

Les modèles atomiques

1. Introduction

Un atome c'est petit, très petit. Voici une comparaison que l'on peut faire pour s'imaginer la grosseur d'un atome. Imagine la taille d'un millième de goutte d'eau. On pense qu'il y a davantage d'atomes dans ce millième de goutte d'eau qu'il y a eu de secondes depuis la création de la planète Terre ! Par conséquent, il est impossible de voir un atome à l'œil nu. Pourtant, il est possible de les décrire, de les dessiner et même d'en représenter avec des billes et des bouts de bois. On appelle **modèle** ces représentations de l'atome puisqu'il s'agit de représentations d'une réalité invisible.

Les modèles ne sont pas tous aussi bons les uns que les autres. Voici quatre qualités que doit avoir un bon modèle atomique.

- Le modèle atomique doit bien représenter l'atome en expliquant ses comportements et ses propriétés.
- Le modèle atomique doit rassembler toutes les observations recueillies au sujet de l'atome.
- Le modèle atomique doit être assez souple pour pouvoir être amélioré dans le cas où on ferait de nouvelles observations au sujet de l'atome.
- Le modèle atomique doit pouvoir être en mesure de permettre certaines prévisions sur des phénomènes qui pourraient être observés.

2. Les théories de la discontinuité (Démocrite) et la théorie de la continuité (Aristote)

2.1. Le modèle de Démocrite

Démocrite était un philosophe de l'Antiquité ayant vécu environ 400 ans av. J.-C. Il est à l'origine du premier modèle atomique étudié.



Démocrite affirmait que la matière était constituée de particules très petites et identiques qu'il était impossible de briser ou de diviser.

Il appelait atome (*atomos* en Grec) ces particules et d'ailleurs, la traduction exacte d'**atomos** signifie indivisible. Il pensait que ces particules indivisibles étaient séparées par du vide et c'est pourquoi sa représentation de la matière est appelée **le modèle de la discontinuité**.

Selon lui, la façon dont les atomes sont répartis dans la matière expliquerait pourquoi une substance aurait des **propriétés** différentes d'une autre substance. Par exemple, le fait que le plomb est plus lourd que le liège s'expliquerait par le fait que les atomes y sont plus entassés.

2.2. Le modèle d'Aristote : Aristote (384-322 av J.C.)

Un autre philosophe, **Aristote**, encore plus reconnu que **Démocrite**, s'opposait à tort à l'idée qu'il puisse exister du vide dans la matière. Selon lui la matière devait remplir totalement l'espace qu'elle occupe et c'est pourquoi on appela son idée **le modèle de la continuité**.

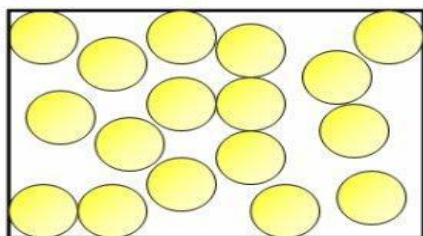


Il affirmait qu'il était possible de diviser la matière une infinité de fois contrairement à Démocrite qui pensait qu'on ne pouvait séparer une substance que jusqu'à ce qu'on arrive à la grosseur d'un atome. D'ailleurs, selon Aristote, les éléments fondamentaux de la matière n'étaient pas les atomes mais plutôt **le feu, l'eau, l'air et la terre.**

Il est important de spécifier que **Démocrite et Aristote n'étaient pas des scientifiques mais plutôt des philosophes.**

Par conséquent, aucune expérience scientifique ne venait appuyer leur modèle.

Même si à cette époque l'on croyait davantage à la théorie d'Aristote, on sait maintenant que la matière ressemble beaucoup plus à l'idée que s'en faisait Démocrite.



Modèle de Démocrite



Modèle d'Aristote

2.3. Le modèle de Dalton: John Dalton (1766-1844) physicien britannique



Le modèle que Dalton a conçu est aujourd'hui appelé **la théorie atomique** et en voici les principaux points.

La matière est composée de petites particules invisibles et indivisibles appelées atomes.

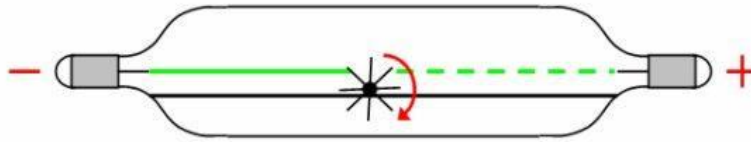
Les atomes d'un élément donné ont tous la même masse et sont identiques à tout point de vue.

