

## **CHAP 1 : LE NOYAU ATOMIQUE**

### **Situation problème :**

Les substances qui nous entourent sont constituées de particules infiniment petites appelés les atomes. Ce sont des particules invisibles au microscopes ordinaire et sont assimilables à des sphères dont le rayon varie entre 50 et 300pm (  $1\text{pm} = 10^{-12}\text{m}$  ;  $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$  ;  $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$  ;  $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$  ;  $1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$ )

Selon vous qu'est ce qui peut faire différencier une matière d'une autre ?

### **Compétence :**

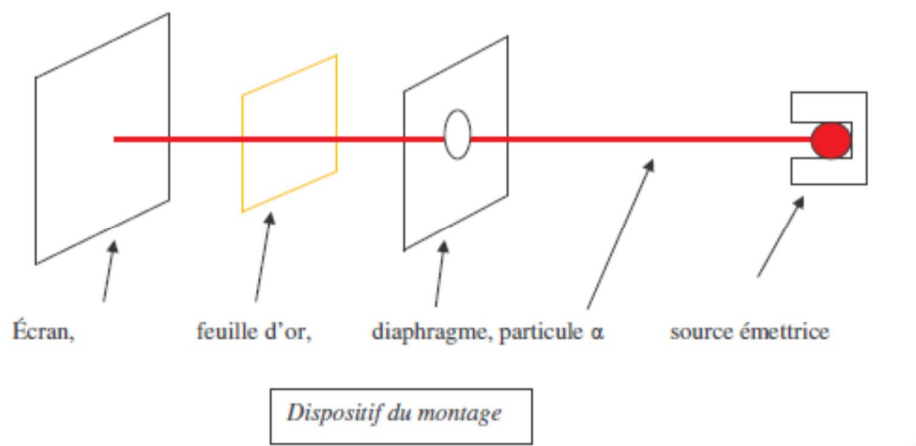
- Déterminer la composition du noyau atomique ;
- Représenter un noyau atomique ;
- Identifier les isotopes.

### **Activités :**

#### **1- Mise en évidence du noyau atomique.**

##### **1.1- Expérience de Rutherford (1911) :**

Entre une source radioactive émettant de particules chargées d'électricité positive ( particules  $\alpha$  qui sont de noyaux d'hélium) et un écran fluorescent, plaçons un diaphragme à fin de canaliser le rayonnement, depuis leur sortie jusqu'à l'écran.



##### **1.2- Observation :**

En absence de la feuille d'or, on observe une tache centrale très brillante.



En présence de la feuille d'or on observe sur l'écran une tache centrale brillante et d'autres taches de moindres importances.



### 1.3- Interprétation :

La présence d'une tache centrale très brillante prouve que la plus part des particules  $\alpha$  traversent la feuille d'or sans subir de déviation ( ne rencontre pas d'obstacles), la feuille d'or présente donc des espaces vides, on peut alors conclure que comme la feuille d'or, toute matière à une **structure lacunaire (contient des vides)**.

La présence de taches de moindre importance s'explique par la présence dans la feuille d'or des corpuscules chargées d'électricité positive qui repoussent les particules passant à proximité d'elles, ces corpuscules sont appelées **noyaux atomiques**.

La matière étant électriquement neutre, les atomes qui la constitue le sont aussi, on admet alors la présence dans la matière de corpuscules d'électricités négatives appelés **électrons**, ceux-ci gravitent autour du noyau.

### 1.4- Conclusion :

L'atome est électriquement neutre et comprend deux parties :

- Une partie centrale appelé noyau et chargé d'électricité positives
- Une partie superficielle contenant des électrons chargés d'électricité négative.

## 2- Les constituants du noyau atomique :

Le noyau est constitué de particule appelées nucléons. On distingue deux types de nucléons : Les protons et les neutrons.

- **Les protons** : Ils sont chargés d'électricité positive. La charge d'un proton est égale à la plus petite charge électrique soit  $q_p = +e = 1,602.10^{-19}C$  . La charge s'exprime en coulomb (C). La masse du proton est  $m_p = 1,672.10^{-27} kg$  .
- **Les neutrons** : Ils ne portent aucune charge électrique ( $q_n = 0C$  ). La masse d'un neutron est sensiblement égale à celle du proton,  $m_n \approx m_p = 1,672.10^{-27} kg$  .

## 3- Nombre de charge et nombre de masse.

- Généralement noté Z, le numéro atomique, encore appelé nombre de charge d'un noyau est le nombre de protons contenu dans ce noyau ;
- Généralement noté A, le nombre de masse d'un noyau est le nombre de nucléons qu'il comporte cet-à-dire le nombre de protons et de neutrons.

Si N représente le nombre de neutrons dans un noyau atomique,

On a :  $A = N + Z$  soit  $N = A - Z$

### Exercice d'application :

Les caractéristiques du noyau d'un atome sont :  $A = 235$ ,  $Z = 92$ .

1. Quel est son nombre de neutron et d'électrons.
2. Calculer la masse  $m_1$  de cet atome lorsque l'on ne néglige pas la masse des électrons.
3. Calculer la masse  $m_2$  de cet atome lorsque la masse des électrons est négligée. Compare  $m_1$  et  $m_2$  puis conclure.

### Remarque :

- A et Z sont des nombres toujours entiers.
- Un noyau atomique décrit par le couple (A, Z) comporte Z protons et porte la charge électrique totale :  $Q = +Ze$  (e est la charge élémentaire et vaut  $e = 1,602.10^{-19}C$ )

## 4- Représentation symbolique d'un noyau atomique.

Le noyau d'un atome est caractérisé par son nombre de charge Z et son nombre de masse A, par convention on représente un noyau atomique de symbole X en précisant son nombre de charge à

gauche en bas et son nombre de masse à gauche et en haut tel que  ${}^A_ZX$ . **Exemple** :  ${}^{14}_7N$ ,  ${}^{12}_6C$ ,  ${}^{16}_8O$ ,  ${}^{55}_{25}Mn$ .

### Exercice d'application :

On considère un atome dont le noyau renferme 30 neutrons, son noyau à une charge totale  $Q = +4.10^{-18}C$ .

1. Quel est le numéro atomique de ce noyau ?
2. Quel est son nombre de masse ?
3. Donner la représentation symbolique de cet atome.

