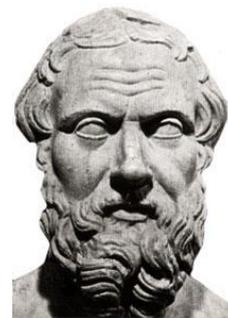


Quelques petites notions sur...

La structure de la matière



I Généralités

L'étude de la structure de la matière n'a commencé que très tardivement dans l'histoire des sciences. En effet...

Donc, pendant de longs siècles, l'homme s'est contenté de judicieuses questions au travers d'épiques débats... Démocrite est l'un des initiateurs de nouvelles réflexions.

L'idée grecque de l'**atome** ne fut adoptée puis prouvée que bien plus tard. On sait aujourd'hui que l'on peut considérer la matière qui nous entoure comme un assemblage de différents atomes. Ces atomes sont des éléments que l'on ne peut casser (« atome » = insécable) facilement. Néanmoins, on sait que l'atome a une structure interne très complexe qui est activement étudiée (protons, neutrons, quarks...).

Il a tout de même fallu attendre 1772 pour réussir à isoler le premier élément chimique sous forme du gaz hydrogène (composé de deux atomes d'hydrogène).

Cette notion d'élément chimique a permis de mieux comprendre que « Rien se perd, rien ne se crée, tout se transforme » comme le disait Lavoisier. L'exemple du fer était pourtant « simple » car sous l'action de l'eau il semble détruit... En fait, la rouille est constituée d'atome de fer qui sont recombinaés sous une autre forme avec de l'oxygène...

Pour finir, on peut dire que l'étude du cœur de l'atome est rendue possible grâce aux accélérateurs de particules...

Par exemple, le Tevatron était le plus puissant accélérateur au monde (jusqu'en 2008). Il a permis en 1995 la mise en évidence du quark top...

Depuis, le célèbre accélérateur LHC construit entre la France et la Suisse est devenu le plus formidable accélérateur de particules !



II Structure de l'atome

Pour nous, la matière qui nous entoure est constituée de « briques » élémentaires appelées atomes. L'atome est constitué d'un noyau et d'électrons.

1) Le noyau

C'est le centre de l'atome.

Le noyau est formé de *nucléons* : des et des

← particules du noyau

Neutron : particule électriquement neutre.

Proton : particule portant une charge élémentaire positive ($1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb).

La masse du neutron est équivalente à celle du proton : $m_p \approx m_n = 1,67 \times 10^{-27}$ kg

2) Les électrons

Ce sont des particules qui portent une charge électrique élémentaire

On note souvent un électron par le symbole : e^-

Les électrons gravitent autour du noyau à une distance respectable de celui-ci (pour éviter les chocs !). On peut les imaginer comme des planètes autour du soleil...

La masse d'un électron est très faible : $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg

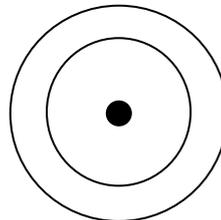
Les électrons se promènent autour du noyau sur différentes orbites (ou couches).

Ces couches électroniques sont nommées par ordre d'éloignement au noyau : K ; L ; M ...

Remarques

- Plus un électron est éloigné du noyau, plus il possède d'énergie : $E_K < E_L$
 - Les couches électroniques acceptent la présence d'électrons, mais pas trop !
- La couche K peut en porter 2 au maximum. Les couches L et M en acceptent jusqu'à 8.
- Avant de remplir une couche, celles du dessous doivent être remplies.
 - **Un atome est électriquement neutre.** Il a autant d'électrons que de protons.

Schéma de l'ensemble :



Exercices

(i) Divisez la masse du proton par la masse de l'électron.

Que peut-on en conclure pour la masse de l'atome ?

(ii) Le diamètre d'un noyau d'hydrogène est de 2×10^{-15} m, et celui d'un atome d'hydrogène (noyau + électron) est de 3×10^{-10} m.

Changeons d'échelle : on représente le noyau d'hydrogène par une balle de ping-pong de diamètre 4 cm. Calculez alors le diamètre de la sphère représentant l'atome d'hydrogène à cette nouvelle échelle.

