



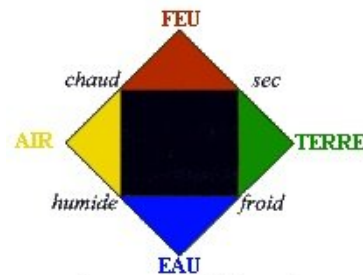
## Une brève histoire de la matière

C'est au V<sup>ème</sup> siècle avant Jésus-Christ qu'apparaît la notion d'atome : les grecs Empédocle, Leucippe, Démocrite, puis Epicure postulent que toute la matière est formée d'atomes (*ατομοσ*), des corpuscules éternels et insécables, entourés de vide. Ces entités, de formes multiples et en mouvement perpétuel, s'agglutinent pour créer les édifices que nous observons. Un siècle plus tard, Aristote rejette ce concept et récuse l'existence du vide séparant ces entités ; la nature des choses s'expliquant, selon les philosophes anciens, par le subtil mélange de quatre éléments... Il faudra attendre le XVIII<sup>ème</sup> siècle pour que la notion d'atome soit rediscutée.



«Atomos»  
V<sup>e</sup> siècle av. J.-C.

Le modèle de Démocrite



Les quatre éléments  
IV<sup>e</sup> av. J.-C.

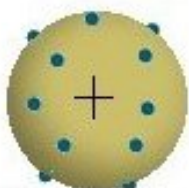
Le modèle d'Aristote

*« Les corps, ce sont a priori d'un part les principes simples des choses, les atomes, et d'autre part les composés, formés par ces éléments premiers. Pour ceux-ci, il n'est aucune force qui puisse les détruire ; à toute atteinte leur solidité résiste... Au reste, si l'on n'admet pas dans la nature un dernier terme de petitesse, les corps les plus petits seront composés d'une infinité de parties, puisque chaque moitié aura toujours une moitié et cela à l'infini. Quelle différence y aurait-il alors entre l'univers même et le plus petit corps ? On n'en pourrait point établir, car si infiniment étendu qu'on suppose l'univers, les corps les plus petits seraient eux aussi composés d'une infinité de parties. La droite raison se révolte contre cette conséquence et n'admet pas que l'esprit y adhère ; aussi faut-il t'avouer vaincu et reconnaître qu'il existe des particules irréductibles à toute division et qui vont jusqu'au dernier degré de la petitesse ; et, puisqu'elles existent, tu dois reconnaître aussi qu'elles sont solides et éternelles. »*

Lucrèce, *De natura rerum* (1<sup>er</sup> siècle av. J.-C.).

Des atomes éternels, tous pleins, mais pas tous semblables : ronds, lisses, crochus, rugueux... ils s'assemblent pour former les objets qui nous entourent. Cette démarche intellectuelle révèle de la pure spéculation philosophique : impossible de vérifier l'existence de ces corpuscules ! Et pourtant, Marcellin Berthelot (chimiste et ministre de l'Instruction Publique au XX<sup>ème</sup> siècle) le dira lui-même : c'est un « roman ingénieux et subtil ».

C'est en 1808 que naît la théorie atomique moderne : le chimiste anglais John Dalton (1766-1844) reprend les idées de Démocrite et construit un modèle basé sur l'expérimentation où l'atome ressemble à une boule de billard.



«Plum-Pudding»

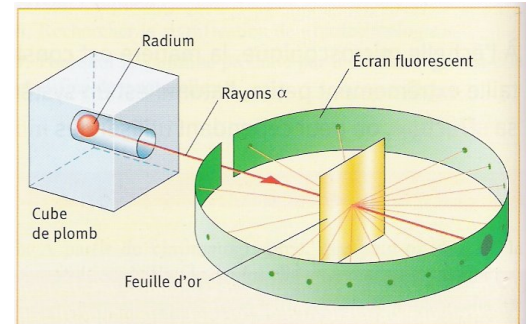
En 1897, un corpuscule chargé négativement est découvert par Joseph John Thomson (1856-1940, Nobel 1906) après les travaux de Roentgen puis de Becquerel (rayons cathodiques). Comment concilier cette nouvelle entité – qui sera bientôt nommé électron – avec ce que l'on sait de la matière ? John Thomson imagine que toute substance est composée d'une matière continue



chargée positivement, dans laquelle sont insérés des électrons à la manière de raisins dans un « plum-pudding ».

Voilà où en sont les représentations de l'atome au début du XX<sup>ème</sup> siècle. En 1909, sous la direction d'Ernest Rutherford (1871-1937, Nobel 1908), Hans Geiger et Ernest Marsden conduisent une expérience originale et simple : une feuille d'or très fine (un dix-millième de mm), maintenue sous vide, est bombardée de particules alpha ( $\alpha$ ) positives issues d'une source radioactive.

<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/rutherford/>



### Observations

La majorité des particules  $\alpha$  traversent la feuille d'or sans être déviées, mais quelques unes de ces particules, de l'ordre de 0,01 %, ont été déviées comme si elles avaient ricoché sur un objet dur...

### Interprétations



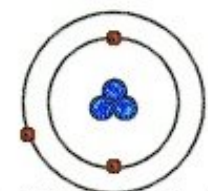
«Modèle planétaire»  
1911

En 1911, Ernest Rutherford précise son modèle atomique, en raisonnant par analogie avec la gravitation : les électrons graviteraient autour du noyau à la manière des planètes autour du Soleil. C'est le modèle « planétaire » de l'atome.