## 5- Les isotopes.

On appelle **isotopes** d'un élément les atomes de cet élément qui ont le même numéro atomique  $Z$  mais le nombre de masse  $A$  différent.

Ces noyaux possèdent donc le même nombre de protons mais leur nombre de neutrons sont différents exemple :  ${}^1_1H$ ,  ${}^2_1H$  (deutérium),  ${}^3_1H$  (tritium) ;  ${}^{12}_6C$ ,  ${}^{14}_6C$  ;  ${}^{235}_{92}U$ ,  ${}^{238}_{92}U$ .

On appelle **nucléide** l'ensemble d'atomes dont les noyaux ont le même nombre de proton et le même nombre de neutron.

**Exemple** :  ${}^4_2He$ ,  ${}^{235}_{92}U$

## CHAPITRE 2 : STRUCTURE ELECTRONIQUE DES ATOMES ET CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS.

### Situation problème :

Les études ont montrés que l'on ne peut pas connaître avec précision la position d'un électron à un moment donné autour du noyau néanmoins, on peut évaluer les chances de trouver cet électron à un moment donné à une position précise autour du noyau. Ces positions où l'on a le plus de chance de trouver les électrons autour du noyau sont appelés **niveaux d'énergies**.

### Compétences:

- Déterminer la structure électronique d'un atome.
- Étudier le principe de construction et l'intérêt du tableau de la classification périodique des éléments.

### Activité :

#### 1. Répartition des électrons autour du noyau.

Les électrons sont repartis autour du noyau sur des couches électroniques. Ceux appartenant à même couche ont même niveau d'énergie et chaque couche étant caractérisée par un nombre entier positif noté  $n$  et appelé **nombre quantique principal**. Les valeurs possibles de  $n$  sont : 1 (première couche), 2 (deuxième couche), 3, 4, 6 et 7.

Les électrons sont d'autant plus liés au noyau que la couche à laquelle ils appartiennent a un nombre quantique principal plus petit.

Les couches électroniques sont désignées par des lettres tel que :

$n$	1	2	3	4	5
Désignation de la couche	K	L	M	N	O

#### 2. Règles de remplissage des couches électroniques.

La répartition des électrons sur les niveaux d'énergies obéit à deux grands principes :

##### 2.1 Le principe de Pauli.

Chaque niveau d'énergie ne peut contenir qu'un nombre limité d'électrons. Le nombre maximal d'électrons pouvant appartenir à un niveau de nombre quantique  $n$  est  $2n^2$ .

$n$	1	2	3	4	5	6	7
$2n^2$	2	8	18	32	50	72	98

##### 2.2 Le principe de construction.

Les électrons occupent successivement les couches en commençant par celles ayant les nombres quantiques faibles. Ils occupent d'abord la couche  $k$  puis quand celle-ci est saturée, les autres électrons se placent sur le niveau  $L$  et ainsi de suite.

### Remarque :

- ces deux principes ne s'appliquent rigoureusement que pour les atomes ayant au plus 18 électrons.
- l'état de l'atome obtenu en appliquant le principe de construction est appelé **état fondamental**. C'est dans cet état que l'atome est le plus stable.

### 3. Structure électronique.

Pour représenter la structure électronique d'un atome, on peut soit utiliser une formule électronique, soit utiliser les cases quantiques.

#### 3.1 La formule électronique.

Ici, les couches électroniques ont représentées par les lettres correspondantes, portant en exposant le nombre d'électron contenu dans chaque couche.

**Exemple :** Donnons la structure électronique des atomes suivants :

On a : C ( $Z = 6$ ), Al ( $Z = 13$ ), H ( $Z = 1$ ) d'où : C:  $k^2L^4$  ; Al:  $k^2L^8L^3$  ; H :  $k^1$ .

**Remarque:** Les niveaux vides ne sont pas mentionnés.

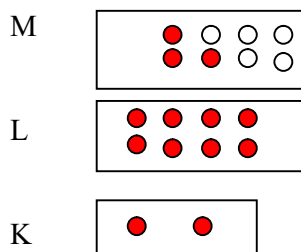
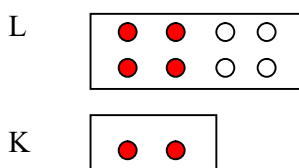
#### 3.2 Cases quantiques.

Pour représenter les couches électroniques, on utilise dans ce cas des rectangles, ceux-ci portant autant de points que de place disponible dans la couche à déterminer.

**Exemple :**

La structure de l'atome de carbone est :

La structure de l'aluminium est :



**Exercice d'application :**

Donner la structure électronique de : Ar ( $Z = 18$ ), Cl ( $Z = 17$ ), Mg ( $Z = 12$ ), P ( $Z = 15$ ).

### 4. La classification périodique des éléments.

La première classification a été élaborée en 1869 par le russe Mendeleïev. La classification périodique est un tableau renfermant tous les éléments chimiques. Elle est constituée de **18 colonnes et de 7 lignes**. Les colonnes sont encore appelées **groupes** ou **familles** et les lignes sont appelées **périodes**.

Les éléments chimiques sont classés dans le tableau périodique par numéro atomique croissant. Les éléments d'une même colonne ont le même nombre d'électrons sur la couche électronique externe, ils ont des propriétés physiques et chimiques semblables. Les éléments d'une même ligne ont le même nombre de niveau occupé, chaque période correspond donc au remplissage d'une couche électronique.

Dans le tableau périodique, on retrouve les familles respectives :

- **Les alcalins** : ce sont les éléments de la première colonne à l'exception de l'hydrogène. Les métaux alcalins sont des corps simples mous et très réactifs.
- **Les alcalino-terreux** : Ce sont les éléments de la deuxième colonne.
- **Les halogènes** : ce sont les éléments de la 17<sup>ème</sup> colonne. Ce sont des corps très réactifs et toxiques. Au cours des réactions chimiques un atome X d'halogène capte un électron et se transforme en ion halogénure  $X^-$ .
- **Les gaz rares** : Encore appelés gaz nobles, ce sont les éléments de la 18<sup>ème</sup> colonne, ils n'interviennent pratiquement pas dans les réactions chimiques, ils ont une couche externe saturée ce qui explique leur inertie chimique.

