

Classification périodique

Niveau : CPGE

Prérequis : configuration électronique, oxydoréduction, structure de l'atome, électronégativité

Introduction

Tableau périodique des éléments chimiques

Le tableau périodique des éléments chimiques est présenté ci-dessous, classé par groupes (1 à 18) et périodes (1 à 7). Les éléments sont colorés en fonction de leur classification :

- Métaux :** Alcalins (rouge), Alcalino-terreux (orange), Lanthanides (rose), Actinides (violet), Métaux de transition (bleu-vert), Métaux pauvres (vert clair).
- Non métaux :** Métaalloïdes (vert foncé), Autres non-métaux (jaune-vert), Halogènes (jaune), Gaz nobles (bleu).
- Non classés :** Éléments non classés (gris).
- Statut :** primordial (noir), désintégration d'autres éléments (bleu clair), synthétique (bleu foncé).

| Groupes | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Période 1 | Hydrogène 1 H 1,00794 | | | | | | | | | | | | | | | | | Hélium 2 He 4,002602 |
| Période 2 | Lithium 3 Li 6,939 | Béryllium 4 Be 9,0121831 | | | | | | | | | | | Bore 5 B 10,813 | Carbone 6 C 12,0106 | Azote 7 N 14,006432 | Oxygène 8 O 15,9994 | Fluor 9 F 18,99840316 | Néon 10 Ne 20,1797 |
| Période 3 | Sodium 11 Na 22,98976928 | Magnésium 12 Mg 24,305 | | | | | | | | | | | Aluminium 13 Al 26,9815385 | Silicium 14 Si 28,0855(1) | Phosphore 15 P 30,97376209 | Soufre 16 S 32,067 | Chlore 17 Cl 35,453 | Argon 18 Ar 39,948(1) |
| Période 4 | Potassium 19 K 39,0983(1) | Calcium 20 Ca 40,078(4) | Scandium 21 Sc 44,955908(6) | Titane 22 Ti 47,867(1) | Vanadium 23 V 50,9415(1) | Chrome 24 Cr 51,9961(8) | Manganèse 25 Mn 54,938044 | Fer 26 Fe 55,845(2) | Cobalt 27 Co 58,933194 | Nickel 28 Ni 58,6934(4) | Cuivre 29 Cu 63,546(3) | Zinc 30 Zn 65,38(2) | Gallium 31 Ga 69,723(1) | Germanium 32 Ge 72,630(8) | Arsenic 33 As 74,921595 | Sélénium 34 Se 78,971(8) | Brome 35 Br 79,904 | Krypton 36 Kr 83,798(2) |
| Période 5 | Rubidium 37 Rb 85,4678(3) | Strontium 38 Sr 87,62(1) | Yttrium 39 Y 88,90584 | Zirconium 40 Zr 91,224(2) | Niobium 41 Nb 92,90637 | Molybdène 42 Mo 95,95(1) | Technétium 43 Tc [98] | Ruthénium 44 Ru 101,07(2) | Rhodium 45 Rh 102,90550 | Palladium 46 Pd 106,42(1) | Argent 47 Ag 107,8682(2) | Cadmium 48 Cd 112,414(4) | Indium 49 In 114,818(1) | Étain 50 Sn 118,710(7) | Antimoine 51 Sb 121,760(1) | Tellure 52 Te 127,60(3) | Iode 53 I 126,90447 | Xénon 54 Xe 131,293(6) |
| Période 6 | Césium 55 Cs 132,905452 | Barium 56 Ba 137,327(7) | Lanthanides 57-71 | Hafnium 72 Hf 178,49(2) | Tantale 73 Ta 180,94788 | Tungstène 74 W 183,84(1) | Rhénium 75 Re 186,207(1) | Osmium 76 Os 190,23(3) | Iridium 77 Ir 192,222(3) | Platine 78 Pt 195,084(9) | Or 79 Au 196,966569 | Mercury 80 Hg 200,592(3) | Thallium 81 Tl 204,3835 | Ploomb 82 Pb 207,2(1) | Bismuth 83 Bi 208,98040 | Polonium 84 Po [209] | Astato 85 At [210] | Radon 86 Rn [222] |
| Période 7 | Francium 87 Fr [223] | Radium 88 Ra [226] | Actinides 89-103 | Rutherfordium 104 Rf [267] | Dubnium 105 Db [268] | Seaborgium 106 Sg [269] | Bohrium 107 Bh [270] | Hassium 108 Hs [271] | Méllérium 109 Mt [278] | Darmstadtium 110 Ds [281] | Roentgenium 111 Rg [282] | Copernicium 112 Cn [285] | Nihonium 113 Nh [286] | Flerovium 114 Fl [289] | Moscovium 115 Mc [289] | Livermorium 116 Lv [293] | Tennesse 117 Ts [294] | Ognesson 118 Og [294] |
| | Lanthane 57 La 138,90547 | Cérium 58 Ce 140,116(1) | Praseodyme 59 Pr 140,90766 | Néodyme 60 Nd 144,242(3) | Prométhium 61 Pm [145] | Samarium 62 Sm 150,36(2) | Europium 63 Eu 151,964(1) | Gadolinium 64 Gd 157,25(3) | Terbium 65 Tb 158,92535 | Dysprosium 66 Dy 162,500(1) | Holmium 67 Ho 164,93033 | Erbium 68 Er 167,259(3) | Thulium 69 Tm 168,93422 | Ytterbium 70 Yb 173,045 | Lutécium 71 Lu 174,9668 | | | |
| | Actinium 89 Ac [227] | Thorium 90 Th 232,0377 | Protactinium 91 Pa 231,03588 | Uranium 92 U 238,02891 | Neptunium 93 Np [237] | Plutonium 94 Pu [244] | Américium 95 Am [243] | Curium 96 Cm [247] | Berkélium 97 Bk [247] | Californium 98 Cf [251] | Einsteinium 99 Es [252] | Fermium 100 Fm [257] | Mendelevium 101 Md [258] | Nobelium 102 No [259] | Lawrencium 103 Lr [266] | | | |

