

# LES PARTICULES ELEMENTAIRES.

## 1. CHRONOLOGIE DES PARTICULES ELEMENTAIRES.

**LEUCIPPE 445 av. J.C.**  
prononce le mot  
**ATOME**

**NEWTON (1642-1727)**  
utilise "l'hypothèse des atomes" pour expliquer la détente des gaz

**CHADWICK 1932**  
découvre  
**LE NEUTRON**

**GELL-MANN 1963**  
élabora avec Zweig le modèle des  
**QUARKS**

**PERRIN 1910**  
détermine la masse de l'atome d'hydrogène

**EINSTEIN 1905**  
il énonce la formule de l'équivalence masse-énergie  $E = mc^2$

**PAULI 1932**  
découvre  
**LE NEUTRINO**

**RUTHERFORD 1911** : il met en évidence l'existence du noyau  
**1917** : il met en évidence  
**LE PROTON**

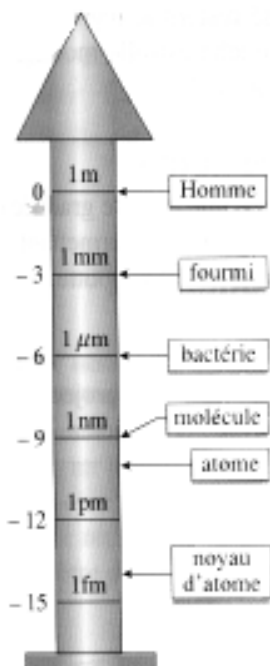
**MILLIKAN 1911**  
mesure la charge élémentaire

**ANDERSON 1932**  
découvre  
**LE POSITRON**

## 1. AU COEUR DE LA MATIERE: L'INFINIMENT PETIT.

Nous nous représentons facilement des objets dont la taille ou la distance qui les sépare s'échelonnent du millimètre jusqu'au kilomètre. En revanche, il est plus difficile de se repérer dans le domaine microscopique ou le domaine cosmique.

Vers le domaine microscopique, à 0,1 mm, notre oeil jette déjà l'éponge. A 0,0001 mm, c'est au tour du microscope optique utilisé en SVT de déclarer forfait. Pour voir plus petit, les scientifiques ont mis au point différents types de microscopes n'utilisant pas la lumière visible: électronique, à rayons X, ou encore à champ proche. Reste à choisir le bon outil.