## 5. Représentation de Lewis d'un atome.

Elle a pour but la mise en évidence des électrons de la couche externe de l'atome. Dans cette représentation, on s'intéresse uniquement aux électrons de la couche la plus éloignée du noyau (couche externe), ses électrons sont appelés **électrons de valence ou électrons périphériques**.

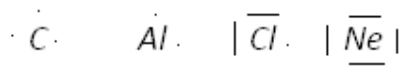
Ces électrons peuvent être groupés par deux, ils forment dans ce cas des doublets d'électrons que l'on représente par un tiret (        ) ou encore, ils peuvent rester seul dans ce cas on parle d'électrons célibataires ou d'électrons non appariés, ils sont représentés par un point (·).

Ces électrons sont placés autour de l'élément considéré.

### Exemple :

Donnons la représentation de Lewis des éléments : C (Z = 6), Cl (Z = 17), Ne (Z = 10), Al (Z = 13).

### Solution :



*NB : On commence par écrire la structure électronique de l'élément puis, on répartit les électrons de la dernière couche tout au tour du symbole de l'élément, s'il y'a coïncidence de deux électrons, on les remplace par un tiret.*

## 6. Application à la formation des ions monoatomiques : Les règles du duet et de l'octet.

### 6.1 Énoncé de la règle :

Au cours de leur transformation en ions, les atomes ont tendance à saturer leur couche externe à 8 électrons (règle de l'octet), excepté l'hydrogène qui sature la sienne à deux électrons (règle du duet).

- Lorsqu'un atome gagne des électrons pour satisfaire la règle de l'octet, il se charge négativement, si n représente le nombre d'électrons gagnés et X le symbole de l'élément considéré, l'ion provenant de cet atome a pour formule  $X^{n-}$ .
- Si par contre l'atome perd des électrons pour la satisfaire, il se charge positivement, si m représente le nombre d'électrons cédés et Y le symbole de l'élément, l'ion provenant de cet atome a pour formule  $Y^{m+}$ .

### Exemple :

Donnons la représentation de Lewis des ions provenant des atomes : Al (Z = 13), O (Z = 8), Na (Z = 11), Cl (Z = 17).

*NB : Pour déterminer l'ion, on cherche d'abord à connaître le nombre d'électrons sur la couche externe en établissant la formule électronique, puis on cherche à satisfaire la règle de l'octet.*

Al :  $K^2L^8M^3$ . L'élément peut pour satisfaire la règle peut soit capter 5 e- soit en perdre 3 la perte étant favorable (car e- à perdre <4), la formule de l'ion est  $Al^{3+}$ .

O :  $K^2L^6$ . Le gain de 2 électrons est favorable par rapport à la perte de 6 d'où la formule de l'ion  $O^{2-}$ .

Na :  $K^2L^8M^1$ .  $Na^{+}$ .

### Remarque :

- Lorsque le nombre d'électron cédé ou capté est 1 il n'est pas représenté.
- L'ion diffère de l'atome dont-il provient par le nombre d'électron ainsi, l'atome d'oxygène possède 8 protons et 8 électrons alors que l'ion oxygène possède 8 protons mais 10 électrons.

La transformation de l'atome en ion se traduit par une équation électronique :

- Cas de l'aluminium :  $\text{Al} \longrightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$ .
- Cas de l'oxygène :  $\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{O}^{2-}$ .

Les ions de charges négatives sont appelés **anions** et les ions de charges positives sont appelés **cations**.

Les éléments dont les atomes ont tendances à gagner des électrons et à former des ions négatifs sont des éléments électronégatifs exemple l'oxygène, ceux ayant tendance à perdre des électrons et à former de ions positifs sont des éléments électropositifs exemple l'aluminium.

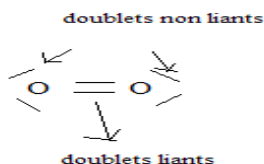
**Remarque :**

Tous les atomes appartenant à la même colonne de la classification périodique gagnent ou perdent le même nombre d'électron à fin de satisfaire à la règle de l'octet.









Remarque : **La formule développée est une représentation simplifiée de Lewis.**

Application : compléter le tableau ci-dessous :

Moécules	Représentation de Lewis	Formule développée
NH <sub>3</sub>		
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O		
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		
CO <sub>2</sub>		

structure géométrique des molécules.

La formule développée ne représente pas la forme géométrique (disposition spatiale) d'une molécule. Par des techniques expérimentales, on peut déterminer les positions respectives des atomes dans une molécule. L'étude de la structure spatiale des molécules s'appelle la stéréochimie. Généralement pour cette étude, on utilise des modèles moléculaires et, il en existe deux types :

- Les modèles éclatés ou les atomes sont représentés par des petites sphères reliés par des tiges représentant les liaisons covalents et,
- Les modèles compacts ou les atomes sont représentés par des sphères tronquées (ayant une surface plane orange coupée en deux). Ils donnent une meilleure idée de la forme des molécules mais pas les longueurs et les angles de liaisons.

### Structure de quelques molécules.

Noms	Formule brute	Formule développée	Géométrie
Dihydrogène	H <sub>2</sub>	H — H	H $\xrightarrow{0,074\text{nm}}$ H
Dichlore	Cl <sub>2</sub>	Cl — Cl	Cl $\xrightarrow{0,199\text{nm}}$ Cl
Chlorure d'hydrogène	HCl	H — Cl	H $\xrightarrow{0,127\text{nm}}$ Cl
Eau	H <sub>2</sub> O	H — O — H	<p>0,096nm 105° (forme en V)</p>
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	O = C = O	<p>0,116nm      0,116nm O — C — O</p>
Ammoniac	NH <sub>3</sub>		<p>Angle HNH=107°, longueur NH=0,101nm (Forme pyramidale)</p>

--	--	--	--

Rappel :  $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ,  $1\text{pm}=10^{-12}\text{m}$  ;  $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$  ;  $1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$  et  $1\text{fm}=10^{-15}\text{m}$ .

