Histoire et destinée du tableau de Mendeleïev

Françoise Montigny-Rannou

Enseignant - Chercheur

De la classification périodique des éléments

Une science se reconnaît à l'organisation des sujets qu'elle traite, à l'ordonnancement des idées et à la classification des éléments qui la constituent. C'est au cours du XVIII^{e} siècle que cette démarche s'est établie pour les disciplines scientifiques. Dès 1749, Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788) commence la publication de *L'Histoire Naturelle*.

Carl von Linné (1707-1778) présente une première classification des plantes dans son ouvrage *Systema Naturae* de 1735 (dixième édition en 1758-1759). Si cette classification est aujourd'hui abandonnée, les principes de base ont été conservés. C'est seulement après 1850, que les tentatives de classification des éléments en Chimie ont donné des résultats encourageants.

Le tableau, dit de Mendeleïev, est apparu dès 1869 dans le manuel de chimie *Les Principes de Chimie* écrit par Dmitri Mendeleïev qui était alors alors professeur de chimie minérale à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

Il s'est heurté à une grande difficulté :

Comment présenter clairement les propriétés des différents "corps simples" (nous dirions "atomes" aujourd'hui) connus à cette époque ? En 1849, ils étaient 57.

Dmitri MENDELEIEV,
1834 -1907.

De l'alchimie à la chimie

Les mathématiques et la physique ont commencé à s'organiser en disciplines scientifiques dès la moitié du XVII^e siècle. *Le Discours de la Méthode* de René Descartes (1596-1650) date de 1637 et Isaac Newton (1642-1727) a publié la théorie de l'attraction universelle en 1687 dans *Des Principes Mathématiques de Philosophie Naturelle.* Mais c'est au XVIII^e siècle sous les règnes de Louis XV (1710-1774) et de Louis XVI (1754-1793) que le domaine scientifique va s'émanciper et se libérer peu à peu des contraintes religieuses. *L'Encyclopédie* ou *Le Dictionnaire Raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers* dont Denis Diderot (1713-1784) et Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783) ont dirigé la publication, a été imaginée par deux libraires, conçue et publiée entre 1745 et 1772.

La chimie, elle, a eu beaucoup de mal à se séparer de l'alchimie. Emile Littré dans l'édition de Juin 1877 du *Dictionnaire de la Langue Française* donne la définition suivante pour ces deux termes :

410 LIVRE TROISIESME

L'huile passera quand & quand son eau & son phlegme, &c. L'vn est au fond de l'eau, l'autre nage par dessus. L'huile soit separee, alors l'eau soit distilee derechef, & ce que sortira le premier, sera eau fort plaisante, le reste sera phlegme. La distillation pour estre parachevee en huit heures voila que dit Gesner.

Instrument fort commode pour extraire huile des racines, herbes, semences, & choses aromatiques, &c.

CHAP. III.

A. La vessie qui contient la matiere.
B. Le verre tient au col, afin que le col plus commodément soit accommodé à l'orifice ample de la vessie, lequel n'eust receu le col commodément, sinon par cest entredeux & moiyen.
C. Le col longuet afin que le chapiteau ne s'eschauffe pas si tost.
D. Le chapiteau.
E. Le vaisseau qui environne le chapiteau, dans lequel l'eau froide tombe assiduëment.
F. Le vaisseau recevant longuet.
G. Le Robinet pour vuider l'eau eschauffee.
I'ay recouvert depuis quelque temps la figure de ce fourneau de Fœlix Plater, Medecin de Basle.

Les secrets de medecine et de la phylosophie chymique.
Jean Liebaut – 1593.

Chimie ou Chymie : *Science dans laquelle on étudie les lois de composition des corps cristallisables ou volatils, naturels ou artificiels et les lois des phénomènes de combustion ou de décomposition résultant de leur action moléculaire les uns sur les autres.*

Alchimie ou Alchymie : *Chimie du Moyen Âge qui, au lieu d'avoir pour but l'étude de la composition de corps, cherchait la panacée universelle et la transmutation des métaux.*

C'est Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) qui le premier a donné une définition de "l'élément" comme *toute substance que nous n'avons pu décomposer par aucun moyen*. (Traité élémentaire de chimie, 1789).

