la classification périodique, de lavoisier à mendeleïev

publié le 25.01.11 |par fanny barbaud, clarisse péan, emilie molina

de 12 éléments connus avant 1700, on est passé à plus de 80 éléments connus en 1900. l'enjeu était à cette époque de pouvoir enseigner et transmettre ce savoir chimique. en effet, jusque-là, l'enseignement de la chimie et de ses éléments se présentait sous la forme de longues listes avec leurs propriétés totalement décorrélées les unes des autres.

1. présentation

comme le montre le tableau suivant (voir fig. 1), les chimistes du xixè siècle ont constaté l'explosion démographique des éléments. de 12 éléments connus avant 1700, on est passé à plus de 80 élements connus en 1900. l'enjeu était à cette époque de pouvoir enseigner et transmettre ce savoir chimique. en effet, jusque-là, l'enseignement de la chimie et de ses éléments se présentait sous la forme de longues listes avec leurs propriétés totalement décorrélées les unes des autres.

évolution de la découverte des éléments chimiques

avant 1700	1700 - 1799	1800 - 1849	1850 - 1899
antimoine	azote	aluminium	actinium
argent	béryllium	baryum	argon
arsenic	bismuth	bore	césium
carbone	chlore	brome	dysprosium
cuivre	chrome	cadmium	gadolinium
etain	coballt	calcium	gallium
fer	fluor	cérium	germanium
mercure	hydrogène	erbium	hélium
or	manganèse	iode	holmium
phosphore	molybdène	lanthane	indium
plomb	nickel	iridium	krypton
soufre	oxygèène	lithium	néodyme
	platine	magnésium	néon
	strontium	nobium	polonium
	tellure	osmium	praséodyme
	titane	palladium	radium
	tungstène	potassium	rhodium
	uranium	rubidium	ruthénium
	yttrium	sélénium	samarium
	zinc	silicium	scandium
	zirconium	sodium	thallium
		tantale	thulium
		thorium	xénon
		vanadium	ytterbium
(12)	(21)	(24)	(24)

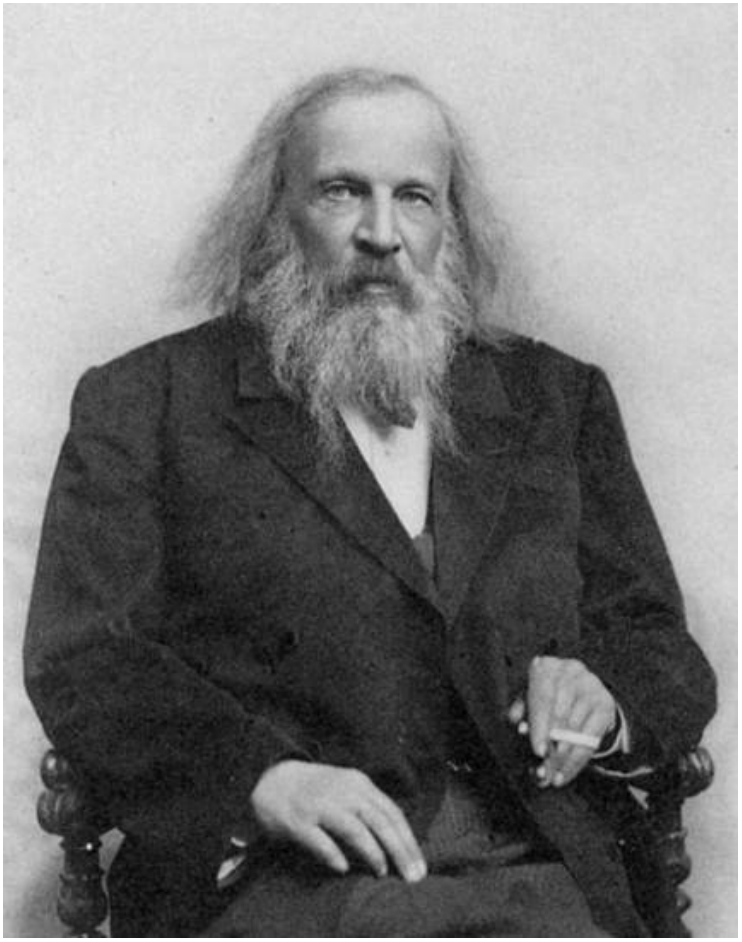


figure 1 - dmitri ivanovitch mendeleïev

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

de longues recherches se sont déroulées pendant près d'un siècle pour obtenir le tableau connu aujourd'hui. en 1869, dmitri ivanovitch mendeleïev classe l'ensemble des éléments en un système périodique suivant l'ordre de progression des poids atomiques. son nom aujourd'hui figure dans tous les livres de chimie.