3) Représentation symbolique de l'atome

Chaque élément a été baptisé. Il porte donc un nom (fer ; cuivre ; zinc ; oxygène ; iode...). Par ailleurs, on représente un atome par un symbole (sa « carte d'identité ») :

exemple : le mercure : $^{202}_{80}\text{Hg}$

le symbole choisi n'est pas toujours la première lettre...

Les deux chiffres renseignent sur la structure de l'atome :

Il a 80 Donc 80

Il a enfin : $202 - 80 = 122$

En général, si le symbole de l'atome est : ^A_ZX

il possède : A nucléons A est appelé nombre de masse
 Z protons Z est le nombre de charges
 Z électrons Z est aussi appelé numéro atomique
 A-Z neutrons

exemple particulier de l'oxygène : $^{16}_8\text{O}$

..... nucléons ; protons ; électrons ; - = neutrons !

Autre cas particulier : $^{197}_{79}\text{Au}$ cet élément est aussi appelé or...

Exercice

Calculez la masse de l'atome de carbone C de symbole : $^{12}_6\text{C}$

En déduire le nombre d'atomes de carbone contenus dans une mine de crayon de 0,5 g (on suppose la mine uniquement constituée de carbone pur).



4) La mole

Un atome a une masse microscopique (c'est un euphémisme !). Il est donc difficile de travailler avec ce genre de valeur.

Pour se ramener à l'échelle humaine, on considère une très grande quantité d'atomes pour que leur masse ait plus de sens pour nous. Cette quantité est appelée la MOLE.

Définition : une mole d'atomes = $6,02 \times 10^{23}$ atomes

Ce nombre est le nombre d'Avogadro (célèbre chimiste italien né en 1776 en Italie et mort en 1856 probablement en Italie...).



Exercice

(i) Calculez la masse d'une mole d'atomes : de Fer ${}_{26}^{56}\text{Fe}$; d'Argent ${}_{47}^{107}\text{Ag}$

(ii) Déterminez le nombre de mole correspondant à 12 grammes de fer.

Définition

On appelle masse molaire atomique la masse en gramme d'une mole d'un atome A donné.
On écrit : $M(A) = \dots\dots\dots \text{g/mol}$

exemple : Le Krypton a une masse molaire : $M(\text{Kr}) = 83,6 \text{ g/mol}$

On peut aussi écrire : 1 mole \longrightarrow 83,6 g

Document : Le tableau de Mendeleïev



5) Représentation de Lewis

Les chimistes ont constaté que les propriétés d'un élément chimique étaient liées au nombre d'électrons de l'atome. De plus, seuls les électrons de la couche extérieure semblaient jouer un rôle.

Ainsi, Lewis a proposé de symboliser les atomes avec un dessin montrant la façon dont les électrons *extérieurs* sont répartis.



exemple de l'**oxygène** : il a 8 électrons.

2 sont sur la première couche K

6 sont sur la seconde couche L

Alors, on dessine :

(on commence par en mettre quatre isolés, et s'il reste des e^- , on forme des paires)

Exercice

Pour les atomes suivants, représentez le schéma de Lewis :

Carbone ${}_6\text{C}$

Azote ${}_7\text{N}$

Fluor ${}_9\text{F}$

Néon ${}_{10}\text{Ne}$

Magnésium ${}_{12}\text{Mg}$

Chlore ${}_{17}\text{Cl}$

6) La règle de l'octet. Ions monoatomiques

Règle : « Un atome a une structure plus stable lorsque sa couche externe est saturée ».

Cas particulier de l'atome H : il cherche à avoir 2 électrons sur sa seule couche

Mais en général, les autres atomes cherchent à compléter leur couche externe à 8 électrons. D'où le nom de règle de l'octet (octogone : à huit côtés...).