Le tableau périodique des éléments représente tous les éléments chimiques, ordonné par numéro atomique croissant et organisés en fonction de leur configuration électronique, et donc de leurs propriétés. Ce tableau n'a pas toujours été tel que vous le voyez. Sa conception est attribuée à Mendeleïev, mais la construction de la classification périodique ne résulte pas uniquement de la prouesse de Mendeleïev en un jour, mais d'une succession d'avancées. Un bref historique s'impose donc.

I Présentation générale

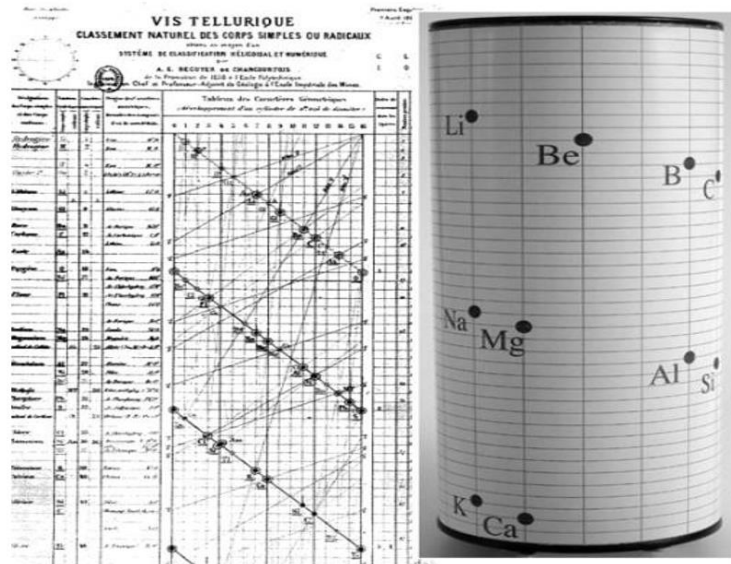
1) Historique de la classification périodique

Découverte des éléments par siècle

| Avant 1700 | 1700-1799 | 1800-1849 | 1850-1899 |
|------------|-----------|-----------|------------|
| Antimoine | Azote | Aluminium | Actinium |
| Argent | Béryllium | Baryum | Argon |
| Arsenic | Bismuth | Bore | Cesium |
| Carbone | Chlore | Brome | Dysprosium |
| Cuivre | Chrome | Cadmium | Gadolinium |
| Étain | Cobalt | Calcium | Gallium |
| Fer | Fluor | Cérium | Germanium |
| Mercure | Hydrogène | Erbium | Hélium |
| Or | Manganèse | Iode | Holmium |
| Phosphore | Molybdène | Lanthane | Indium |
| Plomb | Nickel | Iridium | Krypton |
| Soufre | Oxygène | Lithium | Néodyme |
| | Platine | Magnésium | Néon |
| | Strontium | Niobium | 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) |

