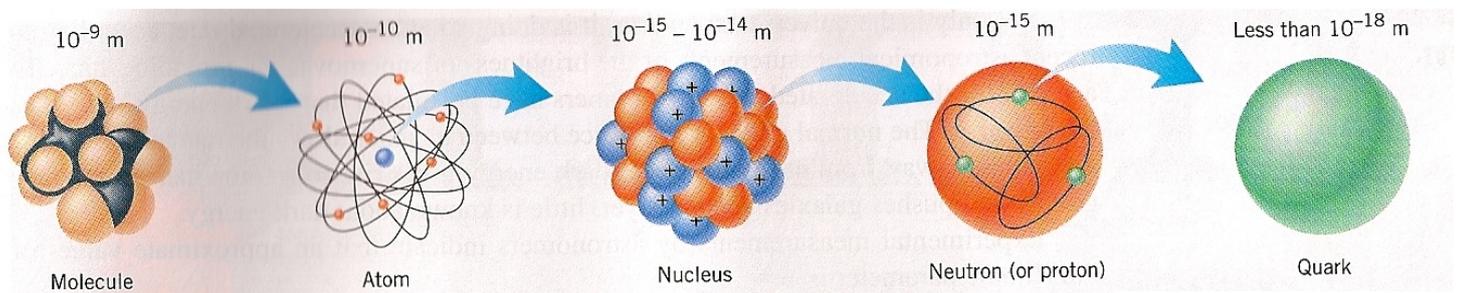


CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS: UNE INTRODUCTION

I - COMPOSITION DE LA MATIERE

La matière qui nous entoure est constituée **d'atomes** et de **molécules** (association de plusieurs atomes). Les propriétés physico-chimiques de la matière à notre échelle (échelle macroscopique) sont déterminées par les propriétés et l'arrangement des atomes et des molécules (échelle moléculaire) constitutifs de cette matière.

La structure de la matière est rappelée sur la figure ci-dessous. Un atome est constitué **d'électrons** ($m_e = 9,109 \times 10^{-31}$ kg), de **protons** ($m_p = 1,673 \times 10^{-27}$ kg) et de **neutrons** ($m_n = 1,675 \times 10^{-27}$ kg). Ces deux dernières particules constituent le **noyau** de l'atome.



Il est remarquable que l'électron et le proton possèdent une charge électrique opposée en signe mais de même valeur $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C (charge positive pour le proton et négative pour l'électron). Le neutron n'est pas chargé.

La **charge électrique est une propriété intrinsèque des particules** au même titre que la masse. Par contre, il existe des **charges positives** et des **charges négatives** (une masse est une grandeur toujours positive).

Dans les années 1970, on s'est rendu compte que le proton et le neutron n'étaient pas des particules élémentaires. Ils sont constitués chacun de trois particules plus fondamentales ; **les**

quarks (voir figure ci-dessus). Ces derniers ont des charges de $-\frac{1}{3}e$ ou $+\frac{2}{3}e$. Mais nous n'avons

jamais observé expérimentalement de quarks à l'état libre et il y a de bonnes raisons théoriques de croire qu'ils doivent rester confinés à l'intérieur du proton et du neutron.

Un atome est noté symboliquement de la façon suivante :



