

# Une réflexion sur les éléments chimiques : leur division en quatre classes

Albert Hérold

**Résumé** Les éléments chimiques sont actuellement divisés en métaux et non-métaux. Les premiers possèdent des caractères communs qui permettent de les ranger en une classe unique. Les non-métaux sont bien trop divers pour faire de même. Il est donc proposé de les diviser en trois classes. Les *gaz nobles* qui n'existent qu'à l'état atomique forment d'évidence une classe unique. Les vingt éléments restants sont environ cinq fois moins nombreux que les métaux, mais ils sont capables de former entre eux un nombre quasi infini de composés et en forment aussi avec les métaux. Ainsi présents dans toute la chimie (hors les intermétalliques), ils méritent le nom de « panéléments » (du grec  $\pi\alpha\sigma$ , tout). L'hydrogène qui en fait partie étant classé à part, les panéléments peuvent être divisés en « *antimétaux* » et *métalloïdes*. Les antimétaux ont des propriétés physiques et chimiques en tout point opposées à celles des métaux. Les métalloïdes, solides et conducteurs de l'électricité, sont les éléments les plus proches des métaux ; ils s'en distinguent cependant par leurs structures et par la croissance de leur conductivité électrique avec la température.

**Mots-clés** Métaux, gaz nobles, panéléments, métalloïdes, antimétaux.

**Abstract** A reflexion about the chemical elements: their division in four classes

The chemical elements are at present divided in metals and non-metals. The first have a series of common characters so that they may be ranged in a single class. On the contrary, the very diverse non-metals have to be divided in three classes. The *noble gases* which exist only in atomic state evidently form a well definite class. Although the twenty elements other than the metals and the noble gases are about a fifth of the metals, they are able to form together almost infinite compounds, and they form also many compounds with the metals. Present in all the chemistry (except the intermetallic compounds), they deserve to be names "panelements" from the Greek  $\pi\alpha\sigma$ , the whole. Hydrogen which is a panelement may be ranged alone. Then, the panelements may be divided in two classes: the "*antimetals*" and the *metalloids*. The physical and chemical properties of the antimetals are quite opposite to those of the metals. The metalloids are similar to the metals by their solidity and their electrical conductivity, but they differ in their structures and in the increase of their electrical conductivity with temperature.

**Keywords** Metals, noble gases, panelements, antimetals, metalloids.

Durant une longue période, les éléments chimiques ont été divisés en métaux et métalloïdes. Lors de son exposé à la manifestation commémorative du centenaire du prix Nobel de Henri Moissan, le 10 novembre 2006 à la Maison de la Chimie à Paris, le professeur Neil Bartlett, chimiste reconnu pour la fluoration des gaz nobles, a parlé du fluor comme d'un métalloïde. Cependant, la terminaison « oïde » suggère une analogie avec les métaux. Or les gaz nobles, l'azote, l'oxygène et les halogènes n'ont de commun avec les métaux que le fait d'être, comme eux, des éléments chimiques. Aussi la tendance actuelle est-elle de diviser les éléments en métaux et non-métaux.

Or, comme il sera précisé plus loin, les premiers possèdent, au-delà de leurs différences, un ensemble de caractères communs permettant de les regrouper en une classe unique sous le nom de « métaux », ce qui n'exclut pas les subdivisions. Il n'en est pas de même pour les « non-métaux » : cette expression fourre-tout désigne un ensemble d'éléments bien trop divers pour former une classe unique. Il apparaissait donc souhaitable de les diviser en plusieurs classes bien définies, mais les connaissances nécessaires

n'ont été disponibles qu'en 1964, suite à la parution simultanée de trois manuels de chimie minérale se complétant entre eux [1-3].

La répartition des non-métaux en trois classes n'en a pas moins demandé bien des réflexions sur les éléments chimiques : le présent mémoire fait suite à une première ébauche parue dans *L'Actualité Chimique* [4], puis à une note aux *Comptes Rendus de l'Académie des sciences* [5].

Avant d'aborder la division des non-métaux, il convient de rappeler les caractères spécifiques des métaux qui représentent plus des trois quarts des éléments.

## La classe des métaux

Les éléments que nous appelons métaux présentent entre eux de très grandes différences de propriétés physiques et chimiques. Ainsi le mercure est liquide à température ambiante alors que le tungstène fond au-dessus de 3 400 °C. Les métaux alcalins s'oxydent rapidement à l'air : le césium peut s'enflammer. Ils réagissent violemment avec l'eau alors que l'argent, l'or, le platine restent inaltérés.