➔ Nécessité de regrouper les éléments pour permettre une transmission plus efficace du savoir en chimie + reconnaissance de propriétés communes

1817 : les Triades de Döbereiner : alcalino-terreux (Ca, Sr, Ba), alcalins (Li, Na, K), halogènes (Cl, Br, I), premier lien entre la masse atomique et la périodicité des propriétés physico-chimiques



1862 : La vis tellurique de Chancourtois : classement par masse atomique croissante, enroulement hélicoïdal autour d'un cylindre, double périodicité apparaît un peu. Ça ne marche pas super bien car il n'inverse pas certains éléments et il ne prend pas en compte les éléments manquants.

ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ВѢСѢ 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 = 197,4 |
| | | Fe = 56 | Ru = 104,4 | Ir = 198. |
| | | Ni = Co = 59 | Pd = 106,4 | Os = 199. |
| | | Cu = 63,4 | Ag = 108 | Hg = 200. |
| H = 1 | Be = 9,4 | Mg = 24 | Zn = 65,2 | Cd = 112 |
| | B = 11 | Al = 27,4 | ? = 68 | Ur = 116 |
| | C = 12 | Si = 28 | ? = 70 | Sn = 118 |
| | N = 14 | P = 31 | As = 75 | Sb = 122 |
| | O = 16 | S = 32 | Se = 79,4 | Te = 128? |
| | F = 19 | Cl = 35,4 | Br = 80 | I = 127 |
| Li = 7 | Na = 23 | K = 39 | Rb = 85,4 | Cs = 133 |
| | | Cs = 40 | Sr = 87,4 | Ba = 137 |
| | | ? = 43 | Ce = 92 | Pb = 207. |
| | | ?Er = 56 | La = 94 | |
| | | ?Yt = 60 | Di = 95 | |
| | | ?In = 75,4 | Th = 118? | |

Д. Менделѣевъ

1870 : tableau périodique de Mendeleïev : corrige les erreurs précédentes, inverse Ni/Co au détriment de la masse atomique croissante pour mieux coller aux propriétés physico-chimiques. Rajoute des trous dans le tableau.

Prédictions de Mendeleïev

| Prédictions | Déterminations |
|---|---|
| Eka-aluminium 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 $Sc_2(SO_4)_3$ |
| Eka-silicium Poids atomique: 72 Volume atomique: 13 Oxyde: EsO_2 Chlorure: $EsCl_4$ T_{eb} du chlorure: $<100^\circ C$ Densité du chlorure: 1,9 ... | Germanium (1886) 72,3 13,2 GeO_2 $GeCl_4$ $86^\circ C$ 1,887 |

Prédictions de Mendeleïev : prédictions des propriétés des éléments chimiques manquants (en plus du fait qu'il manque des éléments chimiques). Confirmation expérimentale par la découverte du gallium en 1875, du germanium en 1886. Il met sous forme de colonnes, les familles possédant les mêmes réactivités/propriétés chimiques.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 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 |
| 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | (43) | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe |
| 55 Cs | 56 Ba | 57-71 Ln | 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) | 86 Rn |
| (87) Ra | 88 Ac | 89 Th | 90 Pa | 91 U | (92) | (93) | (94) | (95) | (96) | (97) | (98) | (99) | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 57 La | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | (61) | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu |
|----------|----------|----------|----------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|

1900 : ajout d'une colonne pour les gaz nobles (peu réactifs donc découverts tard)

La structure globale de la classification périodique n'a pas changé celle-ci a été faite avant la découverte de l'électron et du noyau. L'origine de cette double périodicité n'était pas connue. Nous allons maintenant chercher à la comprendre à travers la structure du tableau.

