



© Olga Popova

# LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES ET LA CLASSIFICATION DE MENDELEÏEV

## 150 ANS DE SCIENCE ET D'HISTOIRE



**GRÉGORY NOCTON**  
 professeur chargé de cours  
 à l'École polytechnique,  
 Laboratoire de chimie  
 moléculaire

118 : c'est le chiffre à associer au 150<sup>e</sup> anniversaire de la classification périodique des éléments chimiques, tableau dit de Mendeleïev. 118 éléments dont tous ne sont pas naturels et dont certains ne sont stables que quelques fractions de seconde ! Des 63 éléments connus de Mendeleïev, aux 118 connus aujourd'hui, c'est une histoire de famille parfois mouvementée.

## REPÈRES

Depuis la classification antique : feu, air, eau, terre, les éléments ont bien changé ! Présent dans toutes les salles d'enseignement de la chimie au monde, quelle qu'en soit la langue d'usage, il existe des milliers de représentations et de déclinaisons de ce célèbre tableau – digne d'une vraie œuvre d'art à valeur d'universalité.

### Ils partent 63...

L'origine de cette représentation très cartésienne des éléments qui nous composent et nous entourent est le fruit de travaux issus du XIX<sup>e</sup> siècle. Après quelques tentatives de classement qui ne sont pas toutes restées dans les mémoires (voir l'article de Sarah Hijmans et Pierre Avenas sur Béguyer de Chancourtois en page 35), la publication du chimiste russe Dmitri Ivanovitch Mendeleïev en 1869 vise à rationaliser les observations de la périodicité des propriétés chimiques de certains éléments : ils se comportent chimiquement comme d'autres dont la masse atomique n'est pas nécessairement proche ; la notion de groupe (d'éléments) prend son sens et il classe les éléments par groupe et par masse atomique croissante. Sur la base de ces observations, il semble que la masse atomique expérimentale de certains éléments ne soit pas adaptée à son classement. Mendeleïev propose ainsi des inversions (*le tellure et l'iode par exemple*). Toujours selon ce précepte, le chimiste prédit la découverte de nouveaux éléments dont les cases restent vides dans le tableau... Ce dernier est alors composé de 63 éléments connus dont le didyme. La rationalité de cette classification impressionne et les chimistes l'adoptent peu à peu – pourtant avec réticence au début. La découverte du gallium (1875) et du germanium (1886) qui complètent le tableau aux endroits prévus renforce le principe du classement par groupe. Cependant quelques incohérences subsistent.

### Les premiers intrus : les gaz rares

La première controverse arrive peu après la découverte des gaz rares (He, Ne, Ar) par Ramsay et lord Rayleigh à la fin des années 1890. En effet, rien n'était prévu pour ces nouveaux éléments dans le tableau et il est difficile de les classer sur la base de leur masse atomique. Mendeleïev (décédé en 1907) affectionne peu ces controverses et n'apprécie pas d'y voir les nouveaux éléments associés à son tableau en tant que groupe 0. Le début du XX<sup>e</sup> siècle est riche en découvertes du point de vue de la physique de l'atome, et la découverte des électrons s'accompagne de celles des isotopes (noyaux avec le même nombre de protons mais pas le même nombre de neutrons), puis des premiers modèles atomiques. Ces découvertes permettent de proposer un classement, non pas par masse atomique croissante mais par numéro atomique croissant ; classement qui perdure aujourd'hui.

### Arrivent les transuraniens

Dans les décennies qui suivent jusqu'à la fin des années 1930, quelques ajustements de forme le font évoluer vers notre disposition contemporaine après les travaux d'Henry Moseley, à une exception notable : la ligne la plus en bas du tableau n'est pas encore présente. En effet, à cette époque, l'élément le plus lourd connu est l'uranium, numéro atomique 92, l'élément naturel le plus lourd présent sur Terre, et quelques cases vides subsistent, celles des numéros 43 et 61, le technétium, le prométhium (anciennement prométhéum), ainsi que les numéros 85 et 87, l'astate et le francium. Le point commun de tous ces éléments, prévus mais manquants, est qu'ils sont radioactifs avec des durées de demi-vie très courtes. Leur présence dans la croûte terrestre est donc extrêmement limitée et, sans les progrès de la physique atomique du début des années 1940, il était assez inconcevable de les isoler, ce qui n'était pas le cas du polonium (84) et du radium (86) découverts à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par Marie et Pierre Curie, et du radon (88), découvert en 1900.

### ... Ils se virent 118 à l'arrivée

C'est à Berkeley en Californie en 1940 que débutent les premières expériences qui amèneront à la découverte de nouveaux éléments lourds artificiels (transuraniens). Les premiers sont le neptunium et le plutonium (on ne les trouve qu'à l'état de traces dans la pechblende, le minerai d'uranium). Suite aux travaux de Glenn Seaborg de 1944, qui conduisent à l'isolation de l'américium et du curium, le physicien propose d'ajouter un nouveau groupe sous la ligne des lanthanides, les actinides. Depuis, la physique atomique a produit 24 nouveaux éléments. Les derniers-nés ont une durée de vie de moins d'une milliseconde ; le dernier, l'oganesson, numéro 118, a été découvert en 2002 en Russie et confirmé en 2015.