Qu'ont-ils en commun ? Qu'est-ce qui les distingue des autres éléments ? La réponse se trouve dans leurs structures et les propriétés qui s'y rattachent.

### Structures et propriétés physiques

À l'état solide, les métaux sont constitués d'un agrégat de microcristaux, orientés en tous sens. La plupart cristallisent dans les systèmes cubique à faces centrées, hexagonal compact et cubique centré. Dans les deux premiers, chaque atome est entouré de douze autres. Dans le troisième, chaque atome forme huit liaisons courtes et six liaisons de 15 % plus longues. Dans tous les cas, le nombre de liaisons par atome (nombre de coordination, NC) est supérieur au nombre d'électrons de valence. Il y a donc nécessairement résonance des électrons entre les différentes liaisons selon les conceptions de Linus Pauling [6]. De ces données résulte un ensemble de propriétés qui caractérisent l'état métallique :

- Contrairement à la liaison covalente, la liaison métallique n'est pas dirigée.

- Les électrons peuvent passer d'un atome à l'autre et par suite se déplacer dans la masse du métal, d'où une conductivité électrique élevée. Celle-ci diminue lorsque l'on augmente la température du fait des oscillations des atomes qui gênent le mouvement des électrons.

- Lorsqu'un métal est soumis à une contrainte qui dépasse sa limite élastique, les plans atomiques très compacts glissent les uns sur les autres par l'intermédiaire des dislocations : le métal se déforme sans se rompre. Cette aptitude à la déformation plastique, qui rend les métaux malléables et ductiles, est plus marquée pour la structure cubique à faces centrées que pour les structures cubique centrée et hexagonale compacte dans lesquelles les plans de glissement sont moins nombreux.

- La cohésion des réseaux métalliques est assurée par un seul type de liaison forte, la liaison métallique. Les métaux forment donc des solides homodesmiques [7] (du grec « desmos » : lien), même si quelques métaux s'écartent un peu des structures idéales décrites ci-dessus. Parmi les éléments non métalliques, seuls le bore, le silicium et le germanium sont homodesmiques. Les autres éléments contiennent à la fois des liaisons fortes, majoritairement covalentes, et des liaisons faibles de type van der Waals.

### Du point de vue chimique

Les métaux se comportent comme des donneurs capables de céder tout ou partie de leurs électrons de valence à des éléments plus électronégatifs, devenant ainsi des cations. Ce caractère s'affaiblit le long des lignes du tableau périodique en même temps qu'augmente le nombre d'électrons de valence. En effet, l'électronégativité selon Pauling varie de 0,7 pour Cs et 0,8 pour Rb jusqu'à 2,2 pour les éléments des triades et atteint 2,4 pour l'or, une valeur égale à celle du sélénium. Ces derniers métaux dont on ne connaît pas de vrais cations ne sont évidemment pas des donneurs ; ils n'en sont pas moins considérés comme des métaux. Par conséquent, le caractère métallique d'un élément est essentiellement fondé sur ses propriétés physiques.

### La classe des gaz nobles

Ces éléments qui occupent la colonne 18 du tableau périodique possèdent une couche électronique complètement saturée ( $2e^-$  pour He,  $8e^-$  pour les autres). De ce fait,

leur activité chimique est extrêmement faible. Seuls les plus lourds (Kr, Xe) ont pu être oxydés par le fluor ou d'autres réactifs très électronégatifs. Incapables de s'associer en molécules, ils n'existent qu'à l'état atomique. À basse température, ils cristallisent dans des structures comparables à celles des métaux mais dont la cohésion n'est assurée que par des forces de van der Waals. Ces divers caractères les distinguent de tous les autres éléments ; ils forment ainsi une classe bien définie.

### Un ensemble d'éléments d'une importance capitale : les « panéléments »

En dehors des métaux et des gaz nobles, on dénombre vingt autres éléments, nombre que l'on peut ramener à dix-huit si l'on exclut le polonium et l'astate, éléments radioactifs intéressants en eux-mêmes mais trop rares pour jouer un rôle important en chimie.