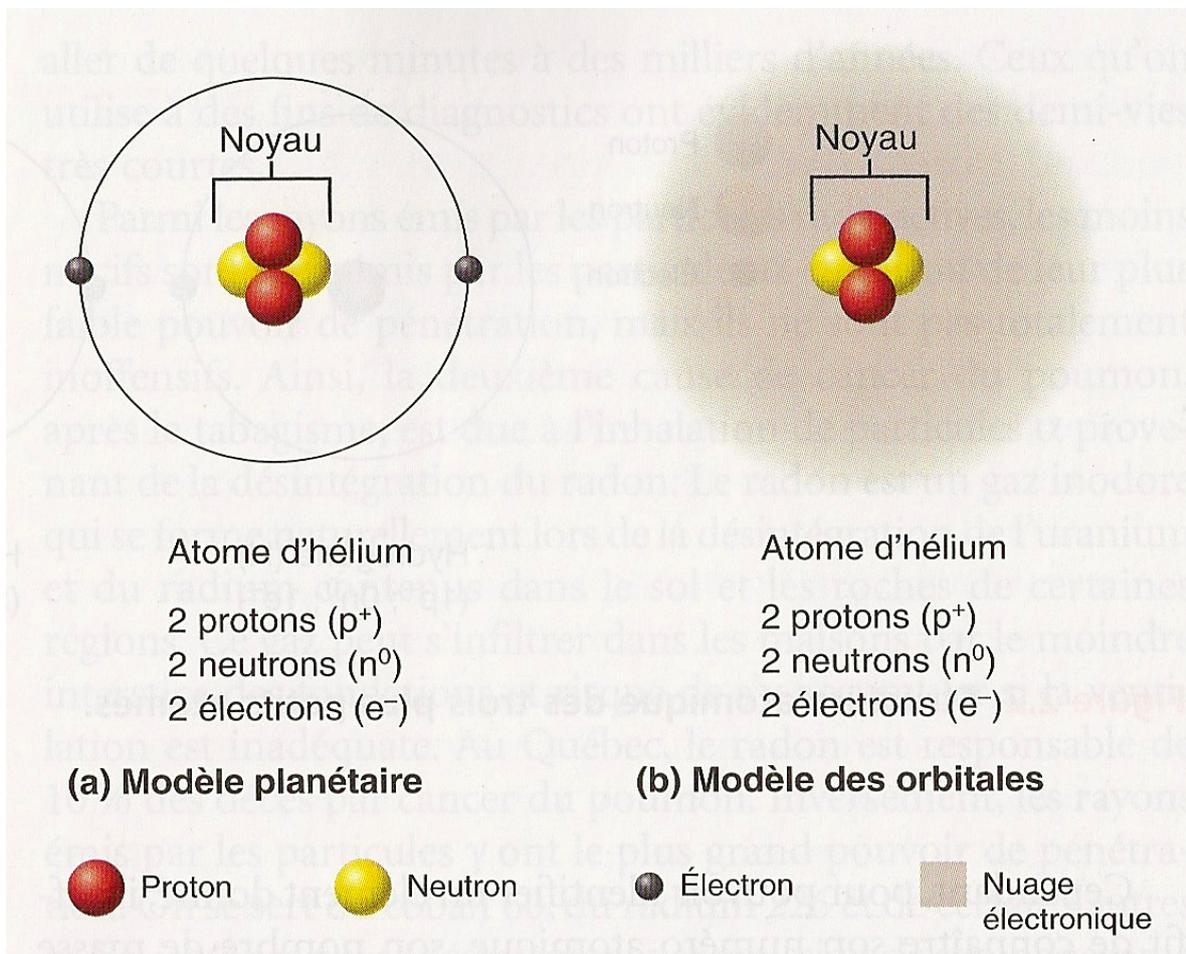
X est le symbole chimique de l'atome.

A est le **nombre de masse**, il correspond à la somme du nombre de protons et du nombre de neutrons de l'atome.

Z est le **numéro atomique**, il correspond au nombre de protons de l'atome.

Le nombre de neutrons, noté en général N , vaut $A - Z$.

Par exemple, l'atome de chlore 35 s'écrit ${}^{35}_{17}\text{Cl}$. Un atome de chlore a toujours 17 protons, les notations 17 et N sont donc redondantes. Par contre, un atome de chlore peut avoir différents nombres de masse, donc un nombre de neutrons différents, nous allons en reparler. La figure ci-dessous représente deux modèles (dont on reparlera) de l'atome d'hélium.



Remarques

- 99 % de la masse de l'atome est contenue dans le noyau. Pour fixer les ordres de grandeur, si le proton (ou le neutron) avait la masse d'une balle de baseball, l'électron aurait la masse d'un grain de riz. La densité du noyau est énorme et vaut 10^{14} . Si la terre avait cette densité, toute sa masse serait contenue dans la taille d'une orange !
- La plupart du volume de l'atome est vide.

- L'atome est **électriquement neutre** ce qui fait que le **nombre de protons est identique au nombre d'électrons**. Z représente donc aussi le nombre d'électrons.
- La cohésion de l'atome fait intervenir des forces ou interactions. Les électrons sont liés au noyau grâce à l'**interaction électromagnétique** (nous en reparlerons) qui est à longue portée comme l'interaction gravitationnelle. La cohésion proton-proton, proton-neutron et neutron-neutron est assurée par l'**interaction forte** qui est de très courte portée (de l'ordre de la taille du noyau).

