

Atomes

Un aperçu chronologique de quelques jalons ayant conduit aux différents modèles de l'atome

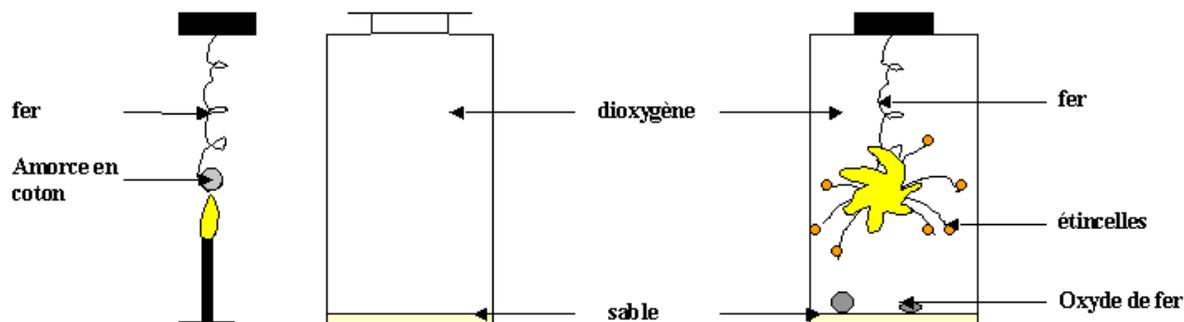
1) Antiquité

Des philosophes comme Démocrite et Leucippe ont l'idée, 400 ans avant Jésus Christ que la matière est constituée de grains qui ne peuvent plus être divisés, en constatant qu'une goutte d'eau peut être divisée en deux et en imaginant le procédé répété jusqu'à tomber sur une partie indivisible mais non visible à l'œil nu. Le mot atome vient d'ailleurs du grec ancien atomos signifiant « insécable ».

S'opposant à cette vision suit celle d'Aristote et Platon cent ans plus tard, selon laquelle la matière est constituée de quatre éléments : terre, eau, feu et air, et dont l'inspiration pouvait venir de l'observation de la combustion d'un morceau de bois (terre+eau+air) pour laquelle il y a production de fumée (air+terre) de vapeur d'eau (eau) et de cendres (terre). Dans cette vision qui va l'emporter jusqu'à la manipulation de gaz au XVII siècle, la matière est vue comme continue.

2) Lavoisier (Fin XVIII)

Antoine Lavoisier expérimente la combustion de gaz hydrogène dans un gaz nouvellement découvert par un suédois, Carl Wilhelm Scheele, en chauffant de l'oxyde mercurique. Le gaz hydrogène était connu pour engendrer de l'eau (d'où son nom) par combustion dans l'air (l'expérience par laquelle on met du gaz hydrogène dans une éprouvette avant de présenter une flamme à sa sortie produit un « plop » caractéristique puis l'apparition d'eau sur les parois du tube). Lavoisier constate que les métaux peuvent brûler dans le gaz nouvellement découvert comme le fait un morceau de fil de fer en donnant un oxyde de fer. Il nomme alors ce gaz oxygène (générateur d'oxydation).



Expérience de combustion d'un fil de fer dans de l'oxygène

Lavoisier constate aussi qu'il faut combiner les deux gaz dans des proportions de un volume d'oxygène pour deux volumes d'hydrogène afin qu'il n'en reste plus après combustion.

Lavoisier est le premier à mesurer les masses des réactifs et des produits d'une réaction chimique afin d'en constater la conservation de la masse. Il est le père de la chimie expérimentale. On lui attribue la maxime : « rien ne se crée, rien ne se perd, tout se transforme ».