### 3) Notion de volume molaire.

#### Expérience :

A une température et pression données, on place dans 3 bouteilles identiques ( $v=1,5\text{l}$ ) respectivement du méthane, du dioxyde carbone et du butane. Par une méthode appropriée, on détermine la masse de gaz dans chaque bouteille. Compléter la dernière ligne du tableau ci-dessous :

	Méthane ( $\text{CH}_4$ )	Dioxyde carbone ( $\text{CO}_2$ )	de Butane ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )
Masse de gaz dans la bouteille	1.0g	2.7g	3.6g
Masse molaire moléculaire du gaz	16g/mol	44g/mol	58g/mol
Nombre de mole dans la bouteille	$1/16=0,063$	$2,7/44=0,061$	$3,6/58= 0,062$

#### Conclusion

Aux approximations près, une bouteille de 1,5L contient 0,062 mole de chacun des trois gaz autrement dit, quelque soit le gaz introduit dans la bouteille, celle-ci renferme la même quantité de matière donc, le même nombre de molécule.

D'autres expériences permettent de montrer que des volumes de gaz différents dépendent des conditions de températures et de pression, d'où l'hypothèse :

#### 3.1) Hypothèse d'Avogadro - Ampère.

**<<Des volumes égaux de gaz différents, pris dans les mêmes conditions de température et de pression renferment le même nombre de molécules >>.**

**Le volume molaire d'un gaz est donc le volume occupé par une mole de molécules de ce gaz.** Dans les conditions normales de températures et de pressions ( $T=0^\circ\text{C}$  et  $P=1,03\times 10^5\text{Pa}=1\text{atm}$ ), le volume molaire vaut  $V_m= 22,4\text{L/mol}$ ) A  $t=20^\circ\text{C}$   $V_m=24\text{L/mol}$ .

#### Remarques :

- une mole de molécule contient  $6,02\times 10^{23}$  molécules identiques, ce nombre noté  $N$  est le nombre d'Avogadro.
- Si  $v$  est le volume de l'échantillon d'un corps pur gazeux, la quantité de matière de ce gaz s'obtient par la relation  $n=v/V_m$   $n(\text{mol})$ ,  $v(\text{L})$ ,  $V_m$  (  $\text{mol/L}$ ). de même la densité d'un gaz est donnée par  $d=M/29$ .

#### 3.2) Exercice d'application :

A-

- 1) Calculer le volume occupé par 3 g de butane dans les CNTP.
- 2) Déterminer le nombre de molécules présent dans  $4,5\times 10^{-2}\text{L}$  de dioxyde de carbone sachant que le volume molaire vaut  $25\text{L/mol}$ .
- 3) Un litre d'un gaz à une masse de 2 g dans les CNTP.
  - a) Rappeler ses conditions.

b) Déduire la masse molaire de ce gaz.

## CHAPITRE 4 : STRUCTURE DE QUELQUES COMPOSES IONIQUES.

### Compétences :

- montrer l'état totalement ordonné des solides dans une structure cristalline, et totalement désordonné d'un gaz formé de molécule en agitation incessante.
- Déterminer la formule statistique d'un solide ionique.

### Situation problème :

La matière se présente sous trois états physiques à savoir l'état solide, liquide et gazeux. Chaque état possède des propriétés particulières qui permettent de le distinguer des autres. Des corps purs ayant le même état physique ne possèdent pas toujours la même structure cristalline.

### 1. Structure cristalline des corps pur à l'état solide : solides ioniques, atomiques et moléculaires

**L'état solide est caractérisé par une forme propre et un volume propre, on le caractérise comme un état ordonné.**

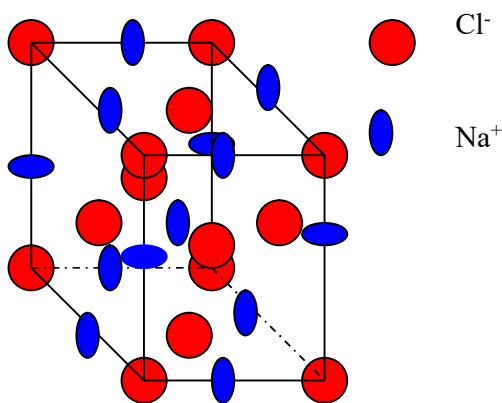
Un monocristal (cristal unique solide) est formé d'entités (atomes, molécules ou ions) réparties régulièrement selon un réseau tridimensionnel, chaque entité ayant sa place dans le cristal. L'ensemble est ordonné selon des motifs ou mailles cristallines qui se répètent périodiquement. Une maille cristalline est un assemblage régulier et compact d'ions d'atomes ou de molécules.

#### 1.1 Les solides ioniques : Cas du chlorure de sodium.

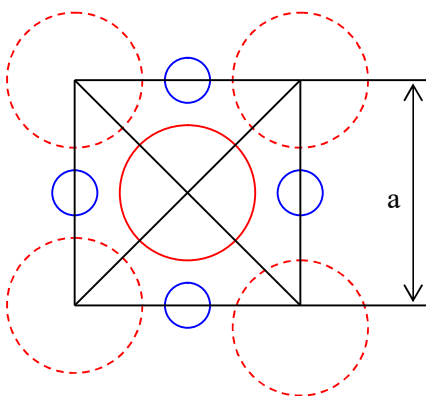
Le chlorure de sodium est obtenu par évaporation lente d'eau de mer. Il est formé d'ions chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) et d'ions sodium ( $\text{Na}^+$ ) en nombre égaux. La maille du chlorure de sodium est cubique et possède 8 ions à chacun de ses sommets et 6 ions au centre de chaque face, la maille est donc dite cubique à face centrée d'arrête  $a = 560\text{pm} = 560 \cdot 10^{-12}\text{m}$ .

##### 1.1.1 Détermination de la formule statistique du chlorure de sodium :

Dans une maille, les ions  $\text{Cl}^-$  occupent le sommet et le centre de chaque face et, les ions  $\text{Na}^+$  occupent les milieux des arêtes et le centre de la maille.



Maille de NaCl



Une face du modèle compact de NaCl

Le nombre de chaque type d'ion est obtenu en faisant sa somme dans la maille.

- **Nombre d'ions  $\text{Cl}^-$  :**

Au sommet, chaque ion  $\text{Cl}^-$  contribue pour  $1/8$  dans la maille, soit  $8 \times 1/8 = 1 \text{Cl}^-$  pour les 8 sommets.