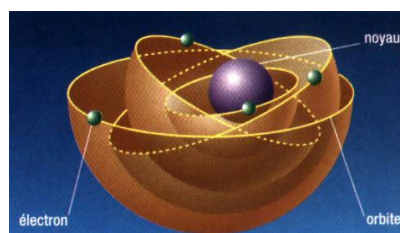
En 1919, après la Première Guerre mondiale, Rutherford récidivera : en bombardant de l'hydrogène avec des particules alpha, il réalise la première transmutation artificielle (transformation d'un élément chimique en un autre) et met en évidence l'existence du proton par l'observation. Le modèle de l'atome s'affine, mais ce n'est pas encore fini...

Le modèle de Rutherford pose toutefois un problème : pourquoi les électrons circulant autour du noyau ne perdent-ils pas de l'énergie en rayonnant, jusqu'à s'écraser sur le noyau, comme le prévoient les lois de l'électromagnétisme énoncées par James Clerk Maxwell ?

Reprenant les idées de Max Planck sur la quantification<sup>1</sup> de l'énergie, le danois Niels Bohr (1885-1962, Nobel 1922) suggère, en 1914, que les électrons ne peuvent circuler que sur certaines orbites, où ils ne rayonnent pas. Ils ne tombent donc pas. Dans ce modèle, les atomes ne peuvent émettre ou absorber que certaines fréquences lumineuses, lorsqu'un électron « saute » d'une orbite à l'autre ; ce modèle s'accorde bien à la spectroscopie de l'époque, qui a donné leur nom aux couches dans lesquelles les électrons se répartissent autour du noyau.



Modèle de Bohr (Li)  
1914

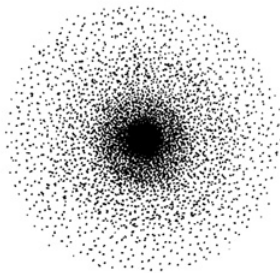


<sup>1</sup> A l'échelle microscopique, l'énergie ne varie pas continument, mais par sauts discrets : on dit qu'elle est quantifiée.



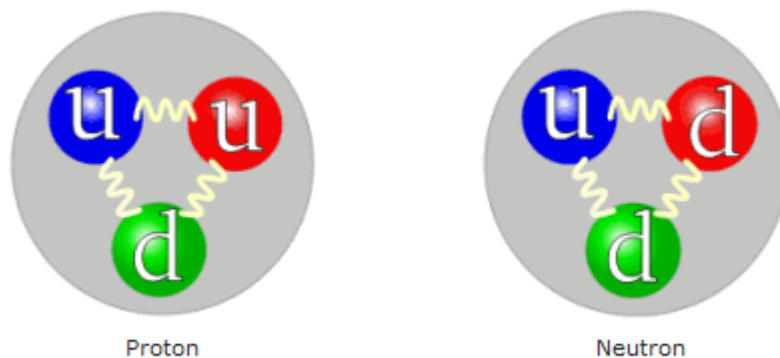
Les limitations du modèle de Bohr tiennent essentiellement à la façon dont la quantification de l'énergie a été introduite, qui reste très intuitive, pour ne pas dire artificielle. L'avènement de la mécanique quantique bouleversera totalement ces conceptions classiques et proposera un formalisme complexe, qu'on n'arrive pas toujours à expliquer en termes simples.

En 1924, Louis de Broglie<sup>2</sup> (1892-1987, Nobel 1929) émet l'idée révolutionnaire selon laquelle les particules de matière peuvent être considérées à la fois comme corpuscules ponctuels, mais aussi comme ondes (dualité onde-corpuscule). L'expérience de diffraction des électrons menée en 1927 par Clinton Davisson et Lester Germer viendra lui en apporter une preuve éclatante. Ce formalisme est toujours utilisé aujourd'hui, mais les ondes en question ne sont pas réelles : il s'agit d'ondes immatérielles de probabilité. En 1925, l'autrichien Schrödinger (1887-1961, Nobel 1933) décrit l'onde associée à l'électron par une équation, qui portera son nom. Il imagine pour cela une nouvelle entité, la fonction d'onde : elle permet de calculer la probabilité que l'électron apparaisse à tel ou tel endroit à l'issue d'une mesure. A peu de choses près, c'est ce modèle, difficile à se représenter, qui est en vigueur aujourd'hui, du moins en ce qui concerne les électrons du noyau. Car, en 1932, la découverte du neutron par le britannique James Chadwick dévoilera que le noyau est un assemblage de plusieurs particules, les nucléons (protons et neutrons)...



*L'atome d'hydrogène en mécanique quantique : l'électron a une probabilité plus ou moins grande de se trouver çà et là, mais il ne peut être réellement localisé à tout moment !*

En 1964, Murray Gell-Mann et George Zweig postuleront indépendamment l'existence de particules plus élémentaires que les nucléons, les quarks<sup>3</sup>, dont la preuve expérimentale sera faite en 1975. Actuellement, le LHC du CERN<sup>4</sup>, à Genève, entré en action en 2008, tente d'accroître encore notre connaissance de la structure microscopique intime de la matière.



Quark composition of a proton and a neutron (diagrams from Wikipedia)

<sup>2</sup> Prononcer « breuille », à l'italienne...

<sup>3</sup> Le mot *quark* provient d'une phrase du roman *Finnegans Wake* de James Joyce : « *Three Quarks for Muster Mark!* ».

<sup>4</sup> Large Hadron Collider, accélérateur-collisionneur de hadrons installé au Centre Européen pour la Recherche Nucléaire.