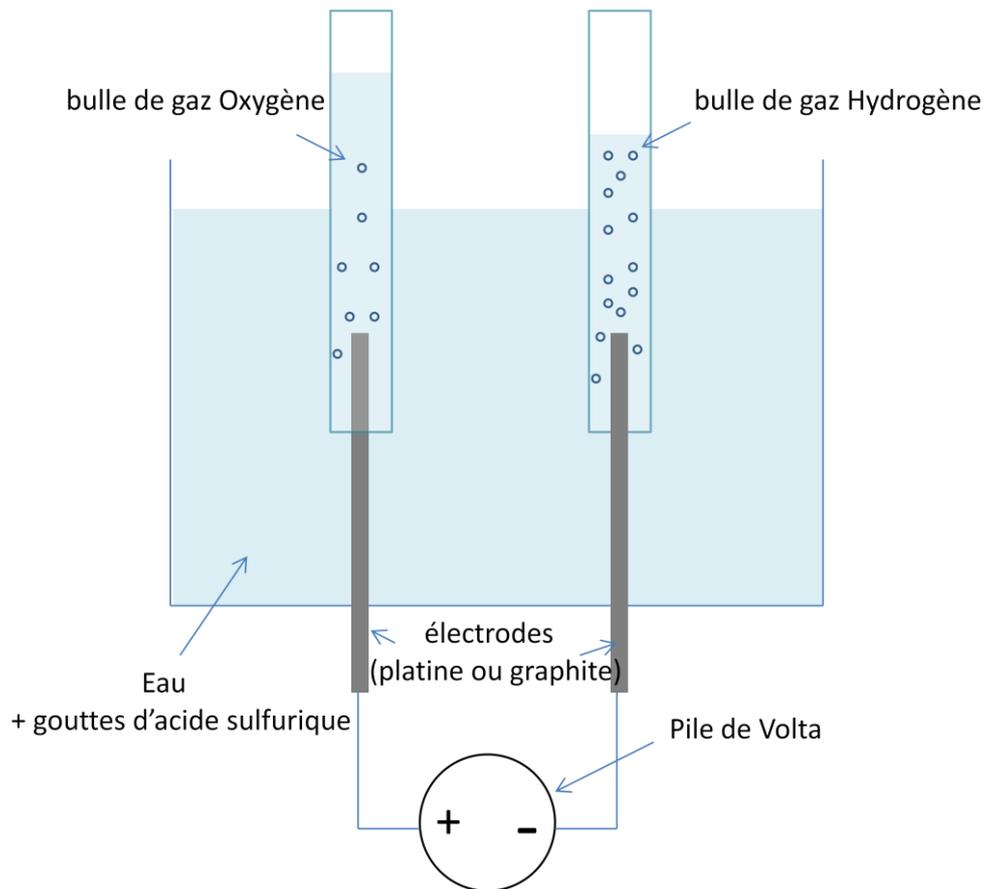
Il y a donc l'idée que des éléments associés à des corps simples, c'est-à-dire qui ne sont plus décomposables en d'autres corps, peuvent se combiner pour donner des éléments composés, comme des legos de couleurs différentes forment des briques de base qui, une fois assemblées donneront des édifices composés (les fameuses molécules).

Si l'eau peut être obtenue en combinant hydrogène et oxygène, qu'en est-il du processus inverse, à savoir la décomposition de l'eau en ces deux substances. C'est l'invention de la pile qui va permettre de la réaliser et prouver ainsi que la matière est faite de corps simples (comme l'oxygène et l'hydrogène) eux-mêmes constitués en molécules formées d'un ou plusieurs éléments de même nature, le gaz hydrogène étant en fait constitué de molécules formées d'un assemblage de deux atomes d'hydrogène, et renommé de ce fait dihydrogène gazeux, tout comme le gaz dioxygène sera renommé dioxygène gazeux.

3) L'électrolyse de l'eau (1800)

En 1800, Alessandro Volta, un comte italien, met au point la première pile en empilant des petits assemblages formés d'une galette de zinc et d'une galette de cuivre prenant en sandwich un feutre imbibé d'acide. La production d'électricité statique par des machines (machine de Ramsden par exemple) est déjà connue à son époque mais la pile introduit la possibilité de produire un courant continu.

