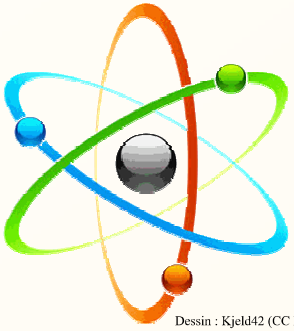
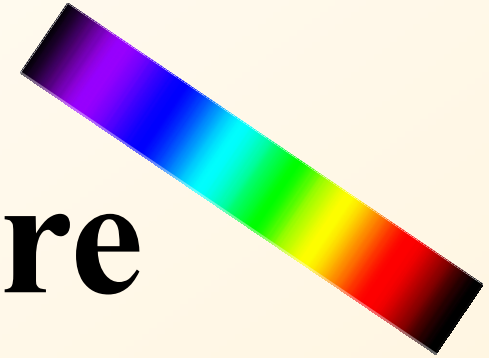
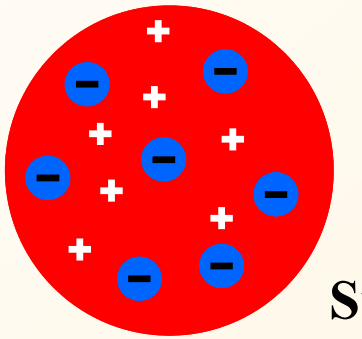
Alain ROBERT

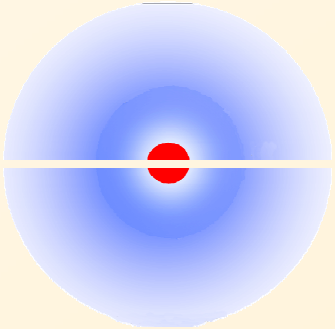


Dessin : Kjeld42 (CC BY-SA 4.0)

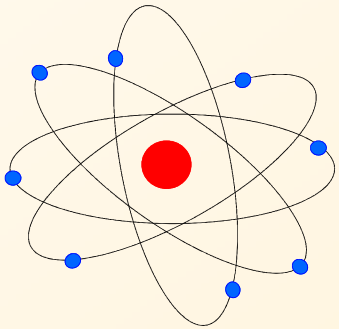


Petite histoire de la découverte de l'atome



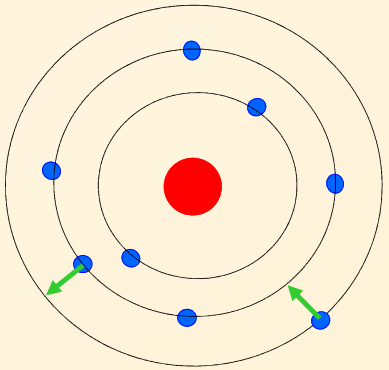


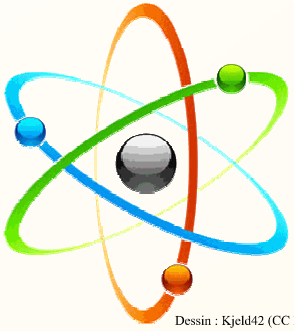
De Démocrite à la mécanique quantique
Suivie d'une brève description de la spectroscopie



creative commons

Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Partage des Conditions Initiales à l'Identique 2.0 France
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/

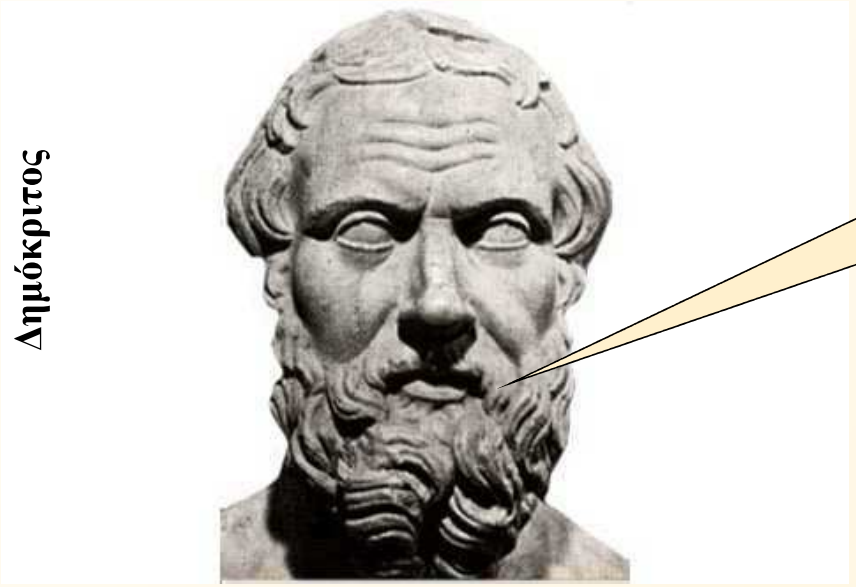




Dessin : Kjeld42 (CC BY-SA 4.0)

A la découverte de l'atome

L'histoire avait plutôt bien commencé :



"Si tout corps est divisible à l'infini, de deux choses l'une : ou il ne restera rien ou il restera quelque chose. Dans le premier cas la matière n'aurait qu'une existence virtuelle, dans le second cas on se pose la question : que reste-t-il ? La réponse la plus logique, c'est l'existence d'éléments réels, indivisibles et insécables appelés donc atomes."

Hélas, Aristote, philosophe grec né en -384 avant J-C à Stagire et mort -322 avant J-C à Chalcis, ennemi juré de Démocrite et bien meilleur communicant que lui impose sa théorie des 4 éléments (la terre, l'eau, l'air, le feu).

Il fut aidé entre autres par Platon qui proposait tout simplement, en grand démocrate qu'il était, de brûler tous les ouvrages de Démocrite !

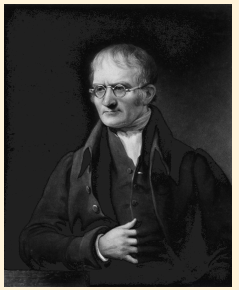
Et la science s'enfonça pour longtemps dans la médiocrité de la théorie d'Aristote !

Démocrite d'Abdère

Philosophe grec né vers 460 av. J.-C. à Abdère et mort en 370 av. J.-C
Il prolonge les idées de son maître Leucippe et imagine un Univers constitué d'atomes et de vide

Nota : insécable, en grec, se dit « atomos » (ἄτομος)

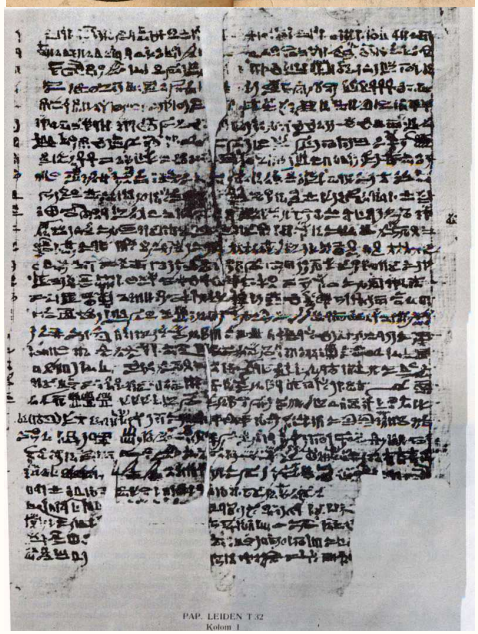
Il faudra attendre 2000 ans pour que John Dalton, au 18ème siècle montre que Démocrite avait raison !