2) Structure actuelle

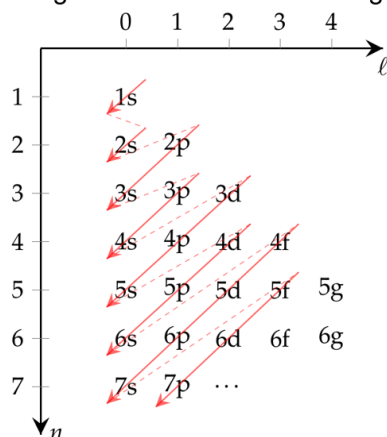
Rappel : élément chimique : caractérisé par son numéro atomique Z

Le tableau périodique des éléments est constitué de 7 lignes ou « périodes » et de 18 colonnes ou « familles » qui répertorient 118 éléments. Sur ces éléments 94 existent à l'état naturel, les autres sont obtenus artificiellement. Les éléments sont rangés de gauche à droite par ordre croissant de leur numéro atomique Z.

Aujourd'hui on comprend le tableau périodique grâce à la mécanique quantique qui prédit entre autres l'existence des nombres quantiques pour décrire l'état des électrons. Intuitivement, pour comprendre les propriétés d'un élément, on va s'intéresser à l'état des électrons qui interviennent dans les réactions chimiques : les électrons de valence.

Rappels :

Remplissage des orbitales avec la règle de Klechkowski



Nombre d'électrons par type d'orbitale (avec le principe de Pauli et la mécanique quantique) :

s : 2

p : 6

d : 10

f : 14

...

Chaque ligne du tableau périodique correspond au remplissage d'une couche électronique à n fixé (nombre quantique principal). Chaque ligne se subdivise en bloc s, p, d, f qui correspondent au nombre quantique secondaire l.

Ex : F : $1s^2 2s^2 2p^5$, n = 2 -> 2^e ligne, l = 1 et 5 électrons de valence -> 17^e colonne

Tableau périodique par blocs :

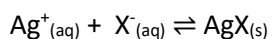
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|----|
| s ¹ | | | | | | | | | | | | p ⁶ | | | | | | |
| H | Li | Na | K | Rb | Cs | Fr | Be | Mg | Ca | Sr | Ba | Ra | B | C | N | O | F | Ne |
| s ² | | | | | | | | | | | | p ¹ | p ² | p ³ | p ⁴ | p ⁵ | | |
| | | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | |
| | | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | |
| | | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | |
| | | 57-71 | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | |
| | | 89-103 | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Uut | Ff | Uup | Lv | Uus | Uuo | |
| | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | |
| | | Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | | |

Ex : Cl : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$, n = 3 -> 3^e ligne, l = 1 et 5 électrons de valence -> 17^e colonne

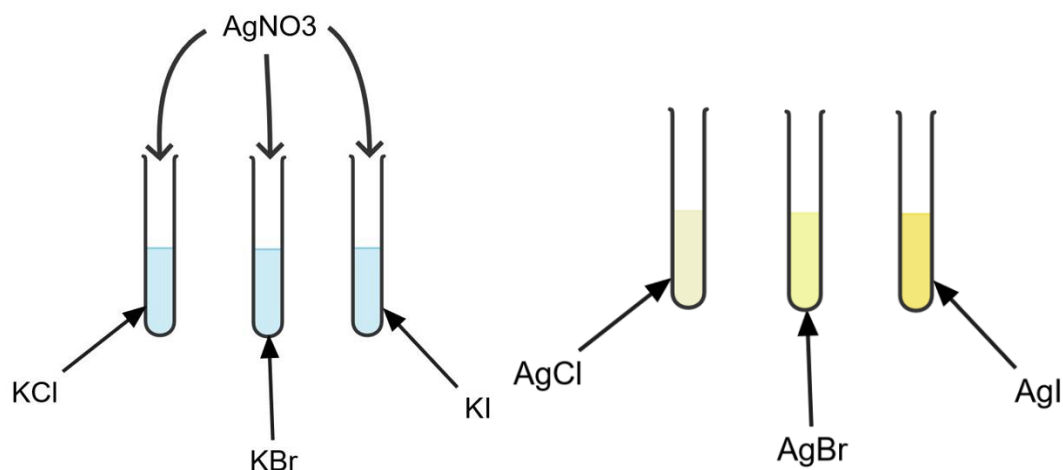
F et Cl possèdent la même structure, ils possèdent des propriétés similaires, ils sont dans la même famille : ce sont des chalcogènes

Ex : alcalins, alcalino-terreux, chalcogènes, halogènes, gaz nobles

Expérience : précipitation des halogénures avec du nitrate d'argent : AgNO_3 (0,01 mol.L⁻¹) réagit dans chacun des tubes à essai avec KCl, KBr, KI (concentrations autour de 0.1 mol.L⁻¹) (faire sous hotte car AgNO_3 tache beaucoup)



Les couleurs sont un peu différentes car les énergies des électrons de valence sont un peu différentes.