L'électrolyse (décomposition par l'électricité) de l'eau est réalisée avec une pile de Volta en 1800. Elle fait apparaître l'hydrogène et l'oxygène dans des proportions de un volume d'oxygène pour deux volumes d'hydrogène.



Le problème se pose alors, en admettant la théorie atomique, de savoir quelle est la bonne formule de la molécule d'eau et des entités d'hydrogène et d'oxygène se combinant pour former cette molécule.

Un chimiste anglais, John Dalton contribue à asseoir l'idée de l'existence des atomes en notant que les corps simples se combinent dans des proportions simples pour former d'autres corps composés et énonce une loi des proportions. Il se fonde également sur l'observation que l'eau et le métal n'ont en apparence rien en commun, cependant tous deux peuvent être tantôt solides, tantôt liquides, tantôt gazeux.

Une des premières formules proposée par Dalton pour l'eau est d'ailleurs erronée. Elle donne pour modèle de la molécule d'eau H O , autrement dit, un atome d'hydrogène se combinant avec un atome d'oxygène. C'est l'hypothèse d'Avogadro qui va permettre de trancher

4) Avogadro

Un chimiste italien, Amedeo Avogadro, pose en 1811 le principe suivant : Deux gaz de même volume et dans les mêmes conditions de température et de pression contiennent le même nombre d'entités gazeuses (molécules). Voyons les conséquences d'une telle hypothèse sur les observations concernant la réaction : Hydrogène + Oxygène \rightarrow eau. Il se trouve que cette réaction de combustion pratiquée à 100°C a l'avantage de laisser réactifs et produit à l'état gazeux et on observe que deux volumes d'hydrogène se combinent à un volume d'oxygène pour donner deux volumes de vapeur d'eau.

Isolons alors par la pensée un volume d'hydrogène dans lequel il n'y aurait qu'une entité gazeuse. Alors, d'après l'hypothèse d'Avogadro, il y aurait dans un même volume d'oxygène également une seule entité gazeuse. D'après l'expérience, deux entités d'hydrogène se combinent avec une entité d'oxygène pour donner deux entités de vapeur d'eau. Quelle est donc la possibilité la plus simple : L'entité oxygène doit être divisible, elle est donc formée a minima de deux sous entités, deux atomes, et on peut la noter O O. L'entité hydrogène peut quant à elle être simple, on peut la noter H. Auquel cas, la formule de l'entité de vapeur d'eau est H O. C'est la formule de Dalton mais elle est fausse.

En fait d'autres expériences montrent que l'entité hydrogène ne peut être a minima que double. On peut citer, par exemple, la réaction de l'hydrogène gazeux avec le chlore gazeux qui combine un volume d'hydrogène et un volume de chlore pour donner deux volumes d'un nouveau gaz (le chlorure d'hydrogène)

Ainsi, la formule adéquate pour la molécule d'eau se révèle être HHO et pas HO. Sa notation évoluera vers l'écriture moderne H_2O dans une forme dite brute, car d'autres représentations existent comme celle de Lewis.

L'hydrogène gazeux est donc formé de molécules H_2 et l'oxygène gazeux de molécules O_2

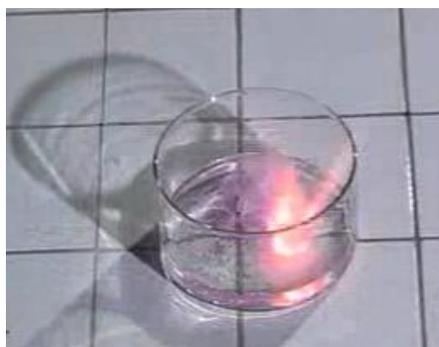
5) Mendeleïev

Tout au cours de la première moitié du XIX siècle, on découvre de nouveaux éléments en améliorant la force électromotrice des piles de Volta. L'anglais Sir Humphry Davy découvre notamment le sodium par électrolyse de soude caustique ainsi que le potassium.



