.



### Défaut de masse et énergie de cohésion d'un noyau

La masse d'un noyau est légèrement inférieure à la somme des masses des protons et des neutrons qui le constituent. La différence entre ces deux masses, appelée défaut de masse et notée  $\Delta m$ , se calcule par la relation suivante :

$$\Delta m = \sum m_{\text{nucléons}} - m_{\text{noyau}} = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{\text{noyau}}$$

où  $Z$  et  $A$  sont le numéro atomique et le nombre de masse du noyau et  $m_{\text{noyau}}$  la masse du noyau.

Le défaut de masse correspond à l'énergie de liaison  $W$  de l'ensemble des nucléons dans le noyau :

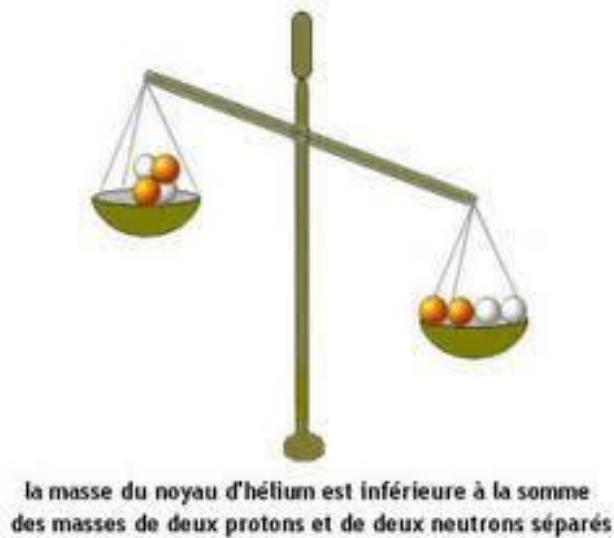
$$W = \Delta m \cdot c^2 \quad (c : \text{vitesse de la lumière}).$$

Exemple:

Le noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ :  $M = 4,003 \text{ u}$

Alors que  $2m_p + 2m_n = 4,03 \text{ u}$

On déduit donc que  $\Delta m = 0,027 \text{ u} = 25,13 \text{ MeV}$



### Le nombre magique.

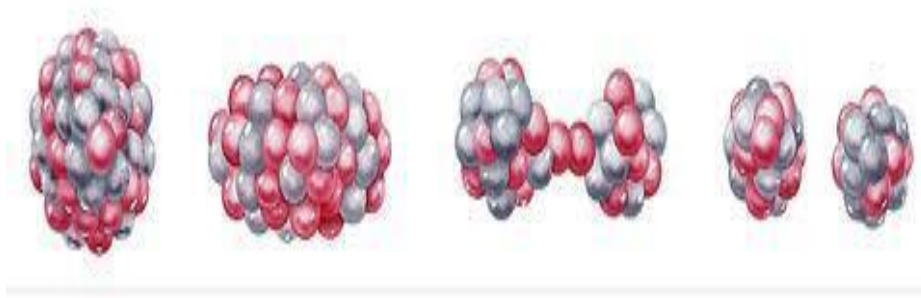
Pour les éléments légers, le nombre de neutrons est sensiblement égal au nombre de protons et pour les éléments lourds sont stabilisés par un excès de neutrons.

Les nucléides les plus stables ceux qui possèdent un nombre de protons ou de neutrons égal à 2, 8, 20, 28, 50, 82, ou 126: ce sont les nombres magiques.