mendeleïev figure souvent comme un devin, un prophète qui, dans une intuition fulgurante, un éclair de génie, aurait anticipé non seulement sur l'expérience, en prédisant des éléments inconnus, mais aussi sur les théories quantiques du xx^{ème} siècle. mais cela ne serait-il pas simplement dû au génie et à la méthode de ce chimiste russe ? en effet certains chercheurs, notamment oliver sacks dans le new york times qualifie la découverte de mendeleïev comme la « meilleure idée, histoire et invention de ce dernier millénaire ».

néanmoins, cette interprétation du passé à partir de la science contemporaine est surnommée « whig history » par les historiens anglais. « l'histoire postiche » est très répandue dans les cours et congrès scientifiques. cherchant dans le passé les jalons qui mènent aux théories d'aujourd'hui, les scientifiques ont tendance à schématiser l'histoire. eliminant les fausses pistes et les impasses, ils inventent une voie royale conduisant à la science présente.

nous allons au cours de ce plan détaillé tâcher de présenter la démarche scientifique qui a conduit à l'élaboration de ce tableau ; démarche qui a débuté bien avant mendeleïev.

2. les travaux réalisés avant mendeleïev

2.1. les premières règles du langage chimique avec guyton



figure 2 - portrait de louis-bernard guyton

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

les règles de guyton sont détaillés dans son ouvrage paru en 1782 : « mémoire sur les dénominations chimiques, la nécessité d'en perfectionner le système, et les règles pour y parvenir ».

les principales règles sont :

1. chaque substance : un nom et pas une circonlocution.
2. le nom évoque les constituants et pas celui qui a découvert.
3. si composition incertaine : dénomination ne signifiant rien.
4. nouveaux termes à partir du latin et du grec.

(exemples : « sel marin à base de terre pesante » : muriate de barote ; « sel de succin retiré par la cristallisation » : acide succinique cristallisé ; « sucre de saturne » : acétate de plomb ; « lune cornée » : muriate d'argent)

2.2. la classification de lavoisier



figure 3 - portrait de monsieur lavoisier

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

en 1789, dans son ouvrage « traité élémentaire de chimie présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes », lavoisier expose les principes de sa classification des éléments chimiques :

2.2.1. 5 classes

1. 5 éléments qui s'approchent le plus de l'état de simplicité : lumière, calorique, oxygène, hydrogène, azote.
2. 25 bases acidifiables.
3. 17 substances métalliques.
4. 5 terres.
5. 3 alkalis.



192 DES SUBSTANCES SIMPLES.

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	Noms nouveaux.	Noms anciens correſpondans.
Subſtances ſimples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.	Lumière	Lumière.
	Calorique	Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu. Matière du feu & de la chaleur.
	Oxygène	Air déphlogiſtiqué. Air empiréal. Air vital. Baſe de l'air vital.
	Azote	Gaz phlogiſtiqué. Mofete. Baſe de la mofete.
	Hydrogène	Gaz inflammable. Baſe du gaz inflammable.
Subſtances ſimples non métalliques oxidables & acidifiables.	Soufre	Soufre.
	Phoſphore	Phoſphore.
	Carbone	Charbon pur.
	Radical muriatique	Inconnu.
	Radical fluorique	Inconnu.
	Radical boracique	Inconnu.
Subſtances ſimples métalliques oxidables & acidifiables.	Antimoine	Antimoine.
	Argent	Argent.
	Arſenic	Arſenic.
	Biſmuth	Biſmuth.
	Cobolt	Cobolt.
	Cuivre	Cuivre.
	Etain	Etain.
	Fer	Fer.
	Manganèſe	Manganèſe.
	Mercure	Mercure.
	Molybdène	Molybdène.
	Nickel	Nickel.
	Or	Or.
	Platine	Platine.
	Plomb	Plomb.
	Tungſtène	Tungſtène.
	Zinc	Zinc.
Subſtances ſimples ſalifiables terreuſes.	Chaux	Terre calcaire, chaux.
	Magnéſie	Magnéſie, baſe du ſel d'Epſom.
	Baryte	Barote, terre peſante.
	Alumine	Argile, terre de l'alun, baſe de l'alun.
	Silice	Terre ſiliceuſe, terre vitrifiable.

figure 4 - tableau des substances simples, extrait du « traité élémentaire de chimie présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes », lavoisier

il s'agit de la première organisation sous forme de tableau ; elle clarifie certaines différences mais ne révèle pas la périodicité des propriétés des éléments classés (exemple : les métaux sont classés par ordre alphabétique en français).

