

Classification périodique

Leçon de Chimie préparée pour l'agrégation de Physique

Arnaud Dupont

2 juin 2021

1 Préambule

Prérequis. La structure électronique de l'atome fera l'objet d'un bref rappel, dans les faits elle doit être connue dès le lycée. Structure d'un atome, notation A_ZX , Modèle en couches, règles de Klechkowski, règles de Hund, etc. Niveau L1 / PCSI. Oxydo-réduction.

2 Introduction

Au cours de l'Histoire des Sciences, physiciens et chimistes ont pu découvrir un grand nombre d'éléments chimiques différents aux propriétés chimiques diverses. Dans un effort de synthèse, certains d'entre eux (notamment Dimitri Mendeleiev, mais il y en a eu beaucoup d'autres¹) ont cherché à rassembler les connaissances sur les éléments et à les classer selon leurs caractéristiques.

Le renouveau de la théorie de l'atome engendré par les travaux de John Dalton ont poussé certains auteurs à faire des classements des éléments en fonction des poids atomiques. Cela a permis de constater la *périodicité* des propriétés chimiques et de commencer à établir de nouveaux modèles qui aujourd'hui sous-tendent la science contemporaine, anticipant aussi sur la découverte d'éléments alors inconnus. La classification périodique s'est affinée au cours du temps et au fil des découvertes des propriétés de la matière et est aujourd'hui un outil de base du physicien et du chimiste.

1. <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/histoire-de-la-chimie/la-classification-periodique-de-lavoisier-a-mendeleiev>

Dans cette leçon nous allons voir comment aujourd'hui le classement des éléments est fait, sur quel modèle on se base etc... Comment on peut expliquer pourquoi on peut délimiter des familles d'éléments, comment on peut utiliser la classification périodique pour prévoir les propriétés chimiques des éléments...

3 Quantification des niveaux d'énergie dans l'atome

En 1924, furent publiés les résultats de l'expérience de Franck et Hertz, ils permettent de montrer la quantification des niveaux d'énergie des atomes. Le modèle de la mécanique quantique établit l'existence *d'orbitales* atomiques, caractérisées par un niveau d'énergie. Les niveaux d'énergie peuvent être dégénérés (plusieurs orbitales pour un même niveau). Une orbitale atomique est caractérisée par ses *nombres quantiques*.

3.1 Modèle en couches de l'atome

On sait aujourd'hui que les éléments chimiques sont des atomes, constitués d'un noyau contenant un nombre déterminé de protons, et d'électrons en orbite autour de ce noyau. Les propriétés chimiques des éléments proviennent directement de la façon dont leurs électrons sont organisés. La physique quantique nous indique que les électrons se répartissent dans des *couches électroniques* caractérisées par une certaine énergie et que l'on peut aussi distinguer les unes des autres par certains *nombres quantiques*.

3.2 Les différents nombres quantiques.

Les nombres quantiques sont censés être connus dès le lycée de même que la règle de Hund a priori. Il est cependant probablement utile de les rappeler et d'introduire la règle de Klechkowski laquelle n'a peut-être pas été abordée puisque le lycée se limite aux $Z \leq 18$.

Nombre quantique principal. C'est le numéro de la couche électronique. Il est représenté par l'indice n , qui peut prendre toutes les valeurs positives entières.

Nombre quantique azimutal. Les couches électroniques sont elles-mêmes divisées en un certain nombre de sous-couches. Ce numéro indique la sous-couche. Il est lié au moment cinétique de l'électron. Il est représenté par l'indice l qui peut prendre toutes les valeurs entières comprises entre 0 et $n-1$ pour une couche de nombre quantique principal n .

Nombre quantique magnétique de $-l$ à $+l$

Le spin valeurs $\pm\frac{1}{2}$.

Cases quantiques On s'attardera pas beaucoup là-dessus.

Règles de Klechkowski, ordre de remplissage des couches. La règle de Klechkowski indique que pour obtenir la configuration électronique de l'atome dans son état fondamental, on procède en remplissant les sous-couches par valeurs de $n+l$ croissantes puis par valeurs de n croissantes. → Maintenant remplissez les couches...

Stabilité des atomes. Les atomes sont les plus stables quand leurs couches sont remplies, cela va permettre d'expliquer la très faible réactivité des gaz rares, etc... Est-ce qu'on mettrait pas tout ça dans les prérequis cependant. On a une leçon qui s'appelle Liaison chimique... Bof la liaison chimique recoupe plein de trucs et demandera peut-être cette leçon en prérequis lel.