Modèles nucléaires: Il existe deux principaux modèles du noyau

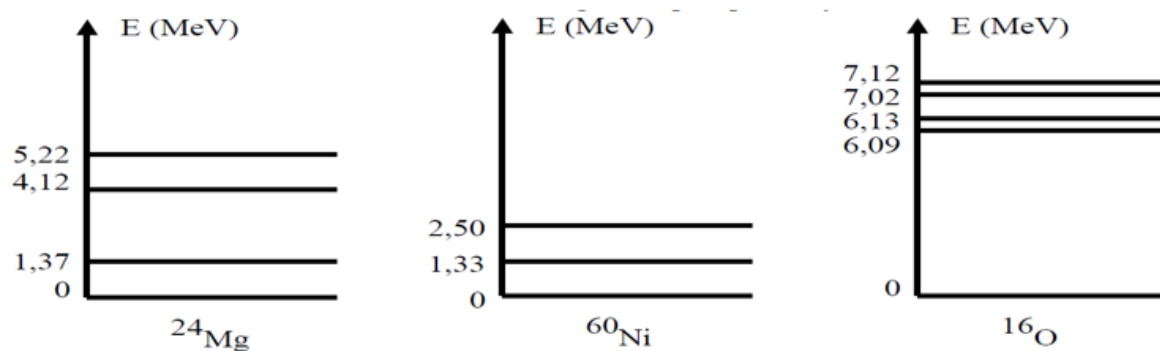
**Le modèle de la goutte liquide** : Où les nucléons gardent leurs propriétés et interagissent entre eux par interaction forte

Ce modèle explique la fission nucléaire et les émissions de particules à partir du noyau.



### Le modèle en couche.

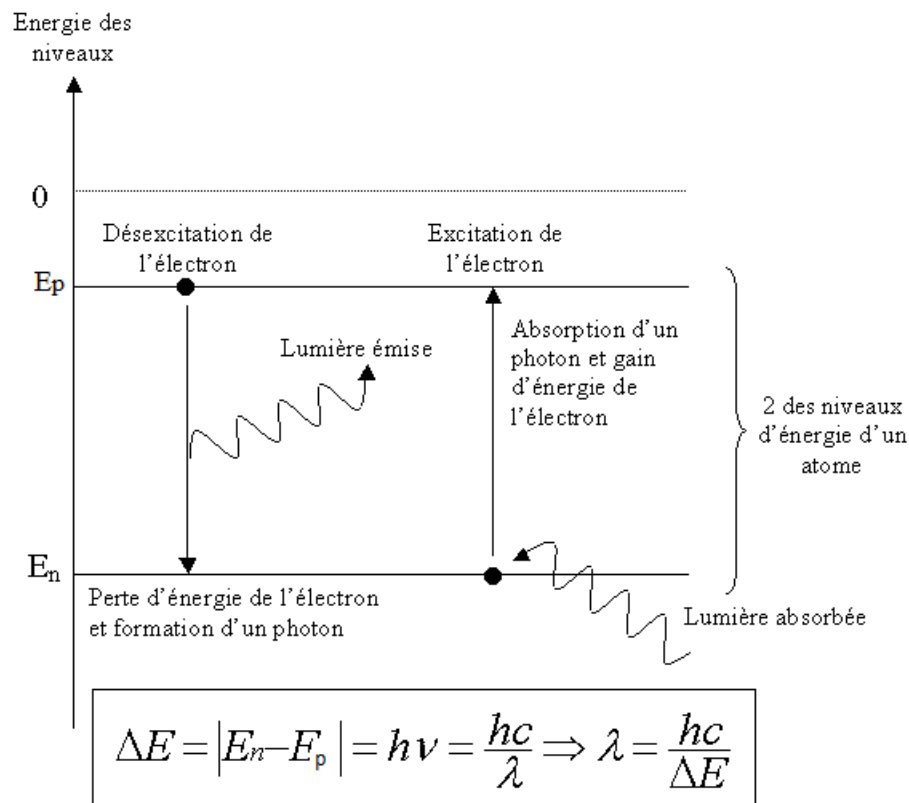
Les nucléons sont disposés sur des niveaux d'énergies et peut expliquer l'émission de REM du noyau.



Premiers niveaux d'énergie de quelques noyaux

### Transition radiative

Un atome peut gagner ou céder de l'énergie en faisant transiter un électron d'un niveau d'énergie quantifiée  $E_n$  à  $E_p$ . C'est une transition d'énergie électronique. Lors d'une transition électronique, les atomes émettent ou absorbent des photons. Lors d'une transition radiative, les noyaux instables émettent des émissions radioactives pour retrouver leur stabilité.