Ainsi, un atome peut perdre ou bien gagner des électrons pour satisfaire à cette règle. L'atome devient alors un ION monoatomique (avec un seul atome).

exemples :

Cl	Cl	Cl
O	O	O
Na	Na	Na

Notations : Ion négatif = ex : ion chlorure Cl^-

Ion positif = ex : ion sodium Na^+

Un ANION a « volé » un ou des électrons... Il est chargé négativement.

Un CATION a « perdu » un ou des e^- Il est chargé positivement.

Exercice

Pour les atomes suivants, déterminez les ions correspondants d'après la règle de l'octet.

Fluor ${}_9\text{F}$ Soufre ${}_{16}\text{S}$ Potassium ${}_{19}\text{K}$ Calcium ${}_{20}\text{Ca}$

V La masse molaire d'une molécule

Bien qu'elle soit plus grande qu'un simple atome, une molécule ne pèse pas bien lourd pour nous...

Donc, on considère encore $N = 6,02 \times 10^{23}$ molécules pour obtenir une mole de molécules dont la masse est plus « parlante » pour nous.

exemple : H_2O on a : $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$ et $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$
alors : $M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times M(\text{H}) + 1 \times M(\text{O}) = 2 + 16 = 18 \text{ g/mol}$

Il faut donc bien prendre en compte les coefficients dans la formule brute.

Exercice

Calculez la masse molaire des molécules suivantes :

Butane.....	C_4H_{10}	(bouteilles de gaz)
Acide éthanoïque.....	CH_3COOH	(vinaigre)
Nicotine.....	$\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{N}_2$	(je ne vois pas d'exemple...)
Cholestérol.....	$\text{C}_{27}\text{H}_{46}\text{O}$	(vous verrez plus tard...)
Sulfate d'ammonium...	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	(engrais azoté)

Exercice pour réveiller les neurones des “experts”

Un composé chimique a pour formule C_xH_y où x et y sont deux entiers.

On sait, après analyse chimique, que 80 % de la masse de ce composé est du carbone.

Déterminer la formule de ce composé mystérieux...

VI Les ions polyatomiques

Pour former des édifices stables, il existe une autre technique...

Supposons qu'un atome d'oxygène se balade à côté d'un atome d'hydrogène : O H

Ils se disent qu'ils pourraient se mettre en couple pour former un édifice stable... mais pour cela, il faudrait un électron en plus pour saturer la couche de l'oxygène à 8.

Ils doivent donc trouver un électron célibataire !

Alors, on voit se former un ion (car il y a une charge négative à cause de l'électron en plus...) appelé OH^- .



Un ion polyatomique est donc une association entre différents atomes liés entre eux par des liaisons de covalence. L'édifice est donc stable.

exemples : OH^- ion hydroxyde
 NO_3^- ion nitrate

H_3O^+ ion hydronium
 NH_4^+ ion ammonium

Toute bouteille minérale qui se respecte se doit d'avoir une belle étiquette avec de nombreux ions...

VII Un peu de chimie organique

De très nombreuses molécules sont constituées des éléments C, H et O. On peut noter le rôle fondamental du carbone dans la chimie du « vivant » grâce à la possibilité de ses quatre liaisons. Ceci permet la création de molécules très complexes avec C, O, H, N, S... On peut faire une distinction entre certaines d'entre elles...

1) Les hydrocarbures

On appelle hydrocarbure un composé ne contenant que les atomes H et C.

a) Les alcanes

Toutes les liaisons sont simples dans un alcane.
On dit que la molécule est saturée en hydrogène.

Méthane : CH_4

Propane : C_3H_8



Définition : On appelle des composés de comportement chimique différents mais dont la formule brute est la même.

On peut encore citer l'octane, le constituant essentiel de l'essence...

Leur formule générale est : $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

b) Les alcènes

Dans une molécule d'alcène, on peut trouver une ou plusieurs liaisons de covalence double. Ce sont des composés « insaturés ».

Ethène (ou éthylène) : C_2H_4

Leur formule générale est : C_nH_{2n}

Rem : On trouve des alcènes dans la résine des pins, dans le jus de tomate et dans certains corps gras. On les utilise aussi pour les matières plastiques, le polystyrène.

c) Les alcynes

Un alcyne peut comporter une liaison triple.