II - UNITES FONDAMENTALES

2.1 Unité de masse atomique (uma ou u)

Par définition, $1 \text{ uma} = \frac{1}{12}$ de la masse d'un atome de carbone avec 6 protons et 6 neutrons.

En uma, la masse du proton vaut 1,00727, celle du neutron 1,00866 et celle de l'électron 0,00055.

2.2 La mole

Etant donné la taille et la masse des atomes, il est plus facile de les manipuler en grand nombre ce qui conduit à la définition de la mole.

Définition 1 : Une mole de « quelque chose » contient exactement $N_A = 6,0221421 \times 10^{23}$ de ce quelque chose. N_A est le nombre d'Avogadro.

Définition 2 (historique) : La valeur numérique de la mole ($N_A = 6,0221421 \times 10^{23}$) correspond par définition au nombre d'atomes de carbone $12 \left({}^{12}_6\text{C} \right)$ contenus dans 12 g.

2.3 La masse molaire

La valeur de la masse molaire d'un atome (et d'un élément chimique, voir plus loin) en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ est numériquement identique à celle de la masse de l'atome en uma.

En effet, $1 \text{ uma} = \frac{1}{12} \left(\text{masse de } {}^{12}_6\text{C} \right) = \frac{1}{12} \frac{0,012}{N_A} = \frac{10^{-3} \text{ kg}}{N_A}$ donc $1 \text{ uma} = 1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

III - L'élément chimique

3.1 Isotope

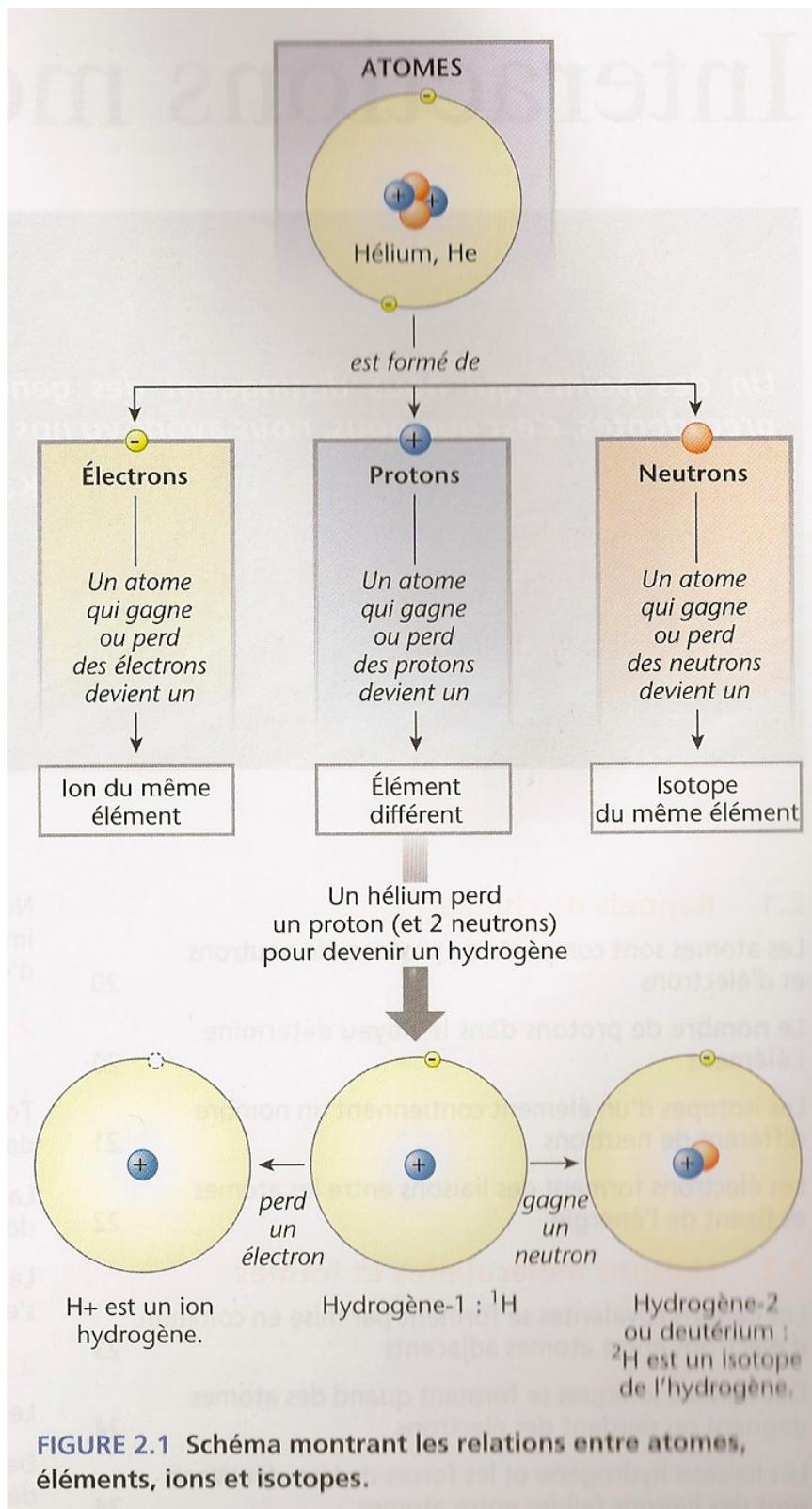
Définition : Deux atomes avec le même numéro atomique Z mais avec un nombre de masse A différent sont deux **isotopes**.