Sodium conservé dans de l'huile minérale

L'analyse des réactions chimiques faites avec les nouveaux éléments montrent que certains d'entre eux ont des propriétés chimiques similaires. Ainsi, les alcalins réagissent de façon semblable quand ils sont immergés dans de l'eau en s'enflammant et en laissant une couleur rose fuchsia à l'eau en présence de phénolphthaléine.



Réaction du sodium avec l'eau

On se met à ranger les éléments par propriétés chimiques semblables et c'est Mendeleïev qui achève la classification la plus pertinente, dite classification périodique. Les éléments sont rangés en une succession de lignes. Ceux d'une même colonne présentent des propriétés chimiques identiques. Des cases vides apparaissent cependant dans le tableau et Mendeleïev prédit l'existence d'un élément non encore découvert. Il le sera dans la décennie suivante en 1875, c'est le Gallium.



Morceau de Gallium

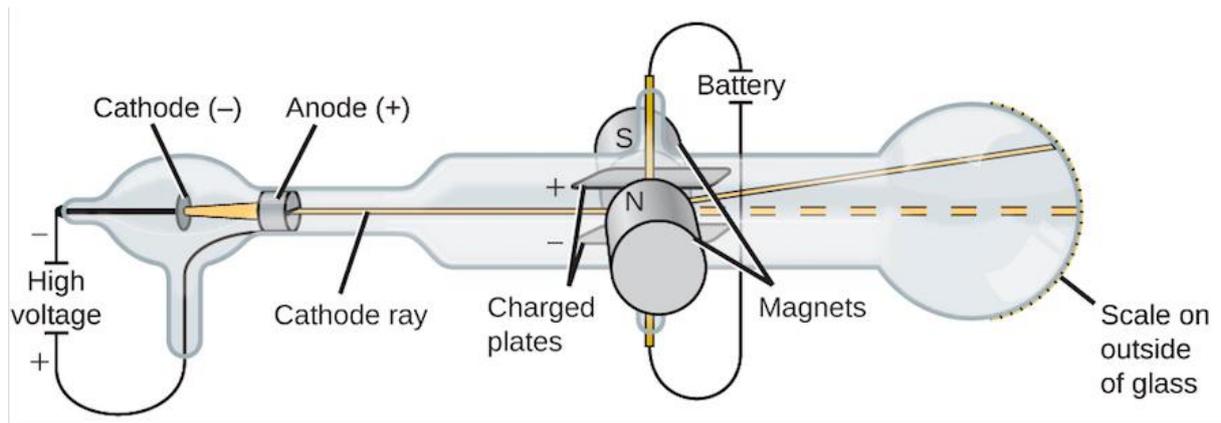
L'idée des atomes fait force, mais on sait que la matière peut être électrisée par deux fluides différents qu'on appelait initialement électricité vitreuse (celle apparaissant sur du verre frotté avec de la soie) et électricité résineuse (celle apparaissant sur de l'ambre (ambre = elektron en grec) frottée avec de la fourrure par exemple). Une substance comme un morceau de métal étant neutre, les deux types d'électricité doivent donc coexister dans ce morceau et être en quantités égales. Seul problème : sont-elles mobiles toutes les deux ou seulement l'une des deux ? C'est l'expérience de Thomson qui va trancher cette question.

6) Les rayons cathodiques

La pile ayant permis de produire du courant électrique, des expériences sont faites pour voir si un tel courant peut facilement passer à travers différentes substances et dans différents états, solide, liquide ou gazeux. Cela permet d'identifier des conducteurs (métaux) et des isolants (bois, céramiques,...)

