

L'atome et ses modèles

✓ Les humains ont toujours voulu connaître la structure et les composantes fondamentales de la matière.

Pb: Il est impossible de toucher ou de voir un atome.

→ Il faut considérer des *modèles*, des *représentations* de ce que nous avons nommé atome.

Modèle:

représentation visible d'une « réalité » invisible

Aède

Un **aède** est, en Grèce antique, un artiste qui chante des épopées en s'accompagnant d'un instrument de musique.



- « Molécules: Il y a vingt siècles peut-être, sur les bords de la mer divine, où le chant des **aèdes** venait à peine de s'éteindre, quelques philosophes enseignaient déjà que la matière changeante est faite de grains indestructibles en mouvement incessant, atomes que le hasard ou le destin auraient groupés au cours des âges selon des formes ou les corps qui nous sont familiers. Mais nous ne savons presque rien de ces premières théories.»

Jean Perrin, *Les Atomes*, Paris 1913



NOUVELLE COLLECTION SCIENTIFIQUE
Directeur : Émile BOREL

LES ATOMES

par

Jean PERRIN
*Membre de l'Institut
Prix Nobel*



PRESSES UNIVERSITAIRES
DE FRANCE

Pour la première fois, un système du monde fut élaboré **sans présupposer qu'un esprit eut l'intention de le fabriquer ou de le créer**. La théorie atomiste préfigure la pensée moderne, non parce qu'elle utilise le terme « atome », mais parce **qu'elle s'efforce de construire la complexité du réel à partir de principes réels**. Cause et effet doivent être définis sur le même plan. Par cette détermination d'une causalité homogène, **Démocrite** et **Leucippe** ont jeté les fondements de la recherche objective et de l'esprit scientifique.

Les Grecs



Leucippe (460-370 av. J. C.)
Démocrite (460-370 av. J. C.)
Aristote (384-322 av. J. C.)

A partir d'intuitions, ils recherchaient à expliquer l'univers sans l'intervention des Dieux

« Rien ne se produit vainement, mais tout se produit à partir d'une raison et en vertu d'une nécessité. » Leucippe.

- ✓ Atome vient du grec atomos, c'est-à-dire «indivisible».
- ✓ On pense que c'est **Leucippe** qui conçoit l'étrange idée des atomes.

Démocrite (460-370 av. J.-C.) d'Abdère

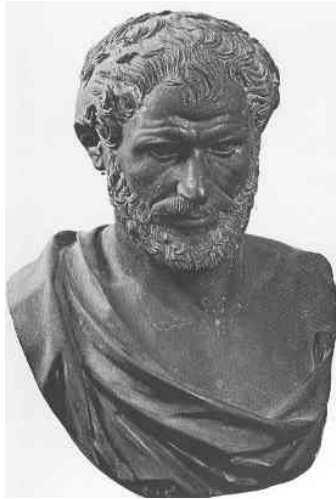


Le philosophe grec **Démocrite** développe la théorie atomiste de l'Univers dont **Leucippe** émettra une première formulation. Concevant la création des mondes comme la conséquence naturelle de l'incessant tournoiement des atomes dans l'espace, il admet deux principes de formation de l'Univers. Le plein, qu'il nomme atomos (« indivisible »), et le vide dans lequel se déplacent les particules de matière pure, minuscules, invisibles, indestructibles et infinies en nombre.

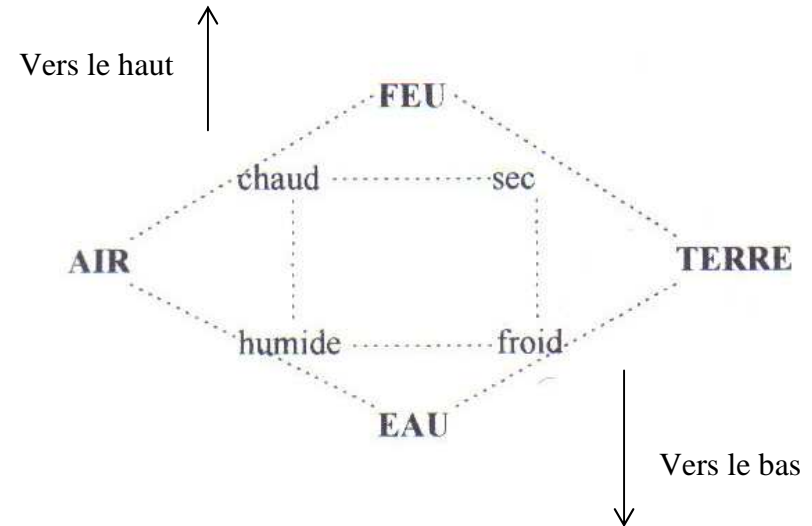
Ces atomes n'étaient pas tous identiques pour pouvoir expliquer la diversité de la nature et n'avaient pas tous non plus la même forme, certains étaient ronds et lisses et d'autres rugueux et crochus. Si un objet se transforme, les atomes qui le constituent se dispersent, puis se recombinent pour former un autre objet. Il en est de même pour l'âme qui est formée d'atomes ronds et lisses, elle n'est donc pas immortelle et comme elle est étroitement liée au cerveau lorsque celui-ci se décompose nous perdons conscience. Ainsi **Démocrite** clôturait la philosophie grecque de la nature et commençait l'ère du "**matérialisme**".

Aristote (384-322 av J.C.)