Ainsi deux isotopes ont le même nombre de protons (donc d'électrons) mais pas le même nombre de neutrons.

Par exemple le carbone 12 ($^{12}_6\text{C}$) et le carbone 14 ($^{14}_6\text{C}$) sont deux isotopes.

Le carbone 14 n'est pas stable, il est radioactif. Le symbole C est lié uniquement au nombre de protons. La figure ci-dessous montre les isotopes de l'hydrogène.

La figure ci-contre résume la situation.



3.2 L'élément chimique

Un **élément chimique** est caractérisé uniquement par le nombre de protons d'un atome: symbole ${}_Z X$ ou simplement X .

En effet, les propriétés chimiques d'un atome ne dépendent que de son cortège électronique (voir cours sur la structure électronique des atomes) c'est-à-dire de son nombre d'électrons qui est identique au nombre de protons.

Si on reprend l'exemple du carbone, le carbone 12 (${}^{12}_6 C$) et le carbone 14 (${}^{14}_6 C$) sont deux isotopes donc deux atomes différents mais il s'agit du **même élément chimique**. Pour les chimistes, le nombre de neutrons n'a pas d'importance, c'est simplement le numéro atomique Z qui compte. Bien sûr, pour les physiciens nucléaires, le nombre de masse A joue un rôle fondamental.

3.3 Masse molaire d'un élément chimique

A l'état naturel, les éléments sont souvent des mélanges d'isotopes dont les proportions restent constantes. On souhaite calculer la masse molaire M d'un élément chimique qui possède plusieurs isotopes. On a simplement :

$$M(\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}) = \sum_i M_i \frac{x_i}{100}$$

x_i = pourcentage massique de l'isotope i .

M_i = masse molaire de l'isotope i en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Exemple :

On considère l'élément chlore que l'on suppose constitué de deux isotopes : ${}^{35}_{17} Cl$ et ${}^{37}_{17} Cl$.

$${}^{37}_{17} Cl \begin{cases} x_i = 24,2 \% \\ M_i = 36,97 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \end{cases} \quad {}^{35}_{17} Cl \begin{cases} x_i = 75,8 \% \\ M_i = 34,97 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \end{cases} \quad \text{On obtient } M(Cl) = 35,45 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