Pendant les siècles qui suivirent, alors que certains dissertaient doctement sur la terre, l'eau, l'air, le feu auxquels Aristote, se mettant une fois de plus le doigt dans l'œil, avait ajouté l'éther, le travail scientifique et technique continuait :

Les alchimistes :

Marie la Juive au IVè siècle à Alexandrie,
Synesius vers 360-430 en Libye,
Geber Abu Abdallah Djabir ibn Hayyan al Sufi, dit Geber au VIIIè siècle et Rhazès, Abu Bakr Muhammad ibn Zakariya al Razi (864- v.932) dans le monde arabe,
Albert de Groot (1193-1280) en Allemagne,
Roger Bacon (1214-1292) en Angleterre,

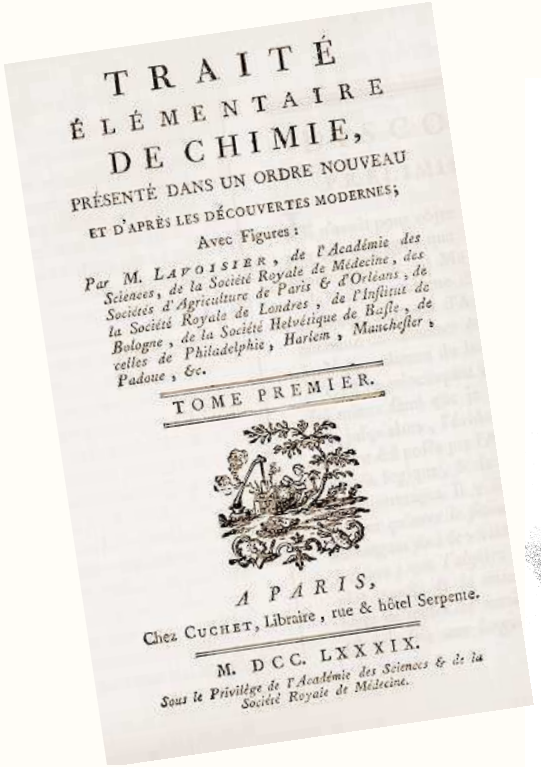


Raymond Lulle (1235-1315) à Palma,
Nicolas Flamel (1330-1418) en France
et bien d'autres accumulent les savoirs et savoir-faire techniques qui seront plus tard les outils de base des chimistes.

Antoine Laurent de Lavoisier, le père de la chimie moderne

Antoine-Laurent Lavoisier chimiste, philosophe et économiste français est né le 26 août 1743 à Paris

Il a énoncé la première version de la loi de conservation de la matière, identifié et baptisé l'oxygène (1778), et participé à la réforme de la nomenclature chimique.

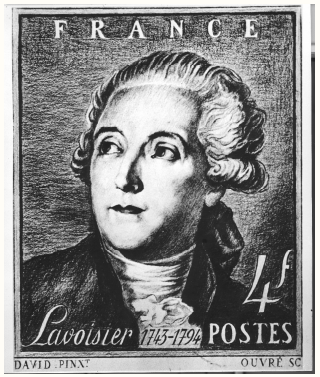


TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE CHIMIE,
PRÉSENTÉ DANS UN ORDRE NOUVEAU
ET D'APRÈS LES DÉCOUVERTES MODERNES;
Avec Figures :
Par M. LAVOISIER, de l'Académie des Sciences, de la Société Royale de Médecine, des Sociétés d'Agriculture de Paris & d'Orléans, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, de la Société Helvétique de Basle, de celles de Philadelphie, Harlem, Manchester, Padoue, &c.
TOME PREMIER.
A PARIS,
Chez CUCHET, Libraire, rue & hôtel Serpente.
M. DCC. LXXXIX.
Sous le Privilège de l'Académie des Sciences & de la Société Royale de Médecine.

Durant la Terreur, Antoine de Lavoisier est arrêté comme tous les fermiers généraux. Malgré la qualité de ses travaux, sa notoriété scientifique, il est condamné à **mort** par un tribunal révolutionnaire et sera **guillotiné** à Paris le 8 mai 1794.
Le président du tribunal révolutionnaire, Jean-Baptiste Coffinhal aurait même déclaré : « La République n'a pas besoin de savants...».

On ne peut imaginer discours plus stupide !

Lavoisier et la méthode scientifique



Lorsque Antoine de Lavoisier réalisait une expérience, il en notait tous les détails (on dit aujourd'hui : décrire le protocole opératoire), ses observations et mesures, puis ses conclusions. De plus, sa femme dessinait l'expérience avec une précision remarquable. Il communiquait aussi avec d'autres chercheurs. Le tout préfigure les méthodes de travail des chercheurs d'aujourd'hui.

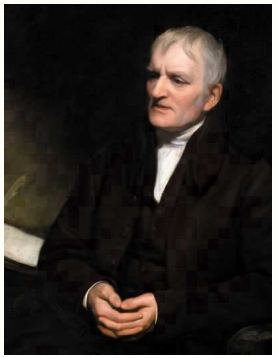
Madame de Lavoisier

Étude de la respiration chez l'homme au travail. Dessin de Madame Lavoisier

Étude de la respiration chez l'homme au repos. Dessin de Madame Lavoisier

Instruments de Lavoisier

John Dalton


John Dalton, peint en 1835 par Thomas Philips.

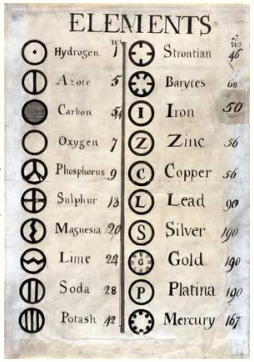
John Dalton, né à Eaglesfield (Angleterre) le 6 septembre 1766 et mort à Manchester le 27 juillet 1844, est un chimiste et physicien britannique. Il est connu surtout pour sa théorie atomique, publiée en 1808.

Dès 1789, la théorie atomique avait été entrevue par Higgins : il supposait que les corps sont composés de particules indivisibles qui s'unissent entre elles dans des proportions définies.

Pour poursuivre ses travaux travaux en météorologie, John Dalton étudia l'air et les gaz, et donc la chimie en général. Il s'intéressa aux travaux de Higgins.

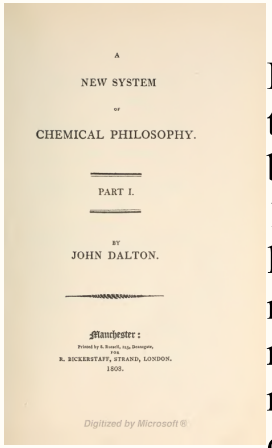
Le 21 octobre 1803, il fit une conférence sur les lois qu'il avait découvertes. Il développa brièvement, devant sept auditeurs, sa théorie atomique pour la première fois, selon laquelle la matière est composée d'atomes de masses différentes qui se combinent selon des proportions simples.

Il proposa, aussi, un premier tableau portant sur six éléments (H, N, C, O, P, S) et treize combinaisons. Cette théorie qui sera sa plus importante contribution à la science, est la pierre angulaire de la chimie moderne.


ELEMENTS

Hydrogen	1	Strontian	46
Azote	5	Barytes	68
Carbon	5½	Iron	50
Oxygen	7	Zinc	56
Phosphorus	9	Copper	56
Sulphur	13	Lead	90
Magnesia	20	Silver	190
Lime	24	Gold	190
Soda	28	Platina	190
Potash	42	Mercury	167

Issu d'une famille humble, il commence à enseigner à 12 ans.
A 19 ans, il est directeur d'école puis en 1822, il devient membre de la Royal Society
En 1830, Dalton devient l'un des huit associés étrangers de l'Académie française des sciences

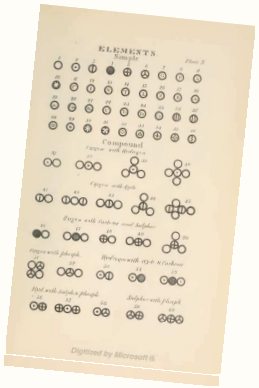

A
NEW SYSTEM
OF
CHEMICAL PHILOSOPHY.

PART I.