Une matière fondamentale amorphe unique devient matière sensible et prend **forme** en acquérant des **qualités**, au nombre de quatre, associées par couple:



Les quatre éléments



- ✓ la matière fondamentale est immuable et divisible à l'infini.
- ✓ les éléments se transforment les uns dans les autres en changeant de qualité et de forme.
- ✓ *l'univers est plein et qu'il n'y a pas de vide.*
- ✓ il existe un moteur primordial parfait qui anime le monde et modifie la forme des choses.

La théorie d'Aristote ayant été plus populaire que celle de Démocrite...

→ Les modèles de l'atome ont du patienter presque **deux millénaires**

Olivier LAFONT

DE L'ALCHIMIE À LA CHIMIE



L'ESPRIT DES
SCIENCES

ellipses

Au temps des alchimistes



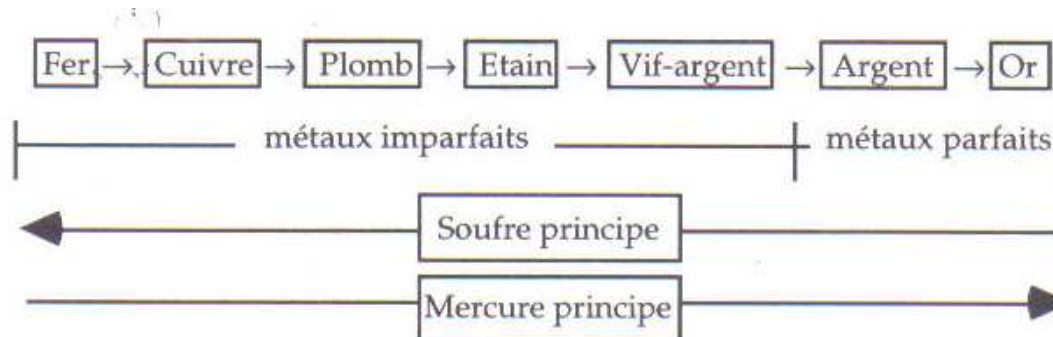
Caractère mystique du chiffre 7

**Correspondance entre métaux et planètes
(Lune et Soleil sont considérés comme des planètes)**

Métal	Représentation alchimique	Planète
Fer	♂ ♀	Mars
Cuivre	♀	Vénus
Plomb	♁ ♃	Saturne
Étain	♃ ♃ ♂	Jupiter
Vif-argent	☿ ☿ ♀ ♀	Mercure
Argent	☾	Lune
Or	☉ ☉	Soleil

Au centre de la terre a eu lieu le mariage philosophique du Mercure et du Soufre...

Hierarchie et composition des métaux



Le moyen-âge

Les Trois Principes

L'alchimie ...

Ouroboros
Matière Première Unique
(**Pierre philosophale**)

SOUFRE
Principe Fixe

Terre (visible, solide)

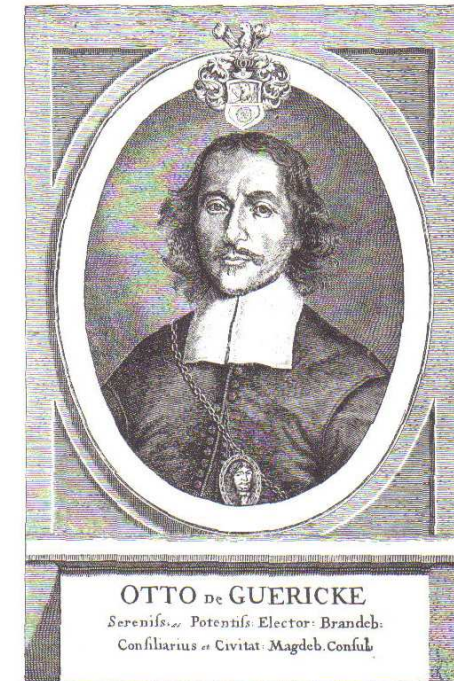
Feu (occulte, subtil)

SEL (Quintessence, Ether)