Le passage du courant dans des cuves (électrolytes) permet de décomposer des corps et mettre en évidence de nouveaux éléments, mais aussi de faire apparaître la notion d'ions. Vers une électrode positive se déplacent forcément des ions négatifs appelés anions et vers une électrode négative se déplacent des ions positifs appelés cations.

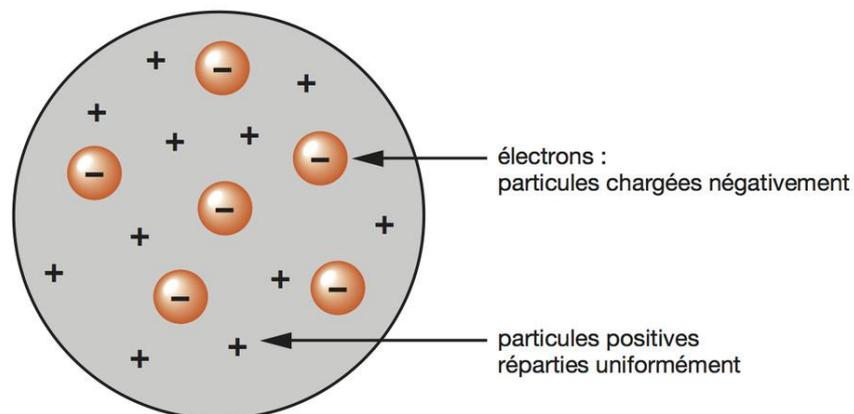
Reste à faire passer du courant dans des gaz. Cela conduira aux tubes néons bien plus tard. D'étranges rayons apparaissent dans des tubes où il n'y a qu'un gaz raréfié. En 1895, Joseph John Thomson conduit une expérience dans un tel tube et observe que ces rayons sont déviés en direction d'une plaque chargée positivement. Il formule l'hypothèse qu'ils sont constitués d'un flux de particules négatives qu'il appelle électrons. Il en mesure le rapport de la charge à la masse et constate qu'ils ont une masse d'un ordre de grandeur 1000 fois plus petit que celle d'un noyau d'hydrogène (proton).



Dispositif utilisé par Thomson mettant en évidence la déviation de rayons cathodiques

C'est une expérience plus tardive, celle de Millikan, qui établira la charge de l'électron comme étant un nombre noté e et valant $1,6 \times 10^{-19}$ coulombs (symbole C)

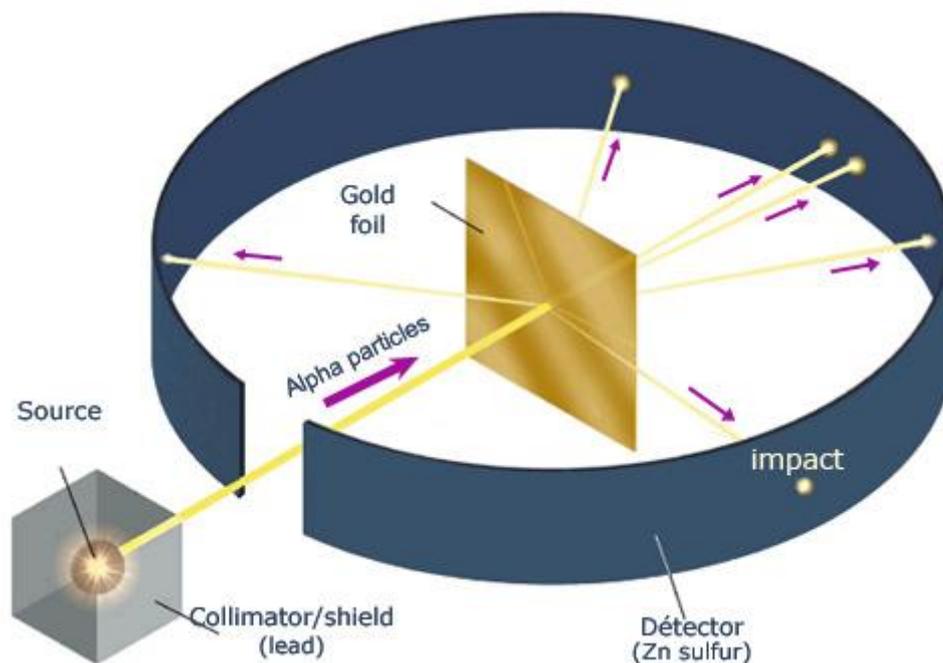
Un premier modèle de l'atome apparaît enfin, celui du plum-pudding. Attendu que l'électricité négative est mobile, Thomson s'imagine naturellement l'atome comme étant formé d'une gelée positive (le pudding) parsemée en son sein de grains de raisins (les électrons)