### 1.1. QU'EST-CE QU'UN ATOME ?

**Matière**

**Atome (1805)**

**Électron (1897)**

**Noyau (1913)**  
Le noyau est 10 000 fois plus petit que l'atome.  
(en ordre de grandeur)

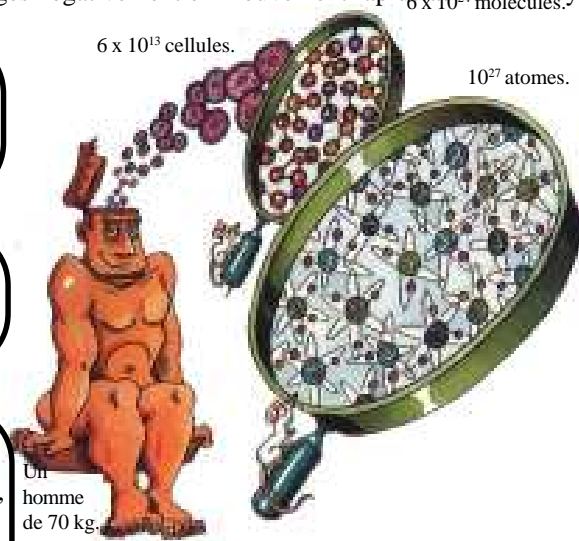
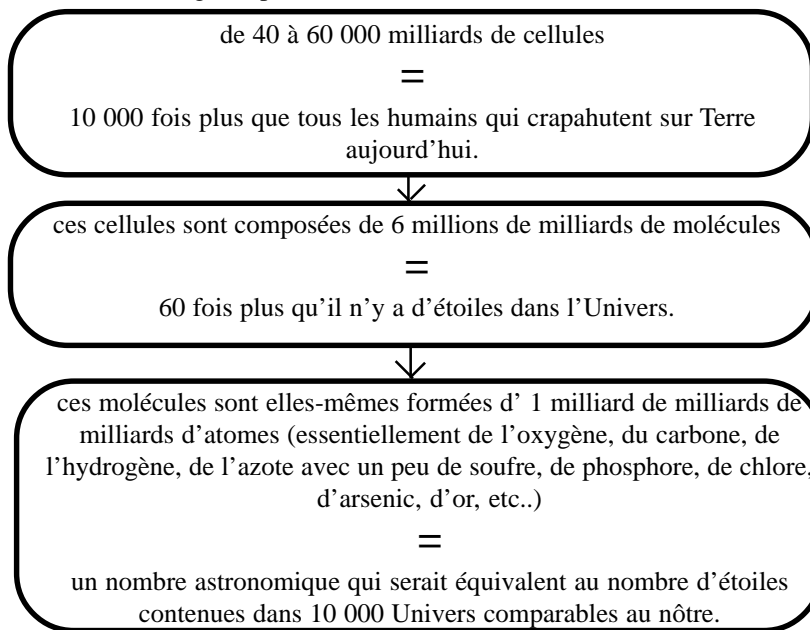
Letres grecques  
ν (nu): symbole du neutrino  
μ (mu): symbol du muon (μ<sup>-</sup>) et de l'antimuon (μ<sup>+</sup>)  
τ (tau): symbol du tau (τ<sup>-</sup>) et de l'antitau (τ<sup>+</sup>)

L'atome mesure 10<sup>-7</sup> mm soit 0,000 000 1 mm.

Toute la matière de l'univers, toute substance, vivante ou inerte, est constituée à partir de particules très petites appelées **atomes**. Les atomes peuvent être assimilés à des sphères dont le rayon est de l'ordre de 0,1 nm (1 nm =  $10^{-9}$  m), soit  $10^{-10}$  m. Ils ne peuvent évidemment pas être vus à l'oeil nu ni au microscope optique. On détecte leur présence grâce au microscope à effet tunnel ou au microscope à force atomique.

Depuis le collège, nous savons qu'un atome est constitué:- d'un noyau central chargé positivement;  
- d'électrons chargés négativement en mouvement rapide autour du noyau.

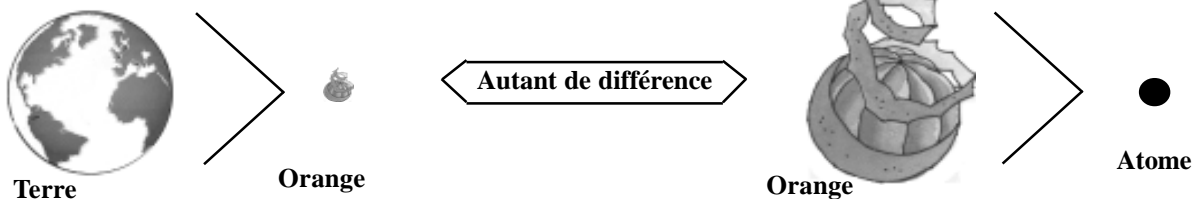
Un homme de 70 kg compte:



Si un atome mesurait **1 mm**, une cellule friserait les **10 cm** et un homme de 1,75 m plafonnerait à **1 750 km** de haut !

## 1.2. LA STRUCTURE LACUNAIRE DE L'ATOME.

**Le rayon des atomes** est de l'ordre de 100 picomètres (1 pm =  $10^{-12}$  m), soit  $10^{-10}$  m. Pour se faire une idée de la taille moyenne d'un atome, il y a autant de différence entre la taille d'une orange et la Terre, qu'entre celle d'un atome et cette même orange.