Maintenant qu'on a compris que la mécanique quantique prédit des propriétés périodiques pour les éléments chimiques, on va chercher à les détailler et voir les conséquences qu'elles ont en chimie.

II Périodicité des propriétés physiques

1) Charge effective



La charge effective Z^* ressentie par un électron est la charge Z du noyau diminuée de l'effet d'écran qu'exercent les électrons situés entre le noyau et l'électron considéré.

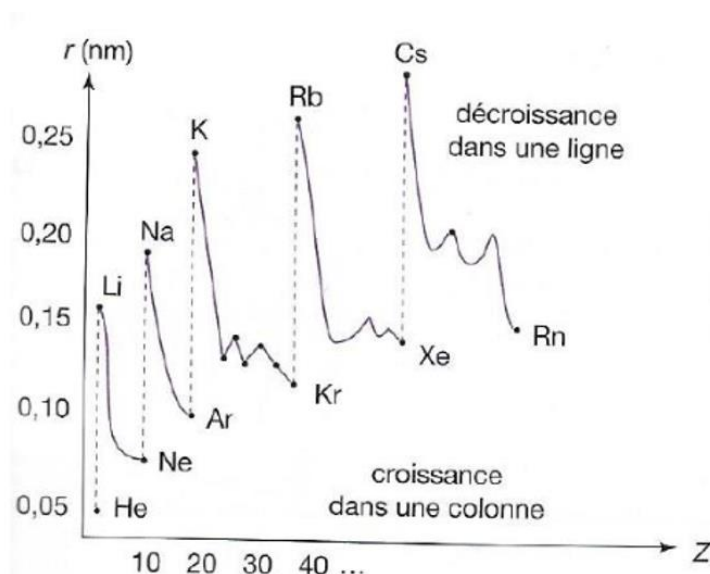
Les électrons de valence sont écrantés par les électrons de cœur. De haut en bas : Z augmente, le nombre d'électrons de cœur augmente $\rightarrow Z^*$ à peu près constant. De gauche à droite : Z augmente, le nombre d'électrons de cœur augmente $\rightarrow Z^*$ augmente.

Maintenant qu'on a conscience de la notion d'écran, nous allons voir que cela influe sur la manière dont les électrons sont retenus par l'atome et donc sur le rayon atomique.

2) Rayon atomique/rayon ionique

Le rayon atomique dépend de Z^* selon la formule : $r = \frac{a_0 n^2}{Z^*}$ (hors-programme), $a_0 = 53 \text{ pm}$, r est inversement proportionnel à Z^* , on le comprend qualitativement car plus la force d'attraction diminue, plus l'électron peut s'écartier du noyau.

Tableau : de haut en bas : $Z^* = \text{cste}$ et n augmente $\rightarrow r$ augmente, de gauche à droite : Z augmente et $n = \text{cste} \rightarrow r$ diminue.

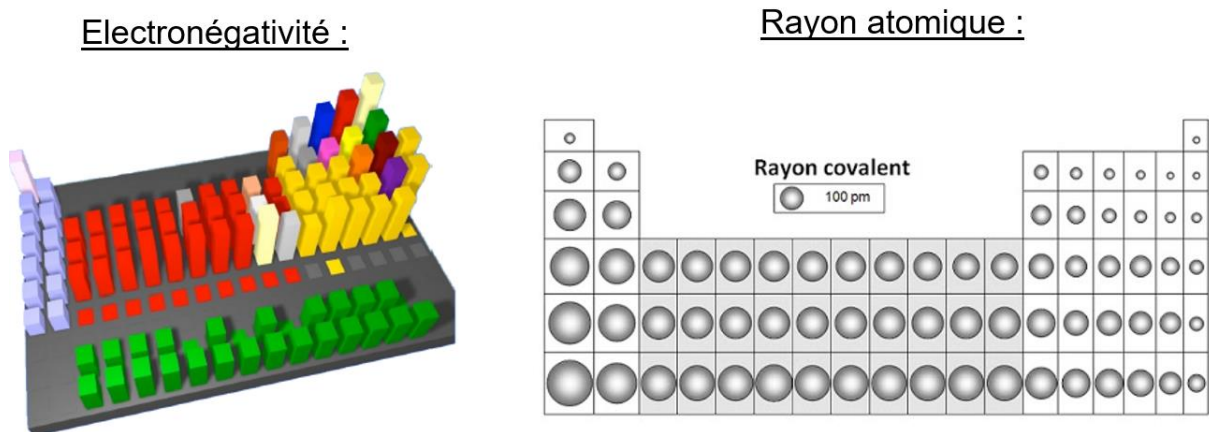


Rayons ioniques : anions : plus d'électrons donc $r^- > r$, cations : moins d'électrons donc $r^+ < r$