Mais ce modèle va être battu en brèche par une expérience d'un élève brillant de Thomson, un physicien néo-zélandais du nom d'Ernest Rutherford.

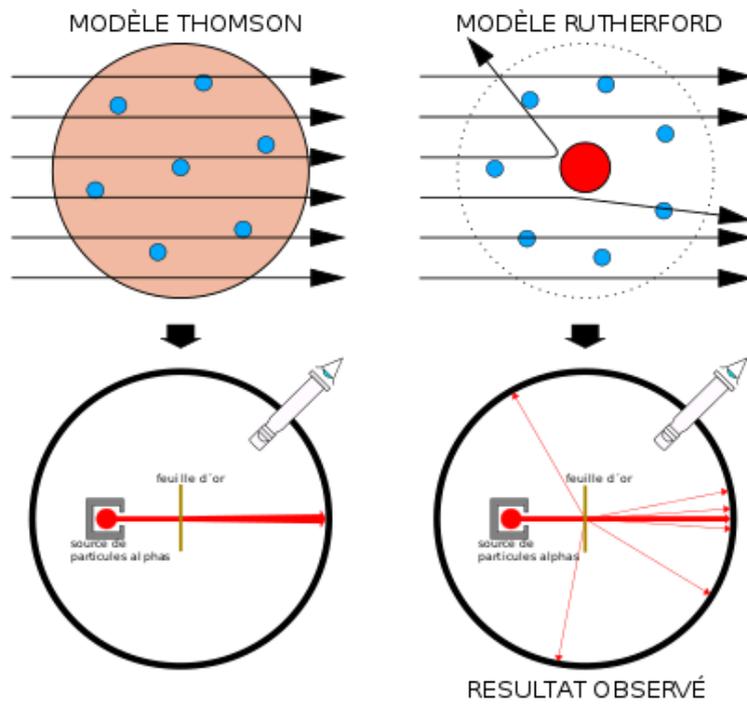
7) La feuille d'or bombardée de rayons alpha

Marie Curie découvre en 1898 deux nouveaux éléments responsables de l'émission d'étranges rayons très pénétrants (la radioactivité), le radium et le polonium. Rutherford fait pratiquer en 1909 une expérience dans laquelle une feuille d'or est disposée dans la trajectoire d'un faisceau de rayons alpha (chargés positivement) émis par une source de radium ou de polonium. Il met ses expérimentateurs à compter des heures durant les impacts des rayons sur une cible enduite de sulfure de zinc permettant de visualiser les impacts sous forme de scintillement lumineux.