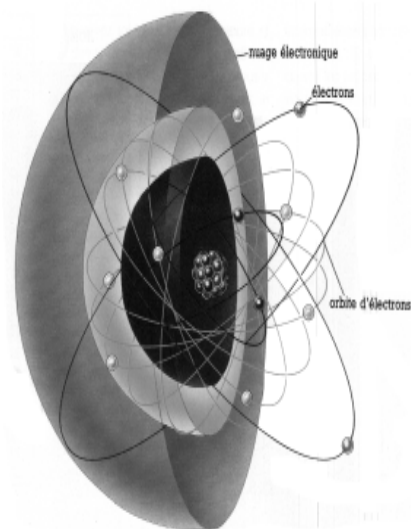
**Le noyau** est lui-même environ 100 000 fois plus petit que le rayon de l'atome. Un atome est donc formé d'un noyau très petit autour duquel des électrons se déplacent à très grande distance.

Pour mieux se rendre compte des ordres de grandeur relatifs du rayon du noyau et du rayon atomique, on peut imaginer:

- un noyau qui aurait la taille d'une balle de tennis, dont le rayon est à peu près égal à 3 cm. Le rayon atomique serait alors égal à 3 km.
- un atome qui aurait la taille du Stade de France, son noyau aurait environ la taille d'une tête d'épingle placée au centre du terrain.

De plus, toute la masse de l'atome est pratiquement concentrée dans le noyau. L'atome est donc constitué essentiellement de vide. On dit qu'il possède une **structure lacunaire** (lacune signifie absence de matière ou espace vide). Il n'y a pas d'air, c'est le vide.

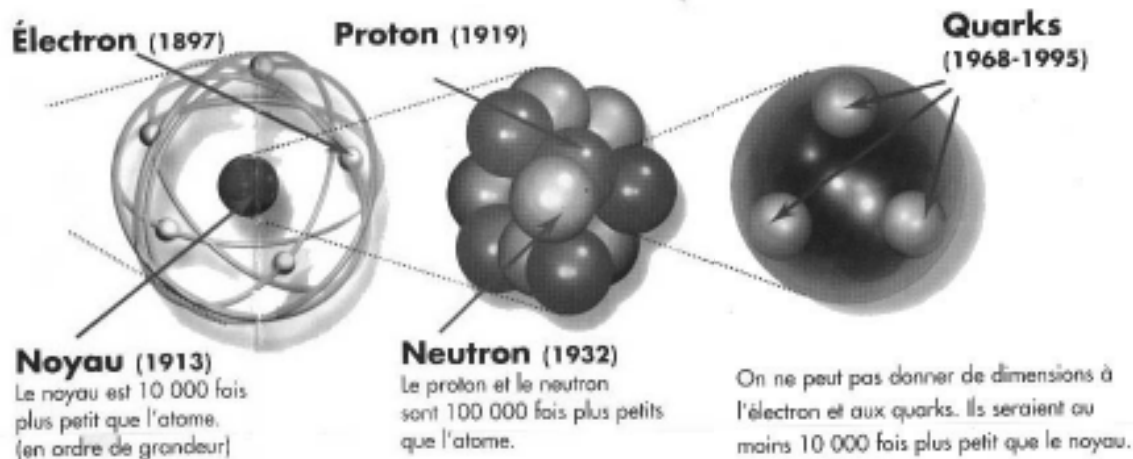
Pour mieux se rendre compte de la notion de vide, quelques exemples:



- Frédéric Joliot-Curie utilisait l'image suivante: "si l'on pressait les uns contre les autres les noyaux des atomes de toute l'humanité, ils occuperaient un volume inférieur à celui d'un dé à coudre".

- si on supprimait le vide intérieur de tous les atomes constituant la Terre, on pourrait les rassembler dans une boule de 150 m de rayon.

## 2. LES PARTICULES ELEMENTAIRES.



### 2.1. L'ELECTRON.

En 1897, les expériences de J.J. Thomson permirent de déterminer la masse et la charge d'une nouvelle particule: l'électron.

L'électron peut être considéré comme ponctuel. sa masse est  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg et il porte une charge négative  $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Comme toutes les observations montraient que l'atome est neutre, Thomson affirma que l'atome contient également une partie positive.

### 2.2. NEUTRONS ET PROTONS.


En 1911, E. Rutherford et ses collaborateurs découvrirent que la charge positive de l'atome est localisée au centre de l'atome.