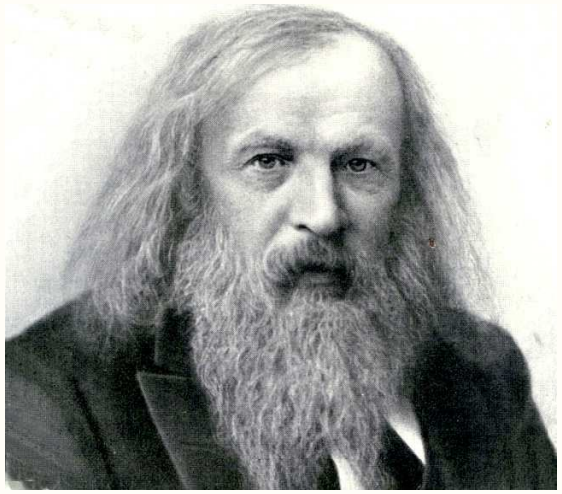
BY
JOHN DALTON.

Manchester:
1808.

Dans cet ouvrage (« Un nouveau système de philosophie chimique »), publié à Manchester en 1808, Dalton dresse la liste des masses atomiques d'un certain nombre d'éléments rapportés à la masse de l'hydrogène.



Tout en n'étant pas entièrement correctes, ses masses forment la base du tableau périodique moderne des éléments.



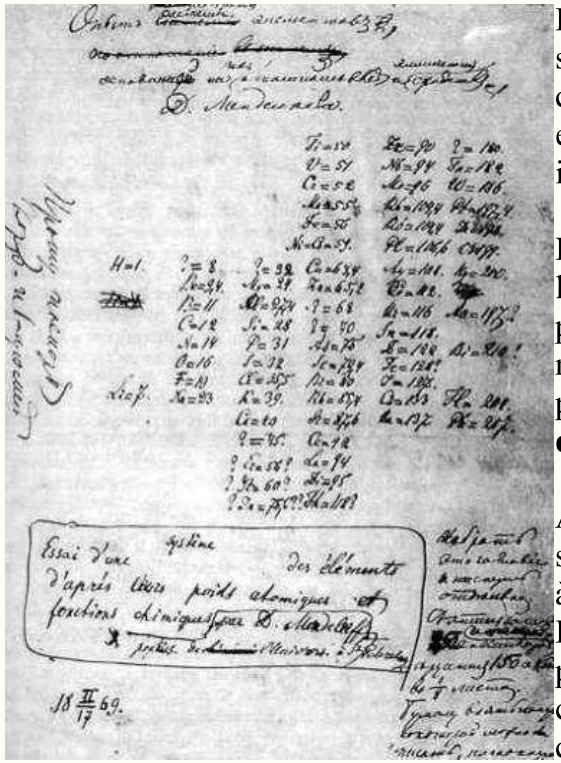
Dmitri MENDELEÏEV

Né le 8 février 1834 à Tobolsk et mort le 20 janvier 1907 à Saint-Pétersbourg,

chimiste russe,
inventeur d'une Classification périodique des éléments
publiée en 1869 et universellement appelée

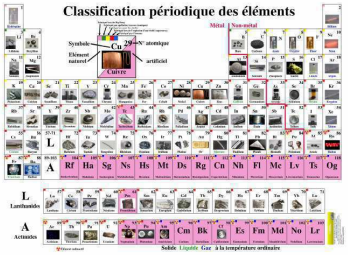
« tableau de Mendeleïev »

Après des études de chimie à Saint-Pétersbourg, à 25 ans, il vient travailler à Heidelberg avec des savants comme Robert Bunsen et Gustav Kirchhoff. Entre 1859 et 1861, il travaille sur la densité des gaz à Paris, et au fonctionnement du spectroscope avec Gustav Kirchhoff à Heidelberg.
En 1863, après son retour en Russie, il devient professeur de chimie à l'institut technologique et à l'université de Saint-Pétersbourg.
Entre autres travaux, il s'est intéressé à construire une classification des éléments chimiques connus à l'époque.



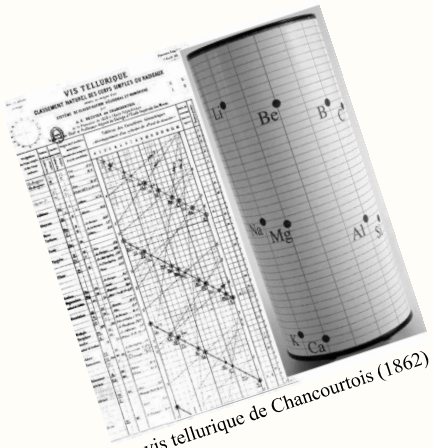
En 1869, il construisit une table, différente de celle qu'on utilise aujourd'hui mais semblable dans son principe, dont le grand intérêt était de proposer une classification systématique des éléments connus à l'époque en vue de souligner la périodicité de leurs propriétés chimiques, d'identifier les éléments qui restaient à découvrir, voire de prédire certaines propriétés d'éléments chimiques alors inconnus.

Le 6 mars 1869, une présentation formelle de son travail fut faite à la société russe de chimie, intitulée « La dépendance entre les propriétés des masses atomiques des éléments » Il déclara que les éléments chimiques pouvaient être arrangés selon un modèle qui permettait de **prévoir les propriétés des éléments encore non découverts.**



Aujourd'hui, après mise à jour de l'UICPA du 28 novembre 2016, sa forme standard comporte 118 élément, allant de l'hydrogène $_{1}H$ à l'oganesson $_{118}Og$.
La classification représente tous les éléments chimiques, ordonnés par numéro atomique croissant et organisés en fonction de leur configuration électronique, laquelle sous-tend leurs propriétés chimiques.

De nombreux essais de classifications ont vu le jour, avant comme après la publication du travail de Mendeleïev



La vis tellurique de Chancourtois (1862)

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56

Loi des octaves de John Newlands 1863

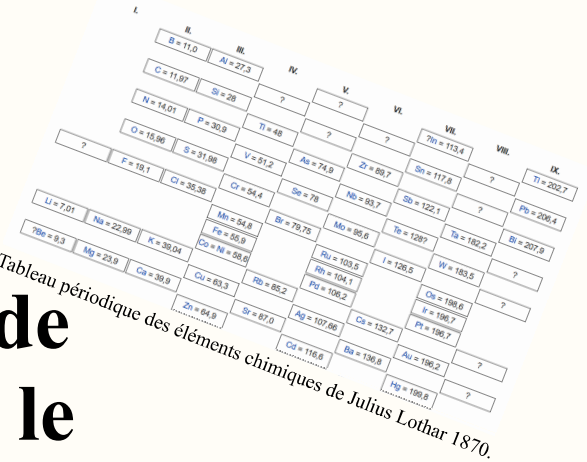
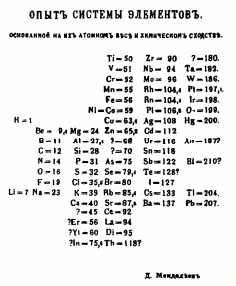


Tableau périodique des éléments chimiques de Julius Lothar 1870.



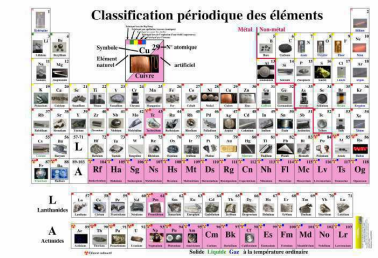
ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.
		Ni = Co = 59	Pl = 106,6	O = 199.
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,4	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

Mendeleïev,1870.