Les atomes d'éléments différents ont des propriétés et des masses différentes.

Les atomes ne peuvent être ni créés, ni détruits lors de transformations physiques ou chimiques. Ils ne peuvent pas non plus se transmuter.

Les atomes d'éléments simples se combinent dans des proportions définies pour former de nouveaux produits.

En, d'autres mots, on pourrait dire qu'il considérait les atomes un peu comme des **boules de billards** trop petites pour être vues à l'œil nu et qu'il était impossible de les briser.



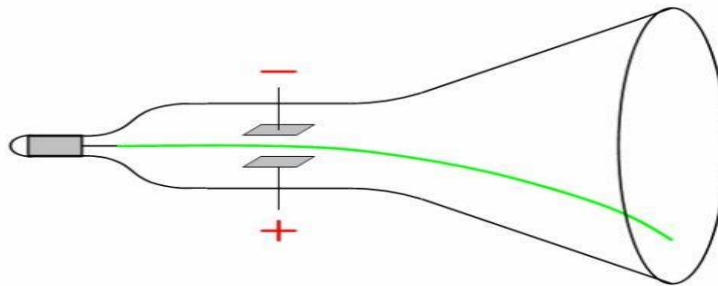
Conclusion 2 :

1 – Le rayon cathodique est fait de particules puisque la lumière ne crée pas de mouvement au contact des objets.

2 – Le rayon cathodique provient de la borne négative et se dirige vers la borne positive. Il se pourrait qu'il soit repoussé par la charge négative et attiré par la charge positive.

Observation 3 :

Le rayon cathodique est attiré par la plaque positive et repoussé par la plaque négative.



Conclusion 3 :

Le rayon cathodique est chargé négativement ce qui expliquerait pourquoi il serait repoussé par la plaque négative (deux charges négatives se repoussent) et attiré par la plaque positive (les charges négatives et positives s'attirent).

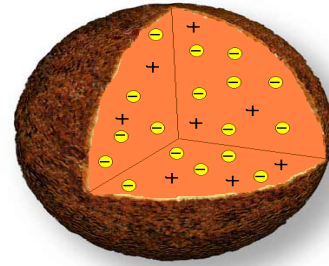
Si on résume toutes ces observations, on peut dire que le rayon cathodique est en fait constitué de particules négatives. **On évalua aussi que cette particule négative était environ 2000 fois plus petite que l'atome le plus petit !** Thomson fut donc obligé d'admettre que l'atome n'était pas la plus petite. Il existait une particule encore plus petite que l'atome et cette particule était chargée négativement. Il l'appela l'électron.

La description du modèle de Thomson

Thomson est donc obligé de conclure que **l'atome n'est plus indivisible**. En effet, il est maintenant possible d'arracher des électrons à l'atome. Cependant, **pour que l'atome soit neutre, il émet l'hypothèse que l'atome est comme une pâte positive à l'intérieur de laquelle on retrouve des petits grains négatifs : les électrons**. Dans l'atome neutre, la pâte est autant positive qu'il y a d'électrons négatifs. Son modèle est appelé **le pain aux raisins** puisqu'on peut comparer la mie du pain à la pâte positive et les raisins aux électrons qui sont répartis à l'intérieur du pain.



© 2006 Weisach & Partner, Tübingen
scientific multimedia

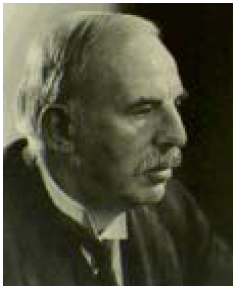


© 2006 Weisach & Partner, Tübingen
scientific multimedia

Le modèle de Thomson néglige les forces électrostatiques qui existent entre les protons et les électrons.