Le noyau est lui-même constitué de nucléons: les protons et les neutrons.

Chaque noyau est caractérisé par:


- le nombre A de nucléons qui le constituent;
- le nombre Z de protons (nombre de charge, numéro atomique).
- le nombre A - Z de neutrons.

On symbolise le noyau d'un atome X par  ${}^A_Z X$ .



James Chadwick  
(1891-1974)  
Prix Nobel en 1935

L'atome d'hélium contient deux protons et l'atome d'hydrogène un seul. Or le rapport des masses de ces atomes n'est pas 2, mais 4 ! Chadwick va expliquer cette anomalie en découvrant que le noyau contient, en plus des protons, des particules non chargées qu'il appelle neutrons. Leur masse est pratiquement la même que celle des protons. Il obtint le Prix Nobel en 1935, pour avoir découvert l'existence du neutron.



On rappelle qu'il peut exister plusieurs noyaux différents contenant le même nombre Z de protons. Ces noyaux ne diffèrent que par le nombre de neutrons. Ce sont des *isotopes* de l'élément de numéro atomique Z.

#### Exemple.

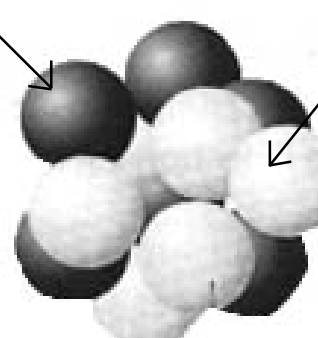
${}^1_1\text{H}$  et  ${}^2_1\text{H}$  (deutérium)  ${}^3_1\text{H}$  (tritium) sont deux isotopes de l'hydrogène;  ${}^{12}_6\text{C}$  et  ${}^{14}_6\text{C}$  sont des isotopes du carbone.

**LE PROTON.**

Diamètre:  $10^{-15}$  m

Masse:  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg  
(2 000 x sup à celle de l'électron)

Charge: positive  
 $+1,6 \cdot 10^{-19}$  C



**LE NEUTRON.**

Diamètre:  $10^{-15}$  m

Masse:  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg  
(2 000 x sup à celle de l'électron)

Charge: neutre  
(d'où son nom)

### 2.3. LA CHARGE ELEMENTAIRE.

La valeur de la charge de l'électron fut confirmée expérimentalement en 1909 par R. Millikan. Comme l'électron n'est pas divisible et que sa charge a la même valeur absolue que celle du proton, on définit une charge électrique élémentaire.

La charge électrique élémentaire est la valeur absolue de la charge d'un électron. Elle est notée  $e$ :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Elle n'a pas de signe.

La charge électrique d'un proton est donc  $q_p = +e = + 1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

Alors que la charge électrique d'un électron est donc  $q_e = - e = - 1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

### 2.4. PARTICULES ELEMENTAIRES ET QUARKS.

Jusqu'à il y a environ 20 ans, on pensait que les protons et les neutrons étaient des particules «élémentaires», mais les expériences qu'on fit desquelles les protons entraient en collision avec d'autres protons ou des électrons à grande vitesse révélèrent qu'ils étaient eux-mêmes composés de particules plus petites. Ces particules furent appelées quarks par le physicien Murray Gell-Mann de Caltech qui reçut le Prix Nobel en 1969.

Il y a un certain nombre de variétés différentes de quarks: ils possèdent au moins six «saveurs» que nous dénommons ***up***, ***down***, ***strange***, ***charm***, ***bottom*** et ***top***. Chaque saveur peut avoir elle-même trois «couleurs»: rouge, verte et bleu.

Un proton ou un neutron est fait de deux ou trois quarks, chacun d'une couleur:

- un proton contient deux quarks *up* et un quark *down*;
- un neutron en contient deux *down* et un *up*.



# INFOS PRATIQUE.

L'atome d'aujourd'hui est l'aboutissement d'une très longue histoire...

# HISTORIQUE DES MODELES DE L'ATOME.

## RAPIDE RETOUR DANS LE PASSE.

Les philosophes grecs anciens considéraient que la "nature des choses" s'expliquaient par un savant mélange de quatre éléments: le feu, l'air, l'eau et la terre.