Structure du tableau périodique des éléments publié en 1913 par Henry Moseley

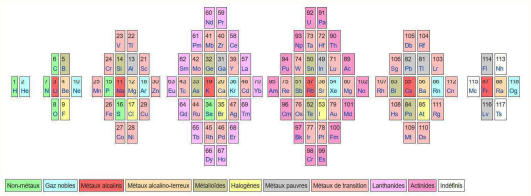
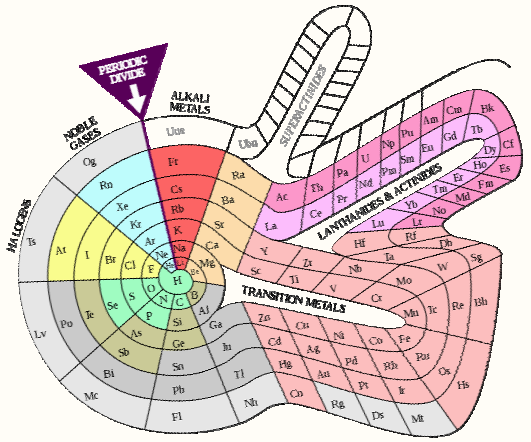


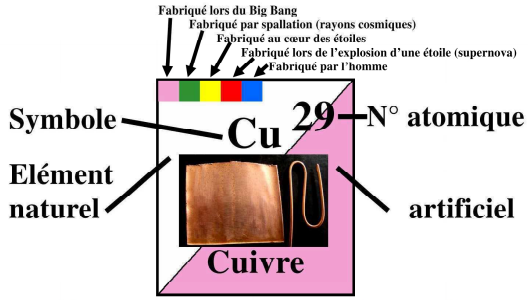
Tableau périodique des éléments, attribué au physicien Timothy Stowe



Par Mardeg sur Wikipédia anglais, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?

Theodor Benfey, 1960

Classification périodique des éléments



Métal | Non-métal

1 H Hydrogène																	2 He Hélium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Bore	6 C Carbone	7 N Azote	8 O Oxygène	9 F Fluor	10 Ne Néon
11 Na Sodium	12 Mg Magnésium											13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphore	16 S Soufre	17 Cl Chlore	18 Ar Argon
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titane	23 V Vanadium	24 Cr Chrome	25 Mn Manganèse	26 Fe Fer	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Cuivre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Sélénium	35 Br Brome	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdène	43 Tc Technétium	44 Ru Ruthénium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Argent	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Étain	51 Sb Antimoine	52 Te Tellure	53 I Iode	54 Xe Xénon
55 Cs Césium	56 Ba Baryum	57-71 L	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantale	74 W Tungstène	75 Re Rhénium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platine	79 Au Or	80 Hg Mercure	81 Tl Thallium	82 Pb Plomb	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astate	86 Rn Radon
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 A	104 Rf Rutherfordium	105 Ha Hahnium	106 Sg Seaborgium	107 Ns Nielsbohrium	108 Hs Hessium	109 Mt Meitneirium	110 Ds Darmstatium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tennessine	118 Og Oganesson

L Lanthanides

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Lanthane	Cérium	Praséodyme	Néodyme	Prométhium	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Holmium	Erbium	Thulium	Ytterbium	Lutétium

A Actinides

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
Actinium	Thorium	Proactinium	Uranium	Neptunium	Plutonium	Américium	Curium	Berkélium	Californium	Einstenium	Fermium	Mendélévium	Nobélium	Lawrencium

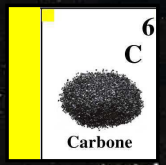
Élément radioactif

Solide Liquide Gaz à la température ordinaire

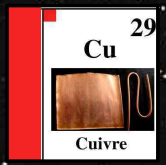
Creative Commons

Origine des éléments : la nucléosynthèse

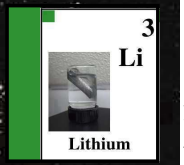
Age de l'univers : 1 seconde - **Nucléosynthèse primordiale**
Les atomes d'Hydrogène et l'hélium (N° 1 et 2) sont formés (**Température 10 000 000 000 degrés**)



Age de l'univers : 100 000 000 années - **La nucléosynthèse stellaire**
Les premières étoiles apparaissent. Les atomes du carbone au fer (N° 6 à 26) sont formés au cœur des étoiles (**Température interne : 15 000 000 degrés**).



Age de l'univers : 200 000 000 années - Les premières supernovas, **la nucléosynthèse explosive**.
Les atomes du cobalt à l'uranium (N° 27 à 92) sont formés (**Température 200 000 000 degrés**).
Lors de l'explosion, la moitié de la matière de l'étoile est expulsée dans l'espace



Cas particulier 1 : les atomes de lithium, de béryllium et de bore (N° 3 à 5) ne peuvent avoir été formés par les processus précédents. Des particules (des neutrons ou des protons) ou des ondes électromagnétiques de grande énergie (des rayons cosmiques) qui frappent un noyau atomique de N° supérieur à 5 et provoquent sa désintégration en noyaux plus petits. Ce mécanisme est nommé **la nucléosynthèse interstellaire ou Spallation cosmique.**

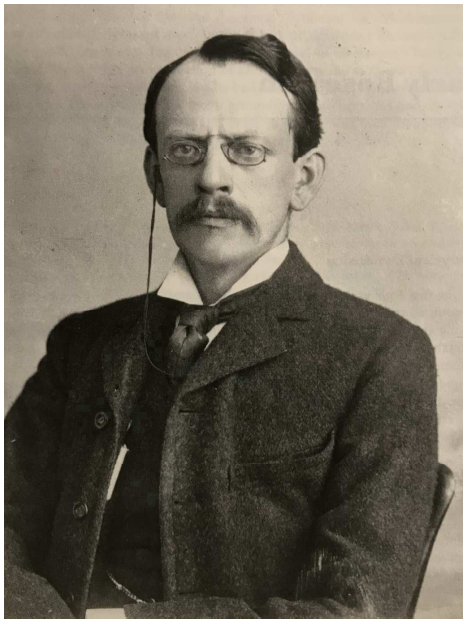
Cas particulier 2 : Les atomes de N° supérieur à 92 (uranium) se désintègrent spontanément par des réactions de fission nucléaire. Même s'ils ont pu être formés lors de la nucléosynthèse explosive, il n'en reste pas de trace dans la nature, sauf le plutonium et le neptunium (N° 93 et 94). Les autres ont été fabriqués par l'homme (centrales electro-nucléaires, accélérateurs de particules).

Les atomes présents dans notre corps, à part l'hydrogène qui a été formé au tout début de l'univers, viennent d'étoiles ayant explosé avant la formation du système solaire.

Nous sommes donc, suivant la belle expression d'Hubert REEVES, des poussières d'étoiles !

La découverte de la structure de l'atome

Joseph John Thomson

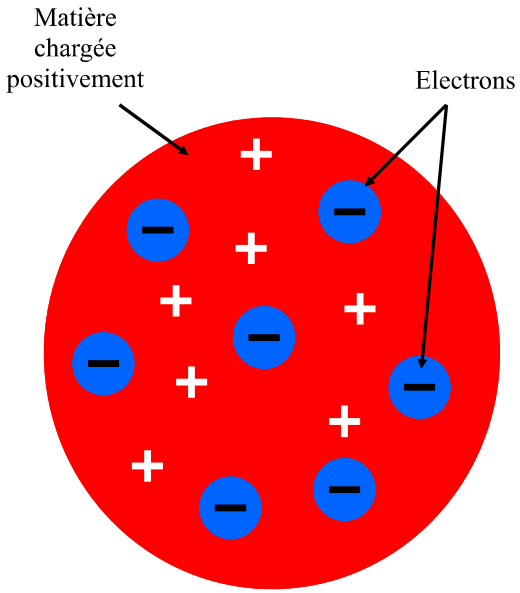


Physicien britanique

Prix Nobel de physique en 1906

Né le18 décembre 1856 Manchester, décédé le 30 août 1940, à Cambridge, Royaume-Uni

