

MENDELEIEV ORDONNE LA MATIÈRE

Au XIX^e siècle, on sait déjà que la matière est constituée d'un grand nombre d'éléments chimiques aux propriétés très différentes. C'est en cherchant à classer ces éléments qu'un chercheur russe, Dmitri Mendeleïev, va constater que leurs propriétés physico-chimiques dépendent de leur poids. Il établira à partir de cette découverte le premier tableau périodique des éléments.

Février 1785. Devant les membres de l'Académie des sciences, à Paris, le chimiste Antoine Laurent Lavoisier décompose de l'eau en « air inflammable » et en « air vital »*.

Messieurs, je viens de vous montrer que l'eau n'est pas un des éléments fondamentaux de la matière. Comme vous avez pu le constater, elle est composée de deux sortes d'air.

On savait déjà que trois des éléments d'Aristote - l'air, la terre et le feu - censés constituer l'ensemble de la matière ne sont pas des corps indivisibles. Cette nouvelle démonstration avec l'eau rend, selon moi, définitivement caduque sa théorie.

Quels sont alors les éléments indivisibles ? L'air inflammable et l'air vital en font-ils partie ?

C'est fort possible, car je n'ai pas réussi à les décomposer en les soumettant aux effets de l'eau, du feu ou des acides.

Et il y en aurait d'autres ?

Selon moi, sans aucun doute. Et je me fais fort de les trouver avec tous les moyens aujourd'hui à la disposition des chimistes.

C'est ainsi que, pendant plusieurs années, le savant français teste dans son laboratoire des substances connues des chimistes et des alchimistes. Au terme de ces expériences, il va recenser 33 corps simples - comme l'azote, le soufre, le carbone, le zinc... - qu'il présente, en 1789, dans son *Traité élémentaire de chimie*.

Hélas, Lavoisier n'aura pas le temps de poursuivre ses recherches car, pris dans la tourmente de la Révolution française, il est guillotiné en 1794.

À sa suite, d'autres chimistes vont se lancer dans la quête de nouveaux corps simples. Et la recherche sera fructueuse : durant la première moitié du XIX^e siècle, on ne cesse d'en découvrir. En 1860, il y en a déjà une soixantaine et la liste semble devoir s'allonger sans fin ! La nature apparaît beaucoup plus complexe qu'on ne le supposait.

Et c'est bien ce qui ennue Dmitri Mendeleïev. En cette année 1868, ce professeur a entrepris de rédiger un manuel de chimie pour ses étudiants à l'université de Saint-Petersbourg.



Bonjour professeur, montez donc !

Alors votre manuel, ça avance ?

Je rédige le second volume.

Dans le premier, j'ai présenté l'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote, qu'avait déjà répertoriés Lavoisier. J'expose leurs principales propriétés physiques et chimiques à l'aide d'expériences. Et dans le second volume...

... j'aborde les éléments de la famille des halogènes.

C'est-à-dire ?

Les corps qui permettent de générer des sels* : le chlore, le brome, l'iode et le fluor. Le problème, c'est que je ne peux continuer ainsi...

... car on connaît actuellement 63 éléments chimiques. Si je procède de la même façon pour tous, il me faudra une dizaine de volumes.

N'y pensez pas ! Je vous rappelle que nous nous sommes entendus sur quatre, pas un de plus !

Rassurez-vous, ce n'est pas mon intention. Mes étudiants seraient incapables de digérer pareille somme de connaissances. Il me faut trouver le moyen de ranger les éléments de manière à ce que ces jeunes gens puissent mémoriser facilement leurs propriétés physiques et chimiques.

Je comprends, quelque organisation qui les aide à apprendre sans trop de difficulté. Cocher, s'il vous plaît !

TOC!
TOC!

C'est cela ! Après tout, messieurs Buffon et Linné ont bien réussi à trouver un moyen de classer les plantes et les animaux. On doit pouvoir faire de même avec les éléments chimiques.

Sans doute, professeur Mendeleïev. Mais ne me faites pas trop attendre !

Je ferai mon possible.

* En chimie, les sels sont des composés associant un atome chargé négativement et un atome chargé positivement (on parle d'ions) afin de former des corps neutres. Par exemple, le chlorure de sodium NaCl (notre sel de table) est formé d'un ion Na⁺ et d'un ion Cl⁻.

L'éditeur sait que Mendéléïev est fort occupé. Depuis 1867, il enseigne la chimie à l'université de Saint-Petersbourg.