Les différentes interactions existantes :

| interaction       | portée            | intensité  | Champ d'action             | exemples                                                 |
|-------------------|-------------------|------------|----------------------------|----------------------------------------------------------|
| forte             | $10^{-15}$ m      | 1          | noyau des atomes           | fission et fusion nucléaire                              |
| électromagnétique | infinie ; $1/r^2$ | $10^{-2}$  | de l'atome à l'étoile      | électricité ; magnétisme ; émission de lumière visible ; |
| faible            | $10^{-17}$ m      | $10^{-6}$  | noyaux d'atomes            | émission $\beta$                                         |
| gravitationnelle  | infinie ; $1/r^2$ | $10^{-40}$ | étoiles, galaxies, univers | attraction universelle ; mouvement des planètes ; marées |

**Les isotopes.**

Des isotopes ont un même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons

Exemple: les isotopes de l'hydrogène  $^1_1H$  (Hydrogène)  $^2_1H$  (Deutérium)  $^3_1H$  (Tritium)

les isotopes de l'oxygène  $^{15}_8O$ ;  $^{16}_8O$ ;  $^{17}_8O$

les isotopes du carbone  $^{12}_6C$ ;  $^{13}_6C$ ;  $^{14}_6C$ .

La plupart des éléments existent à l'état naturel sous forme d'un mélange d'isotopes, dont l'abondance (%) de chacun est différente dans la nature, on définit alors :

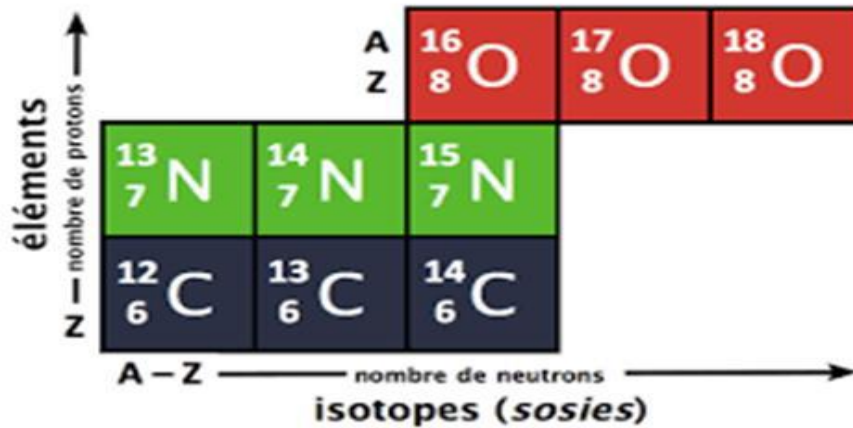
**La masse moyenne d'un atome.**

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot m_i}{100} \quad x_i: \% \text{ de l'isotope}; m_i: \text{masse de l'isotope}; \sum_{i=1}^n x_i = 100$$