3. notion de poids atomique



figure 5 - john dalton

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

- introduite par dalton en 1808.
- but : comparer les masses des différents atomes ; unité : h (plus petite masse).
- système de dalton confirmé par lois sur les gaz de gay-lussac : « les volumes de deux gaz qui se combinent sont entre eux dans des rapports simples »
- loi d'avogadro-ampère fait la jonction : « des volumes égaux de gaz, pris à la même température et à la même pression, contiennent le même nombre de molécules » → détermine le poids atomique d'après la densité gazeuse.
- 1860 karlsruhe : système cohérent de poids atomiques qui comportait cependant certaines erreurs : mendeleïev n'hésitera pas à « corriger » certaines valeurs pour réaliser sa classification.

3.1. les triades de johann döbereiner



figure 6 - johann wolfgang döbereiner

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

- basé sur relation entre poids atomiques (demi-somme des poids équivalents) et propriétés chimiques.
- eléments groupés par trois.
- 1817 : 1ère triade sr, ca, ba → alcalino-terreux
  sr(88) = [ca(40) + ba(137)] / 2
- 1829 : deux autres « triades ».
- halogènes : même facilité à former ion monoatomique négatif
  br(80) = [cl(35,5) + i(127)] / 2
- métaux alcalins : na(23) = [li(7) + k(39)] / 2
- 1850 : environ 20 triades.

3.2. les tétrades de jean-baptiste dumas

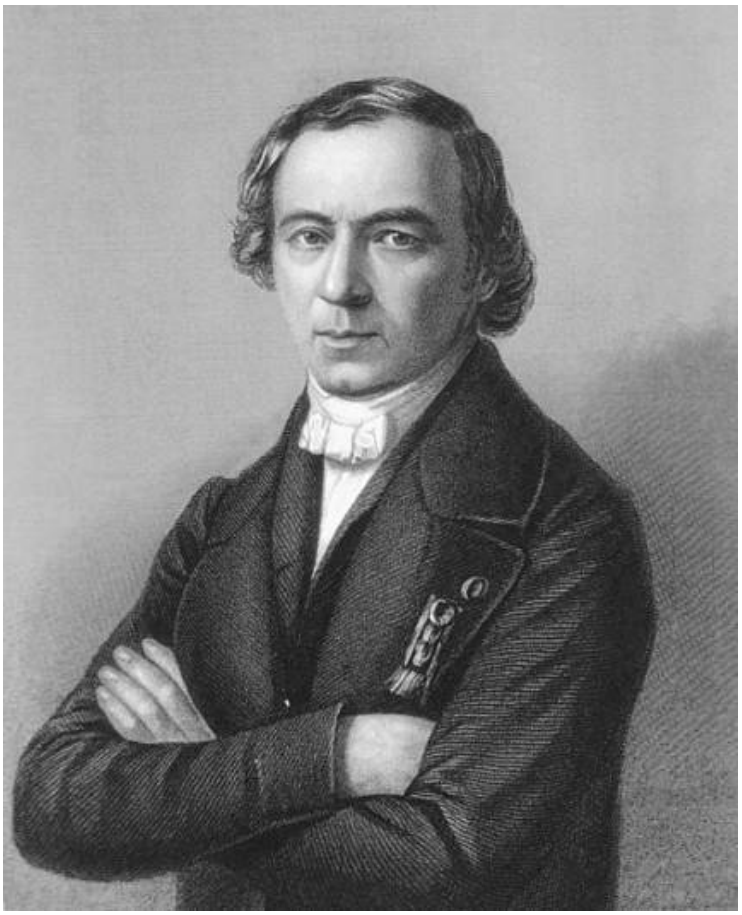


figure 7 - jean-baptiste andré dumas

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

- **1859 : ajout d'un quatrième élément à la triade.**
- **progressions similaires d'une tétrade à l'autre.**
- **applicable à un plus grand nombre d'éléments.**
- **l'incrément constaté par dumas mesure précisément la longueur de la période qui sépare ces deux éléments.**

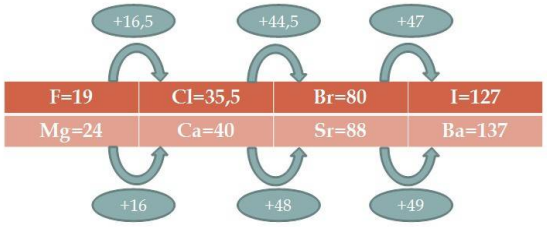


figure 8 - le principe des tétrades

4. mise en évidence de la périodicité

4.1. la vis tellurique de chancourtois (1862)