Electrons de cœur et de valence. C'est déjà connu depuis le lycée mais on va rappeler l'idée que seuls les électrons de valence sont déterminants vis-à-vis des propriétés chimiques des éléments. On distingue la couche de valence des autres couches, c'est celle qui a le n le plus élevé. Les électrons sur cette couche sont les « électrons de valence » et les autres sont les « électrons de cœur. »

4 Construction de la classification périodique

On sait aujourd'hui que les éléments chimiques sont caractérisés par le nombre de protons présents dans le noyau de l'atome. Faire un classement

selon ce nombre est pertinent puisque l'atome a autant d'électrons que de protons.

La classification périodique est organisée selon plusieurs principes :

- Les éléments chimiques sont rangés, de gauche à droite, par numéro atomique croissant.
- A chaque nouvelle période on entame une nouvelle couche de valence.
- Les éléments pour lesquels on se trouve dans une certaine sous-couche sont aussi regroupés ensemble ce qui délimite des blocs (on parle de « bloc s », « bloc p », « bloc d... »)

Cette organisation entraîne le fait que chaque colonne correspond à un certain état de remplissage de la dernière couche à remplir selon la règle de Klechkowski. On peut donc, en cherchant la place d'un élément sur la classification, on peut directement déduire sa configuration électronique, laquelle est corrélée à ses propriétés et ça c'est magnifique. Chaque ligne correspond à une nouvelle couche de valence. Chaque colonne correspond à une famille d'éléments chimiques.

FIGURE 1 – Classification périodique des éléments. Symboles et numéros atomiques.

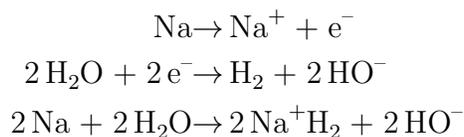
Group Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57 La *	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac *	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
			* 90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

5 Les différentes familles d'éléments

A chaque colonne correspond un nombre d'électrons de valence, puisque les électrons de valence déterminent les propriétés chimiques, on retrouvera des propriétés similaires sur toute la colonne. On fait apparaître ainsi les familles chimiques.

Gaz nobles. Situés tout à droite, car ils sont les éléments pour lesquels toutes les couches sont entièrement remplies. Ce sont donc des éléments très stables, ils réagissent très peu.

Alcalins. Situés tout à gauche, dans le bloc s, ce sont des éléments qui ont 1 électron sur leur couche de valence (une sous-couche s). Ils ont tendance à perdre leur électron de valence pour revenir sur la configuration du gaz rare. Ils ont des propriétés réductrices très importantes qui se montrent de manière spectaculaire lorsqu'on les fait réagir avec l'eau :



Alcalino-terreux . Les alcalino-terreux sont nommés ainsi car leurs propriétés sont analogues à celles des métaux alcalins, mais ils sont plus résistants à l'oxydation (d'où le qualificatif « terreux » hérité de nomenclatures alchimiques).

Métaux de transition. Ce sont les éléments du bloc d. Etc...

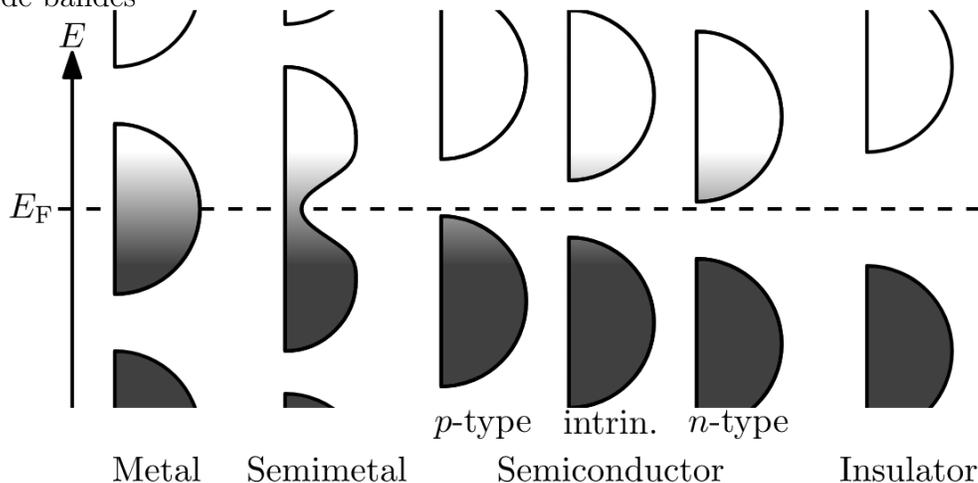
Chalcogènes. Ce sont les éléments de la 16^{ème} colonne (Oxygène, Soufre...)

Halogènes.