IV - LE TABLEAU PERIODIQUE

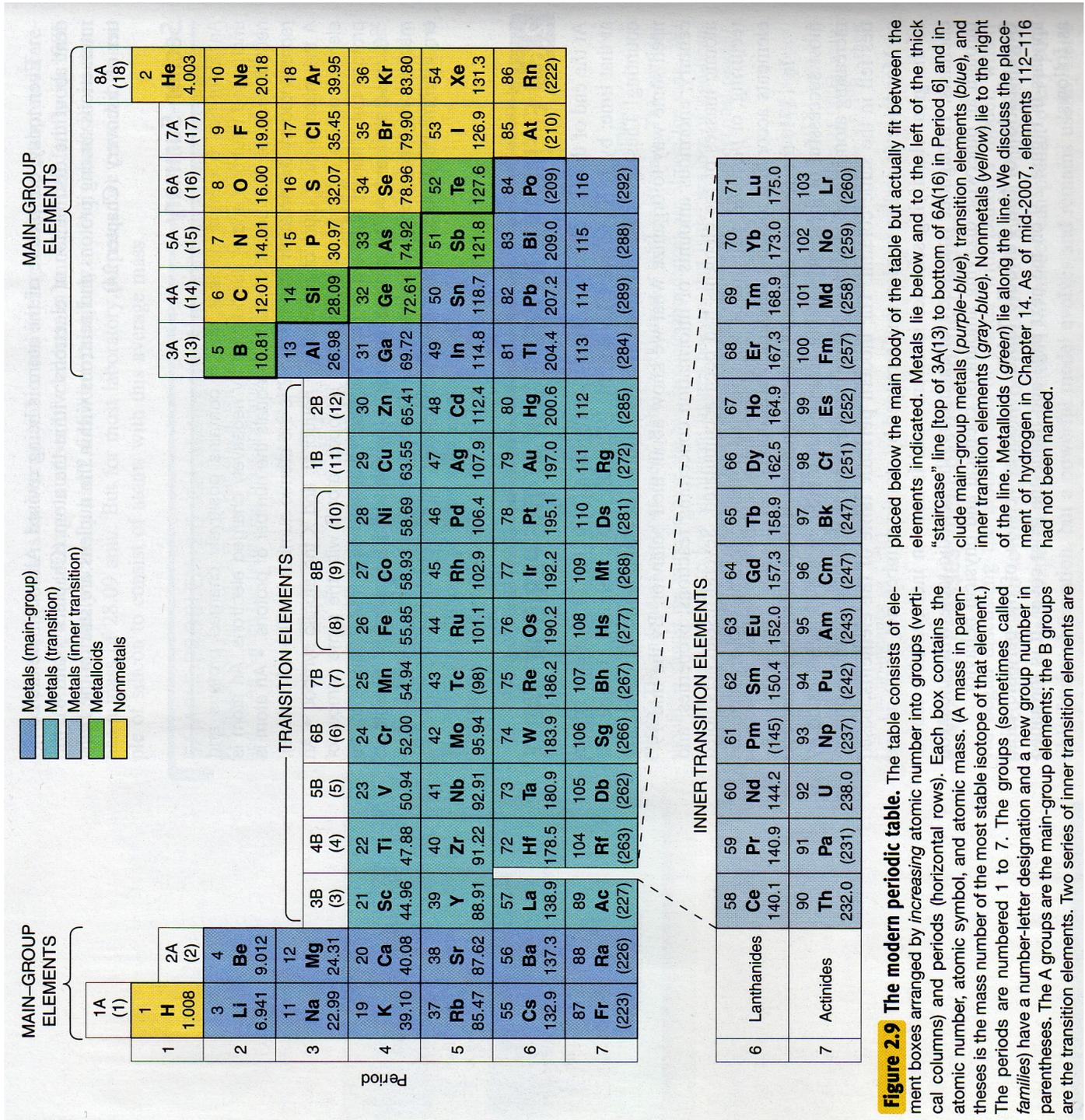
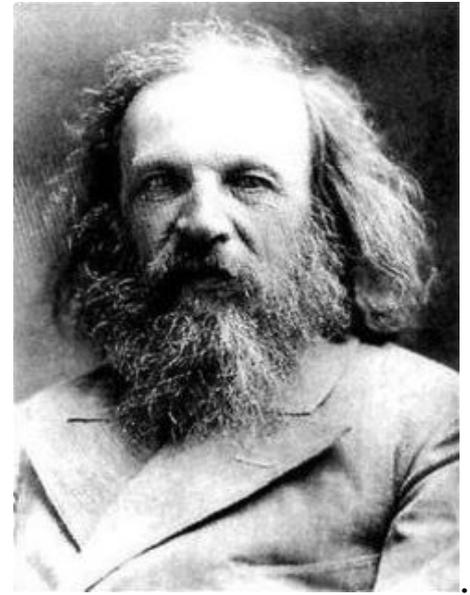
4.1 Introduction

Le tableau périodique (TP) est un outil indispensable en chimie. Il contient des données spécifiques à chacun des éléments chimiques. Son organisation permet de dégager les propriétés physico-chimiques semblables à différents éléments chimiques. La paternité du tableau périodique est attribuée à Dimitri Ivanovitch Mendeleïev mais il est l'aboutissement du travail de nombreux chimistes du XVIII^{ème} et du XIX^{ème} siècle

Le TP est constitué de 18 colonnes verticales ou **GROUPES**. Dans chaque groupe, les éléments possèdent des propriétés physico-chimiques similaires.