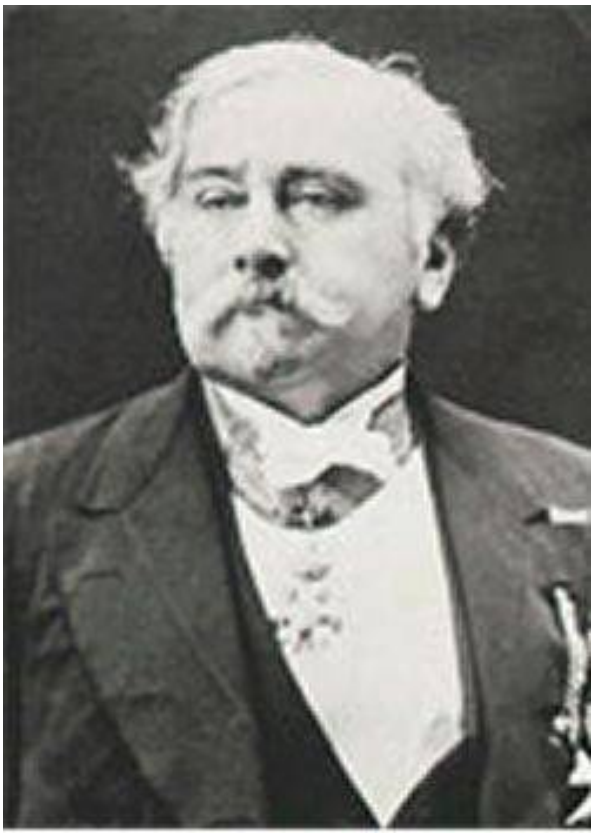


figure 9 - alexandre-emile béguyer de chancourtois

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

il est le premier à remarquer la périodicité des propriétés chimiques.

- classement des éléments chimiques en fonction de leur masse atomique croissante.
- cylindre divisé en seize parties, les éléments aux propriétés similaires apparaissent l'un au-dessus de l'autre.
- il retrouve certaines triades et tétrades alignées (ex: o:16, s:32, se:79, te:128).
- son classement ne retient pas l'attention de la communauté scientifique mais il est d'une grande avancée d'un point de vue conceptuel.

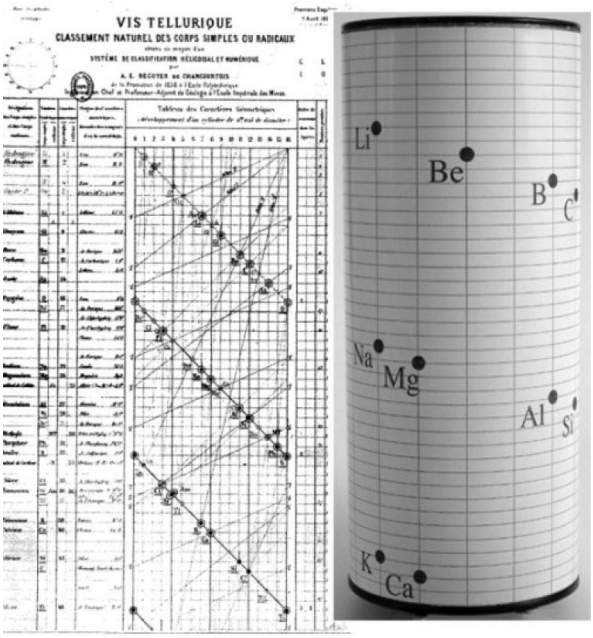


figure 10 - la vis tellurique

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

4.2. de la chimie empirique à la chimie raisonnée

alors que la plupart des chercheurs de l'époque ne s'intéressent qu'aux relations arithmétiques et peu aux analogies de propriétés chimiques entre éléments, trois scientifiques vont aller à contre courant.

plutôt que de privilégier des relations de parentés locales, newlands, odling & mendeleïev recherchent une loi générale basée sur l'utilisation des poids atomiques et permettant la prévision des éléments encore inconnus.