Il donne un classement en quatre grandes familles en fonction des composés que ces substances simples servent à former. Il réserve une place privilégiée à cinq d'entre elles qui appartiennent aux trois règnes et qu'on peut regarder comme les éléments des corps :

la lumière, le calorique, l'oxygène, l'azote et l'hydrogène.

Antoine-Laurent de Lavoisier et sa femme.
Peinture de David. Metropolitan Museum de New-York.

Recherche d'un critère de classement : la masse atomique

Au cours du XVIII^{e} et au début du XIX^{e} siècle, les progrès dans l'analyse expérimentale permettent la découverte d'un grand nombre de corps simples et les chimistes éprouvent de grandes difficultés à systématiser leur science comme les physiciens l'ont fait dans *l'Encyclopédie* de Denis Diderot. Lavoisier dénombrait trente-trois corps qui n'étaient pas tous simples. Dès 1830, on en compte plus de cinquante et environ soixante-dix dans les années 1860 quand commence l'analyse spectrale.

Les progrès théoriques permettent de définir la masse atomique. En 1811, le chimiste italien Amadeo di Quregna e Ceretto, comte d'Avogadro (1776-1856), suivi de peu par André Marie Ampère (1775-1836), formule le fameux principe appelé depuis principe d'Avogadro-Ampère :
Dans les mêmes conditions de température et de pression, un même volume de gaz contient le même nombre de molécules et cela quelle que soit la nature du gaz.

Ce principe eut beaucoup de mal à être accepté par les chimistes car il les obligeait à admettre la théorie atomique et à faire la différence entre atomes et molécules. Ce fut le résultat du congrès de chimie de Karlsruhe en 1860. Ce fut le premier congrès international de chimie et le début d'un processus d'échanges entre les différents laboratoires. De l'aveu même de Mendeleïev, ce congrès eut une influence déterminante.

Amadeo du Quaregna, comte d'Avogadro.

A chaque élément (ou corps simple) correspond un atome bien défini, désigné par un symbole. Chaque symbole représente un multiple commun $\mathcal{N}_o$ de l'atome réel. $\mathcal{N}_o$ est appelé *nombre d'Avogadro*. Dès 1865, Joseph Loschmidt (1821-1895) évalue le nombre de molécules contenues dans 1cm^3 de gaz à 0° C, sous la pression de 760 mm de mercure, en se basant sur le diamètre d'une molécule précédemment calculé. La valeur actuelle du nombre d'Avogadro est : $\mathcal{N}_o = 6.023 \times 10^{23}$.

Ceci permet alors de définir la *mole*, c'est-à-dire la quantité de matière correspondant à $\mathcal{N}_a$ atomes réels. Sa masse est appelée **masse atomique** et s'exprime en grammes/mole.

La loi d'Avogadro s'écrit alors :

La mole d'un corps gazeux occupe un volume de 22,4 litres dans les conditions normales de pression et de température.

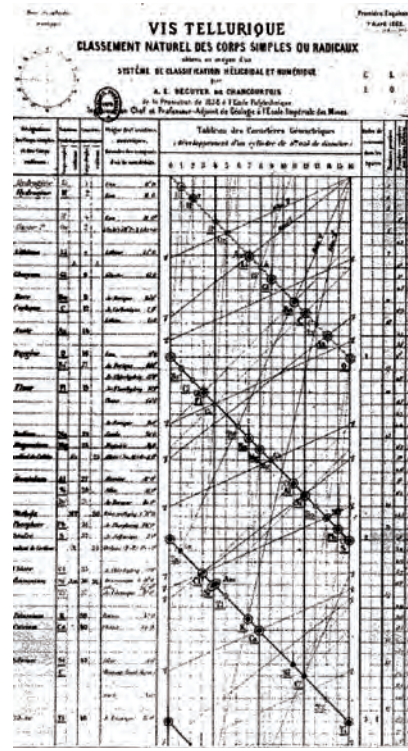
Alors les chimistes possèdent le critère permettant de construire une classification des éléments, raisonnée, selon la masse atomique. Il s'agit de recomposer sur la base de considérations arithmétiques toutes simples, les parentés et les filiations des éléments. Les relations entre les masses atomiques doivent permettre de tisser de proche en proche un réseau de familles d'éléments chimiques.

Les classifications après 1860

Dès après le congrès de Karlsruhe, de nombreux chercheurs ont proposé diverses classifications avant celle de Dmitri Mendeleïev. On en retiendra deux.