MERCURE
Principe Volatil

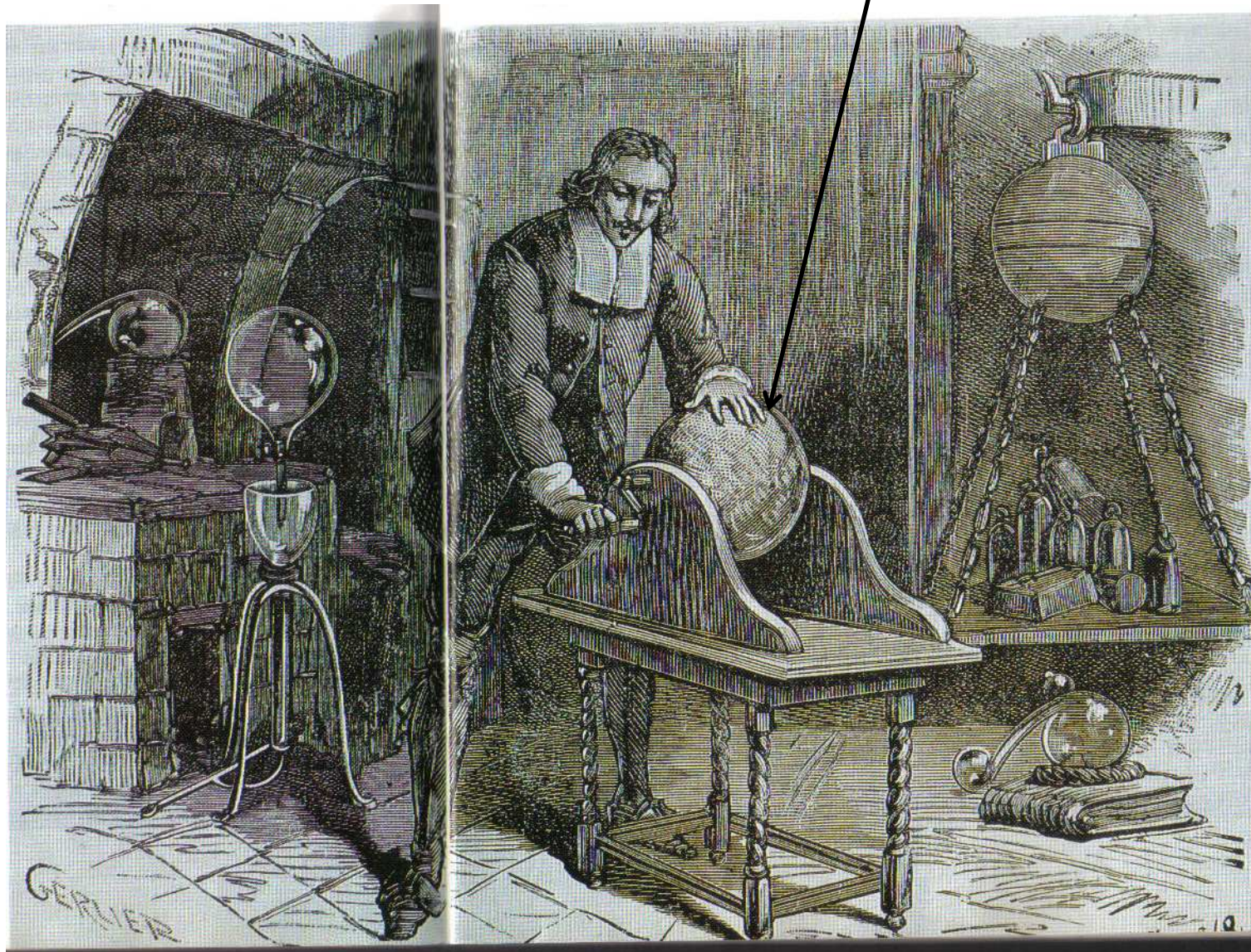
Eau (visible, liquide)

Air (occulte, gazeux)



(1654) Existence du vide niée par Aristote ...

Soufre (alchimie)

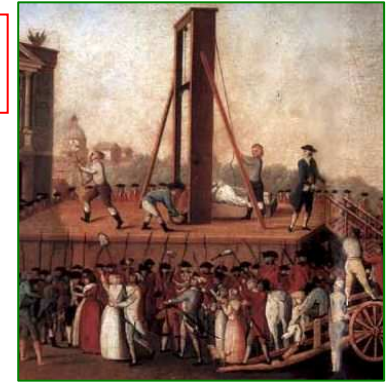


Phlogistique: (du grec phlogistos, < inflammable >), substance hypothétique représentant l'inflammabilité, créée à la fin du XVII^e siècle par les chimistes allemands Johann **Becher** et Georg **Stahl** pour expliquer le phénomène de **combustion**. Selon la théorie du phlogistique, une substance capable de subir la combustion contient un phlogistique et le processus de combustion correspond essentiellement à *la perte du phlogistique*. Comme un composé, tel que le mercure, s'alourdit pendant la combustion, on supposa que le phlogistique avait une masse négative: une substance qui perd le phlogistique s'alourdit.

Combustion: oxydation rapide d'un composé (le combustible) par un oxydant (le comburant) avec formation d'un plasma et dégagement de chaleur.

Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794)

(fondateur de la chimie moderne)



« En apprenant aux chimistes l'usage de la balance, du baromètre et du calorimètre [...] Lavoisier leur a ouvert des routes inconnues qui conduisent sûrement à la vérité »
Louis Pasteur « *Eloge de Lavoisier* », 1836

Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794)

- ✓ Lavoisier fut l'un des premiers à réaliser des expériences chimiques réellement **quantitatives**.
- ✓ Il montra qu'en dépit du changement d'état de la matière au cours d'une réaction chimique, la quantité de matière **restait constante** entre le début et la fin de chaque réaction.
- ✓ Ces expérimentations ont fourni des preuves en faveur de la

loi de la conservation de la matière.
- ✓ Il étudie la nature de la combustion (ou brûlage).
- ✓ Il met fin aux croyances de l'alchimie et à la théorie du **Phlogistique** .
- ✓ Il élabore une **nouvelle nomenclature chimique** qui sert de base au système actuel.
- ✓ Il clarifie le **concept d'élément chimique**.

Lavoisier fut l'un des premiers à réaliser des expériences chimiques réellement quantitatives. Il montra qu'en dépit du changement d'état de la matière au cours d'une réaction chimique, la quantité de matière restait constante entre le début et la fin de chaque réaction. Ces expérimentations ont fourni des preuves en faveur de la loi de la conservation de la matière. Lavoisier fit également des recherches sur la composition de l'eau, dont il appela les composants oxygène et hydrogène.

L'une des plus importantes expériences de Lavoisier concerna la nature de la combustion (ou brûlage). Il démontra ainsi que le processus de combustion implique la présence d'oxygène. Il démontra également le rôle de l'oxygène dans la respiration chez les animaux et chez les végétaux. Les explications de Lavoisier sur la combustion remplacèrent la doctrine du phlogistique. Celle-ci postulait en effet qu'une substance se dégageait, le phlogiston, lorsque la matière se consumait.