4.3. loi des octaves de john newlands (1863)

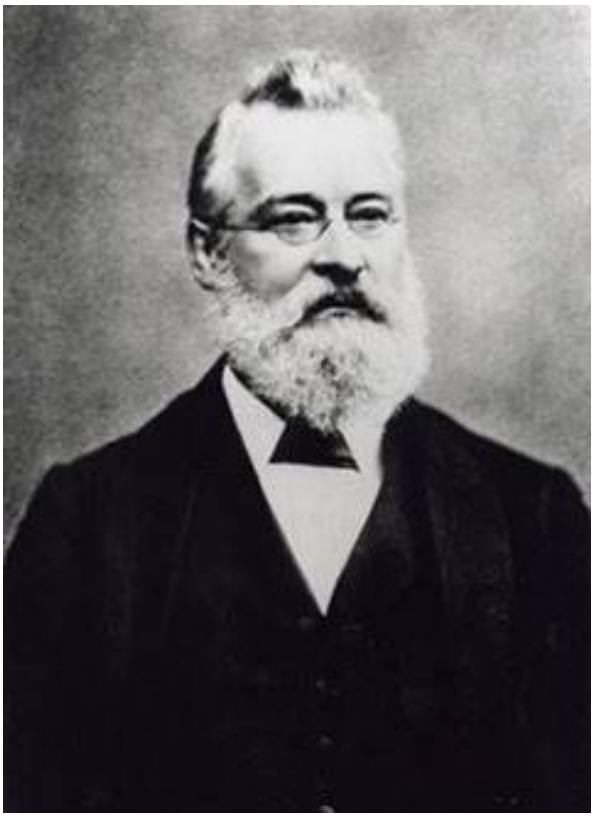


figure 11 - john alexander reina newlands

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

j. newlands propose une organisation par masse atomique croissante en regroupant sur une ligne les éléments ayant des propriétés chimiques similaires. on peut d'ailleurs trouver deux éléments dans une même case.

4.3.1. avancées

- **périodicité globale jusqu'au calcium;**
- **inversion de te et i;**
- **il est le premier à prévoir l'existence d'éléments non encore découverts;**
- **identification d'une nouvelle triade si-sn avec élément médian à découvrir (ge).**

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
1	H	F	Cl	Co & Ni	Br	Pd	I	Pt & Ir
2	Li	Na	K	Cu	Rb	Ag	Cs	Tl
3	Be	Mg	Ca	Zn	Sr	Cd	Ba & V	Pb
4	B	Al	Cr	Y	Ce & La	U	Ta	Th
5	C	Si	Ti	In	Zr	Sn	W	Hg
6	N	P	Mn	As	Di & Mo	Sb	Nb	Bi
7	O	S	Fe	Se	Rh & Ru	Te	Au	Os

figure 12 - les octaves de newlands

4.3.2. faiblesses

- absence de case vide.
- problème de périodicité.
- poids atomiques incorrects.
- que 51 éléments (sur 60).
- mal accueilli par ses pairs.

4.4. notion d’éléments manquants par william odling (~1860)



figure 13 - william odling

auteur(s)/autrice(s) : royal society of chemistry licence : cc-by source : royal society chemistry

il propose une classification proche de celle publiée par mendeleïev.

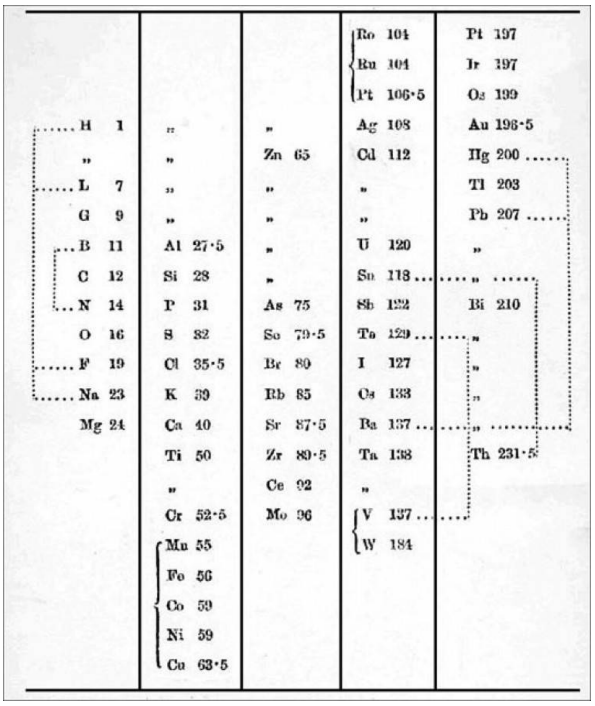
4.4.1. avancées

- 1er à introduire des places vacantes.
- pt, hg, th et pb dans les bons groupes.
- 57 éléments sur 60 connus à l'époque.
- fidèle à l’ordre de croissance des poids atomiques.