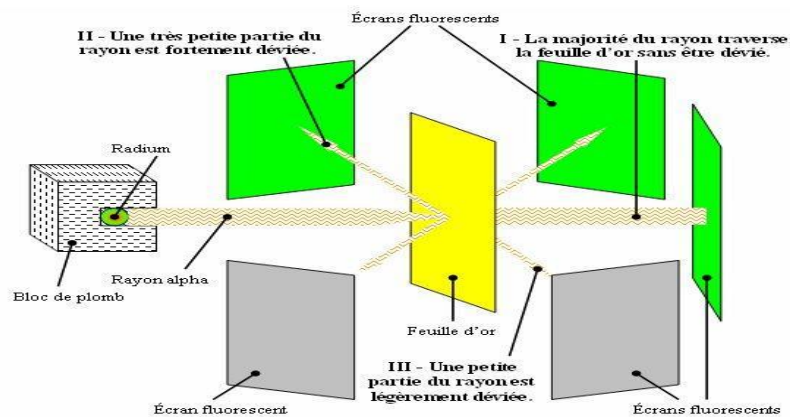
4. Le modèle de Rutherford

Le modèle de Thomson est mis en cause (car insuffisant) par Ernest Rutherford.



Ernest Rutherford est un physicien Néo-Zélandais qui a vécu entre 1871 et 1937. Lors d'une expérience, il fit une découverte pour le moins surprenante qui le mena à modifier le modèle précédent : **l'atome est en majorité VIDE.**

L'expérience réalisée par Rutherford a été une des étapes la plus importante de l'histoire de la physique atomique, parce qu'elle a apportée la preuve de l'existence des noyaux dans les atomes. Malgré toutes ces découvertes, c'est suite d'un dérivé de sa propre expérience que Rutherford créa son modèle. Cette expérience est aujourd'hui appelée **l'expérience de la feuille d'or**. Lors de cette expérience simple, il envoya sur cette feuille d'or très mince un **rayonnement alpha** provenant du radium. Il plaça tout autour de la feuille d'or des **écrans fluorescents** qui réagissent lorsqu'ils sont frappés par un rayonnement alpha. Ainsi, il était possible de savoir comment réagissaient les rayons alpha lorsqu'ils entrent en contact avec la feuille d'or.

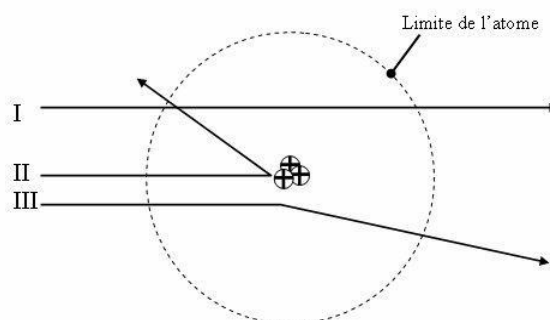


Le tableau suivant montre ce qu'a déduit Rutherford pour chacune des trois observations effectuées suite à son expérience.

	Observations	Analyse
I	La grande majorité des rayons α traversent la feuille d'or sans être déviés.	La grande majorité de l'atome est vide.
II	Une petite partie des rayons α rebondissent sur la feuille d'or.	La masse de l'atome est concentrée dans un noyau très petit et très massif (très dur).
III	Une petite partie des rayons α est légèrement déviée.	La charge positive du rayon α est repoussée par la charge positive du noyau.

On peut donc s'imaginer maintenant l'atome comme était un grand espace à plus de 99% vide, à l'intérieur duquel on retrouve un noyau très dense et positif.

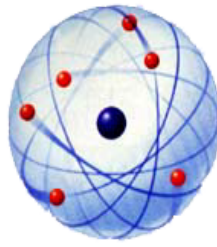
On peut observer sur le schéma ci-dessous la réaction des rayons alpha lors de leur passage à travers un atome d'or. Chacun des trois rayons sont identifiés en fonction de l'observation qu'ils représentent dans le tableau précédent.



Selon Rutherford, les électrons découverts par Thomson gravitaient autour de ce noyau, un peu comme les planètes autour du Soleil.

La description du modèle de Rutherford

L'atome imaginé par Rutherford est la presque totalité de la masse de ce qu'il appela le **noyau de charges positives** électrons, ils gravitent autour de celui-ci. Un atome neutre possède En ce qui a trait à la taille de l'électron qui gravite le plus loin du tournent loin du noyau et donc plus l'atome est gros. Ajoutons aussi que l'atome de Rutherford est divisible tout comme l'était celui de Thomson, puisque les électrons peuvent encore être arrachés.



principalement constitué de vide. En fait, l'atome est situé au centre de celui-ci dans l'atome. De plus, ce noyau est lui-même entassées. En ce qui concerne les noyau dans l'espace vide autour de toujours autant de protons que d'électrons. l'atome, elle est maintenant déterminée par noyau. Plus il y a d'électrons, plus ceux-ci

Il conclua que la feuille métallique présente une structure lacunaire (matière est essentiellement formée du vide) à l'exception de minuscules noyaux

La particule alpha (He^{2+} : α) qui est environ 8000 fois plus lourde que l'électron, son centre de masse a un mouvement uniforme ie que le mouvement est pratiquement insensible à l'interaction avec les électrons.