Messieurs, je voudrais insister dans ce cours sur la distinction fondamentale qu'il faut opérer entre corps simples et éléments chimiques.

Bien entendu. Prenons ce banal crayon à papier. Sa mine est en graphite et le graphite est composé de carbone. Dans ce cas précis, le corps simple est le graphite, et l'élément qui le constitue, le carbone.

Le corps simple est quelque chose de matériel, doué de propriétés physiques et capable de réactions chimiques. L'élément, quant à lui, est une particule qui, reliée à d'autres particules de même nature, forme le corps simple.

Professeur, pourriez-vous nous donner un exemple ?

Et tous deux ont les mêmes propriétés physiques et chimiques ?

Non, pas forcément, regardez.

CRAC!

Vous voyez, j'ai cassé la mine en graphite de mon crayon. Je n'aurais pas pu briser un diamant avec la même facilité. Pourtant tous deux sont faits du même élément, le carbone.

Je considère le carbone, en quelque sorte, comme un des constituants de base de la matière, un peu comme cet atome qu'imaginaient les Grecs. Et le graphite, je le vois comme un assemblage d'atomes.

Mais personne ne les a jamais vus, ces atomes ?

Non. Mais ils ont le mérite de rendre plus concrètes les notions de corps simples et d'éléments chimiques.

Au sortir du cours...

Ah, cher confrère, vous tombez bien. Je voulais justement vous entretenir d'un problème qui me préoccupe. Comme certains de mes prédécesseurs, j'essaye de mettre un peu d'ordre dans les éléments chimiques.

Et vous avez déjà une idée sur la manière de procéder ?

Comme eux, je pense me servir du poids atomique* pour voir si les regroupements que j'imagine entre éléments sont pertinents ou pas.

Vous connaissez les tentatives qu'a effectuées Doberneier ?

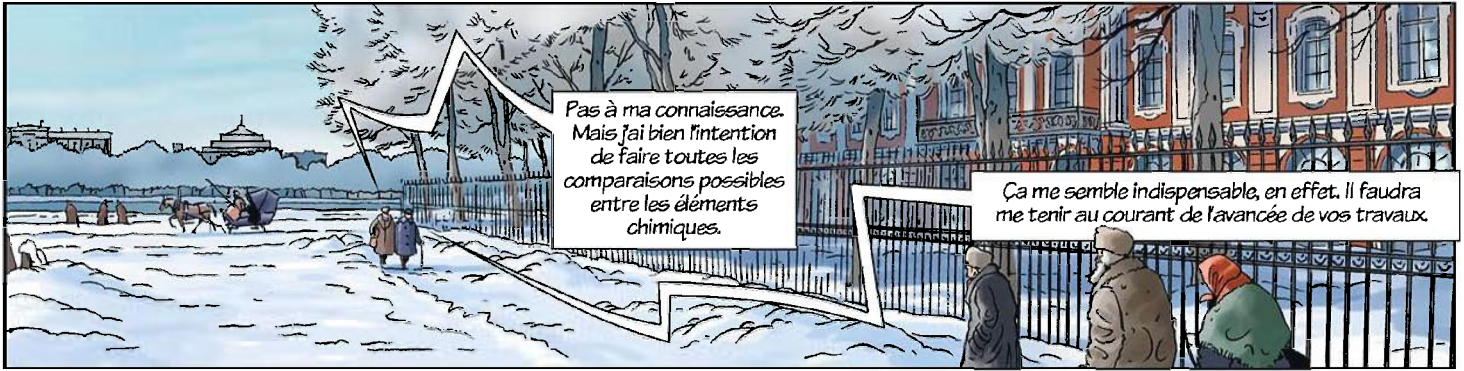
Oui, il a réuni par groupe de trois des éléments aux propriétés physiques et chimiques proches, et comparé ensuite les poids atomiques dans chaque groupe.

C'est cela. Dans chacune de ces « triades », le poids atomique de l'élément intermédiaire correspondait à la moyenne des deux autres.

Ces groupes doivent, à mon avis, traduire un ordre caché des éléments, beaucoup plus large. Mais Doberneier et ses successeurs ne l'ont pas trouvé.

Ont-ils essayé de rechercher des similitudes entre ces triades ?

* Comment les savants de l'époque calculaient-ils des poids atomiques alors que les atomes n'étaient pas identifiés ? L'expérience montre que le plus petit poids atomique est celui de l'hydrogène : Les chimistes l'ont posé égal à 1. Pour former de l'eau, H_2O , il faut combiner 2 g d'hydrogène à 16 g d'oxygène. Le poids atomique de l'oxygène est donc de 16. De combinaison en combinaison, on peut ainsi déduire tous les autres poids (on parle aujourd'hui de masse atomique).