Le TP possède 7 rangées horizontales ou **PERIODES**, les éléments étant rangés par Z croissants (cf figure ci-dessous).

Dmitri Ivanovitch Mendeleïev, né le 8 février 1834 à Tobolsk et mort le 2 février 1907 à Saint-Petersbourg, chimiste russe



4.2 Une première classification sommaire : les métaux, les non métaux et les métalloïdes

a) Les métaux

- Ils se trouvent à gauche et au centre du TP.
- Ce sont de bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité, ils ont souvent un aspect brillant.
- Ils ont tendance à perdre des électrons quand ils participent à des réactions chimiques.
- Ils sont malléables et ductiles.
- Ils sont solides à température et pression ambiante sauf le mercure (Hg) qui est liquide.

b) Les non-métaux

- Ils se trouvent à l'extrémité droite du TP.
- Ce sont de médiocres conducteurs de la chaleur et de l'électricité.
- Ils ont tendance à gagner des électrons quand ils participent à des réactions chimiques.
- A température et pression ambiante, certains sont solides (C, S), d'autres liquides (I_2) et d'autres gazeux (O_2).

c) Les métalloïdes (on parle aussi de semi-conducteurs, de semi-métaux)

- Ils se trouvent à la frontière entre les métaux et les non métaux, le long de la frontière en zig-zag.
- Certains sont classés parmi les semiconducteurs (Si, Ge). En effet, on peut jouer sur la capacité de ces derniers à conduire ou non l'électricité. Ils jouent un rôle central dans l'électronique.

Le tableau ci-dessous compare les propriétés physiques des métaux, des semi-métaux et des non-métaux.

TABLEAU 3.4 Comparaison entre les propriétés physiques des métaux, des semi-métaux et des non-métaux

Métaux	Semi-métaux	Non-métaux
Très bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité	Conducteurs modérés de la chaleur et de l'électricité	Isolants
Leur résistance électrique est directement proportionnelle à l'augmentation de la température	Leur résistance électrique est inversement proportionnelle à l'augmentation de la température	Leur résistance est indépendante de la température
Malléables et ductiles	Cassants	Ni malléables ni ductiles
Leurs oxydes, halogénures et hydrures ne sont pas volatils et leurs points de fusion sont élevés	Leurs halogénures et hydrures sont volatils et leurs points de fusion sont bas	Leurs oxydes, hydrures sont volatils et leurs points de fusion sont bas

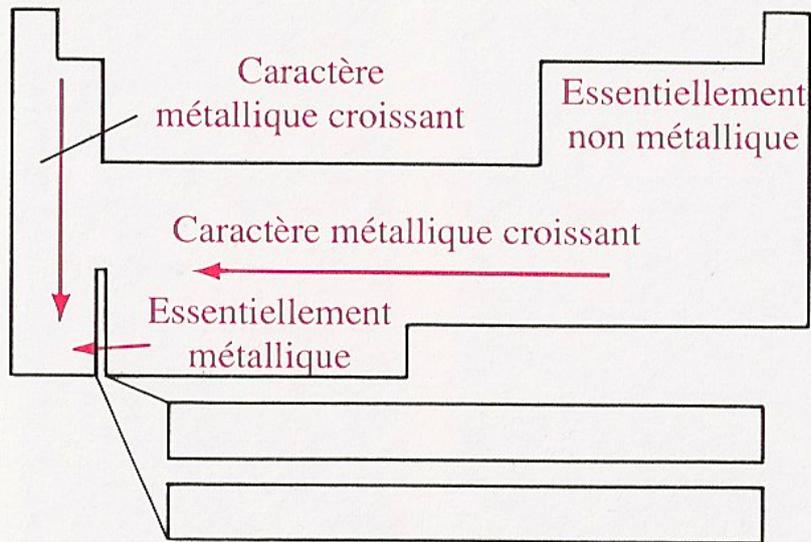


Figure 3.17 Profil de l'évolution du caractère métallique des éléments.

d) Les éléments de la vie (pour la culture scientifique, pas au programme)

Les éléments carbone *C*, oxygène *O*, hydrogène *H* et azote *N* constituent 99% des atomes d'un organisme.