4.4.2. faiblesses

- régression dans les publications suivantes.

- **action négative à l'encontre de newlands.**



H 1	„	„	Ro 104	Pt 197
„	„	Zn 65	Ru 104	Ir 197
L 7	„	„	Pt 106·5	Os 199
G 9	„	„	Ag 108	Au 196·5
B 11	Al 27·5	„	Cd 112	Hg 200
C 12	Si 28	„	„	Tl 203
N 14	P 31	As 75	„	Pb 207
O 16	S 32	Se 79·5	U 120	„
F 19	Cl 35·5	Br 80	Sn 118	„
Na 23	K 39	Rb 85	Sb 122	Bi 210
Mg 24	Ca 40	Sr 87·5	Te 129	„
	Ti 50	Zr 89·5	I 127	„
	„	Ce 92	Os 133	„
	Cr 52·5	Mo 96	Ba 137	„
	Mn 55		Ta 138	Th 231·5
	Fe 56		„	
	Co 59		V 137	
	Ni 59		W 184	
	Cu 63·5			

figure 14 - la classification de william odling

4.5. introduction de la valence par lothar meyer (1870)



figure 15 - lothar meyer

auteur(s)/autrice(s) : wikimédia licence : domaine public source : wikimédia

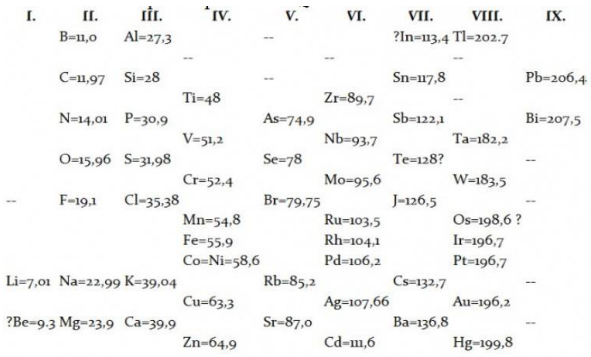
- **1864 : première édition du tableau à 28 éléments, classés en 6 familles : vers la forme moderne.**
- **1868 : second tableau : véritable classification périodique (comprenant même les métaux de transition).**

4.5.1. avancées

- **périodes de longueurs variables.**
- **il réorganise tout l'exposé de la chimie minérale à partir de sa classification.**

4.5.2. faiblesses

- **pas de correction de poids atomiques.**
- **n'anticipe pas les propriétés des éléments manquants.**



I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	B=11,0	Al=27,3	--	--	--	?In=113,4	Tl=202.7	--
	C=11,97	Si=28	Ti=48	--	Zr=89,7	Sn=117,8	--	Pb=206,4
	N=14,01	P=30,9	V=51,2	As=74,9	Nb=93,7	Sb=122,1	Ta=182,2	Bi=207,5
	O=15,96	S=31,98	Cr=52,4	Se=78	Mo=95,6	Te=128?	W=183,5	--
--	F=19,1	Cl=35,38	Mn=54,8	Br=79,75	Ru=103,5	J=126,5	Os=198,6 ?	--
			Fe=55,9		Rh=104,1		Ir=196,7	
			Co=Ni=58,6		Pd=106,2		Pt=196,7	
Li=7,01	Na=22,99	K=39,04	Cu=63,3	Rb=85,2	Ag=107,66	Cs=132,7	Au=196,2	--
?Be=9.3	Mg=23,9	Ca=39,9	Zn=64,9	Sr=87,0	Cd=111,6	Ba=136,8	Hg=199,8	--

figure 16 - la classification de meyer

5. comment mendeleïev s'est-il démarqué de ses prédécesseurs ?

5.1. la quête d'une loi

comme newlands et odling, mendeleïev privilégie la recherche d'une loi générale à la recherche d'une classification. une loi générale permet les prévisions d'éléments inconnus, les corrections de poids atomiques, les inversions…

la loi périodique (1869) : « les propriétés des corps simples et composés dépendent d'une fonction périodique des poids atomiques des éléments, pour la seule raison que ces propriétés sont elles-mêmes les propriétés des éléments dont ces corps dérivent ».

il a une confiance absolue en sa découverte et la considère comme plus importante que le tableau lui-même.

5.2. corps simples ou éléments?

depuis lavoisier, corps simple et élément sont synonymes. mais mendeleïev apporte la distinction et classe par éléments !



figure 17 - distinction entre corps simples et éléments

lavoisier explique les propriétés des corps composés par celles des corps simples ; mendeleïev explique les propriétés des corps simples par celles des éléments.