Avec le comte Claude Louis **Berthollet**, chimiste français, et d'autres chimistes, Lavoisier élaborait une nouvelle nomenclature chimique qui servit de base au système actuel. Il décrivit ce système dans son ouvrage *Méthode de nomenclature chimique*, (1787). Dans *Traité élémentaire de chimie* (1789), Lavoisier clarifia son concept d'élément chimique, défini comme substance simple n'étant susceptible d'être divisée par aucune méthode connue d'analyse chimique. Il élaborait ainsi une théorie sur la formation des composés chimiques à partir d'éléments chimiques. Les autres traités de Lavoisier sont : *Sur la combustion en général* (1777) et *Considérations sur la nature des acides* (1778).



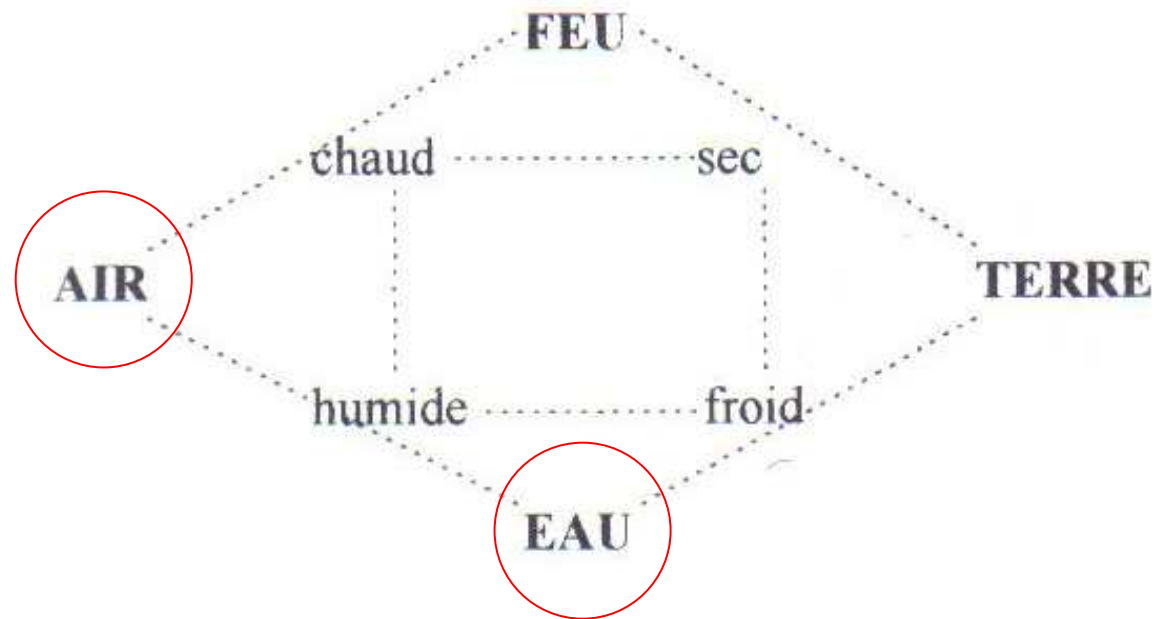
Claude Louis **Berthollet** (1748-1822)

Contrairement aux minutieuses balances des bijoutiers, celles des chimistes n'étaient pas d'une très grande précision. *Mais Lavoisier, lui, voulait des balances qui n'existaient même pas à l'époque.* Il pousse donc deux fabricants parisiens à en concevoir de nouvelles. Les balances sont appréciables et munies d'une lunette fixe qui permet de lire la position de l'aiguille sur un cadran gradué. À vrai dire, ces balances sont les meilleures et les plus précises de l'époque. La balance de Mégnié est sensible à cinq milligrammes pour une portée de 600 grammes. L'autre balance que Lavoisier a fait construire possède une précision de **25 milligrammes jusqu'à dix kilogrammes.**

Muni de telles balances, Lavoisier fournira des données expérimentales très précises.

Lavoisier est, avec Laplace, l'auteur des premières mesures calorimétriques. Pour cela il utilise un calorimètre, instrument pour mesurer les quantités de chaleur, à fusion de la glace.

Selon Aristote...

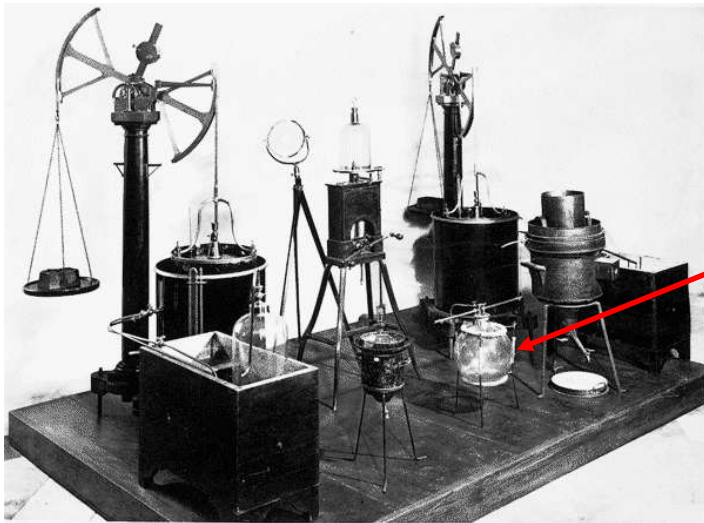


✓ En avril **1776** il effectue avec **Trudaine** l'expérience cruciale d'analyse de l'air:

- 4/5 de « mofette » (notre azote)
- 1/5 d'« air vital » qu'il nomme « principe oxygène »

L'air n'est donc pas un élément

✓ Le 28 février **1785**, à l'Arsenal, **Meusnier**, **Berthollet** et **Lavoisier** opèrent la synthèse de l'eau dans un ballon.