H et *O* sont présents dans l'eau.

On retrouve *C* (avec *O* et *H*) dans les molécules biologiques: les polysaccharides (les sucres), les lipides (les graisses), les protéines, les acides nucléiques (ADN). *N* est présent dans les acides nucléiques qui constituent les protéines.

On trouve aussi dans les organismes des sels minéraux en faible quantité et des traces de métaux de transition. Chez l'être humain, le plus abondant de ces métaux de transition est le fer qui ne représente en masse que 0,005 %.

Figure 2-6 La table périodique des éléments permet de les classer selon leur numéro atomique. Les éléments se répartissent en groupes, présentant les mêmes propriétés basées sur le nombre d'électrons qu'ils présentent sur leur orbite externe. Par exemple, Mg et Ca ont tendance à abandonner les deux électrons de leur orbite externe ; C, N et O complètent leur deuxième orbite en mettant des électrons en commun. Les quatre éléments surlignés en rouge représentent 99 p. 100 du nombre total des atomes d'un corps humain. Sept éléments, représentés en bleu, représentent environ 0,9 p. 100 du total. D'autres éléments, en vert, sont nécessaires seulement à l'état de traces chez les humains. On ne sait pas si ceux qui sont représentés en jaune sont vraiment nécessaires chez les humains. Il semble donc que la chimie de la vie soit surtout celle des éléments les plus légers.

Les poids atomiques, donnés par la somme des protons et des neutrons dans le noyau, varient avec les différents isotopes des éléments. Les poids atomiques montrés ici sont ceux de l'isotope le plus courant de chaque élément.

4.3 Les groupes : éléments chimiques ayant des propriétés chimiques analogues

a) Division en groupe principal et éléments de transition

On peut voir cette division sur le TP de la page 5.

Pour les éléments du groupe principal (à gauche et à droite du tableau), suivant leur position dans le TP, il est facile de prédire leurs principales propriétés physico-chimiques (voir, plus tard dans l'année, le cours sur la structure électronique des atomes). Pour les éléments de transition (au centre du TP), c'est plus difficile mais on va peu s'y intéresser.

b) **Les alcalins** (métaux) : Groupe 1A (sauf H)

Comme la plupart des métaux, les alcalins ont une forte tendance à **perdre un électron** lorsqu'ils participent à une réaction chimique pour avoir le même nombre d'électrons que le gaz noble le plus proche (cf cours sur la structure électronique des atomes).

Exemple

- $Na \rightarrow Na^+ + e^-$ Na^+ a 10 e^- comme *Ne*
 - $K \rightarrow K^+ + e^-$ K^+ a 18 e^- comme *Ar*
-

c) **Les alcalino-terreux** (métaux) : Groupe 2A

Les alcalino-terreux ont une forte tendance à **perdre deux électrons** lorsqu'ils participent à une réaction chimique pour avoir le même nombre d'électrons que le gaz noble le plus proche (cf cours sur la structure électronique des atomes).

Exemple

- $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$ Mg^{2+} a 10 e^- comme *Ne*
 - $Ca \rightarrow Ca^{2+} + 2e^-$ Ca^{2+} a 18 e^- comme *Ar*
-

d) **Les halogènes** (non métaux) : Groupe 7A

Les halogènes sont des **non métaux très réactifs**. Ils ont une forte tendance à **gagner un électron** lorsqu'ils participent à une réaction chimique pour avoir le même nombre d'électrons que le gaz noble le plus proche (cf cours sur la structure électronique des atomes).

Exemple

- $F + e^- \rightarrow F^-$ F^- a 10 e^- comme *Ne*
 - $Cl + e^- \rightarrow Cl^-$ Cl^- a 18 e^- comme *Ar*
-

e) **Les gaz nobles** (non métaux) : Groupe 8A

Les gaz nobles sont **quasiment inertes**, c'est-à-dire qu'ils ne participent à aucune réaction chimique. En effet, nous verrons que cela provient du fait que leurs couches électroniques sont « pleines » en électrons, cela leur confère une très grande stabilité chimique.

Sur le Tableau périodique suivant, on peut visualiser la position des différents groupes.