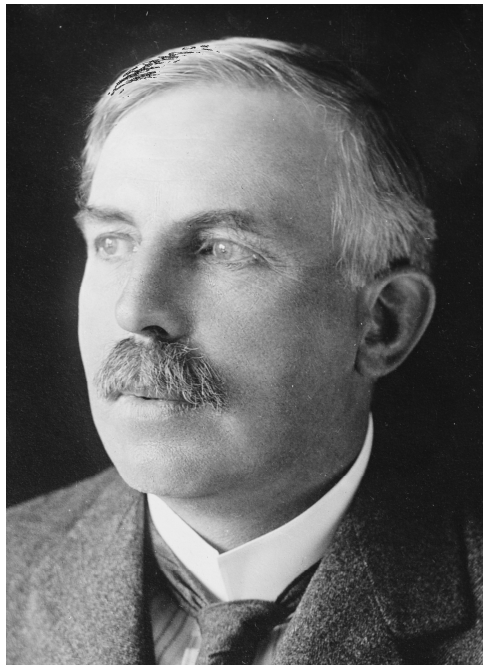
Après des études à l'université de Manchester, en 1876, il entre au Trinity College à Cambridge. En 1884, il succède à Lord Rayleigh à la chaire Cavendish de physique expérimentale. La même année, Thomson devient membre de la Royal Society.



En 1897, Thomson prouve expérimentalement l'existence des électrons, qui avait été prédite par George Johnstone Stoney en 1874.
Cette découverte est le résultat d'une série d'expériences sur les rayons cathodiques.

La même année, il énonce son modèle de l'atome, le modèle de « plum pudding » : il imagine l'atome comme une boule de matière chargée positivement et contenant des grains chargés négativement : les électrons.

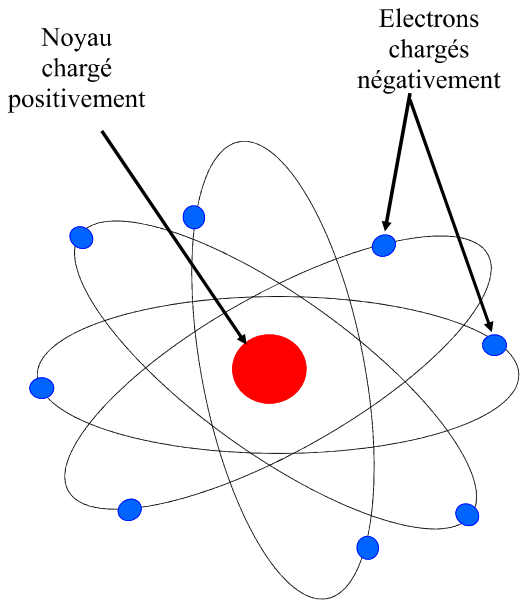
Ernest Rutherford



Physicien et chimiste néo-zélando-britannique, considéré comme le père de la physique nucléaire
Prix Nobel de chimie en 1908

Né le 30 août 1871 à Brightwater, Nouvelle-Zélande, décédé le 19 octobre 1937 à Cambridge, Angleterre

Brillant élève, en 1894, il obtient le titre de baccalauréat ès sciences, ce qui lui permet de poursuivre ses études en Angleterre au laboratoire Cavendish à Cambridge sous la direction du découvreur de l'électron, J. J. Thomson à partir de 1895.



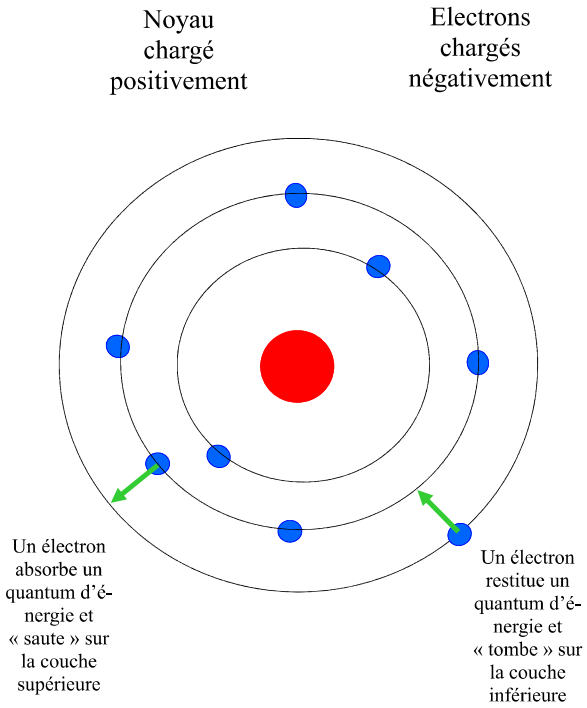
Après trois ans passés à Cambridge, on lui propose une chaire de physique à l'Université McGill de Montréal, ou il travaille sur les rayonnements ionisants.
En 1907, il obtient un poste de professeur à l'Université de Manchester.
C'est en 1911 qu'il fait sa plus grande contribution à la science en découvrant le noyau atomique. Il avait observé à Montréal qu'en bombardant une fine feuille de mica avec des particules alpha (des noyaux d'hélium), que certaines particules alpha étaient déviées, d'autres non, ce qui ne pouvait être expliqué avec le modèle d'atome proposé par JJ Thomson. Rutherford émet alors l'hypothèse qu'au centre de l'atome devait se trouver un « noyau » contenant presque toute la masse et toute la charge positive de l'atome, les électrons déterminant en fait la taille de l'atome. Ce modèle planétaire avait été suggéré en 1904 par un Japonais, Hantaro Nagaoka, mais était passé inaperçu.
L'atome imaginé par Rutherford est constitué d'un noyau (positif) extrêmement petit (1/100 000 du diamètre de l'atome), et d'électrons (négatifs) gravitant autour, comme les planètes autour du Soleil.

Niels Henrik David Bohr

Physicien danois
Prix Nobel de physique en 1922

Né le 7 octobre 1885 à Copenhague, décédé le 18 novembre 1962 à Copenhague, Danemark.

Après des études à l'université de Copenhague, il obtient une bourse de la fondation Carlsberg et veut dans un premier temps travailler à l'université de Cambridge avec le professeur Joseph John Thomson dont le modèle atomique, sphère de charge positive dans laquelle sont plongés les électrons, ne satisfait pas totalement son élève.
Bohr rencontre alors Ernest Rutherford qu'il rejoint à Manchester.



Se basant sur les théories de Rutherford, il publie en 1913 un modèle de la structure de l'atome. Cette théorie présente l'atome comme un noyau autour duquel gravitent des électrons, situés sur des « couches » correspondant chacune à un niveau d'énergie.
Les électrons ont la possibilité de passer d'une couche à une autre, en absorbant ou en émettant un quantum d'énergie, le photon, mais ne peuvent durablement rester entre deux couches.

Cette théorie est à la base de la mécanique quantique.

Max Born

Physicien allemand

Prix Nobel de physique en 1954 avec Walther Bothe

Né 11 décembre 1882 à Breslau, décédé le 5 janvier 1970 à Gottingen, Allemagne.

Après des études de sciences en 1901 à Breslau, puis à Zurich et Heidelberg, il arrive à Göttingen où il est nommé professeur de physique théorique en 1921. D'origine juive, il doit émigrer en Grande-Bretagne à l'avènement du Troisième Reich, d'abord à Cambridge en 1933, puis à Édimbourg où il devient professeur en 1936. Il fera néanmoins son retour en Allemagne, pour s'établir à Göttingen, en 1953. Physicien théoricien remarquable, il est principalement connu pour son importante contribution à la physique quantique. Il a été le premier à donner au carré du module de la fonction d'onde la signification d'une densité de probabilité de présence.