Métaux, métalloïdes, non-métaux. La classification périodique permet également de distinguer les éléments considérés comme métaux des non-métaux. Les métaux sont « en gros » les éléments à gauche de la diagonale Bore-Tellurium (voir la classification pour quelque-chose de plus exact). Les

éléments sur cette diagonale sont les « métalloïdes »(intermédiaires entre métaux et non-métaux), ceux à droite de la diagonale sont des non-métaux. Les métaux sont les éléments dont la cohésion des corps purs est assurée par des liaisons métalliques. Pour les non-métaux, ce seront des liaisons covalentes qui seront observées.

FIGURE 2 – Distinction des types de matériaux en fonction de leurs structures de bandes



Un métal ? Chalcogènes, halogènes

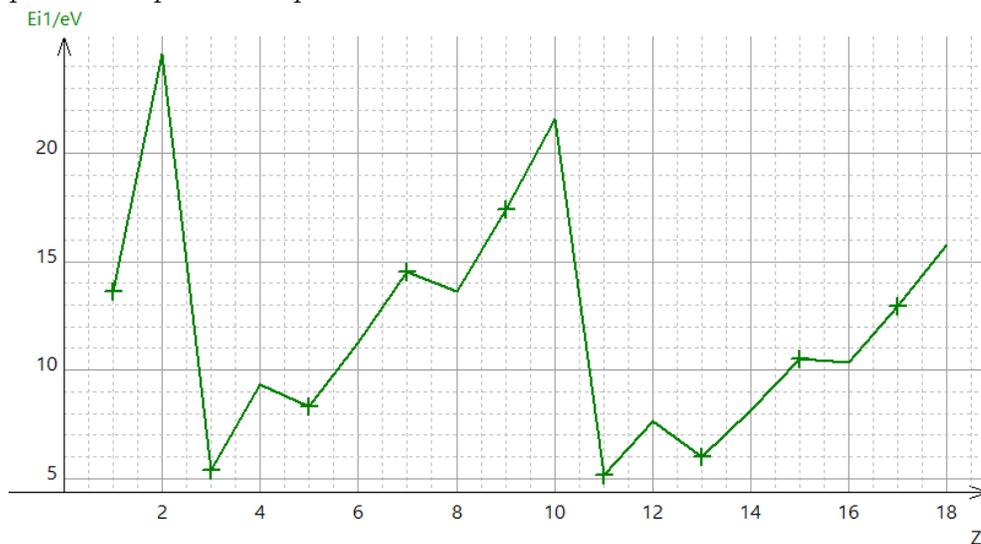
6 Variation des propriétés dans la classification

6.1 Variation de l'énergie d'ionisation

L'énergie d'ionisation est l'énergie à apporter à un atome pour lui arracher un de ses électrons. On distinguera la première ionisation (élément neutre \rightarrow élément chargé 1 fois), la deuxième ionisation (élément chargé 1 fois \rightarrow élément chargé 2 fois)... ces différentes ionisations ayant des énergies différentes. On s'intéressera ici aux énergies de première ionisation.

On peut constater que l'énergie d'ionisation augmente lorsqu'on se déplace vers la droite sur une même période, puis diminue brutalement à chaque nouvelle période pour ensuite augmenter, etc. Il y a quelques exceptions à

FIGURE 4 – Energies de première ionisation en fonction du numéro atomique pour les 3 premières périodes.



6.3 Variation de l'électronégativité

On peut interpréter ceci de manière similaire à l'affinité chimique. C'est très important (définir l'électronégativité selon Pauling) car on peut prévoir le sens de polarisation des liaisons assez facilement. Le fluor est le plus électronégatif de tous les éléments.

6.4 Variation du rayon atomique

Dans tous les cas précédents on peut tirer des principes prédictifs assez simples pour comparer les propriétés des éléments entre eux en utilisant seulement leurs positions dans la classification.

Manipulation : dosage d'ions halogénure, détermination du pKs. Peut être relié à la théorie HSAB, ou à l'électronégativité (liaisons plus polarisée : précipité formé se dissout plus dans l'eau)

7 Choses à potentiellement inclure

Retour sur la notation $\frac{A}{Z}X$? Masses atomiques, u.m.a. et autres caractéristiques des éléments ? Naissance de la chimie quantique (Franck & Hertz, spectres de raies, niveaux d'énergie... Incohérent peut-être avec l'idée de connaître les couches quantiques) ? Peut faire l'objet d'un rappel avant d'introduire Klechkowski. Nan parce que sinon j'irai pas à mes 40 minutes à supposer que je parle normalement. Potentiels standard de certains alcalins. K^+/K : $-2,931$; Na^+/Na : $-2,71$; H_2O/H_2 : $-0,8277$

Similitudes des propriétés chimiques telles que détaillées dans le Chimie Tout en un des éditions Dunod. Radioactivité, exceptions aux règles ? Le cuivre, le chrome ! Couche électronique à demi-remplie plus stable.