Au centre de chaque face, chaque ion contribue pour  $1/2$  dans la maille soit  $6 \times 1/2 = 3 \text{Cl}^-$  pour les 6 faces. On a alors un total de 4 ions  $\text{Cl}^-$ .

- **Nombre d'ions  $\text{Na}^+$  :**

Au milieu de chaque arête l'ion  $\text{Na}^+$  contribue pour  $1/4$  dans la maille soit  $12 \times 1/4 = 3 \text{Na}^+$  pour les 12 arêtes et il y'a 1  $\text{Na}^+$  au centre de la maille soit un total de 4 ions  $\text{Na}^+$ .

La molécule de  $\text{NaCl}$  étant électriquement neutre car contient autant de charge + que -,

- **Sa formule statistique doit rendre compte de cela d'où l'écriture :  $\text{NaCl}$ .**

### 1.1.2 Cas général.

Les solides ioniques sont constitués d'ions positifs et négatifs, ils constituent une structure électriquement neutre. On les représente généralement par une formule statistique (brute) dans laquelle n'apparaît pas la charge des ions. L'ion positif s'écrivant toujours avant l'ion négatif. Pour un solide ionique formé d'ions  $\text{A}^{a+}$  et  $\text{B}^{b-}$  la formule statistique est  $\text{A}_b\text{B}_a$ .

#### Exercice d'application :

Déterminer la formule statistique des solides ioniques formés à partir de ( $\text{Na}^+$  et  $\text{OH}^-$ ) ; ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) ; ( $\text{S}^{2-}$  et  $\text{Al}^{3+}$ ) ; ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

## 1.2 Les solides atomiques.

Les solides atomiques sont constitués d'un ensemble d'atomes, généralement on les représente par le symbole de l'élément qui les constitue.

**Exemple :** Fer( $\text{Fe}$ ), Argent( $\text{Ag}$ ), cuivre( $\text{Cu}$ ), aluminium( $\text{Al}$ ).

### 1.2.1 Cas du carbone.

Le carbone est un solide atomique constitué d'un assemblage d'atomes de carbones. Il se présente sous deux formes cristallisées ayant des propriétés physiques différentes mais des propriétés chimiques identiques. Ces formes cristallisées sont le graphite et le diamant. Ces deux variétés sont appelées **variétés allotropiques du carbone**.

#### a) Le carbone diamant.

La maille cristalline du diamant est constituée d'atomes de carbone liés par des liaisons covalentes et, il n'existe pas d'électrons célibataires. La structure du diamant lui donne les propriétés suivantes :

- le diamant est un isolant.
- Il est très dur.
- Il a des propriétés optiques particulières (il scintille).

#### b) Le carbone graphite.

Sa maille est constituée d'atomes de carbones trivalents, sa structure lui confère les propriétés particulières :

- il est conducteur.
- Il est friable.
- Il a des propriétés lubrifiantes.

**Remarque :** A l'exception du mercure qui est liquide à température ordinaire, tous les autres métaux sont solides.

## 1.3 Les solides moléculaires.

**Un solide moléculaire est un assemblage ordonné de molécules.** Les solides moléculaires sont représentés par la formule des molécules qui les constituent.

**Exemple :**  $\text{H}_2\text{O}$  (eau),  $\text{CaCO}_3$  (carbonate de calcium),  $\text{CO}_2$  (dioxyde de carbone).

## 2. Les corps purs à l'état liquides : liquides moléculaires et ioniques.

Contrairement aux solides, les liquides sont des substances qui n'ont point de forme propre et sont incompressibles. Ils font partis de la famille des fluides (corps qui peut couler).

### 2.1 Les liquides moléculaires :

Les liquides moléculaires sont formés de molécules. Ils ont la particularité d'être de mauvais conducteur électrique. On les représente généralement par la formule des molécules qui le constituent.

**Exemple :**  $\text{H}_2\text{O}$  (eau), acétone ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) l'éthanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ).

### 2.2 Les liquides ioniques :

Les liquides ioniques sont de bons conducteurs de courant électrique. On les représente en indiquant les ions qui les constituent séparés par le signe + et en respectant la neutralité électronique.

**Exemple :**  $\text{NaCl}$  ( $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ ),  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ( $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^-$ )

## 3. structure moléculaire des gaz :

Les gaz sont formés de molécules en agitation constante et désordonnés. Ils n'ont pas de forme propre, ils sont compressibles et expansibles. D'après l'hypothèse d'Avogadro Ampère, des volumes égaux de gaz différents pris dans les mêmes conditions de température et de pression renferment le même nombre de molécules.

### Exercice d'application :

A- On considère l'équation suivante :  $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ .

1. Équilibrer la

2. On dispose de  $n_{\text{NH}_3} = 15\text{mol}$ .

2.1 Quelle quantité de dioxygène faut-il ajouter pour obtenir un mélange stœchiométrique ?

2.2 Quel est la composition du mélange une fois la réaction achevée ?

B- On considère la réaction :  $\text{CuO} + \text{C} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Cu}$ .

1. Équilibrer-la.

2. On dispose d'un mélange comportant 8 mol de  $\text{CuO}$  et 5 mol de carbone. Ce mélange est-il dans les proportions stœchiométriques ? Si non quel est le réactif en défaut.

3. Quelle est la composition du mélange une fois la réaction achevée ?

# CHAPITRE5 : INTRODUCTION A LA CHIMIE ORGANIQUE

## Situation problème :

### Compétences:

- Montrer l'importance des substances organiques dans la vie quotidienne.
- Déterminer par les méthodes usuelles d'analyse, la structure d'un composé organique.