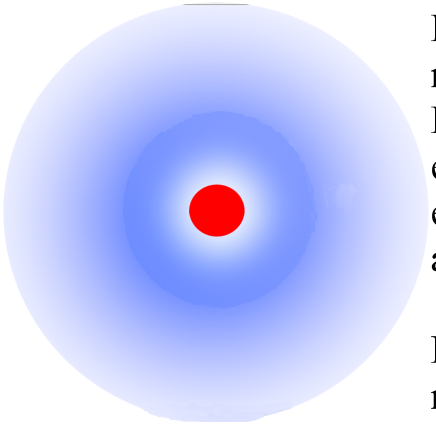
Louis Victor de Broglie

Mathématicien et physicien français

Prix Nobel de physique en 1929

Né le 15 août 1892 à Dieppe et mort le 19 mars 1987 à Louveciennes, France

Après des études de lettres, puis de physique, il est nommé maître de conférences à la faculté des sciences de l'université de Paris (Institut Henri-Poincaré).
En 1924, il soutient une thèse, purement théorique, sur la nature ondulatoire de l'électron. Cette thèse théorique fut par la suite totalement confirmée par deux expérimentateurs américains Davisson et Germer qui ont observé la première diffraction d'électron par un cristal. Ses travaux sur la nature ondulatoire des électrons font de lui le physicien qui a associé une onde aux particules massiques.



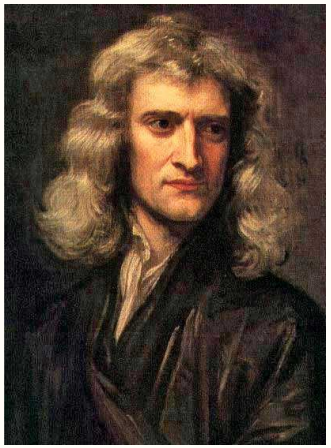
Deux noms, parmi beaucoup d'autres, qui ont contribué à l'élaboration de la théorie de la mécanique quantique.
Le modèle d'atome admis aujourd'hui comporte au centre un noyau chargé positivement, entouré d'électrons qui gravitent autour. La mécanique quantique nous dit que l'on peut évaluer la probabilité de présence d'un électron dans les diddérentes régions de l'espace autour du noyau, mais pas connaître sa position et sa vitesse à un instant donné.

La suite de cette histoire, la découverte de la structure du noyau avec les protons et les neutrons, puis des quarks qui les composent est un autre chapitre de l'histoire des sciences.

Isaac Newton

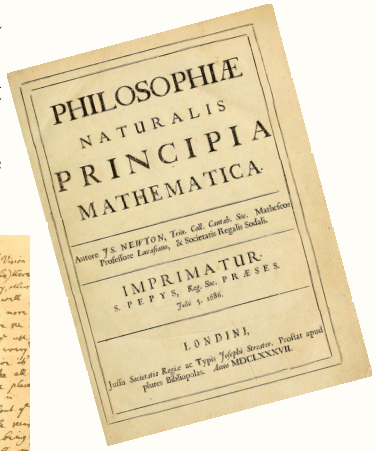
1643 - 1727

philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste, astronome ...



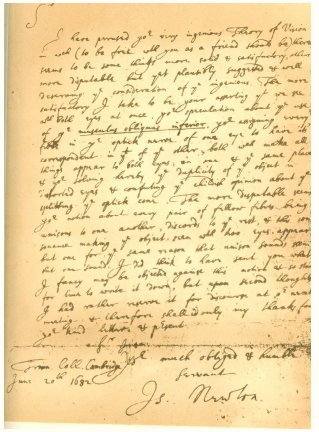
Portrait d'Isaac Newton âgé de 46 ans par Godfrey Kneller (1689).

Immense savant, il a posé les bases de la mécanique classique : Newton a montré que le mouvement des objets sur Terre et des corps célestes sont gouvernés par les mêmes lois naturelles ; en se basant sur les lois de Kepler sur le mouvement des planètes, il développa la loi universelle de la gravitation.
Il participe, en concurrence avec Gottfried Wilhelm Leibniz, à la création du calcul infinitésimal.
Il est aussi connu pour la généralisation du théorème du binôme et l'invention dite de la méthode de Newton permettant de trouver des approximations d'un zéro (ou racine) d'une fonction d'une variable réelle à valeurs réelles.

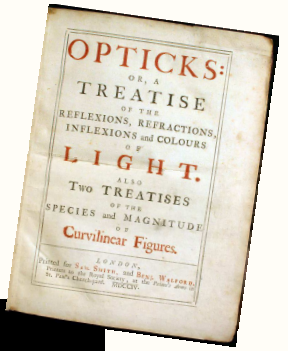


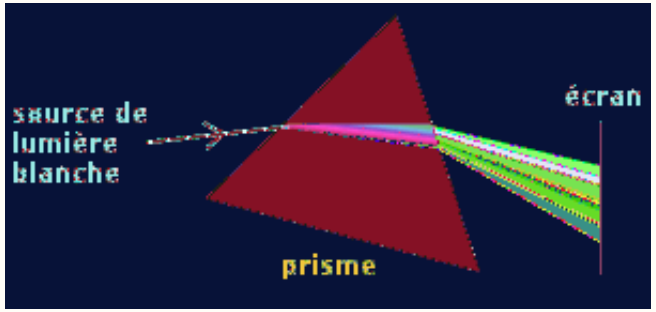
En optique, il a inventé le télescope à réflexion composé d'un miroir primaire concave appelé télescope de Newton.

Réplique du télescope de 6 pouces (150 mm) qu'Isaac Newton présenta à la Royal Society en 1672.



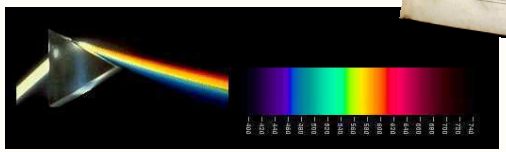
Lettre datée du 20 juin 1682 d'Isaac Newton au Dr William Briggs, commentant son ouvrage A New Theory of Vision.





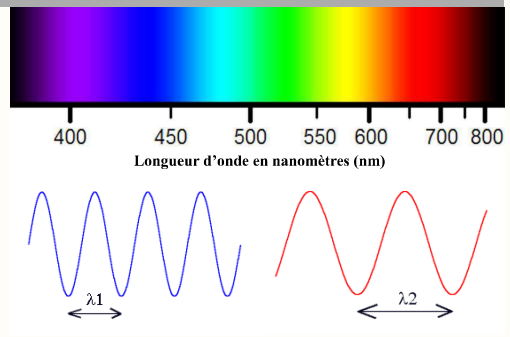
Il a développé une théorie de la couleur basée sur l'observation selon laquelle un prisme décompose la lumière blanche en un spectre visible.

Ce travail est le point de départ de la spectroscopie moderne



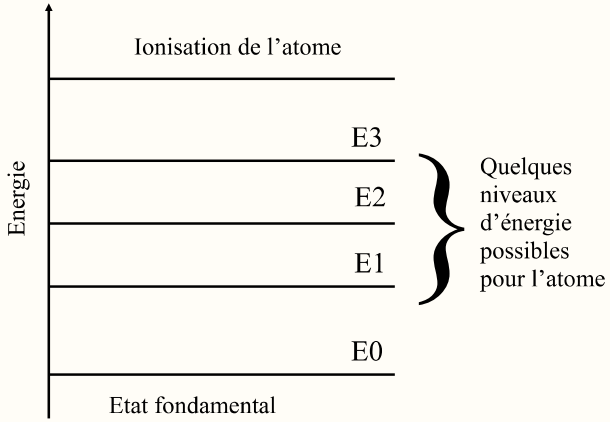
La spectroscopie

La lumière visible est une onde électromagnétique.
A chaque couleur correspond une longueur d'onde et une énergie.