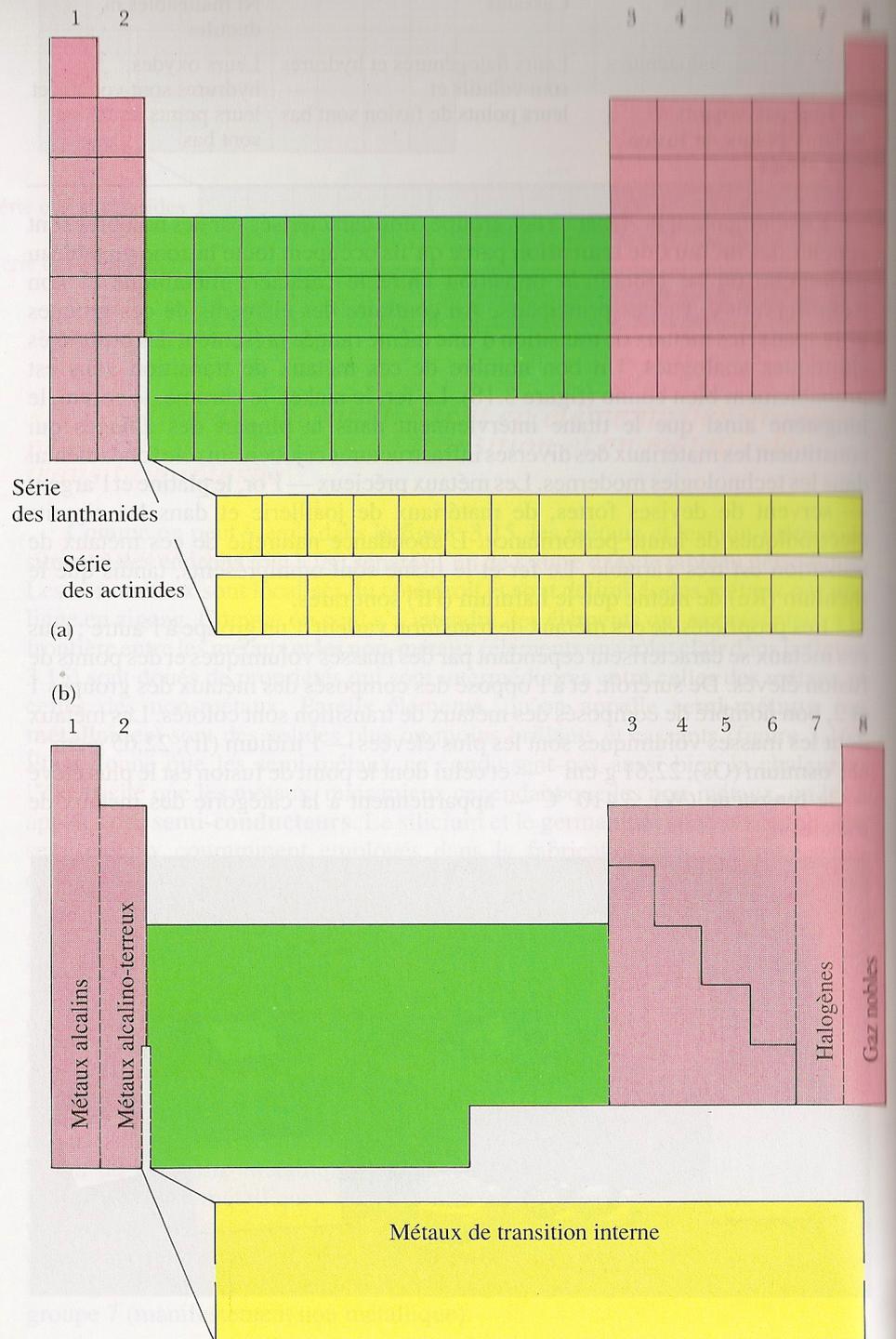


Figure 3.19 (a) La présentation habituelle du tableau périodique où on aperçoit les éléments des groupes principaux (en rouge), les métaux de transition (en vert) et les métaux de transition interne (en jaune). Les éléments des groupes principaux figurent dans les colonnes qui sont numérotées tandis que les métaux de transition sont situés dans les autres colonnes. Quant aux métaux de transition interne, ils ont été placés en deux rangées en dessous du tableau. (b) Une représentation dépouillée du tableau périodique montrant où se situent les groupes typiques (les familles) d'éléments.