On peut maintenant comprendre l'évolution de l'électronégativité dans le tableau périodique.

3) Électronégativité

Rappel : l'électronégativité d'un élément chimique est la capacité d'un atome de cet élément à attirer les électrons des liaisons dans lesquelles il est engagé.



Un rayon plus élevé signifie des électrons moins liés donc une électronégativité plus faible.

Un rayon moins élevé signifie des électrons plus liés donc une électronégativité plus forte.

→ D'où une évolution inverse par rapport au rayon atomique

Maintenant qu'on a compris l'évolution de l'électronégativité, on va pouvoir regarder les conséquences de cette évolution sur les propriétés chimiques des éléments.

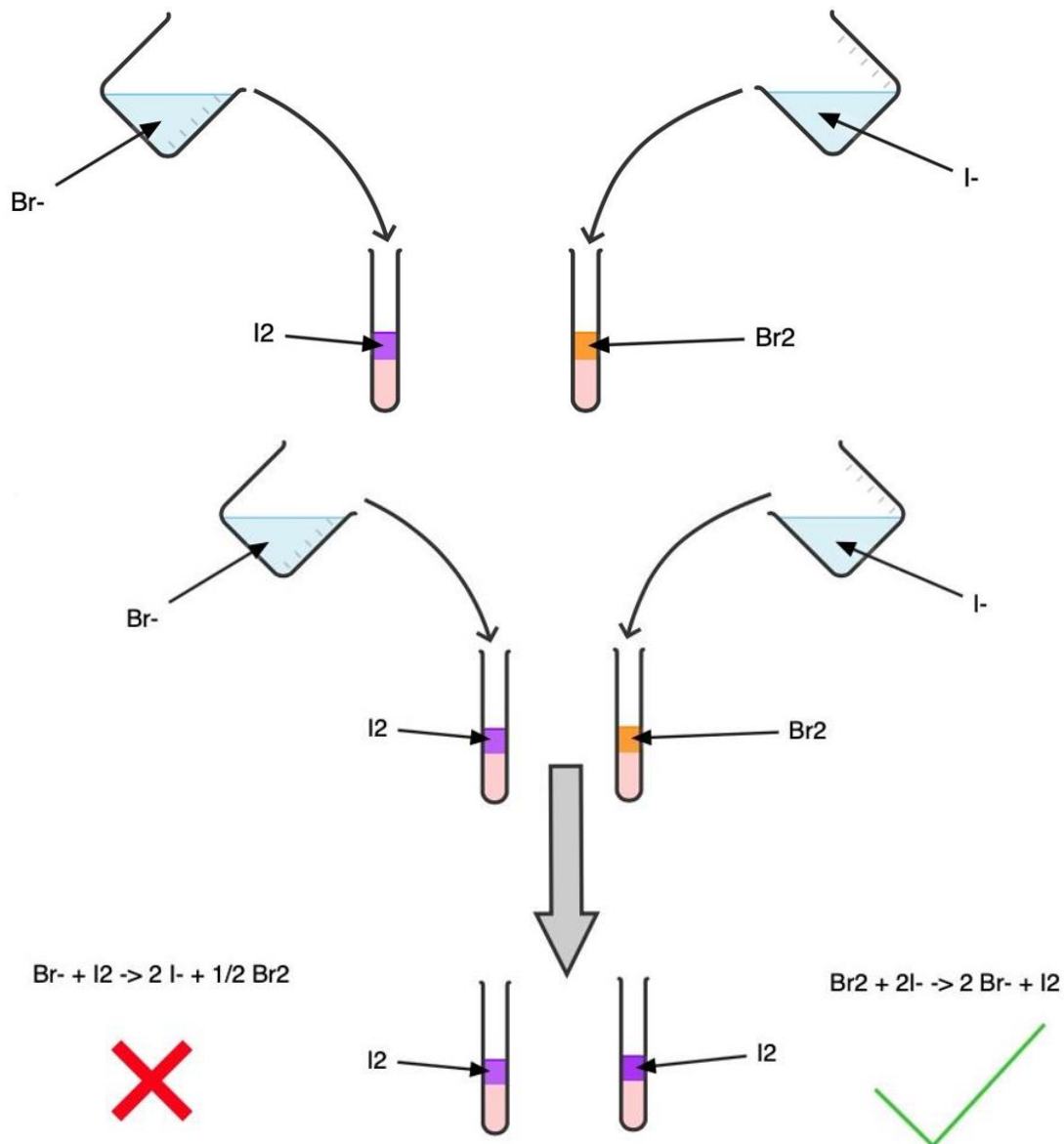
III Périodicité des propriétés chimiques