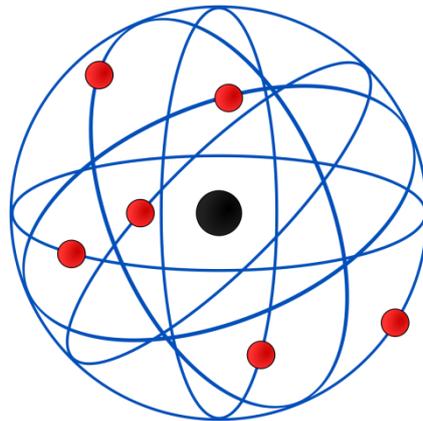


Dispositif de l'expérience de Rutherford

Les expérimentateurs observent que l'immense majorité des impacts a lieu derrière la feuille d'or sans que les rayons soient déviés (seuls 0,01 % le sont), autrement dit, l'immense majorité des rayons a traversé la feuille sans encombre, mais dans de très rares cas les impacts ont eu lieu devant la feuille, autrement dit, les rayons ont rebondi sur cette dernière. L'explication que donne Rutherford est simple. Si l'atome était constitué d'une gelée de substance positive régulièrement répartie selon le modèle de Thomson, les particules alpha ne devraient pas être déviées. C'est donc que l'atome présente une structure lacunaire faite de vide et que le noyau est très petit par rapport à la taille de l'atome. Par conséquent, les électrons se meuvent dans un volume immense, mais pour ne pas foncer vers le noyau comme un météorite le ferait, attiré par la Terre, ils gravitent sur des orbites comme le font les planètes autour du soleil



Le modèle planétaire est né. Mais là encore, il va prendre du plomb dans l'aile avec de nouvelles considérations contradictoires et, pour y remédier, un nouveau modèle qui ne détruit pas complètement l'ancien, mais s'en inspire, celui de Bohr.



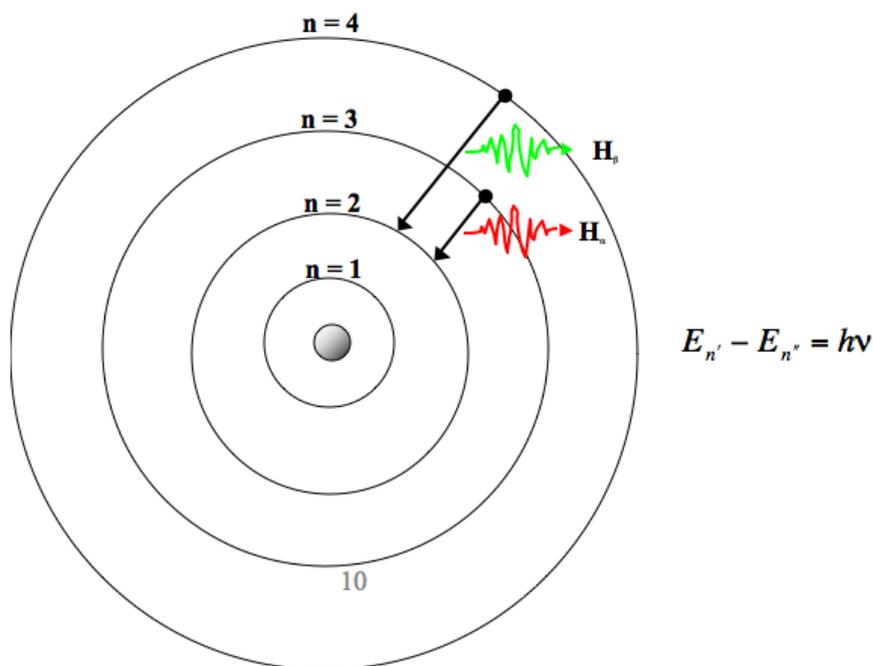
Modèle planétaire de Rutherford

En noir au centre le noyau chargé positivement,
en rouge, les électrons chargés négativement

8) La quantification des orbites

Au siècle passé, les phénomènes magnétiques et électriques ont été unifiés par Maxwell dans de belles équations mathématiques portant son nom, lesquelles ont permis de prévoir l'existence des ondes radios. La nouvelle théorie annonce notamment que tout circuit dans lequel des charges se déplacent rayonne de l'énergie électromagnétique, donc en perd. Or l'électron en orbite autour du noyau d'un atome est une charge en mouvement. Il devrait donc rayonner et perdre de l'énergie comme le fait un satellite qui est freiné par des poussières de l'espace et finit un jour ou l'autre par retomber sur Terre.