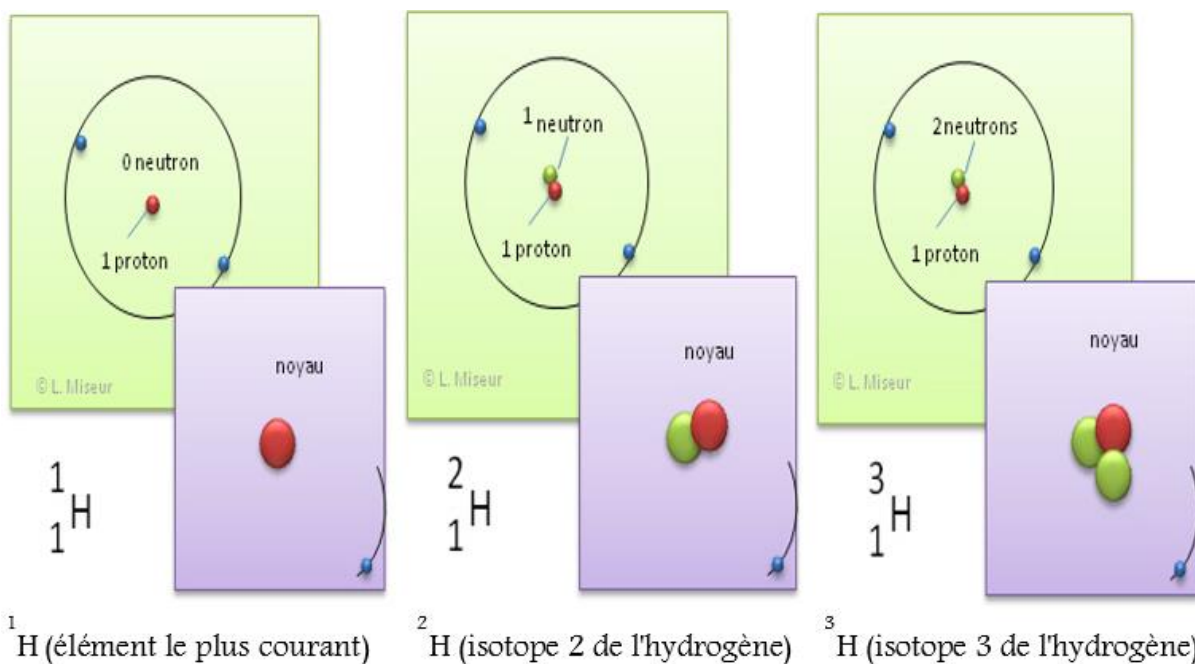
Par exemple : il existe deux principaux isotopes naturels du brome, le  $^{79}\text{Br}$  et le  $^{81}\text{Br}$  avec des abondances respectives de 50% chacun :

$$M = 0,5 \times 79 + 0,5 \times 81 = 80 \text{ g.mol}^{-1}.$$

Les isotopes instables se décomposent plus ou moins vite en donnant d'autres noyaux et en libérant de l'énergie. Ce phénomène est appelé radioactivité naturelle ou artificielle



L'hydrogène. Il existe d'autres atomes qui ont les mêmes propriétés chimiques que l'élément hydrogène. Ils ont le même nombre de protons et d'électrons, mais leurs nombres de neutrons sont différents.



Ces atomes ont les mêmes propriétés chimiques. En effet, ces propriétés sont déterminées par le nombre d'électrons et celui-ci reste identique. ATTENTION ! Ces atomes n'ont pas les mêmes propriétés physiques (leur masse est déjà différente).

**Les isobares** : ce sont des éléments qui ont le même nombre de masse A et des numéros atomiques Z différents.

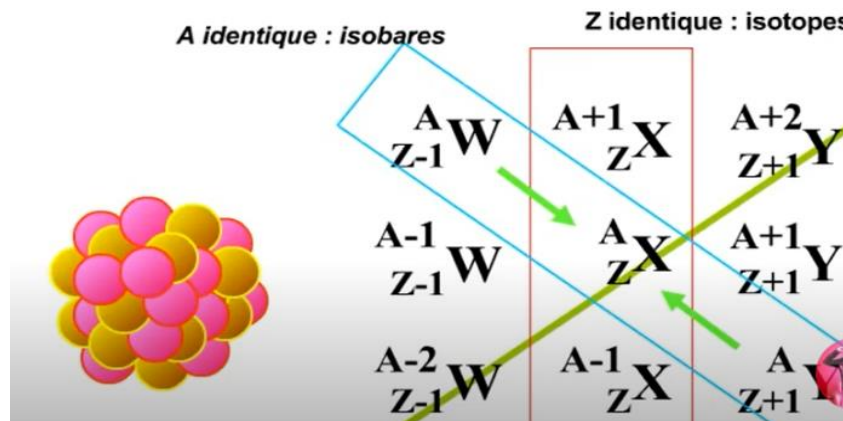
Exemple  $^{15}_8\text{O}$  et  $^{15}_7\text{N}$