## 1. Qu'est ce que la chimie organique ?

### 1.1 Historique et caractère particuliers.

Au début du 19<sup>ème</sup> siècle, la chimie organique était considérée comme l'étude des substances que l'on retrouve dans les cellules vivantes, mais très vite, les chimistes organiciens remarquaient que ces composés avaient des propriétés qui les distinguaient des substances minérales. En particulier, **ils sont combustibles, ils fondent ou se décomposent en de basses températures de l'ordre de 200 à 400°C, ils sont peu soluble dans l'eau, leur réaction chimiques sont presque toujours lentes et réversibles.**

Ils sont principalement constitués d'un nombre réduits d'éléments légers à savoir **le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote.**

Il fut établi que, les atomes de carbone liés les uns aux autres constituaient **la charpente moléculaire** de toutes les substances organiques, ce qui emmena à la reformulation de la définition de la chimie organique :

**« La chimie organique est la chimie qui étudie les composés renfermant l'élément carbone ».**

### Remarque :

- **Les hydrocarbures encore appelés hydrures de carbones sont des composés qui renferment dans leur structure uniquement les éléments carbones et hydrogènes,** leur formule générale brute est  $C_xH_y$ .
- Les noms des composés organiques obéissent aux règles de l'U.I.P.A.C (Union International de la Chimie Pure et Appliquée), elles permettent de donner la formule semi-développées d'un composé connaissant son nom et vice-versa.

### 1.2 Importance des composés organiques.

Les composés organiques sont d'une importance capitale dans la vie de l'homme, ainsi que dans l'industrie chimique, nous pouvons citer :

- Les médicaments pour nous soigner.
- L'industrie d'habillement (tissu, tergal, nylon, etc.)
- La nourriture
- Les produits pétroliers.

## 2. Principe de l'analyse élémentaire d'un composé organique constitué des éléments carbone, hydrogène, oxygène et azote.

Faire l'analyse d'un corps c'est déterminer sa composition. Il existe deux méthodes d'analyses :

- **L'analyse qualitative** : Elle consiste à déterminer les différents éléments qui constituent un composé donné.
- **L'analyse quantitative** : Elle consiste à déterminer les proportions (quantité de matière, mase, pourcentage en masse, etc.) des différents éléments constituant le composé.

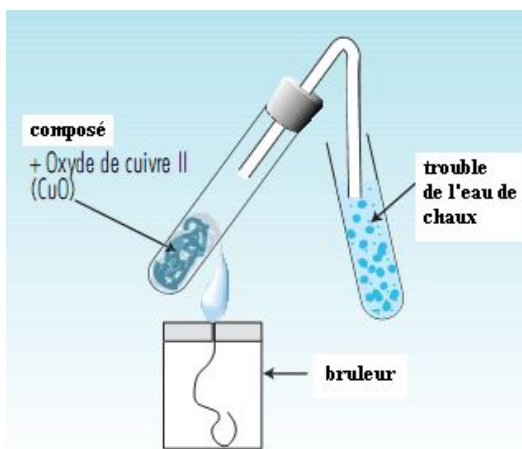


## 2.1 L'analyse qualitative.

- **Recherche de l'élément carbone.**

Elle se fait par deux principales méthodes, la combustion et la pyrolyse.

- **La combustion :**

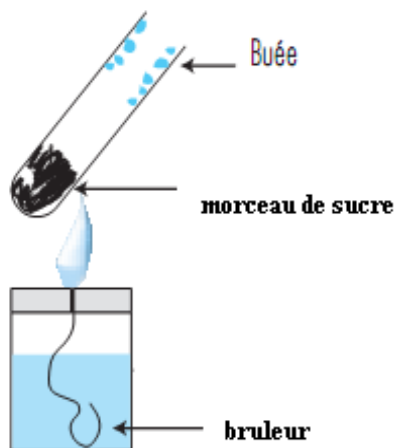


L'eau de chaux se trouble au contact avec du dioxyde de carbone. La formation du  $\text{CO}_2$  prouve l'existence du carbone dans le composé. Il s'agit là d'une combustion complète.

Lorsque la combustion est incomplète, il y'a dépôt d'une substance noire (du carbone) et de buée d'eau.

- **La pyrolyse.**

C'est la décomposition sous l'effet de la chaleur d'un composé le plus souvent, en l'absence de dioxygène.



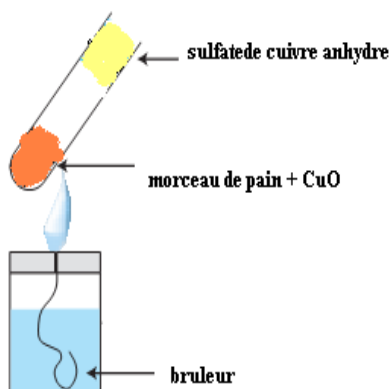
En chauffant pendant longtemps un morceau de sucre, il se forme un dépôt noir d'une substance et un dégagement de vapeur d'eau. L'analyse de cette substance montre qu'il s'agit du carbone.

### Conclusion :

Tout composé qui, par combustion ou par pyrolyse donne des oxydes de carbone ( $\text{CO}_2$  et  $\text{CO}$ ) ou du carbone (C) contient inéluctablement l'élément carbone.

- **Recherche de l'élément hydrogène.**

Dans un tube à essai bien sec, chauffons un mélange d'un morceau de pain avec de l'oxyde de cuivre ( $\text{CuO}$ ) surmonté du sulfate de cuivre anhydre (de couleur blanche) :



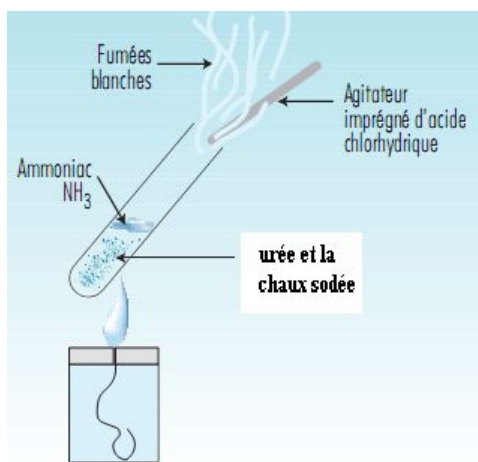
Après chauffage, on constate que le sulfate de cuivre devient bleu, parce qu'il a fixé des molécules d'eau. Ces molécules d'eau ne peuvent provenir que du morceau de pain. Cette substance contient donc l'élément hydrogène qui est mis en évidence par son oxydation en molécule d'eau.

### Conclusion :

Toute substance sèche qui produit de l'eau après chauffage contient indéniablement l'élément hydrogène

- **Recherche de l'élément azote.**

Dans un tube à essai, introduisons un mélange d'urée et de chaux sodée (mélange de chaux et de soude), puis chauffons l'ensemble :



Nous constatons qu'il y a dégagement d'un gaz qui en contact avec de l'acide chlorhydrique donne des fumées blanches de chlorure d'ammonium ou, fait virer au marron le réactif de Nessler, se gaz c'est de l'ammoniac. L'azote contenu dans l'ammoniac provient donc de l'urée.