Fin février 1869, Mendeleïev se lance dans cette recherche. Amateur de réussites*, il a l'idée d'inscrire le nom des éléments sur des cartes blanches, avec leur poids atomique et leurs propriétés chimiques. Ainsi, en permutant les cartes à volonté, il peut facilement comparer des éléments deux à deux.

Une fois les 63 cartes prêtes...

Poids atomique

Symbolisme de l'élément

Propriétés chimiques

Comparons-les maintenant avec les alcalins : lithium, sodium, potassium, rubidium, césium, qui réagissent violemment avec l'eau**. Je les pose aussi dans l'ordre croissant des poids atomiques. Voilà... Y a-t-il quelque chose qui vaille d'être remarqué ?

Alcalins

Halogènes

F 19 Fluor	Cl 35,5 Chlore	Br 80 Brome	I 127 Iode
Li 7 Lithium	Na 23 Sodium	K 39 Potassium	Rb 85,4 Rubidium
			Cs 133 Césium

Alignons d'abord les halogènes : fluor, chlore, brome, iode. Ils ont tous la qualité de se combiner à un métal pour former des sels comme le chlorure de sodium.

Commençons par la première colonne avec les éléments F et Li. Bon, l'un est beaucoup plus lourd que l'autre. Et il en va de même pour tous les autres couples de la liste. Pas grand-chose à tirer de cette comparaison.

Équivalence de poids

F 19 Fluor	Cl 35,5 Chlore	Br 80 Brome	I 127 Iode
Li 7 Lithium	Na 23 Sodium	K 39 Potassium	Rb 85,4 Rubidium
			Cs 133 Césium

En revanche, le poids du fluor, le premier halogène, est proche de celui du sodium, le deuxième alcalin de ma liste. Et on dirait que cette correspondance de poids se répète d'une colonne à une autre.

Le chimiste fait alors glisser la première ligne d'éléments vers la droite.

F 19 Fluor	Cl 35,5 Chlore	Br 80 Brome	I 127 Iode
Li 7 Lithium	Na 23 Sodium	K 39 Potassium	Rb 85,4 Rubidium
			Cs 133 Césium

Intéressant... En comparant les poids d'éléments deux à deux - F et Na, Cl et K, Br et Rb -, je me retrouve avec des valeurs proches : 19 et 23 ; 35,5 et 39 ; 80 et 85,4.

Voyons maintenant les écarts sur une même ligne.

Mendeleïev calcule les différences de poids atomique entre des éléments qui se suivent. Et là, surprise...

Sur la première ligne, entre F et Cl, il y a une différence de poids atomique de 16,5. À peu près comme entre Na et K, la paire juste en dessous.

La dernière paire des halogènes - Br et I - montre, elle, un écart de 47, très proche de celui entre Rb et Cs.

F 19 Fluor	Cl 35,5 Chlore	Br 80 Brome	I 127 Iode
Na 23 Sodium	K 39 Potassium	Rb 85,4 Rubidium	Cs 133 Césium

Calculs : $35,5 - 19 = 16,5$; $39 - 23 = 16$; $127 - 80 = 47$; $133 - 85,4 = 47,6$

Est-ce que ces similitudes sont une coïncidence ? Regardons si j'obtiens les mêmes rapports avec une troisième famille.

* Jeu de cartes en solitaire au cours duquel le joueur s'efforce de placer ou d'employer toutes les cartes selon une combinaison déterminée. ** Au point de provoquer des explosions.

Mendeleïev abat sur sa table un nouveau jeu d'éléments chimiques, les alcalino-terreux - calcium (Ca), strontium (Sr), baryum (Ba) - qui ont la particularité de rester solides même à de fortes températures. Il prend bien soin de placer le premier élément de sa liste sous celui qui a le poids le plus proche dans la ligne du dessus : le calcium sous le potassium, etc.



Entre Ca et Sr, j'ai un écart de 47,5. À peu près le même qu'entre K et Rb.

Entre Sr et Ba : 49,5. Assez proche de l'écart de 47,6 entre Rb et Ca. Ça se confirme : d'une famille à l'autre, les poids atomiques progressent d'une manière comparable.