La vis tellurique d'Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois (1820-1886)

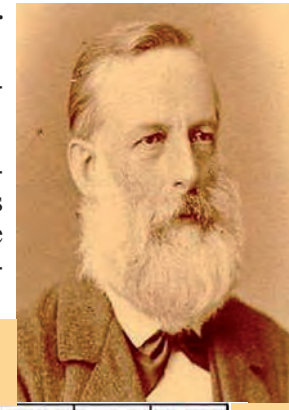
Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois.



Cet ancien élève de l'Ecole Polytechnique (promotion 1838) et de l'Ecole des Mines, professeur de géologie dans cette institution, proposa en 1862 à l'Académie des sciences de Paris une classification sous forme d'une vis tellurique, qu'il figurait en trois dimensions sur un cylindre. Sa classification est un système en hélice dont l'axe vertical est formé par la suite des nombres entiers correspondant aux masses atomiques des éléments. Les éléments dont la masse atomique diffère de seize unités sont mis sur une même génératrice du cylindre et présentent des propriétés chimiques voisines. Béguyer de Chancourtois part donc du principe que les propriétés des corps obéissent à des lois arithmétiques.

Cette classification eut peu de succès car son auteur avait tendance à corriger à la légère les valeurs des masses atomiques.

La classification de Julius Lothar Meyer (1830-1895)



Julius Lothar Meyer était professeur de chimie à l'Université de Karlsruhe.

Il a construit entre 1864 et 1868 une classification des éléments par ordre croissant de masses atomiques en mettant en colonne les éléments de propriétés comparables. Il vérifie ainsi la périodicité de leurs propriétés.

Ce tableau publié en 1870 est voisin de celui que Mendeleïev avait publié en 1869, ce qui entraîna une âpre querelle de priorité.

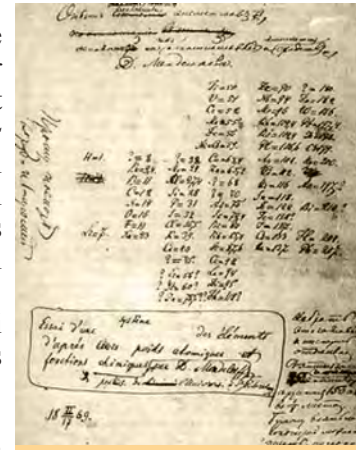
B 11	Al 27,3	—	—	—	—	In 113,4	—	Tl 203
C 13	Si 28	—	—	—	—	Sn 117,8	—	Pb 206
			Ti 48	—	Zr 89,7		—	—
N 14	P 30,9	—	—	As 74,9		Sb 122,1	—	Bi 207
		—	V 51,2	—	—	—	Ta 182	—
O 16	S 32	—	—	Se 78	—	Te 128	—	—
			Cr 53,4	—	Mo 95,5			W 183,5
F 19,1	Cl 35,4	—	—	Br 79,7	—	I 126,5	—	—
		—	Mn 54,8	—	Ru 103	—	Os 198	—
		—	Fe 55,9	—	Rh 104	—	Ir 196?	—
		—	Ni 58,6	—	R 106	—	Pt 196?	—
Li 7	Na 23	K 39	—	Rb 85,2	—	Cs 132,7	—	—
			Cu 63,3	—	Ag 108	—	Au 199	—
Be 9,3	Mg 23,9	Ca 39,9	—	Sr 87	—	Ba 136,8	—	—
				Zn 64,9	—	—	—	Hg 199

Dans cette classification, Lothar Meyer n'a pas prévu les propriétés des éléments à découvrir, ni osé des corrections de masse atomique. En 1864, il avait déjà classé vingt-huit éléments en neuf colonnes et sept lignes, les premières du tableau. Pour ce faire, il avait pris comme unité de masse, la masse atomique de l'hydrogène. Les éléments analogues sont sur une même ligne.

Le tableau périodique de Mendeleïev

Dmitri Mendeleïev est né en 1834 à Tobolsk, ville de la plaine de Sibérie occidentale sur le fleuve Irtych, un affluent de l'Ob. Son père est professeur de philosophie, d'art et d'économie politique. A la mort de celui-ci, il part vivre avec sa mère adorée à Saint-Pétersbourg.