À l'exception de l'hydrogène, ces dix-huit éléments se situent dans les colonnes 13 à 17 du tableau périodique. Ce sont B / C Si Ge / N P As Sb Bi / O S Se Te / F Cl Br I. C'est un groupe trop disparate pour constituer une classe, mais les gaz nobles étant inactifs vis-à-vis des métaux, il est d'évidence que tout composé chimique – à l'exception des intermétalliques – en contient au moins un. Présents dans toute la chimie, ne méritent-ils pas d'être nommés « panéléments », néologisme tiré du grec  $\pi\alpha\sigma$  qui signifie tout, la totalité ?

L'hydrogène a été logiquement rangé dans les panéléments, mais il possède des caractères particuliers qui seront rappelés en fin d'article. On peut alors diviser les panéléments restants en deux classes : les « antimétaux » et les « métalloïdes » [8].

### La classe des antimétaux

Les sept antimétaux – N O S F Cl Br I – forment des molécules binaires  $X_2$  que l'attraction de van der Waals tend à rassembler d'autant plus qu'elles sont plus lourdes : à la température ordinaire,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $F_2$  et  $Cl_2$  sont gazeux,  $Br_2$  est liquide,  $I_2$  est solide. Le soufre aussi se solidifie en cristaux dont le plus simple a la structure octogonale  $S_8$ .

À l'état liquide et à l'état solide, les antimétaux sont des isolants électriques car la liaison de van der Waals ne permet pas le transfert d'un électron d'une molécule  $X_2$  à une autre. Cette propriété qu'ils partagent avec les gaz nobles les distingue radicalement des métaux.

L'électronégativité selon Pauling des sept éléments appelés antimétaux varie de 2,5 pour le soufre et l'iode à 4 pour le fluor. De ce fait, ils réagissent – souvent de façon très vive – avec les métaux en capturant leurs électrons de valence : les métaux deviennent cations et les antimétaux anions.

Leurs propriétés tant physiques que chimiques se trouvent ainsi à l'opposé de celles des métaux, ce qui justifie le néologisme « antimétaux ».

### La classe des métalloïdes

Sous ce nom, qui implique des analogies avec les métaux, sont classés les éléments B / C Si Ge / P As Sb Bi / Se Te. Pour les réunir en une même classe, il convient de considérer chacun d'eux sous sa variété allotropique stable du point de vue thermodynamique. Il s'agit toujours d'une variété

cristallisée, mais celle-ci n'est pas toujours la plus abondante : le graphite est abondant mais pas le phosphore noir.

Leurs structures sont très différentes de celles des métaux :

- Le bore hexagonal, le silicium et le germanium aux structures cubiques de type diamant sont des solides homodesmiques tridimensionnels dont les liaisons, essentiellement covalentes, sont dirigées. Il en résulte une grande rigidité et dureté (celle du bore approche celle du diamant).

- Les autres métalloïdes sont au contraire hétérodesmiques : ils contiennent à la fois des liaisons covalentes fortes et des liaisons de type van der Waals. Ainsi les cristaux élémentaires de graphite sont faits d'un empilement de feuillets plans hexagonaux en nids d'abeille faiblement liés entre eux. La structure hexagonale est à la fois hétérodesmique et bidimensionnelle. En effet, les liaisons covalentes fortes présentes dans les plans hexagonaux sont absentes dans la direction perpendiculaire.

- Les éléments de la colonne 15 (P As Sb Bi), de structure rhomboédrique, sont aussi constitués d'un empilement de feuillets, mais ceux-ci sont plissés selon la forme « chaise », bien connue en chimie organique.

- Enfin, le sélénium et le tellure ont une structure (1D) en spirale qui se projette en un triangle équilatéral sur un plan perpendiculaire à son axe. Il est clair qu'à l'échelle d'un microcristal, les propriétés physiques des structures 2D et 1D sont fortement anisotropes. Mais à l'échelle macroscopique, l'orientation en tous sens des microcristaux a pour effet de moyenner les grandeurs physiques.

Toutes ces structures différentes de celles des métaux et différentes entre elles ont en commun la présence de liaisons covalentes fortes. De ce fait, les métalloïdes sont des solides d'autant plus stables du point de vue mécanique et thermique qu'ils contiennent moins de liaisons de van der Waals.

Une autre propriété de la liaison covalente est de donner aux métalloïdes une certaine conductivité électrique. Celle-ci est due à des électrons qui sautent de la bande de valence à la bande de conduction sous l'effet des oscillations thermiques des atomes. Elle augmente donc avec la température à l'inverse de celle des métaux. La conductivité des métalloïdes augmente aussi sous l'action de radiations électromagnétiques telles que la lumière. Le sélénium, particulièrement sensible, a été largement utilisé dans les cellules photoélectriques et les photocopieurs.