Leur formule générale est alors : $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$

2) Les alcools

(c'est là que la chimie devient vraiment intéressante !)

Aspect historique : En arabe, *al khoul* veut dire poudre fine.

Il y a donc ici une notion de finesse, de subtilité. Au moyen âge, les alchimistes emploient ce mot pour les produits volatils lors des distillations (du vin par exemple...).

Ainsi, historiquement, le mot n'avait rien à voir avec ce qu'il désigne aujourd'hui !

L'alcool le plus connu est l'éthanol (alcool éthylique) que l'on trouve dans les boissons alcoolisées (coma éthylique...). On peut aussi citer le glycol (antigel).

La formule générale d'un alcool est : **R – OH**

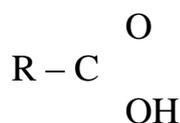
Le groupement OH est la signature d'un alcool. On dit que c'est le groupement fonctionnel de la molécule.

Exemples : éthanol $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$; Alcool isopropylique $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_3$
 C_3OH_8

3) Les acides carboxyliques

On verra en détail l'acide éthanoïque (le vinaigre).

La formule générale est : **R – COOH**



Exemples : acide méthanoïque HCOOH
 acide éthanoïque CH_3COOH



Si R est une longue chaîne, on peut obtenir un corps gras (graisses, cosmétiques...) car les molécules auront du mal à bouger les unes par rapport aux autres.

VIII Les macromolécules

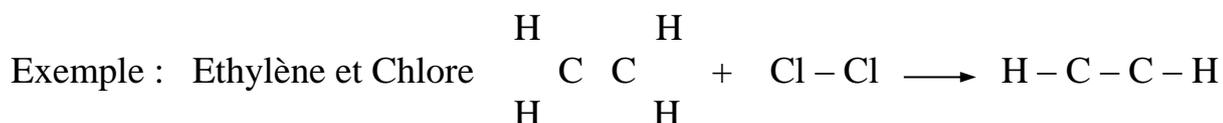
Les molécules sont très petites, on l'a bien compris. Mais il existe des molécules dont la taille (toujours invisible à nos yeux) est quand même beaucoup plus grande.

La plus célèbre macromolécule est l'acide désoxyribonucléique, le fameux ADN (présent dans toutes les séries policières...). C'est le support de l'hérédité des êtres vivants.

Les macromolécules sont qualifiées de « macro » car elles sont plus grandes que d'autres (qui sont plus petites). Nous allons voir rapidement un mécanisme typique de création d'une telle molécule.

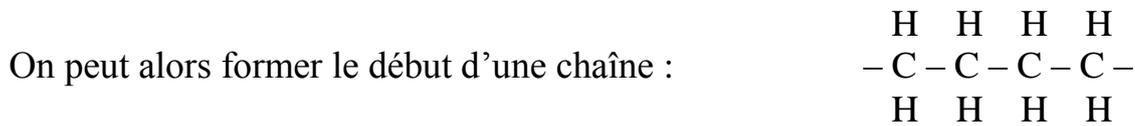
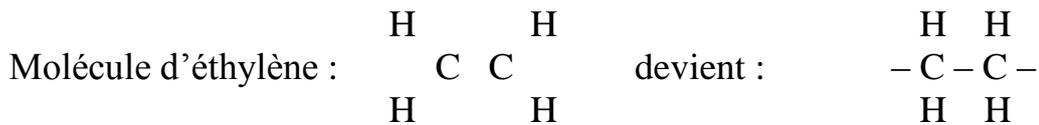
1) L'addition (s'il vous plait...)

Pour les alcènes, il y a une double liaison. A cet endroit, on peut rajouter (ajouter) deux liaisons simples... en enlevant la liaison double.

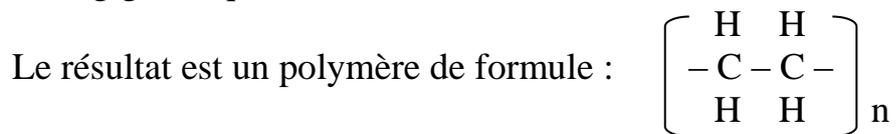


2) La polyaddition

On fait une sorte de chaîne avec des molécules que l'on accroche les unes aux autres...