1) Caractère oxydant des halogènes

On s'intéresse aux couples rédox X_2/X^- , avec X un halogène. On se demande parmi les halogènes, quel est le couple le plus oxydant.

On considère expérimentalement les couples Br_2/Br^- et I_2/I^- . On fait réagir $Br_{2(aq)}$ avec $I^-_{(aq)}$ ainsi que $I_{2(aq)}$ avec $Br^-_{(aq)}$ et on regarde si une réaction s'est produite.

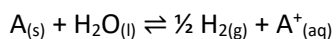
Expérience : caractère oxydant des halogènes, on utilise deux tubes à essai contenant du dibrome pour le premier et du diiode pour le second à environ 0.1 mol.L^{-1} . On introduit dans chacun des tubes à essai du cyclohexane (solvant organique) et on mélange. L'interaction du dibrome et du diiode avec le cyclohexane donne une couleur orangée (dibrome) et violette (diiode). On introduit ensuite Br^- et I^- avec l'autre dihalogène.



Le brome, plus électronégatif que l'iode, s'oxyde en récupérant les électrons de l'iodure. Cela correspond bien au fait qu'un atome plus électronégatif attire plus fortement les électrons ce qui lui permet de s'oxyder. Le pouvoir oxydant augmente de bas en haut dans la colonne des halogènes.

2) Caractère réducteur des alcalins

On s'intéresse aux couples rédox A^+/A , avec A un alcalin. On considère la réaction de A avec l'eau :



Les alcalins sont très réducteurs, le pouvoir réducteur augmente de haut en bas.

Conclusion

La classification périodique est utile pour prévoir la réactivité en chimie organique. Le tableau est toujours vivant avec des découvertes de nouveaux éléments encore récemment (Moscovium par exemple).

Bibliographie

-Chimie, tout en un PCSI

- La chimie expérimentale, Chimie organique et minérale Dunod, 2007

- Chimie physique expérimentale, Hermann, 2006

- <https://youtu.be/m55kgYApYrY>

Questions

- Pourquoi on utilise les mêmes concentrations d'halogénures ?
→ Pour pouvoir comparer les couleurs obtenues.
- Pourquoi on observe un noircissement ?
→ Car les photons sont absorbés par le milieu et détruisent le AgCl formé (principe de la photographie argentique), noircit plus rapidement aux UV.
- Modèle de Slater avec les électrons de valences ?
→ Constante d'écran selon les orbitales.
- D'où vient la formule du rayon atomique ?
→ Modèle de Bohr avec la quantification du moment cinétique
- Électronégativité d'un gaz noble ?
→ Non défini car pas de liaison
- Pourquoi les dihalogènes sont des oxydants ?
→ Car forte électronégativité donc ils ont tendance à s'oxyder facilement.
- Citer quelques découvertes d'éléments, par date et le nom du scientifique.
→ Beaucoup d'éléments sont connus depuis l'Antiquité (métaux comme le fer, l'or, l'argent, le plomb avec l'histoire de l'alchimie, le carbone, le soufre). L'hydrogène c'est Cavendish en 1766, Lavoisier isole N_2 et O_2 en 1775 (il montre que ce sont des corps simples, l'azote était découvert 3 ans avant par Daniel Rutherford). Sodium : Sir Humphry Davy en 1807, et autres métaux alcalins c'est quand on a su faire des électrolyses des sels. Les gaz inertes ont été découverts à la fin du siècle quand on a su liquéfier l'air. Mendeleïev ne les avait pas prévus.