Mendeleïev sent qu'il tient une piste pour ordonner ses éléments. Est-ce qu'il en va de même pour toutes les autres familles, comme celles de l'oxygène, de l'azote et du carbone ? Patiemment, il les ajoute selon le même principe, en ordre croissant de poids atomiques, aussi bien en ligne qu'en colonne. Et lorsque toutes les cartes sont sur la table...

Voyons les écarts de poids atomique entre les éléments de la famille de l'oxygène... Entre oxygène et soufre, un écart de 16. Entre soufre et sélénium, il est de 47,4. Enfin, entre soufre et tellure, l'écart est de 48,6.



Mendeleïev va retrouver les mêmes différences, famille après famille, pour tous les éléments du tableau. Il semble bien y avoir des écarts caractéristiques et périodiques entre poids atomiques. Mais qu'en est-il des propriétés chimiques de tous ces éléments ?

Examinons maintenant la ligne de l'azote.



Jobtiens les mêmes écarts de poids : de l'ordre de 16 ou de 48, soit 3×16 .

Valence

Voyons à présent avec quelle facilité ces éléments se combinent à d'autres...

Les halogènes ont une valence de 1, ils ne peuvent donc se lier qu'à un atome. La famille de l'oxygène peut se combiner à deux atomes, sa valence est de 2. La famille de l'azote a une valence de 3, celle du carbone de 4, celle du bore de 3, celle du béryllium de 2 et de l'hydrogène de 1.

H	1
Be	2
B	3
C	4
N	3
O	2
F	1

Poids atomique croissant

1, 2, 3, 4, 3, 2, 1. Tiens, la valence monte et descend régulièrement au fur et à mesure que les poids atomiques augmentent.

On dirait bien que la plus ou moins grande facilité des éléments à se combiner à d'autres dépend de leur poids atomique.

H	1
Be	9
B	10
C	12
N	14
O	16
F	19

Le lendemain, sur la perspective Nevski...

J'ai vérifié les températures de fusion et d'évaporation de tous les éléments. Soit elles baissent, soit elles augmentent régulièrement, en passant d'un élément à l'autre, au sein d'une même famille.

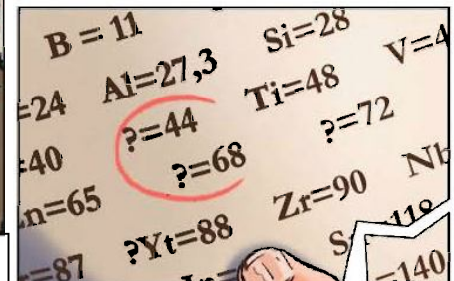


De telles répétitions de régularité, aussi bien dans les lignes que dans les colonnes de mon tableau, ne peuvent être des coïncidences. Il y a forcément une relation entre les propriétés chimiques des éléments et leur poids atomique.

Mendeleïev va faire paraître une première version de son tableau des éléments en mars 1869, une seconde en 1870, puis une troisième en 1872, où il a, cette fois, inversé les lignes et les colonnes, pour rendre son travail plus clair. À chaque fois, il a rectifié quelques erreurs, mais son tableau ne provoque toujours que l'incrédulité des chimistes.



Qu'en pensez-vous, cher confrère ?

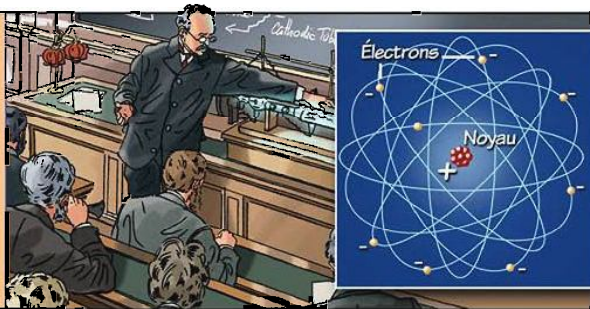


Pas grand-chose. Mendeleïev a laissé plusieurs « trous » dans son tableau. C'est un peu facile d'annoncer un ordre tout en postulant des éléments inconnus !



Effectivement, le poids du gallium correspond peu ou prou à celui attribué à l'eka-aluminium, et ses propriétés sont proches de celles de l'aluminium. La plupart des chimistes pensent que Mendeleïev a eu de la chance. Jusqu'à ce qu'en 1879, on identifie le scandium qui, avec son poids atomique de 43,74, vient lui aussi se loger à une place prévue par le chimiste russe. Mais celui-ci n'a pas le temps de savourer sa victoire car, à la même époque, on découvre plusieurs terres rares - holmium, samarium, thulium - des éléments aux propriétés chimiques et aux poids atomiques si proches qu'ils sont, en l'état, inclassables dans le tableau.