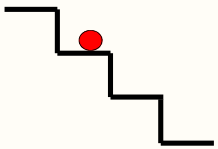


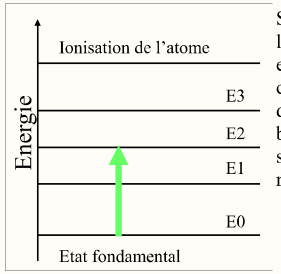
$$E = h \times f = h \times C/\lambda$$

E= énergie h = constante de Planck f = fréquence de l'onde
C= vitesse de la lumière λ= longueur d'onde

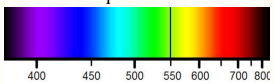


La mécanique quantique nous apprend que l'énergie d'un atome, d'une molécule ou d'un ion est quantifiée c'est-à-dire qu'elle ne peut prendre que quelques valeurs.
Lorsque un atome à l'état fondamental (plus faible niveau d'énergie possible) reçoit de l'énergie, il passe à un niveau d'énergie supérieure (on dit état excité) comme une bille dans un escalier qui passe du sol à une marche plus élevée, mais ne peut durablement se trouver entre deux marches.

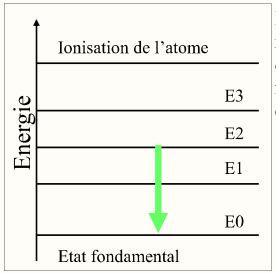




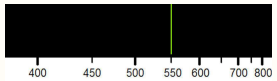
Si, parmi les rayonnements lumineux que reçoit un atome, il en est un qui possède l'énergie correspondante à la différence d'énergie entre deux niveaux possibles pour l'atome, ce rayonnement sera absorbé. Nous aurons une raie noire dans le spectre.



Spectre d'absorption

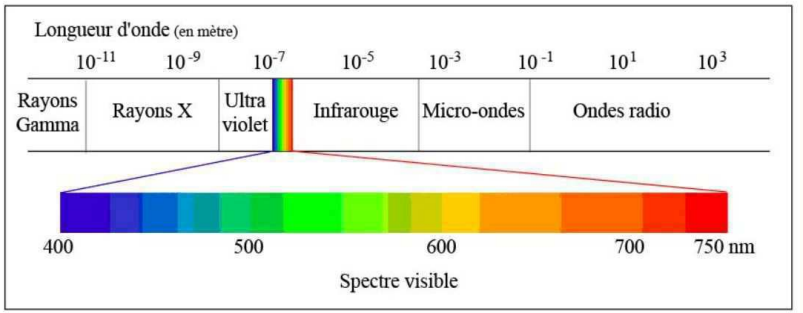


Lorsque l'atome se dé excitera, il reviendra dans l'état énergétique de départ et émettra un photon de même énergie (de même couleur) que celui qui a permis l'excitation.



Spectre d'émission

Après un début en lumière visible, aujourd'hui la spectroscopie peut se faire sur l'ensemble du domaine des ondes électromagnétiques, des rayons X aux ondes radio en passant par l'ultra-violet et l'infra-rouge.



La spectroscopie aujourd'hui

Une technologie puissante au service de multiples branches de la connaissance

Sur Terre, aussi bien dans les laboratoires que sur le terrain, la spectroscopie, ou plutôt les différents types d'analyse spectroscopique sont aujourd'hui irremplaçables.

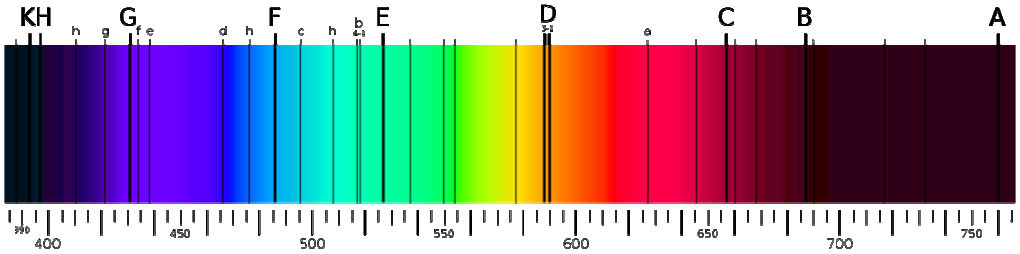
L'idée de base est toujours la même : étudier les longueurs d'onde des rayonnements émis par un matériau excité par chauffage (four, laser, etc.) dans le cas de la spectroscopie d'émission ou absorbées dans le cas de la spectroscopie d'absorption.

Archéologie :

Par exemple, en prélevant un minuscule échantillon (quelques milligrammes) de matière sur un vase trouvé lors de fouilles, la spectroscopie permet d'obtenir la composition de l'argile utilisée pour fabriquer ce vase, et par comparaison avec d'autres échantillons, de trouver l'endroit où fut fabriqué ce vase.

Bien d'autres branches de la Science utilisent ces techniques au quotidien.

Le plus extraordinaire est que ces techniques d'analyse peuvent se faire à distance :



Longueur d'onde en nanomètres

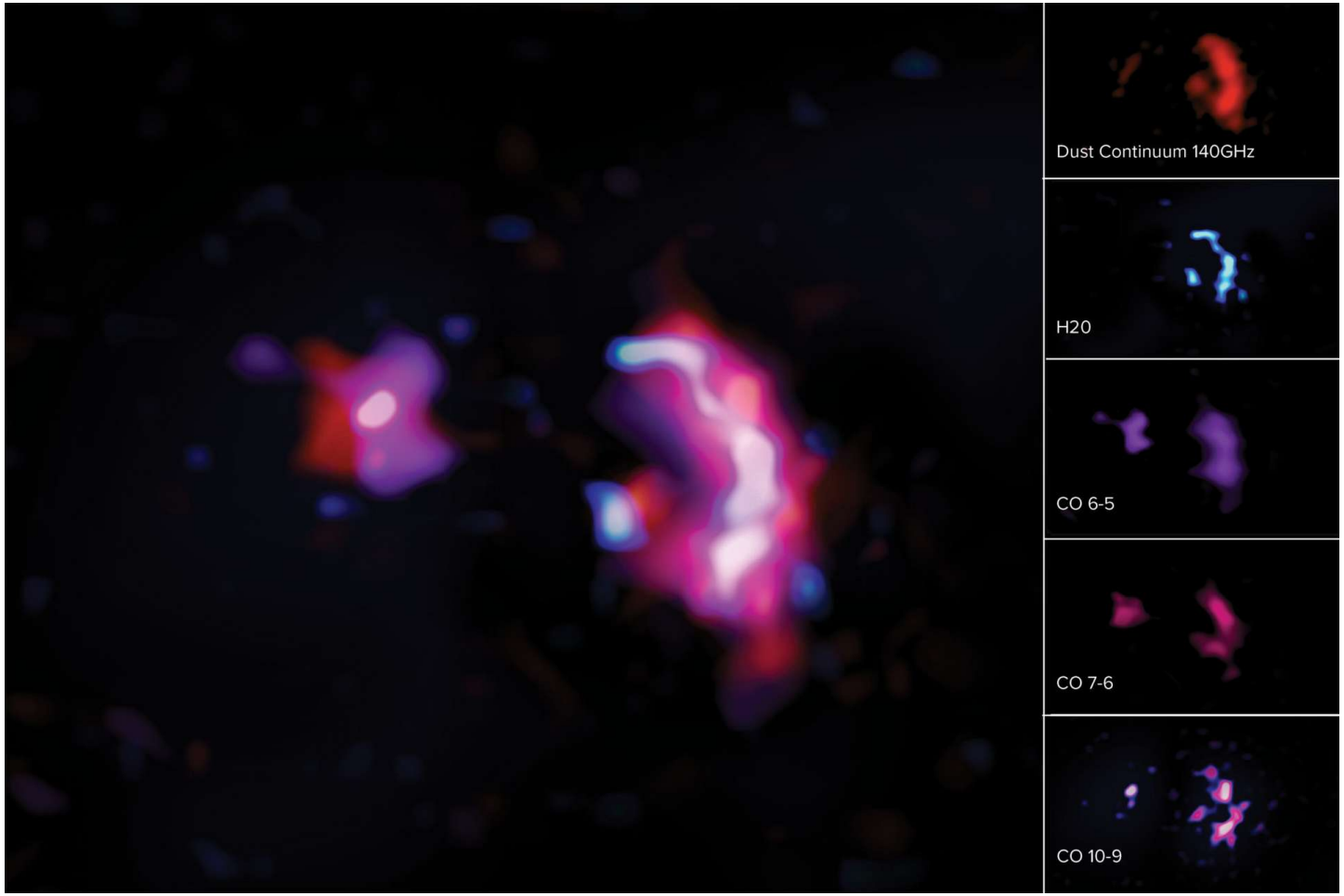
Le spectre solaire et les raies de Fraunhofer.