Après des études de physique et de mathématiques, il y est nommé professeur de chimie à l'université. C'est en rédigeant un manuel de cours, en russe, *Les Principes de Chimie* de 1869 à 1871, qu'il découvre la loi périodique des éléments. Il considère d'ailleurs cette loi comme plus importante que le tableau lui-même dont il donnera au moins trois versions.
Mendeleïev a très rapidement énoncé la loi périodique mais il a beaucoup hésité dans la présentation du tableau des éléments.



Exemplaire manuscrit du célèbre tableau.

La figure suivante propose un tableau dans lequel les périodes sont à la verticale pour mettre en valeur les éléments qui ont eu un rôle important dans la découverte de la loi périodique.
Mendeleïev procède de la façon suivante : il dresse la liste des éléments par ordre de masse volumique croissante. En regardant le résultat obtenu, il met l'hydrogène (H) à part et range les éléments par groupe de six ou sept.
Ainsi le lithium (Li), le sodium (Na) et le potassium (K) sont sur une même ligne. Ce sont tous les trois des métaux alcalins. Le beryllium (Glucinium) (Be) et le magnésium (Mg) sont sur une même ligne ; ce sont des métaux alcalino-terreux. Et ainsi de suite...

			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	Pd 106,6	Os 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 35,5	Br 80	I 127	
Li 7	Na 23	K 39	Rb 85,4	Cs 133	Tl 204
		Ca 40	Sr 87,5	Ba 137	Pb 207
		? 45	Ce 92		
		? (Er = 56)	La 94		
		In 75,5	Th 118 ?		

Mendeleïev comprend qu'il vient de trouver la clef de la classification des éléments. La masse atomique sert à organiser les éléments qui sont classés en lignes suivant leurs propriétés chimiques. C'est ainsi qu'il classe les soixante-deux éléments connus.

Mais il laisse aussi des cases vides, car lui seul a compris que certains éléments seront à découvrir. Ainsi ce tableau périodique organise complètement la chimie minérale.

Après la publication du tableau de 1869, plusieurs découvertes eurent lieu.

- En 1875, le gallium (Ga) est découvert par Paul-Emile Lecoq de Boisbaudran.
- En 1878, sont isolés l'holmium (Ho) par Per Theodor Clev, chimiste suédois et l'Yytterbium (Yb) par Jean-Charles Galissard de Marignac. Ces deux éléments font partie des Lanthanides.
- En 1886, Clemens Alexander Winckler parvient à isoler le germanium (Ge) correspondant à l'éka-silicium prévu par Mendeleïev.
- En 1894, l'Anglais William Ramsay (en collaboration avec John W. Rayleigh) découvre l'argon (Ar) qui trouvera sa place sous l' hélium (He) découvert dans le spectre de la couronne solaire par l'Astronome Jules Janssen en 1868.
- En 1898, Ramsay découvrira trois nouveaux éléments dans l'air : le néon (Ne), le kripton (Kr) et le xénon (Xe) qui forment ainsi l'ensemble des gaz rares ou gaz nobles.

Le tableau périodique dont nous avons maintenant l'habitude est constitué de colonnes (verticales) pour les groupes et de lignes (horizontales) pour les périodes. Mendeleïev avait dessiné sept colonnes. Une huitième colonne a été rajoutée pour disposer les gaz rares.

Le tableau périodique actuel des éléments

Le tableau de la figure suivante est le tableau officiel utilisé en France. Il contient tous les éléments connus ; quatre-vingt-douze éléments sont naturels. Il se trouve sur le site Internet : *http://www.science.gouv.fr*.

Le tableau actuel est construit à partir de la théorie atomique de la matière.

L'atome peut être visualisé comme un noyau central d'un diamètre de l'ordre de 10^{-14} mètre, chargé positivement, autour duquel gravite un cortège d'électrons qui confère à l'ensemble un diamètre de l'ordre de 10^{-10} mètre. Ce sont ces électrons qui rendent possible l'assemblage des atomes pour former les molécules.

On appelle ***Z*** le nombre d'électrons ou **numéro atomique** de l'atome.

Le tableau périodique est construit suivant les numéros atomiques croissants ; il contient dix-huit colonnes pour les groupes et sept lignes pour les périodes. Un traitement à part est réservé aux lanthanides et aux actinides.