5.3. les chemins de la découverte

mendeleïev raconte ses démarches dans principes de la chimie rédigé entre 1868 et 1871.

d'après lui, le secret de sa réussite a été la décision de comparer les halogènes et les métaux alcalins :

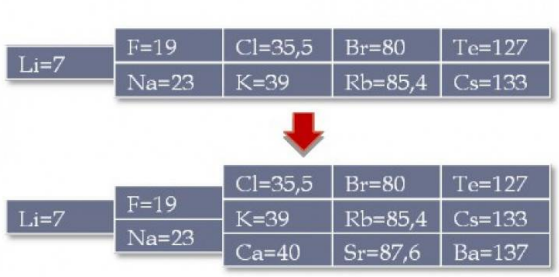


figure 18 - comparaison des halogènes et des métaux alcalins

il écrira ainsi : « vers 1860, le terrain était déjà tout préparé pour cette loi, et si elle n'a été énoncée que plus tard, la cause réside, à mon avis, en ce que l'on comparait entre eux les éléments semblables, en laissant de côté les éléments dissemblables ».

on est donc bien loin d'une intuition unique mais au contraire d'un long chemin de réflexion de différents scientifiques.

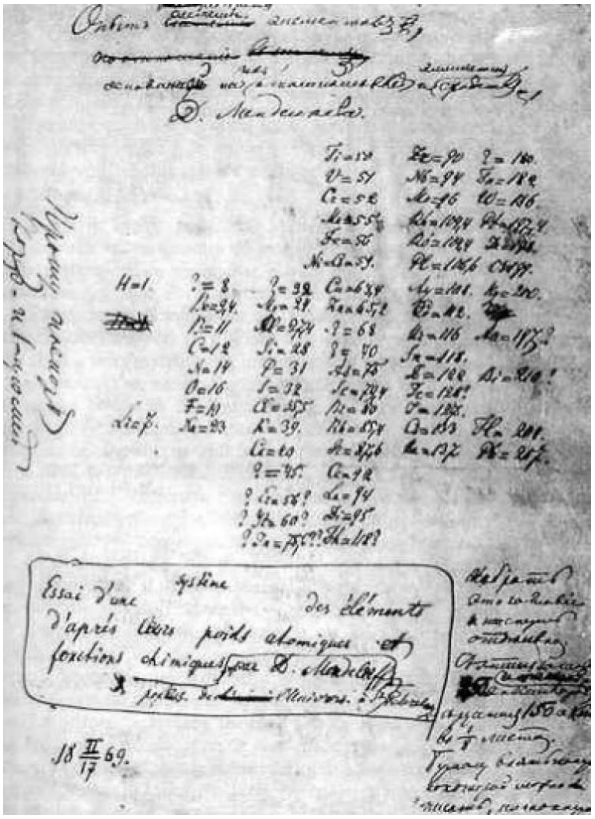
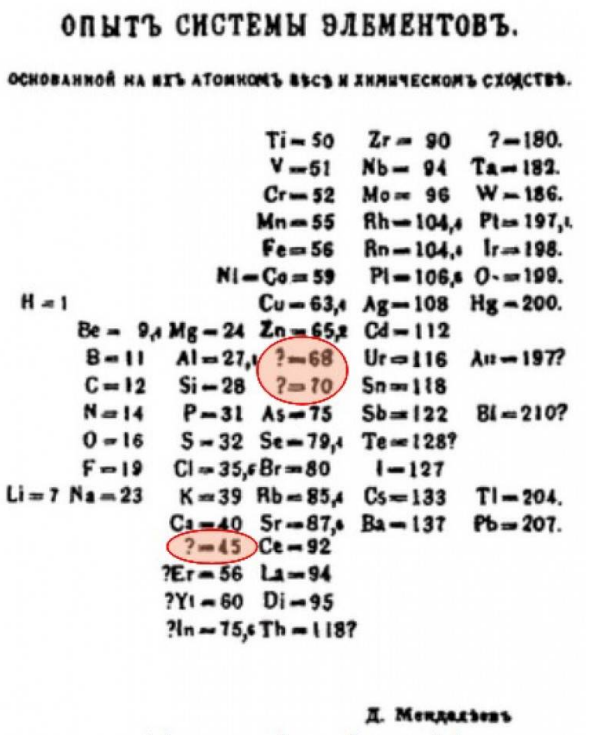


figure 19 - manuscrit du 1er tableau de mendeleïev conçu en 1869

la légende retient une découverte en un seul jour de réflexion, le 17 février 1869. mais en réalité, mendeleïev a beaucoup tâtonné. il hésite d'abord entre tableau et spirale pour retenir la forme actuelle qui lui permet de mieux souligner la périodicité.