En 1859 Gustav Kirchhoff arrive à la conclusion que les raies noires de Fraunhofer correspondent à des éléments chimiques présents dans les couches supérieures du Soleil

Dans les années 1860, William Huggins et sa femme Margaret se servirent de la spectroscopie pour prouver que les étoiles sont formées des mêmes éléments chimiques que la Terre.

Ils appliquèrent la relation de l'effet Doppler classique (Décalage vers le rouge) au spectre de Sirius en 1868 pour déterminer sa vitesse de rotation propre. Ils furent les premiers à décomposer le spectre d'une nébuleuse planétaire avec la Nébuleuse de l'Œil de Chat20 (NGC 6543). Grâce aux techniques spectrales, ils sont parvenus à distinguer les nébuleuses des galaxies.

Aujourd'hui, en utilisant des longueurs d'onde plus grandes (infrarouge, micro ondes) ou plus petites (ultra violet, rayons X) que la lumière visible, les astronomes peuvent analyser la composition de nuages interstellaires, de galaxies situées à des milliards d'années lumière de nous :



À gauche, ces images montrent en fausses couleurs des raies moléculaires et le rayonnement continu de la poussière observés avec Alma dans la paire de galaxies massives primitives connues sous le nom de SPT0311-58.

À droite : le continuum de poussières vu en rouge (en haut), les raies moléculaires pour l'eau, H2O montrée en bleu (2e à partir du haut), les transitions entre raies moléculaires pour le monoxyde de carbone, CO(6-5) indiqué en violet (au milieu), CO(7-6) indiqué en magenta (2e à partir du bas) et CO (10-9) indiqué en rose et bleu foncé (en bas).
La poussière absorbe le rayonnement ultraviolet des jeunes étoiles en formation et le ré-émet sous forme de photons dans l'infrarouge lointain. Ces photons excitent ensuite les molécules d'eau, provoquant l'émission que les scientifiques sont capables d'observer avec Alma dans le domaine des micro-ondes.

© Alma (ESO/NAOJ/NRAO)/S. Dagnello (NRAO)

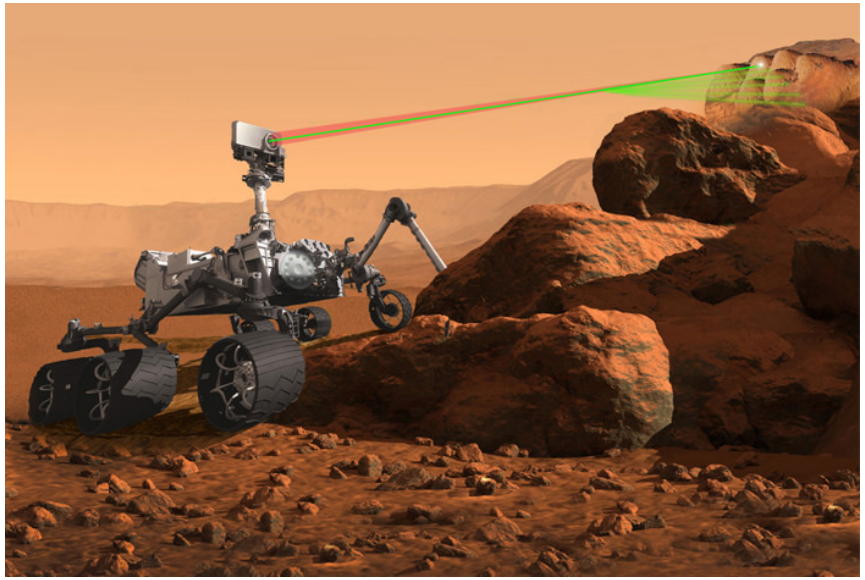
Plus près de nous, sur Mars, le rover « Perseverance » lancé le 30 juillet 2020 et qui s'est posé le 18 février 2021 sur le cratère, Jezero est muni d'un instrument extraordinaire SuperCam, fruit d'une étroite collaboration entre le « Los Alamos National Laboratory » (États-Unis) et l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP) (France), avec une contribution de l'Université de Valladolid (Espagne).

SuperCam SuperCam embarque 5 techniques pour l'analyse des roches, des sols et de l'atmosphère de Mars :
- La spectroscopie LIBS pour la composition élémentaire ;
- La spectroscopie Raman pour la minéralogie ;
- La spectroscopie de réflectance infrarouge pour la minéralogie ;
- Un imageur couleur pour la texture et la morphologie des roches ;
- Un microphone pour enregistrer les impacts du laser LIBS, divers phénomènes atmosphériques et les bruits du rover.

OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DE SUPERCAM
Identifier les roches
Caractériser la composition des structures sédimentaires
Rechercher les matériaux organiques et de bio-signatures
Rechercher les contenus volatiles
Décrire le contexte géologique et la texture des roches
Analyser les revêtements de surface
Caractériser les régolites (couches de poussière à la surface des roches)
Caractériser l'atmosphère

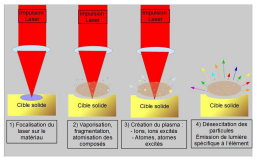
FONCTIONNALITES DE SUPERCAM

SuperCam est le « couteau suisse » de Perseverance. Il réunit cinq techniques de mesures différentes dont les spectromètres LIBS et Raman.



Utilisation successive sur Mars des spectromètres LIBS (rayon laser rouge) et RAMAN (rayon laser vert) de l'instrument SuperCam (vue d'artiste). Nasa — Nasa/JPL Domaine public. Création : 25 octobre 2016

Spectromètre LIBS : le tir d'un faisceau laser (infrarouge) provoque la formation d'un plasma. L'analyse de la lumière qu'il émet par trois spectromètres (de l'ultraviolet au proche infrarouge) donnera la composition des roches.
Cette technique de spectroscopie permet de déterminer les éléments chimiques majeurs (oxygène, sodium, magnésium, aluminium, silicium, potassium, calcium, fer) ainsi que certains éléments mineurs ou sous forme de trace (soufre, phosphore, hydrogène, azote, titane, chrome, nickel, cuivre, zinc, rubidium, arsenic, cadmium, plomb, fluor, chlore, lithium, strontium, baryum).



CC BY-SA 4.0
Impact du Laser sur la cible entraînant la création du plasma. Création : 3 décembre 2016 Fanny.bachelier — Travail personnel

Le spectromètre Raman utilise le laser dans la longueur d'onde 532 nm (vert) pour faire vibrer les molécules. Une faible fraction de la lumière interagit avec les molécules et change de longueur d'onde. Elle est analysée par le spectromètre et permet d'identifier les minéraux et les molécules présentes dans la cible.

Les techniques LIBS et Raman opèrent à distance, jusqu'à 7 m du rover. Cela évite de s'approcher, un gain de temps pour les opérations.

Le LIBS peut aussi être utilisé pour dépoussiérer les surfaces rocheuses afin de faciliter les analyses infrarouges et Raman.

La culture scientifique est une composante indispensable de la culture du citoyen

Orléans

Science - Ecole

Site :
https://www.science-ecole.fr

Courriel :
science.ecole@gmail.com