À la mort de Mendeleïev, en 1907, ce problème n'est toujours pas résolu. Il faut attendre 1911 pour que l'on commence à y voir plus clair grâce au physicien anglais Rutherford. C'est le premier à décrire la structure de l'atome : un noyau, comprenant un certain nombre de particules chargées positivement, autour duquel gravitent un même nombre d'électrons de charge négative.



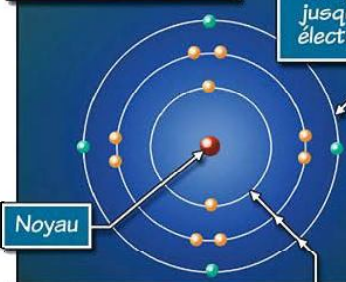
Le nombre de charges dans le noyau varie d'un élément chimique à l'autre. Rutherford se rend compte, sur quelques éléments, que le nombre de charge représente à chaque fois la moitié du nombre de masse (poids atomique). Du coup, un physicien hollandais, Van den Broek, postule qu'en classant les éléments par charge, on retrouverait à peu près l'ordre du tableau de Mendeleïev. En 1913, un physicien anglais, Henry Moseley, détermine la charge propre à chaque élément. Et constate en effet qu'en les classant par charge croissante, chacun récupère en général la place qu'il avait dans le tableau.

Dès lors, on va réorganiser le classement en tenant compte du numéro atomique, c'est-à-dire le nombre de charges positives* dans le noyau. Il devient ainsi possible de ranger tous les éléments, même les terres rares. Ce qui donne naissance au tableau périodique tel qu'il vous est aujourd'hui présenté.

Chaque colonne correspond à une famille d'éléments aux propriétés physico-chimiques proches. Quant aux lignes, on sait qu'elles correspondent au nombre de couches** d'électrons qui entourent le noyau.

Atome de silicium. 3 couches d'électrons, 4 électrons sur la couche externe.

Couche externe. Elle peut compter jusqu'à 8 électrons.



Couches successives d'électrons. Un atome peut en compter jusqu'à 7.

H Hydrogène 1																		He Hélium 2			
Li Lithium 3																		Be Béryllium 4			
Na Sodium 11																		Mg Magnésium 12			
K Potassium 19																		Ca Calcium 20			
Rb Rubidium 37																		Sr Strontium 38			
Cs Césium 55																		Ba Baryum 56			
Fr Francium 87																		Ra Radium 88			
																		Halogènes		He	
																		Bore		Neon	
																		Carbone		Argon	
																		Azote		Krypton	
																		Oxygène		Xénon	
																		Fluor		Radon	
																		Chlore			
																		Sulfure			
																		Sélénium			
																		Iode			
																		Tellure			
																		Antimoine			
																		Bismuth			
																		Polonium			
																		Astatine			
																		Radium			
																		Actinium			
																		Lanthane			
																		Cérium			
																		Praseodyme			
																		Néodyme			
																		Prométhium			
																		Europium			
																		Gadolinium			
																		Terbium			
																		Dysprosium			
																		Holmium			
																		Erbium			
																		Thulium			
																		Ytterbium			
																		Lutécium			
																		Actinium			
																		Thorium			
																		Protactinium			
																		Uranium			
																		Neptunium			
																		Plutonium			
																		Américium			
																		Curium			
																		Berkélium			
																		Californium			
																		Einsteinium			
																		Fermium			
																		Mendeleïev			
																		Nobélium			
																		Lawrencium			

Le tableau de Mendeleïev est toujours utilisé et pas seulement par les étudiants. Il permet aux chimistes de connaître, en un clin d'œil, les propriétés d'un élément et sa capacité à se lier à un autre par sa valence pour créer de nouvelles molécules. Il a aussi permis, au XX^e siècle, de livrer des pistes pour débusquer les éléments qui manquaient encore. Aujourd'hui, on en compte 118... et la liste ne cesse de s'allonger, car on en fabrique maintenant en laboratoire. Des éléments artificiels dont la durée de vie n'excède pas la milliseconde!

*Portées par les protons. ** En 1913, un jeune physicien danois, Niels Bohr, a émis l'hypothèse que les électrons tournent sur des orbites précises. Il a présenté un modèle atomique en « pelure d'oignon » avec ces fameuses couches d'électrons, qu'il a validé par la suite (voir SVJ n°240 « La découverte de l'atome »).

Remerciements à Danielle Fauque, historienne des sciences.