118 éléments donc, rangés selon leurs propriétés chimiques en groupes d'éléments par numéro atomique croissant. Les noms des groupes tendent à les définir : encore faut-il connaître un peu d'histoire, de langues anciennes et faire un exercice d'étymologie. La première colonne forme les alcalins (à l'exception de l'hydrogène) ; son nom provient de l'arabe *al-qily* (cendres), repris en latin, *alkali*. À l'origine, une famille de plantes (*Salsola kali*) poussant au bord de la mer, très présente en Afrique du Nord, dont la combustion produit de la soude (NaOH), soude que l'on utilisait dans la fabrication du savon et du verre. Les alcalins, donc, constituent le groupe d'éléments qui ont la propriété d'être basiques en milieu aqueux ; les métaux réagissent violemment avec l'eau. Viennent ensuite les alcalinoterreux, terreux car leurs oxydes (leur forme naturelle) résistent à de très hautes températures, le feu. Notons que l'on retrouve ici l'évocation de deux des éléments antiques : en alchimie, la terre résiste au feu ! →

“Les derniers éléments créés ont une durée de vie de moins d'une milliseconde”

Plusieurs éléments ont des noms parfois à la racine très proche : yttrium, ytterbium, erbium, terbium, ici pour le village d'Ytterby en Suède où fut découvert le minerai d'yttria à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Notons que le thulium (Thulé désigne un royaume imaginaire au Nord ; Goethe écrit le poème *Le roi de Thulé* en 1774), l'holmium (aphérèse de Stockholm) et le scandium (Scandinavie) rappellent aussi l'origine géographique de la découverte de ces éléments...

### → Un milieu de tableau bien fourni

À partir de la troisième colonne (groupe 3) commencent les métaux dits de transition (3 à 11), métaux pour lesquels le remplissage des orbitales *d* est incomplet. Le groupe 3 est appelé « terres rares », ces métaux stratégiques, figure de proue de la transition écologique et de l'énergie décarbonée. À partir de la 6<sup>e</sup> période (6<sup>e</sup> ligne), le nombre d'électrons augmente et il est nécessaire d'ajouter une ligne pour tenir compte du remplissage des orbitales *f*. Les lanthanides, du lanthane au lutécium, première ligne située en bas du tableau, tiennent leur nom du grec *lanthanein* qui signifie caché. Cachés, en effet, dans les minerais qui les contiennent, présents en faible pourcentage, ce qui rend leur extraction plutôt difficile. Ces métaux ne sont donc pas si « rares » mais bien « cachés », souvent à plusieurs dans le même minerai. Sous les lanthanides, les actinides, de l'actinium au lawrencium, dont le nom provient du grec *aktinos*, rayonnement. En effet, du fait de sa radioactivité, l'actinium brille dans le noir. Parmi eux, l'uranium, découvert en 1789 par Martin Klaproth. Pour nommer son élément, Klaproth prend part dans le débat qui anime le choix du nom de la planète Uranus découverte huit ans plus tôt. Son découvreur, William Herschel, préfère *Georgium sidus* ou *planet*, pour honorer le roi d'Angleterre, George III (son mécène), mais d'autres, comme Bode, préfèrent conserver la lignée héréditaire des planètes : Saturne est le père de Jupiter donc la nouvelle planète se doit d'être nommée en référence au père de Saturne, Uranus. Cette référence à la lignée a été reprise dans le tableau puisque les éléments qui suivent l'uranium sont le neptunium et le plutonium pour Neptune et Pluton qui suivent Uranus dans le système solaire !

Parmi les métaux de transition, on retrouve des noms plus communs, le fer, l'argent, l'or, le cuivre... et aussi le technétium (43), pour lequel Mendeleïev avait gardé une place jusqu'à sa découverte en 1937. Premier élément artificiel créé par l'homme, en grec *tekhnetos*, artificiel, il trouve cependant des applications importantes en imagerie médicale par  $\gamma$ -caméra. Le groupe 12, qui contient le mercure (Hg), forme la frontière entre les métaux de transition et le groupe dit principal où l'on retrouve les éléments du vivant, le carbone, l'azote et l'oxygène. Le mercure tire son nom de son état physique

à température ambiante, il est mi-solide, mi-liquide..., les Grecs décident donc de le nommer en référence à Mercure, divinité androgyne. Enfin, les deux dernières colonnes contiennent les halogènes, du grec, encore, *hals* (sel) et *gennán* (engendrer), qui suggère ce qu'il se passe lorsqu'ils réagissent avec des métaux ; et enfin les gaz nobles, ce qui vient de leur inertie chimique. Ils ne réagissent pas avec les autres éléments.

### Mythologie et nationalisme

Ainsi, le nom des éléments donne pour certains des indications sur leurs propriétés chimiques, pour d'autres, sur l'origine de leur découverte. De temps à autre, les mythes antiques se mêlent à leur nom, comme pour Tantale et sa fille Niobé (le tantale et le niobium). Ils sont aussi témoins des conflits et du patriotisme plus ou moins exacerbé selon les époques et on ne peut s'étonner que le gallium, découvert par l'ingénieur Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran, en 1875, soit suivi par le germanium, découvert par un chimiste allemand onze ans après. Il y a aussi le francium, l'américium, le moscovium... De célèbres scientifiques ont également inspiré des noms d'éléments comme le physicien Ernest Lawrence (103), découvreur du cyclotron, l'einsteinium (99) ou encore le nobélium (102) pour le célèbre chimiste suédois, instigateur d'un prix prestigieux parmi les scientifiques... Enfin l'élément 101, découvert en 1955, que Seaborg et ses collègues ont décidé de nommer mendélévium, en l'honneur du chimiste russe Dmitri Ivanovitch Mendeleïev, instigateur de la classification que nous connaissons aujourd'hui. Glenn Seaborg a lui aussi été honoré de son élément, mais de son vivant ; humaniste et passionné jusqu'à son décès en 1999, il pouvait se vanter d'écrire son adresse professionnelle en nom d'éléments chimiques : Glenn « Seaborgium », « Lawrencium » Berkeley National Laboratory, « Berkélium », « Californium », « Américium ». X