**Les isotones** : Ce sont des éléments qui ont le même nombre de neutrons

Exemple  $^{16}_8\text{O}$  et  $^{15}_7\text{N}$  avec  $^{17}_9\text{F}$

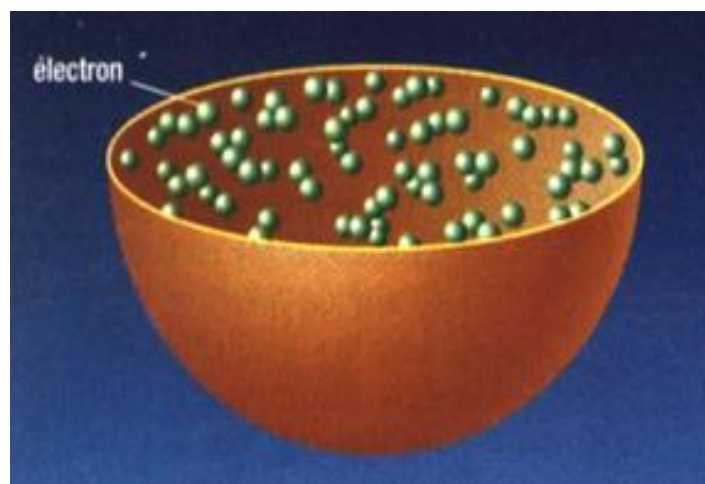
Les isomères sont des atomes ayant le même nombre de protons (même Z), même nombre de neutron (même N), et même nombre de nucléons (même A) mais ils diffèrent par leurs énergies

Exemple: Le technétium 99m, noté  $^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$ , est un isomère nucléaire de l'isotope du technétium  $^{99}_{43}\text{Tc}$  dont le nombre de masse est égal à 99. Il est utilisé en médecine nucléaire pour effectuer de nombreux diagnostics.

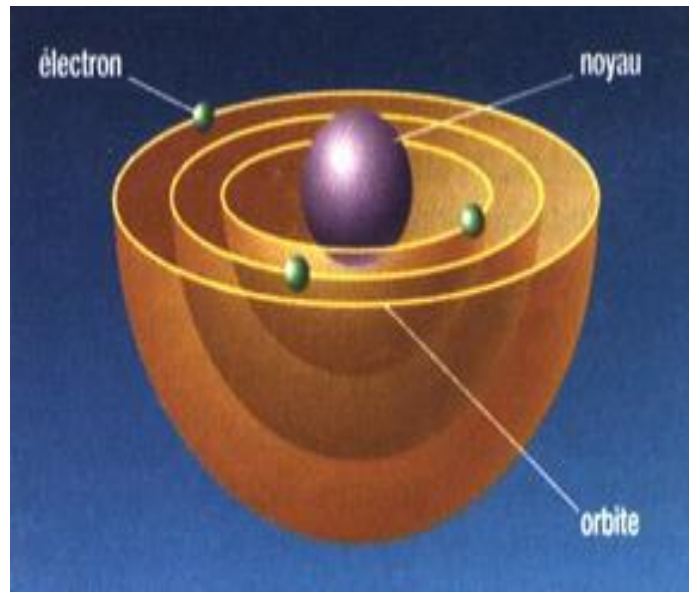


### De Thomson à Schrödinger: L'Évolution des Modèles Atomiques :

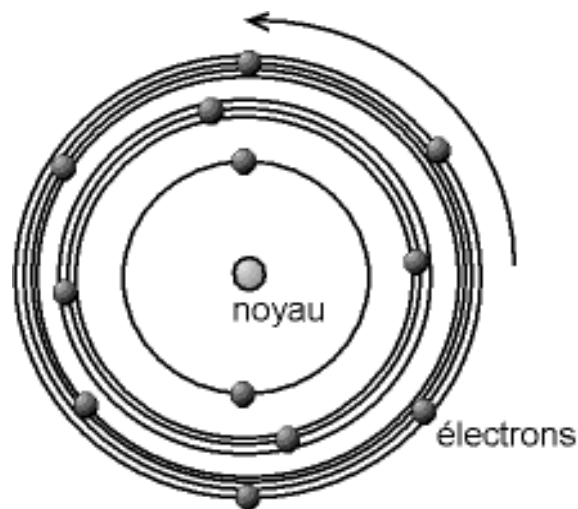
1887, THOMSON découvre l'électron et lui donne son nom, il imagine alors l'atome comme un cake au raisin où les électrons négatifs sont éparpillés dans une matière positive afin de neutraliser l'atome.