✓ Il y a trois tubulures qui servent: à faire le vide au préalable, à envoyer de l'hydrogène et de l'oxygène.

✓ L'hydrogène est allumé par une étincelle électrique et l'eau apparaît en gouttelettes condensées sur les parois du ballon

L'eau n'est donc pas un élément

(1785) → C'est la fin de l'alchimie, la mort du phlogistique et le début de la **chimie moderne**

DÉVELOPPEMENT
DES DERNIÈRES EXPÉRIENCES
SUR
LA DÉCOMPOSITION ET LA RECOMPOSITION
DE L'EAU¹.

La composition de l'eau avait d'abord été soupçonnée, d'après la remarque faite par plusieurs physiciens français et anglais, qu'en brûlant ensemble l'air vital et le gaz hydrogène, il en résultait une quantité d'eau considérable. Cavendish, de la Société de Londres, est, au rapport de Blagden, secrétaire de la même Société, le premier auteur de cette observation; mais il n'alla point jusqu'à en conclure que l'eau était composée de ces deux substances. D'ailleurs, il est certain que Lavoisier, Laplace et Monge n'étaient point informés du travail de Cavendish, lorsqu'ils s'occupèrent en même temps, dans le courant du mois de juin 1783, de la même expérience, qu'ils exécutèrent, sans se communiquer, par des moyens différents. Les deux premiers, à Paris,

¹ Extrait du *Journal polytype*, du 26 février 1786. — Quoique ce travail, d'après certaines phrases, ne paraisse pas être de la main de Lavoisier, il est probable qu'il en a rédigé la plus grande partie. Ce mémoire, en effet, a été imprimé dans le *Recueil des mémoires* publiés après sa mort, et dont il préparait l'impression pendant sa détention. On constate de plus, par les manuscrits au-

tographes, que Lavoisier donnait souvent lui-même des notes sur ses travaux à divers recueils. Ainsi l'analyse des *Opuscules physiques et chimiques*, publiée dans les *Mémoires de l'Académie*, et réimprimée par M. Dumas (*Œuvres*, t. II, p. 89), a été rédigée par Lavoisier. Le manuscrit autographe existe.

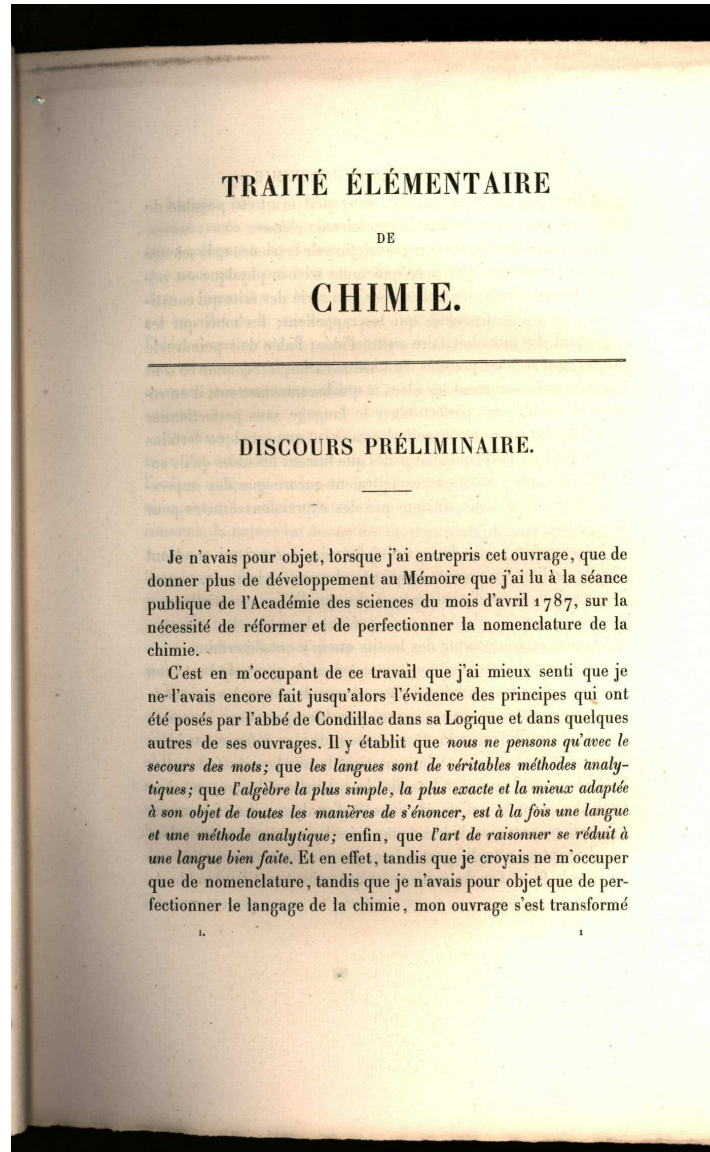
(Note de l'éditeur.)

montrèrent que cette eau était parfaitement pure; le troisième, à Mézières, que son poids approchait extrêmement d'égaliser celui des deux fluides réunis. Il y avait déjà quelques mois que Lavoisier seul avait obtenu une quantité très considérable d'une liqueur aussi insipide que l'eau distillée, par la combustion de l'air vital dans une bouteille pleine de gaz hydrogène¹.