### Conclusion.

Toute substance qui produit de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) ou du diazote ( $\text{N}_2$ ) au cours d'une transformation contient nécessairement l'élément azote (N).

- **Recherche de l'élément oxygène**

La recherche de l'élément oxygène se fait généralement à partir de l'analyse des autres composés.

### 2.2 L'analyse quantitative.

Considérons un composé renfermant les éléments carbone, hydrogène oxygène et azote, sa formule générale brute est  $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z\text{N}_t$ . Ou  $x$ ,  $y$ ,  $z$  et  $t$  sont des entiers naturels non nuls  $N^*$  représentant le nombre d'atome de chaque élément.

- **Dosage du carbone et de l'hydrogène.**

Pour doser le carbone et l'hydrogène, on peut oxyder la substance préalablement séchée et pesée, **tout le carbone se transforme en  $\text{CO}_2$  (absorbé par les tubes à potasse  $\text{KOH}$ )**, et **tout l'hydrogène se transforme en  $\text{H}_2\text{O}$  (absorbé par les tubes à ponces sulfuriques ou l'acide sulfurique concentré  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )**.

Soit  $m_{\text{CO}_2}$  et  $m_{\text{H}_2\text{O}}$  respectivement l'augmentation en masse des tubes absorbants,  $m$  la masse du composé analysé. Alors :

- La masse du carbone et son pourcentage sont donnés par :  $\frac{m_C}{M_C} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}}$  alors :

$$m_C = \frac{M_C}{M_{\text{CO}_2}} m_{\text{CO}_2} = \frac{12}{44} m_{\text{CO}_2} = \frac{3}{11} m_{\text{CO}_2} \quad \text{Soit : } \%C = \frac{m_C}{m} \times 100 = \frac{3}{11} m_{\text{CO}_2} \times \frac{100}{m}$$

Si l'on a plutôt le volume de dioxyde de carbone,  $\frac{m_C}{M_C} = \frac{V_{CO_2}}{V_m}$  d'où  $m_C = \frac{V_{CO_2}}{V_m} M_C$  et

$$\%C = \frac{V_{CO_2} M_C}{m V_m} \times 100$$

- La masse et le pourcentage d'hydrogène sont donnés par :  $\frac{m_H}{2M_H} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}}$  alors

$$m_H = \frac{m_{H_2O} \times 2M_H}{M_{H_2O}} = \frac{2}{18} m_{H_2O} = \frac{1}{9} m_{H_2O} . \text{ Avec : } \%H = \frac{m_H}{m} \times 100 = \frac{1}{9} m_{H_2O} \times \frac{100}{m}$$

### • Dosage de l'azote.

Pour doser l'azote, on peut :

- Soit oxyder la substance ce qui conduit à un dégagement de diazote ( $N_2$ ) dont-on mesure le volume.
- Soit on transforme l'azote contenu dans le composé en ammoniac  $NH_3$  et on dose cet ammoniac par l'acide.

La masse et le pourcentage d'azote sont donnés par :

- Cas où il y'a formation d'un volume  $V$  de  $N_2$  :  $\frac{m_N}{2M_N} = \frac{V_{N_2}}{V_m}$  d'où  $m_N = \frac{2M_N \times V_{N_2}}{V_m} = \frac{28V_{N_2}}{V_m}$

$$\text{Soit : } \%N = \frac{m_N}{m} \times 100 = \frac{28V_{N_2} \times 100}{V_m} .$$

- Cas il y'a formation du masse  $m$  de  $NH_3$  :  $\frac{m_N}{M_N} = \frac{m_{NH_3}}{M_{NH_3}}$  d'où  $m_N = \frac{M_N m_{NH_3}}{M_{NH_3}} = \frac{14}{17} m_{NH_3}$

$$\text{Soit : } \%N = \frac{m_N}{m} \times 100 = \frac{14}{17} \times \frac{100}{m}$$

### • Dosage de l'oxygène.

Dès que les pourcentages des autres éléments sont connus, par différence à 100, on obtient le pourcentage de l'oxygène.  $\%O = 100 - \%C - \%H - \%N$

### • Détermination des indices $x, y, z$ et $t$ .

Ils sont liés aux pourcentages des différents éléments par les relations respectives :  $\%C = \frac{1200x}{M}$ ,

$$\%H = \frac{100y}{M}, \%O = \frac{1600z}{M}, \%N = \frac{1700t}{M}, M \text{ étant la masse molaire moléculaire du composé.}$$

### Remarque :

- Le dioxygène est absorbé par le phosphore.
- Pour un corps gazeux, la masse molaire moléculaire est donnée par  $M = 29d$  ou  $d$  est sa densité.
- Pour les gaz rares, on a :  $PV = nRT$  avec  $P$  (la pression en Pa),  $V$  (le volume en  $m^3$ ),  $n$  (la quantité de matière en mol)  $T$  la température en  $^{\circ}C$ ,  $R$  (la constante des gaz parfaits  $R = 8,314 \text{ U.S.I.}$ ).

**Exercice d'application :**

- 1- Déterminer les pourcentages en masses (composition centésimales massiques) des éléments contenus dans la molécule de formule  $\text{C}_6\text{H}_5(\text{NO}_2)_2$ . On donne en g/mol : C = 12, O = 16 ; N = 14 et H = 1.
- 2- L'oxydation de 212,5mg d'un composé gazeux produit 415mg de dioxyde de carbone et 297,5mg d'eau. Ce composé renferme l'élément azote aussi. Par une méthode appropriée, on transforme l'azote qu'il contient en ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Le traitement de 212,5 mg de ce composé produit 80,25 mg d'ammoniac. Déterminer la composition centésimale massique du composé. En déduire sa formule brute.