Dans le modèle de Rutherford, l'énergie potentielle entre une particule alpha et le noyau est inversement proportionnelle à leur distance.

$$F_e = \frac{2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2} \quad F_e = \frac{2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{r^2}$$

La force électrique :

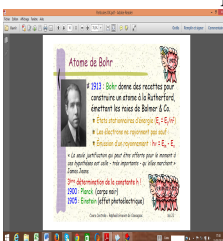
L'énergie ou le travail : $W = E$; $W = \int F_e dr$; $W = \int F_e dr$

$$E_p = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2e \cdot Ze}{r} ; E_p = \frac{C}{r} \text{ avec } C = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0}$$

Le modèle de Rutherford demeure insuffisant pour deux raisons : les électrons sont immobiles et doivent retomber sur le noyau (cause de la force électrique)

Ces insuffisances conduisent à adopter le modèle de Bohr

5. Modèle simplifié Rutherford-Bohr



Neils Bohr est un physicien danois qui a vécu entre 1885 et 1962. Ce dernier fut l'élève de [Rutherford](#) et ne fit qu'apporter une légère modification à son modèle. Cependant, le

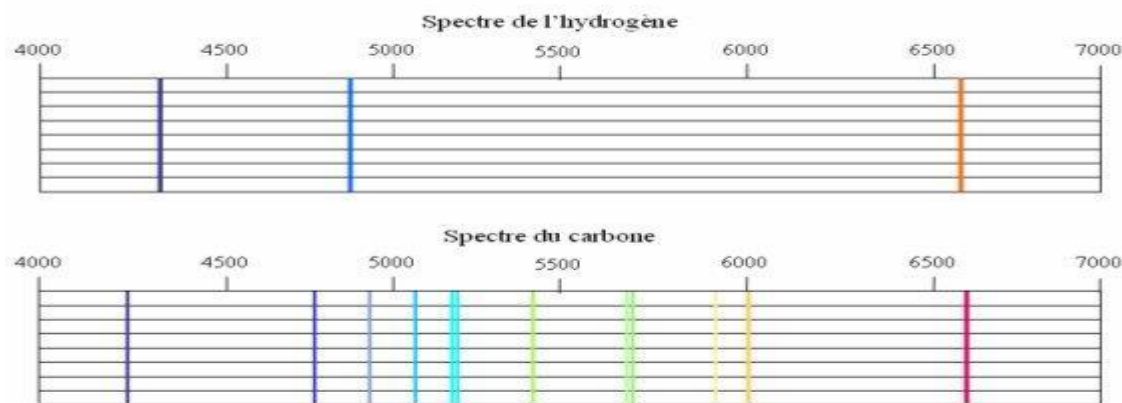
modèle atomique simplifié de Rutherford-Bohr regroupe des observations faites par des scientifiques qui datent jusqu'à dix-neuf ans après la modification que Bohr apporta au modèle de Rutherford.

Observations à l'origine du modèle

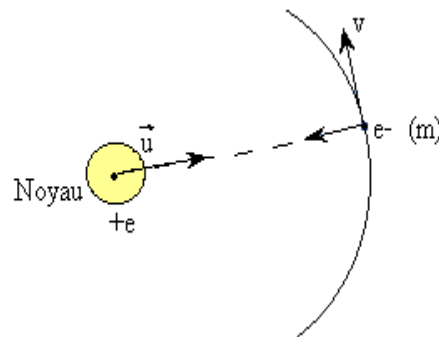
Le spectre électromagnétique

Les atomes ont la propriété d'émettre des rayons de lumière de différentes couleurs lorsqu'on les soumet à de grandes quantités d'énergie. Or, on remarqua vite que chaque atome émet toujours les mêmes rayons lumineux, et ce peu importe la quantité d'énergie qu'on lui soumet et peu importe les conditions. On appelle [spectre lumineux](#) l'ensemble des couleurs qu'émet un atome particulier.

Voici le spectre lumineux de l'atome d'hydrogène et celui de l'atome de carbone à titre d'exemples :



Dans le modèle de Bohr, les orbites électroniques sont circulaires.