Bientôt après, Lavoisier et Meusnier prouvèrent qu'on pouvait également décomposer l'eau, en lui présentant des corps combustibles sur lesquels elle pût agir dans l'état de vapeur incandescente; leurs expériences ont paru au mois de mai 1784. Depuis, ils ont entrepris de mettre ces deux vérités absolument hors de doute, en répétant les deux espèces d'expériences, avec des soins malheureusement inconnus dans les laboratoires. Ils ont en même temps décomposé l'eau très en grand, et le gaz hydrogène, que cette opération a produit, a été employé aussitôt à la recomposer. Ces expériences ont eu lieu les 28 et 29 février 1785, en présence de plus de trente savants, physiciens, géomètres et naturalistes, tant étrangers que de l'Académie des sciences, qui avait nommé pour cet effet une commission très nombreuse. Lavoisier et Meusnier se proposent d'en faire connaître incessamment les détails dans les *Mémoires de l'Académie*². En attendant, l'importance de cette découverte pour les sciences les a déterminés à nous permettre d'en donner un extrait suffisamment étendu, pour lever tous les doutes qu'on pourrait avoir sur cette matière, et servir de réponse aux objections qui leur ont été faites publiquement par plusieurs physiciens, de la France, de l'Angleterre et de l'Italie.

Nous allons d'abord nous occuper de l'expérience de la décomposition, en commençant par la description rapide de l'appareil. Nous reviendrons ensuite sur chacune de ses parties, en détaillant successivement toutes les précautions d'exactitude employées pour éviter les erreurs dans les quantités et la nature des produits; enfin nous ren-

¹ Voir les *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1781. — ² Ce mémoire n'a jamais été publié. (Note de l'éditeur.)



(1789)

« *Toutes les substances que nous n'aurons pu décomposer par aucun moyen sont pour nous des éléments* »



Le modèle de Dalton (1766-1844)

En 1808 exhume la théorie de Démocrite

- ✓ Chaque élément est formé de petites particules appelées atomes. L'atome est indivisible.
- ✓ Les atomes d'un élément donné sont identiques (masse et autres propriétés); les atomes d'éléments différents sont différents à un ou plusieurs points de vue.
- ✓ Il y a formation de composés chimiques quand les atomes se combinent les uns aux autres. Un composé donné contient toujours les mêmes nombres relatifs et les mêmes types d'atomes.
- ✓ Les atomes d'éléments différents peuvent se combiner selon diverses proportions. C'est ce qui donna lieu à sa réputée loi des proportions multiples (*pierre angulaire de la chimie moderne*).
- ✓ Dans une réaction chimique, il y a réorganisation des atomes, c'est-à-dire modification de la façon dont ils sont liés les uns aux autres. Les atomes eux-mêmes ne subissent aucune modification au cours de la réaction chimique. L'atome ne peut être ni créé ni détruit lors de réactions chimiques.

Le modèle de Dalton (1766-1844)

- ✓ En 1808, Dalton dresse la liste des masses atomiques d'un certain nombre d'éléments rapportés à la masse de l'hydrogène.
- ✓ Ses masses forment la base de la **table périodique** moderne des éléments (suite de symboles pour les 36 éléments simples connus).



Les atomes de chaque élément ont une identité reconnue, leur masse.

- ✓ Loi des pressions partielles des mélanges gazeux (loi de Dalton), selon laquelle la pression totale exercée par un mélange de gaz est égale à la somme des pressions individuelles qu'exercerait chacun des gaz s'il occupait seul le volume entier.
- ✓ Dalton est arrivé à sa théorie atomique par une étude des propriétés physiques de l'air atmosphérique et des autres gaz.
- ✓ Le « Dalton » équivaut au douzième de la masse d'un atome de carbone 12, et exprime la masse d'un atome d'hydrogène. Il est égal à $1.66 \cdot 10^{-27}$ kg.





Amedeo Avogadro (1776-1856)

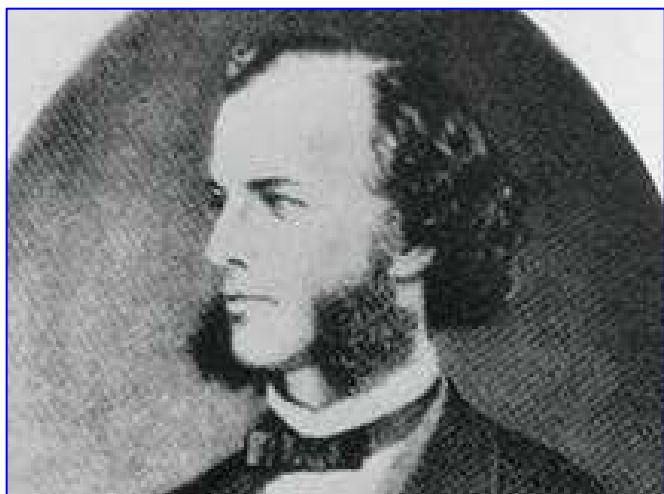
Le nombre d'Avogadro doit son nom au physicien italien **Amedeo Avogadro**, qui a postulé en **1811** qu'à une température et une pression données, tous les gaz ont le même volume molaire. Autrement dit, à des températures et des pressions identiques, des volumes égaux de gaz contiennent le même nombre de molécules: **c'est la loi d'Avogadro**.

Dans les conditions normales de température ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) et de pression (1 atm ou 101 325 Pa), une mole de gaz occupe un volume de 22,4 L (volume molaire) et renferme $N = 6,023 \times 10^{23}$ molécules (nombre d'Avogadro).