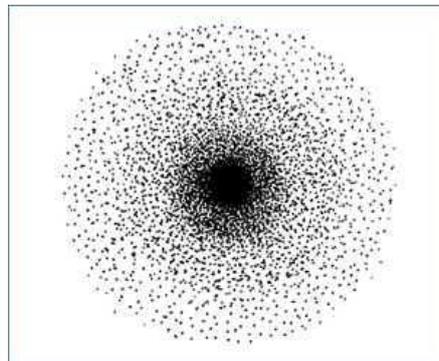
L'atome du modèle planétaire se voit donc condamné pour instabilité. De plus, l'observation des spectres lumineux des atomes (notamment celui de l'hydrogène) montre que seules certaines longueurs d'ondes peuvent être émises. Le concept de photon (quantum de lumière émis ou capté par les atomes) introduit par Einstein à partir des observations de l'effet photoélectrique permet de comprendre que les émissions ou les absorptions de photons se font par les électrons qui changent de niveau d'énergie. Le fait que seules certaines longueurs d'ondes bien spécifiques peuvent être émises valide l'idée que les niveaux d'énergie des électrons d'un atome sont quantifiés, c'est-à-dire qu'ils peuvent être décrits à l'aide de nombres entiers. Niels Bohr définit alors en 1913 un modèle de l'atome d'hydrogène portant son nom et par lequel les orbites des électrons sont quantifiées (donc se font sur des rayons bien précis)



Modèle de Bohr avec émissions de photons par changement « d'orbite »

(au centre : noyau chargé positivement)

Parallèlement, un physicien français Louis De Broglie postule que l'électron peut avoir des comportements d'onde et cela est vérifié par une expérience de diffraction d'électrons dans du Nickel, celle de Davisson-Germer en 1927). Aussi un certain Schrödinger travaille-t-il à décrire un électron dans un atome comme étant une onde stationnaire (un peu comme une vague piégée dans une piscine) mais il échoue dans ce projet. En résulte néanmoins, avec l'incorporation du principe d'incertitude d'Heisenberg, un modèle mathématique où l'onde calculée par une équation portant le nom du savant, l'équation de Schrödinger, est un artifice servant à décrire la probabilité d'interaction de l'électron aux différents points de l'espace entourant le noyau de l'atome. Un physicien allemand, Max Born, donne un peu plus tard une interprétation à cette onde, la probabilité de présence, faisant voir l'électron comme une sorte de particule folle pouvant être un peu partout mais plus souvent ici qu'ailleurs, et pour vraiment très simplifier la chose, dans une sorte de nuage. Le rayon de l'atome devient alors le rayon d'une zone où il y a une très forte probabilité de trouver l'électron.



9) Le proton, le neutron

En 1919, Rutherford a observé que le noyau de l'atome d'hydrogène se trouve dans le noyau d'atomes d'azote. Il forme l'idée que le noyau des atomes est constitué de protons, le proton étant le noyau de l'atome d'hydrogène

En 1932, un physicien britannique, James Chadwick, pose l'idée de la présence d'une particule supplémentaire et neutre dans le noyau de l'atome, qu'il nomme neutron, faisant suite à l'observation d'un rayonnement mystérieux ne portant pas de charge électrique mais pouvant éjecter des protons du noyau d'atomes de Béryllium. Ce sera le prélude à la découverte de l'énergie nucléaire.

Le modèle de l'atome semble complet, en cohérence avec les mesures physiques et les propriétés chimiques. On pense alors que protons, neutrons et électrons sont les particules ultimes constituant toute matière. Mais d'autres considérations amèneront à considérer protons et neutrons comme formés d'entités plus petites, les quarks et la physique mettra en évidence tout un bestiaire de particules comme des positrons (même masse qu'un électron mais charge opposée), des muons, des neutrinos,....et ce n'est pas fini !!!!!