- Les électrons d'un atome se répartissent en couches, chaque couche étant caractérisée par un numéro *n*.
- Les électrons sont d'autant plus proches du noyau que *n* est faible. Dans ce cas, ils sont d'autant plus liés au noyau.
- On attribue à chaque couche *n* une lettre. Une couche est saturée à $2n^2$ électrons.

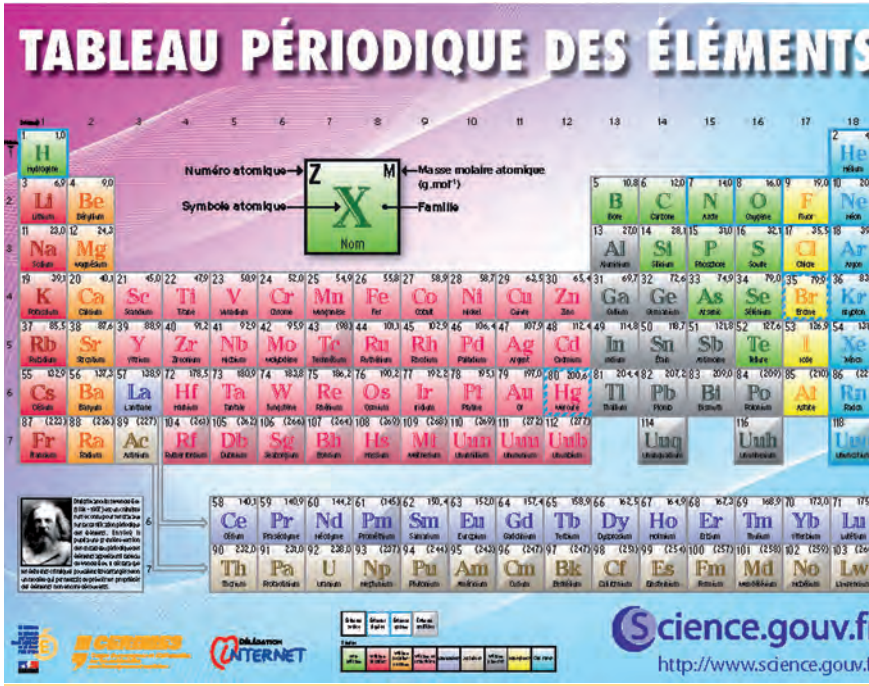


Tableau officiel publié par le gouvernement français en 2006.

n	**1**	**2**	**3**	**4**	
Couche	**K**	**L**	**M**	**N**	
Saturation	**2**	**8**	**18**	**32**	**électrons**

Exemples :

Hydrogène	H : Z=1	⟹	K^1
Hélium	He : Z=2	⟹	K^2
Oxygène	O : Z=8	⟹	K^2 L^6
Néon	Ne : Z=10	⟹	K^2 L^8
Chlore	Cl : Z=17	⟹	K^2 L^8 M^7

Les éléments sont disposés en ligne dans le sens des nombres atomiques croissants. Dans la dix-huitième colonne se retrouvent les gaz rares.

Il existe quatre-vingt-douze éléments naturels de l'Hydrogène à l'Uranium plus une vingtaine d'éléments artificiels appelés trans-uraniens pour lesquels ***Z*** est supérieur à 92.

En conclusion

Ce n'est qu'au tout début du XX^{e} siècle que les chimistes ont trouvé un critère satisfaisant pour construire le tableau périodique des éléments dont Dmitri Mendeleïev a été le plus grand inspirateur. Le critère d'ordonnancement n'est plus la masse atomique mais le numéro atomique ***Z***.

Ce tableau fait la joie des cruciverbistes car les symboles des éléments (115 à ce jour) constituent des petits mots de une, deux ou trois lettres bien commodes à placer.

F. M.-R.

Pour en savoir (un peu) plus

Jean Beaudet : *Penser la matière : une histoire des chimistes et de la chimie*
Editions Vuibert 2004 (réédition septembre 2009)

Bernadette Bensaude-Vincent : *La genèse du tableau de Mendeleïev*
La Recherche 159 Octobre 1984 pages 1206-1215

Marc Lefort : *Les constituants chimiques de la matière.Description des éléments*
Editions Ellipses 2003

R. Massain : *Chimie et chimistes*
Editions Magnard 1939