Le graphite et les carbones apparentés se singularisent [8]. En effet, par sa structure et la plupart de ses propriétés physiques, le graphite fait partie des métalloïdes, mais il possède des porteurs de charge, électrons et trous, qui lui donnent un comportement métallique. Maximale vers le zéro absolu, sa conductivité électrique diminue lorsque la température s'élève. Elle passe par un minimum au-delà de 600 K puis augmente lorsque de nouveaux électrons passent dans la bande de valence du fait de l'agitation thermique, rejoignant ainsi les autres métalloïdes.

De l'ensemble de leurs propriétés physiques, on peut conclure qu'en accord avec leur nom, les métalloïdes sont les éléments les plus proches des métaux, mais qu'ils s'en distinguent néanmoins nettement par leurs structures et leur conductivité électrique.

Sur la chimie des métalloïdes : situés entre les métaux et les antimétaux, ces éléments sont à la base d'une chimie extrêmement riche où dominent le carbone, le silicium, le bore et le phosphore. Si diverse qu'elle soit, cette chimie comporte des aspects spécifiques qui la distinguent de celle des

métaux et des antimétaux : le caractère fréquemment modéré des réactions et le rôle important de la liaison covalente.

### Le cas de l'hydrogène

Dans le cadre de cet article, nous avons très logiquement rangé l'hydrogène parmi les dix-huit éléments les plus actifs de la chimie, pour lesquels le néologisme « panélément » a été proposé. Mais le dihydrogène  $H_2$  n'appartient à aucune des quatre classes définies ici. Il est proche des antimétaux par sa structure binaire et sa volatilité, mais s'en distingue par sa faible électronégativité (2,1) et son aptitude à former à la fois des anions, dans les hydrures ioniques, et des cations en solution aqueuse.

Dans le cadre du tableau périodique, l'atome H est situé au sommet de la première colonne au-dessus des alcalins, monoatomiques comme lui. Mais il en diffère profondément par ses propriétés physiques et chimiques. Aussi, cet élément inclassable serait-il bien placé loin des autres et conformément à son électronégativité, vers le milieu de la première ligne du tableau – une disposition qui a déjà été proposée [9].

### Conclusion

Malgré leur grande diversité, les éléments chimiques dans leur variété allotropique stable, et à l'exception de l'hydrogène, ont été répartis en quatre classes : métaux, gaz nobles, antimétaux et métalloïdes. Cette disposition est fondée principalement sur les propriétés physiques des éléments, mais complétées pour chaque classe par un condensé des propriétés chimiques.

En remplaçant le fourre-tout des non-métaux par trois classes dotées de noms significatifs, elle fait œuvre à la fois scientifique et sémantique. Les remarques relatives à l'équilibre entre les panéléments et les métaux cinq fois plus nombreux s'inscrivent naturellement dans un article qui, à côté de ses aspects scientifiques, se veut aussi pédagogique.

### Références

- [1] Wiberg E., *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, Walter de Gruyter, 1964.
- [2] Hackspill L., Besson J., Hérold A., *Chimie Minérale*, Presses Universitaires, 1964.
- [3] Michel A., Bernard J., *Chimie Minérale*, Masson, 1964.
- [4] Hérold A., Remarques et propositions relatives à la nomenclature des éléments chimiques, *L'Act. Chim.*, fév. 1999, p. 33.
- [5] Hérold A., An arrangement of the chemical elements in several classes inside the periodic table according to their common properties, *C.R. Chimie*, 2006, 9, p. 148.
- [6] Pauling L., *La Nature de la Liaison chimique et la Structure des Molécules et des Cristaux*, Chap. 11, Presses Universitaires de France, 1949.
- [7] Evans R.C., *Chimie et Structure cristalline*, Trad. de J. Bardolle, Dunod, 1954.
- [8] *Les Carbones* par le Groupe Français d'Étude des Carbones, Tome 1, Masson, 1965, p. 377.
- [9] Atkins P., *General Chemistry*, Scientific American Books, 1992.



**Albert Hérold**

est professeur honoraire à l'Université Henri Poincaré Nancy 1\*.

\* Université Henri Poincaré Nancy 1, 6 rue E. Albert, F-54520 Laxou.  
Courriel : PrA.Herold@gmail.com