En assemblant des milliers de ces molécules de base (le motif), on peut fabriquer une molécule « gigantesque ».



le nombre n est le degré de polymérisation.

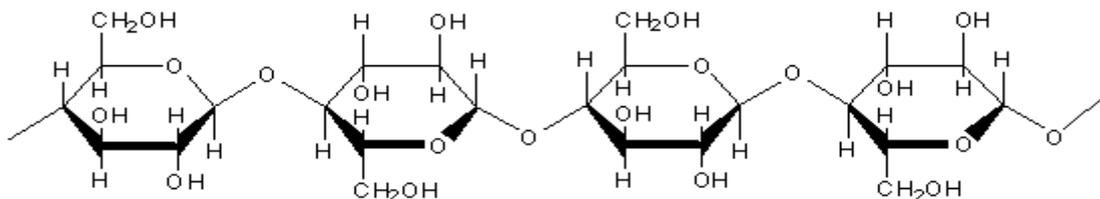
Exemple :

pour $n = 17500$, on obtient du polyéthylène, utilisé pour les matières plastiques des emballages.

On calcule la masse molaire en multipliant celle du motif de base par n .

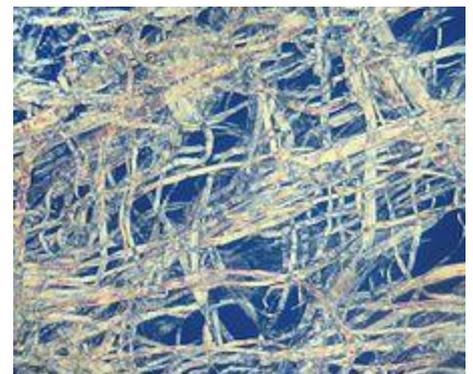
Une macromolécule célèbre est celle de la **cellulose** (constituant le papier...).

Elle est fabriquée à partir de molécules de glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ qui perdent une molécule d'eau pour former la chaîne ci-dessous dont la formule peut s'écrire : $(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3)_n$



Exercice :

Calculez la masse molaire d'une molécule de cellulose telle que $n = 12500$



Cellulose d'un mouchoir en papier (source : wikipédia)

3) Les polyesters

Le représentant le plus connu des polyester est le PET. C'est une macromolécule dont le motif de base a pour formule $(C_{10}H_8O_4)_n$. Son vrai nom est le polyéthylène téréphtalate.



On l'utilise pour les bouteilles en plastique, pour les fibres textiles (tergal, dacron : maillots de bain ou vêtements de sport).

Mais au fait, « polyester » dit « ester » !!

* Un **ester** est un composé dont la formule de base est :

$$R \begin{array}{c} O \\ | \\ C \\ | \\ O \end{array} R'$$

Exemple : Ethanoate de propyle (à l'odeur de poire)

$$C_2H_5 \begin{array}{c} O \\ | \\ C \\ | \\ O \end{array} C_3H_7$$

Beaucoup d'esters ont des odeurs caractéristiques et sont utilisés dans l'industrie agroalimentaire, en parfumerie...

Ethanoate d'octyle (orange) ; benzoate d'éthyle (cerise)

La réaction d'estérification permet de faire un ester à partir d'un acide carboxylique et d'un alcool :



C'est une réaction très lente et réversible.

Application des esters :

Ethanoate d'éthyle : solvant des peintures et vernis

Triglycérides : graisses et huiles

Fabrication des polyesters !

Exercice bonus pour les chimistes mathématiciens...

Déterminez les formules des composés suivants :

- 1) Un alcane dont la masse molaire comporte 85 % de carbone.
- 2) Un alcyne dont la masse molaire comporte 86 % de carbone.
- 3) Un alcool dont la masse molaire comporte ≈ 65 % de carbone. Vous en donnerez ensuite toutes les formules développées possibles.