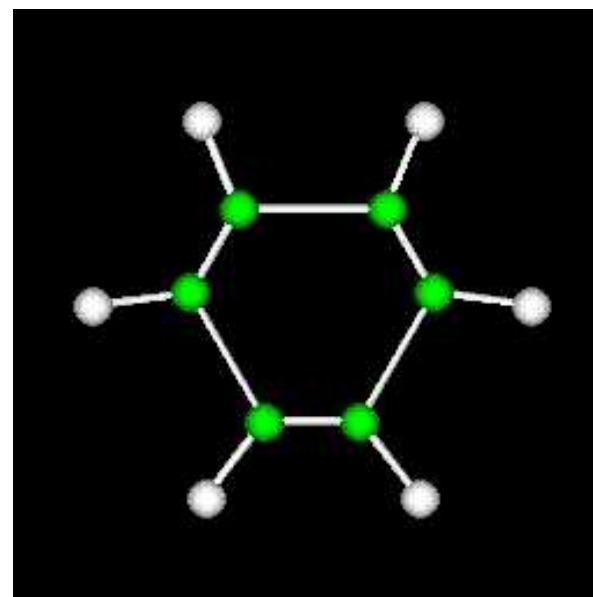
→ estimé par **Loschmidt** en **1865** → mesuré par **Perrin** en **1911**

Friedrich August Kekulé von Stradonitz, (1829-1896)

✓ Il découvre la forme cyclique du Benzène C_6H_6



*Modes vibratoires
de Kekulé*



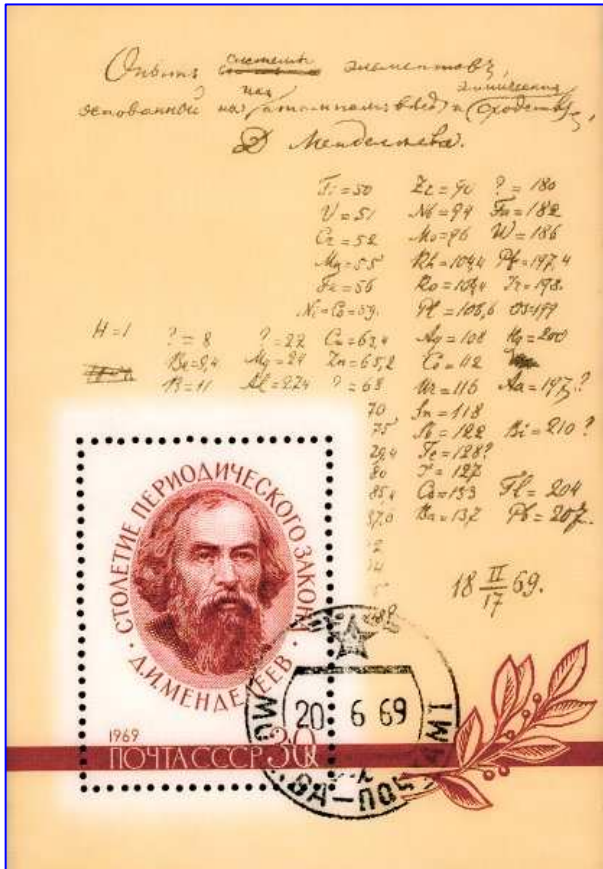
Kekulé organise le premier congrès International de Chimie à *Karlsruhe* en 1860. 140 savants de tous pays y assistèrent dont Mendeleïev...



Dmitri Ivanovitch Mendeleïev (1834-1907)

63 éléments connus à l'époque 1869

- ✓ Classification périodique des éléments
- ✓ Il prévoit des éléments inconnus
gallium, germanium, scandium
- ✓ Rédaction des Principes de la chimie (1870)



Les atomes sont maintenant identifiés et classés.

le 6 mars 1869, une présentation formelle fut faite par Mendeleïev à la société russe de chimie, intitulée La dépendance entre les propriétés des masses atomiques des éléments, énonçant :

1. Les éléments lorsqu'ils sont disposés selon leurs poids atomiques, montrent une périodicité apparente de leurs propriétés.
2. Les éléments qui sont semblables en ce qui concerne leurs propriétés chimiques ont des poids atomiques qui sont peu ou prou de la même valeur (par exemple Pt, Ir, Os) ou qui augmentent régulièrement (par exemple K, Rb, Cs).
3. L'arrangement des éléments, ou des groupes d'éléments dans l'ordre de leurs poids atomiques, correspond à leurs prétendues valences, aussi bien que, dans une certaine mesure, à leurs propriétés chimiques distinctives
4. Les éléments qui sont le plus largement représentés ont de petits poids atomiques.
5. L'importance du poids atomique détermine le caractère de l'élément, de même que l'importance de la molécule détermine le caractère d'un corps composé.
6. Nous devons nous attendre à la découverte de nombreux éléments jusqu'ici inconnus. Par exemple des éléments analogues à l'aluminium et au silicium dont la masse atomique serait comprise entre 65 et 75.
7. La masse atomique d'un élément peut parfois être modifiée par une connaissance de la masse de ses éléments contigus. Ainsi, le poids atomique du tellure doit se trouver entre 123 et 126, et ne peut pas être 128.
8. Certaines propriétés caractéristiques des éléments peuvent être prévues à partir de leur masse atomique.