Au V<sup>e</sup> siècle avant J.C., des philosophes grecs (Leucippe, Démocrite) affirment que la matière est constituée d'entités très petites et indestructibles qu'ils appellent atomes. En grec, le mot *atomos* signifie: "que l'on ne peut pas diviser".



J.J. Dalton (1766-1844)

Pour eux, les atomes sont éternels. Ils sont tous pleins, mais ils ne sont pas tous semblables: ils sont ronds ou crochus, lisses ou rugueux; ils s'assemblent pour former

les objets qui nous entourent. Ils n'ont aucune preuve expérimentale et seule la démarche intellectuelle, purement philosophique, relève de la spéculation.

Puis la théorie atomique reste à l'abandon pendant plus de 2 000 ans ! C'est le physicien *John Dalton* qui proposa que l'on nomme "atome" la plus petite partie d'un corps simple. Il représente les atomes par des symboles et leur attribue une masse.



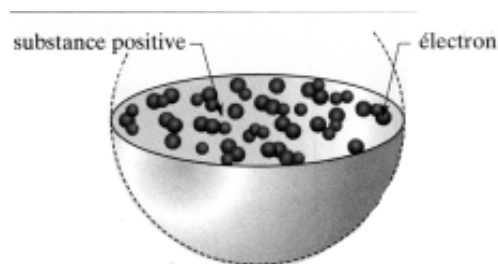
## L'HISTOIRE MODERNE.

L'histoire moderne de la représentation que les physiciens se sont faits de l'atome se résume très schématiquement en plusieurs étapes, correspondant à plusieurs modèles, dont le plus récent n'est sûrement pas le dernier.



J.J. Thomson (1856-1940)

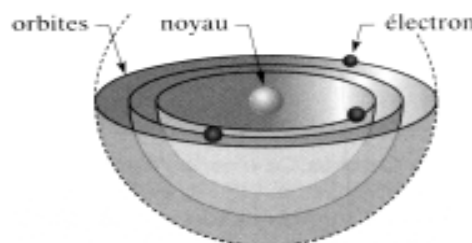
**1902.** L'atome imaginé par *Thomson* est une sphère remplie de substance électriquement positive, et contenant des électrons chargés négativement. On a alors comparé l'atome à un "pudding" où les électrons seraient les raisins secs.



E. Rutherford (1871-1937)

**1911.** Quelques années plus tard, *Rutherford* constate un nouveau fait expérimental: en bombardant de minces feuilles métalliques avec des particules chargées positivement, certaines traversent la matière comme si de rien n'était, d'autres ricochent sur des sortes de points durs.

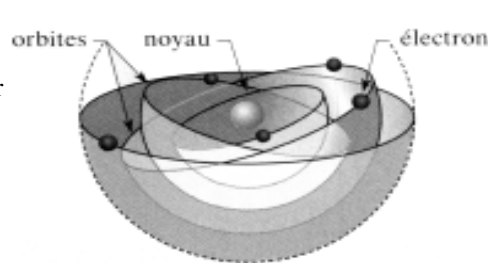
Il en déduit un nouveau modèle dit planétaire: les électrons tournent autour d'un noyau très petit, comme les planètes autour du soleil.



N. Bohr (1885-1962)

**1913.** Mais ce nouveau modèle de l'atome n'est pas totalement cohérent. En effet, en tournant autour du noyau, les électrons perdent de l'énergie et devraient de ce fait, finir par s'écraser sur le noyau. Or il n'en est rien.

*Bohr* crée alors un nouveau modèle: les électrons se trouvent uniquement sur certaines orbites bien définies, mais ne tournent pas dans un même plan comme pour le modèle précédent, dit planétaire.



**1927.** Dans les années qui suivirent, les découvertes de nouvelles propriétés de la matière amenèrent les physiciens à complexifier le modèle de l'atome proposé par Bohr.

Dans le modèle actuel de l'atome, selon Louis de Broglie notamment, la position des électrons ne peut pas être connue avec précision. On définit seulement des zones où l'on a de fortes chances de les trouver autour du noyau.