D'après la mécanique, l'électron est en équilibre sur son orbite sous l'effet de la force centripète

$$m \frac{v^2}{r} \text{ et de la force d'attraction Coulombienne } \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Ces deux forces se compensent et on aura :

$$mV^2 = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad mV^2 = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Donc l'énergie cinétique de l'électron s'écrit :

$$E_c = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad E_c = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

Cette énergie est fonction du rayon, donc non quantifiée (insuffisance du modèle de Bohr émis par de-Broglie)

6. Modèle de de-Broglie

Louis de-Broglie né a Dieppe en 1892, est le fondateur de la mécanique ondulatoire

Dans sa démonstration, il s'appuie sur le postulat de Bohr :

La longueur de la trajectoire est un multiple de λ et le moment de la quantité de mouvement de

l'électron doit être un multiple entier de $\frac{h}{2\pi}$

$h=6,62.10^{-34}$ J.s ou $6,62.10^{-27}$ erg (constante de Planck)

$$2\pi r = n \cdot \lambda \quad (a)$$

$P = mV$ (quantité de mouvement) et mVr : moment de la quantité de mouvement

$$\text{Donc } mvr = \frac{h}{2\pi} \quad (b)$$

- La force gravitationnelle que l'on néglige devant la force d'attraction électrostatique noyau-électron ou force de Coulomb

$$\vec{F}_c \text{ avec : } \|\vec{F}_c\| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} \quad \text{où } \epsilon_0 = 8,854.10^{-12} \text{ unités SI}$$

Appliquons à ce système la relation fondamentale de la dynamique : $\sum \vec{F} = m\vec{a} = \vec{F}_c$. Comme l'électron décrit un mouvement circulaire uniforme de rayon r à la vitesse v on a :

$$\|\vec{a}\| = v^2/r \quad \text{soit } \|\vec{F}_c\| = \frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}$$

$$\text{d'où } \boxed{v^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{mr}} \quad (1)$$

Par ailleurs l'hypothèse de Bohr : $mV = \frac{nh}{2\pi r}$

$$\text{soit } v^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m^2 r^2} \quad (2)$$

$$\boxed{r = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \cdot n^2} \quad (3)$$

A partir de la relation (1) = (2) on tire :

Pour $n = 1$, qui définit l'orbite de plus basse énergie (état fondamental), on peut calculer la valeur du rayon correspondant :

soit $r = a_0 = 5,2918 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ où a_0 est appelé le rayon de l'atome de Bohr.

Calcul de l'énergie électronique de l'atome d'hydrogène

Par analogie avec un système mécanique, on peut écrire l'énergie totale de l'électron de l'atome d'hydrogène : $E = T + V$, où T est l'énergie cinétique de l'électron et V son énergie potentielle.

Energie cinétique : $T = \frac{1}{2} m v^2$, soit $T = \frac{1}{2} m \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{m r}$ d'où : $T = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r}$

Energie potentielle : on a $V = -W$, où W est le travail que produit la force électrostatique $\vec{F}_c$ pour amener l'électron de l'infini à la distance d'équilibre r du noyau.

$$W = \int_{r=\infty}^r dW \quad \text{soit} \quad V = - \int_{r=\infty}^r dW$$

Comme $dW = - |\vec{F}_c| dr$, car le travail de la force est moteur ($W > 0$), puisque $\vec{F}_c$ et $d\vec{r}$ sont de même signe, on aura :

$$V = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \left[-\frac{1}{r} - \left(-\frac{1}{\infty} \right) \right] \quad \text{ce qui conduit à :} \quad V = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

L'énergie totale de l'électron $E = T + V$, sera égale à :

$$E = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \text{soit} \quad E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0} \times \frac{1}{r}$$

Comme $r = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \times n^2$ relation (3), on obtient $E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0} \times \frac{\pi m e^2}{\epsilon_0 h^2} \times \frac{1}{n^2}$

soit : $E = -\frac{m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \times \frac{1}{n^2}$ avec $n = 1, 2, 3, \dots$

à partir des valeurs mesurées des fréquences des raies du spectre d'émission de l'atome d'hydrogène. Par simple identification on obtient :

$$A = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \text{ d'où } A = 2,176 \cdot 10^{-18} \text{ Joules} = 13,62 \text{ eV}$$

L'énergie est donc quantifiée de valeur $E_n = \frac{-13,6}{n^2} E_n = \frac{-13,6}{n^2} \text{ (eV)}$