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

<http://www.kif-split.hr/periodni/>

GROUPE		TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS																18 VIIIA	
PÉRIODE	1 IA											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 1.0079 H HYDROGÈNE											2 4.0026 He HÉLIUM							
2	3 6.941 Li LITHIUM	4 9.0122 Be BÉRYLLIUM											5 10.811 B BORE	6 12.011 C CARBONE	7 14.007 N AZOTE	8 15.999 O OXYGÈNE	9 18.998 F FLUOR	10 20.180 Ne NÉON	
3	11 22.990 Na SODIUM	12 24.305 Mg MAGNÉSIMUM											13 26.982 Al ALUMINIUM	14 28.086 Si SILICIUM	15 30.974 P PHOSPHORE	16 32.065 S SOUFRE	17 35.453 Cl CHLORE	18 39.948 Ar ARGON	
4	19 39.098 K POTASSIUM	20 40.078 Ca CALCIUM	21 44.956 Sc SCANDIUM	22 47.867 Ti TITANE	23 50.942 V VANADIUM	24 51.996 Cr CHROME	25 54.938 Mn MANGANÈSE	26 55.845 Fe FER	27 58.933 Co COBALT	28 58.693 Ni NICKEL	29 63.546 Cu CUIVRE	30 65.39 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALLIUM	32 72.64 Ge GERMANIUM	33 74.922 As ARSENIC	34 78.96 Se SÉLÉNIUM	35 79.904 Br BROME	36 83.80 Kr KRYPTON	
5	37 85.468 Rb RUBIDIUM	38 87.62 Sr STRONTIUM	39 88.906 Y YTRIUM	40 91.224 Zr ZIRCONIUM	41 92.906 Nb NIOBIUM	42 95.94 Mo MOLYBDÈNE	43 (98) Tc TECHNÉTIUM	44 101.07 Ru RUTHÉNIUM	45 102.91 Rh RHODIUM	46 106.42 Pd PALLADIUM	47 107.87 Ag ARGENT	48 112.41 Cd CADMIUM	49 114.82 In INDIUM	50 118.71 Sn ÉTAIN	51 121.76 Sb ANTIMOINE	52 127.60 Te TELLORE	53 126.90 I IODE	54 131.29 Xe XÉNON	
6	55 132.91 Cs CÉSIMUM	56 137.33 Ba BARYUM	57-71 La-Lu Lanthanides	72 178.49 Hf HAFNIUM	73 180.95 Ta TANTALE	74 183.84 W TUNGSTÈNE	75 186.21 Re RHÉNIUM	76 190.23 Os OSMIUM	77 192.22 Ir IRIDIUM	78 195.08 Pt PLATINE	79 196.97 Au OR	80 200.59 Hg MERCURE	81 204.38 Tl THALLIUM	82 207.2 Pb PLOMB	83 208.98 Bi BISMUTH	84 (209) Po POLONIUM	85 (210) At ASTATE	86 (222) Rn RADON	
7	87 (223) Fr FRANCIUM	88 (226) Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actinides	104 (261) Rf RUTHERFORDIUM	105 (262) Db DUBNIUM	106 (266) Sg SEABORGIUM	107 (264) Bh BOHRIUM	108 (277) Hs HASSIUM	109 (268) Mt MEITNERIUM	110 (281) Uun UNUNUNIUM	111 (272) Uuu UNUNUNIUM	112 (285) Uub UNUNBIUM	114 (289) Uuq UNUNQUADIUM						

ÉTAT PHYSIQUE (100 °C; 101 kPa)

- Ne - gaz
- Fe - solide
- Ga - liquide
- Tc - synthétique

LANTHANIDES

(1) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-683 (2001)
La masse atomique relative est donnée avec cinq chiffres significatifs. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masse de l'isotope de l'élément ayant la durée de vie la plus grande.
Toutefois, pour les trois éléments Th, Pa et U qui ont une composition isotopique terrestre connue, une masse atomique est indiquée.

57 138.91 La LANTHANE	58 140.12 Ce CÉRIUM	59 140.91 Pr PRASÉODYME	60 144.24 Nd NÉODYME	61 (145) Pm PROMÉTHIUM	62 150.36 Sm SAMARIUM	63 151.96 Eu EUROPIUM	64 157.25 Gd GADOLINIUM	65 158.93 Tb TERBIUM	66 162.50 Dy DYSPROSIUM	67 164.93 Ho HOLMIUM	68 167.26 Er ERBIUM	69 168.93 Tm THULIUM	70 173.04 Yb YTTÉRIUM	71 174.97 Lu LUTÉTIUM
------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

89 (227) Ac ACTINIUM	90 232.04 Th THORIUM	91 231.04 Pa PROTACTINIUM	92 238.03 U URANIUM	93 (237) Np NEPTUNIUM	94 (244) Pu PLUTONIUM	95 (243) Am AMÉRICIUM	96 (247) Cm CURIUM	97 (247) Bk BERKÉLIUM	98 (251) Cf CALIFORNIUM	99 (252) Es EINSTEINIUM	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELÉVIUM	102 (259) No NOBÉLIUM	103 (262) Lr LAWRENCIUM
-----------------------------------	-----------------------------------	--	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

Toutes ces découvertes relancèrent l'intérêt pour l'étude des corrélations entre les propriétés des éléments. En 1864, le chimiste britannique **John A.R. Newlands** établit le classement des éléments dans l'ordre croissant des masses atomiques, et remarqua qu'un groupe donné de propriétés se retrouve tous les huit éléments. Il appela cette répétition périodique la *loi des octaves*, par analogie avec les gammes musicales. La découverte de Newlands ne parvint pas à impressionner ses contemporains, probablement parce que la périodicité observée était limitée à un petit nombre d'éléments connus.