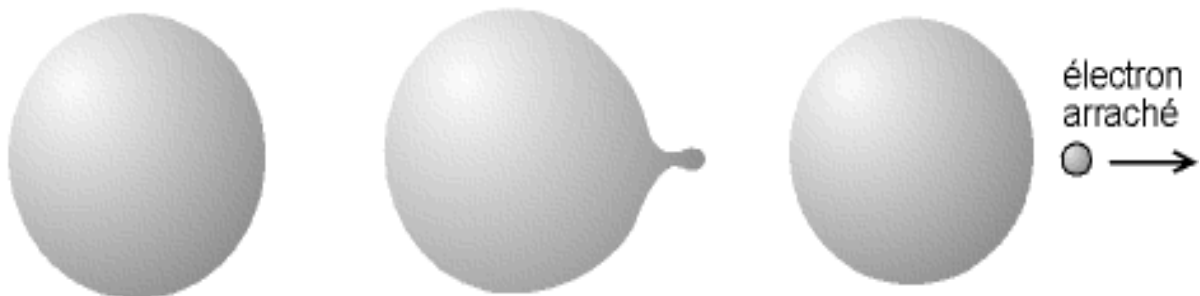
1911, RUTHERFORD introduit le modèle du système solaire, avec un noyau central (neutron et proton) et des électrons qui orbitent autour de lui.



1913, BOHR révolutionne l'atome par son modèle à niveau d'énergie comptant un nombre fixe d'électron, ces travaux furent repris par EINSTEIN qui introduit le modèle quantique de l'atome.



1926, SCHRÖDINGER qui donne le modèle où l'électron se trouve dans un nuage (orbitale), avec impossibilité de savoir avec précision où se trouve cet électron.



nuage électronique  
Tableau de Mendeleïev .

Tableau périodique simplifié des éléments

|                                                               |                                                                |                                                                |                                                               |                                                               |                                                            |                                                             |                                                            |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <div>1</div> <div>H</div> <div>1</div> <div>Hydrogène</div>   |                                                                |                                                                |                                                               |                                                               |                                                            |                                                             | <div>4</div> <div>He</div> <div>2</div> <div>Hélium</div>  |
| <div>7</div> <div>Li</div> <div>3</div> <div>Lithium</div>    | <div>9</div> <div>Be</div> <div>4</div> <div>Béryllium</div>   | <div>11</div> <div>B</div> <div>5</div> <div>Bore</div>        | <div>12</div> <div>C</div> <div>6</div> <div>Carbone</div>    | <div>14</div> <div>N</div> <div>7</div> <div>Azote</div>      | <div>16</div> <div>O</div> <div>8</div> <div>Oxygène</div> | <div>19</div> <div>F</div> <div>9</div> <div>Fluor</div>    | <div>20</div> <div>Ne</div> <div>10</div> <div>Néon</div>  |
| <div>23</div> <div>Na</div> <div>11</div> <div>Sodium</div>   | <div>24</div> <div>Mg</div> <div>12</div> <div>Magnésium</div> | <div>27</div> <div>Al</div> <div>13</div> <div>Aluminium</div> | <div>28</div> <div>Si</div> <div>14</div> <div>Silicium</div> | <div>31</div> <div>P</div> <div>15</div> <div>Phosphore</div> | <div>32</div> <div>S</div> <div>16</div> <div>Soufre</div> | <div>35</div> <div>Cl</div> <div>17</div> <div>Chlore</div> | <div>40</div> <div>Ar</div> <div>18</div> <div>Argon</div> |
| <div>39</div> <div>K</div> <div>19</div> <div>Potassium</div> | <div>40</div> <div>Ca</div> <div>20</div> <div>Calcium</div>   | <div>...</div>                                                 |                                                               |                                                               |                                                            |                                                             |                                                            |

Nombre de masse

→ 12

Numéro atomique

→ 6

→ C

← Symbole chimique

Carbone

**Conclusion.**

L'atomistique nous ouvre les portes d'un univers infiniment petit et les connaissances acquises nous ont permis de développer un grand nombre de sciences, et c'est sûrement les sciences médicales qui ont été les plus intéressantes (biochimie, médecine nucléaire, radiologie...).