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 = 197,1	
			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 = 35,5	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

figure 20 - tableau périodique de mendeleïev, publié en 1870

on constate que dès la publication de ce tableau, mendeleïev prévoit la place pour des éléments encore inconnus à l'époque. il leur donnera le préfixe « eka- » de l'élément

auquel ils se rattachent en termes de propriétés chimiques. ainsi l'eka-silicium correspond au germanium, découvert une quinzaine d'années plus tard.

les prédictions de mendeleïev

prédictions	déterminations
eka-alumium poids atomique : 68 volume atomique : 11,5 ...	gallium (1875) 69,9 11,7
eka-bore poids atomique : 44 oxyde : eb_2o_3 sulfate : $eb_2(so_4)_3$ ...	scandium (1879) 43,79 sc_2o_3 $sc_2(s0_4)_3$
eka-silicium poids atomique : 72 volume atomique : 13 oxyde : eso_2 chlorure : $escl_4$ teb du chlorure : <100°c densité du chlorure : 1,9 ...	germanium (1886) 72 13,2 geo_2 $gecl_4$ 86°c 1,887

5.4. les améliorations ultérieures

a la fin du xix^{ème} siècle, un souci surgit lors de la découverte des gaz rares. la découverte de l'argon par william ramsay et lord rayleigh (1894), du néon par ramsay et morris travers (1898) pose problème : il n'y a pas de places prévues par mendeleïev dans son tableau pour cette nouvelle famille.

il n'est d'ailleurs pas étonnant que mendeleïev n'ait pas prévu cette famille des gaz rares. elle est en effet composée d'éléments à couche électronique saturée et donc inertes ; difficile à mettre en évidence à l'époque !

la solution est alors un classement en numéro atomique z plutôt qu'en masse atomique (théoricien hollandais anton von den broek, 1913). ce classement est rendu possible grâce à henry moseley qui établit une relation entre z et le spectre de rayons x.

le concept concernant l'ajout des actinides sera réalisé par glenn seaborg en 1944.



figure 21 - tableau périodique des années 1920-1930 suite aux travaux d’henry moseley

6. conclusion

mendeleïev n’était pas un marginal de son époque, beaucoup de chercheurs de divers horizons se sont penchés sur ce problème de classification.

de lavoisier à glenn searborg, il y a près de deux siècles de recherches et d'échanges scientifiques pour parvenir au tableau que nous connaissons aujourd'hui !

de nos jours, il existe encore quelques recherches afin d’améliorer ce tableau. citons le tableau « escargot » de theodor benfey en 1960 afin de rémédier aux discontinuités du tableau standard ou encore de nombreux tableaux 3d de fermando dufour.

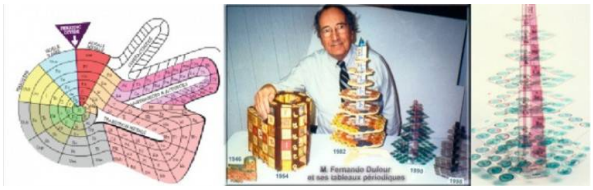


figure 22 - exemples de tableaux modernes

7. bibliographie

1. **éléments d’histoire des sciences, serres, chap 19, bernadette bensaude-vincent**
2. **tableaux et langages de la chimie, essai sur la représentation, françois dagognet**
3. **la classification périodique des éléments, la meilleure invention du millénaire, dr. jean-claude roy**
4. **eléments et atomes, petite histoire d'un modèle d'après ses textes fondateurs, thérèse mayer**

CRÉDITS

AUTEUR(S)/AUTRICE(S)

fanny barbaud

professeure agrégée de chimie en classes préparatoires

clarisse péan

ancienne étudiante de l'ecole normale supérieure de paris (2008-2012) et docteur en chimie (2015). traductrice indépendante anglais, espagnol, portugais, et bénévole pour traducteurs sans frontières.

emilie molina

ancienne étudiante du département de chimie de l'ecole normale supérieure de paris

MISE EN LIGNE

nicolas lévy

professeur agrégé de chimie, responsable du centre de préparation à l’agrégation externe de chimie (école normale supérieure de paris - sorbonne université - université paris-saclay), responsable éditorial de culturesciences-chimie de 2008 à 2014.

LICENCE DU TEXTE DE L'ARTICLE