## Chapitre 6: GENERALITES SUR LES SOLUTIONS AQUEUSES

### Situation problème :

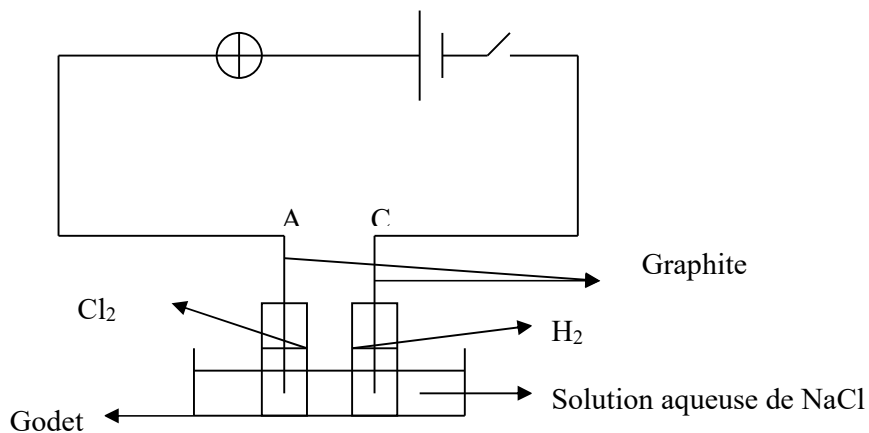
#### Compétences:

- Ecrire l'équation de dissolution dans l'eau d'un solide ionique.
- Déterminer la concentration d'une solution et d'une espèce chimique dans une solution

#### 1. Dissolution dans l'eau des solides ioniques.

##### 1.1 Electrolyse de la solution aqueuse de chlorure de sodium.

#### - Expérience



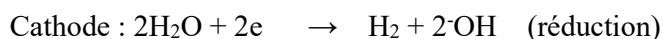
#### - Observation.

Lorsque l'interrupteur est ouvert, on constate que la solution autour de l'électrode C est incolore et, colorée en bleu violacée autour de l'électrode A. Lorsque l'on ferme l'interrupteur, on observe :

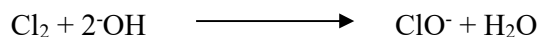
- Que la lampe brille.
- Un dégagement de gaz sur chaque électrode.
- Une coloration en rouge violacée au niveau de l'électrode C tandis que la solution se décolore à l'électrode A.
- Une détonation légère lorsqu'on approche une buchette d'allumette enflammée (caractéristique du H<sub>2</sub>).
- Un dégagement d'odeur d'eau de javel.

#### - Interprétation.

- Le fait que la lampe brille montre que le courant circule dans la solution NaCl (électrolyte).
- Les équations traduisant la formation des gaz sont :



- l'odeur d'eau de javel provient de la réaction entre la solution basique d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{OH}^-$ ) avec le dichlore dissout conduisant à la formation de la solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel) tel que :



## 1.2 La dissolution dans l'eau du sulfate de cuivre II anhydre : Influence de la solvatation sur la couleur des ions.

### - Expérience :

Lorsqu'on introduit quelques cristaux de sulfate de cuivre II ( $\text{CuSO}_4$ ) anhydre (sec) de couleur blanche dans un bécher contenant de l'eau, on constate que la solution devient bleue et si l'on touche le bas du bécher, il chauffe.

L'hydratation des ions est donc un phénomène exothermique qui est à l'origine de la coloration de certains ions en solution, c'est ainsi que l'on a :

Nom de l'ion	ion cuivrique	ion permanganate	ion dichromate	ion cobalt	ion fer II	ion fer III	ion chlorure	ion sulfate	ion sodium
Formule de l'ion	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{MnO}_4^-$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	$\text{Co}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$
Couleur en solution aqueuse	Bleu	Violet	Orange	Rose	Vert	Brun jaune / rouille	Incolore	Incolore	incolor

### Remarque :

- les cristaux de sulfate sec au contact de l'air fixent des molécules d'eau et bleuissent. On obtient donc du sulfate de cuivre II pentahydraté de formule  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

## 1.3 Mécanisme et effet thermique de la dissolution dans l'eau des solides ioniques.

La dissolution des solides ioniques résulte de trois phénomènes :

- **La dissociation du cristal**
- **La dispersion des ions parmi les molécules du solvant.**
- **L'hydratation des ions.**

Certains de ces phénomènes s'accompagnent soit d'un dégagement d'énergie (l'hydratation), soit nécessitent de l'énergie pour avoir lieu (dissociation et dispersion). Par convention, l'énergie nécessaire pour dissocier et disperser les cristaux notée  $Q_d$  est comptée positivement et celle nécessaire pour hydrater les cristaux notée  $Q_h$  est comptée négativement. Il en résulte donc que, l'énergie de dissolution notée  $Q_{dis}$  est la somme algébrique des énergies de dissociation et de dispersion du cristal  $Q_d$  et d'hydratation  $Q_h$  d'où  $Q_{dis} = Q_d + Q_h$ .

La dissolution d'un solide ionique est une réaction chimique qui peut être : athermique ( $Q_{dis} = 0$ ), exothermique ( $Q_{dis} < 0$ ) ou endothermique ( $Q_{dis} > 0$ ).

Une réaction chimique est dite athermique lorsqu'elle n'absorbe ni ne libère de la chaleur. Dans ce cas  $|Q_h| = Q_d$  (ar  $Q_h < 0$ )

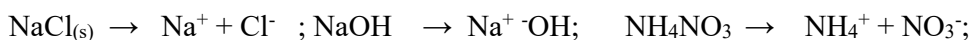
Une réaction chimique est dite exothermique lorsqu'elle libère de la chaleur.

Dans ce cas  $|Q_h| > Q_d$ .

Une réaction chimique est dite endothermique lorsqu'elle absorbe de la chaleur. Dans ce cas  $|Q_h| < Q_d$ .

L'équation bilan associée à la dissolution d'un solide ionique se traduit toujours par une équation de mise en solution.

### Exemples :



## 1.4 Solubilité

### 1.4.1 Définition :

**La solubilité d'un solide ionique est numériquement égale à la masse maximale de ce solide ionique que l'on peut dissoudre dans un litre de solvant pour atteindre la saturation à une température donnée.** Elle se note S et s'exprime en (g/L).

$S = m/V$  or  $n = m/M \leftrightarrow m = n \times M$  alors,  $S = nM/V = CM$  avec C la concentration molaire de la solution (mol/L).

### 1.4.2 Facteur influant sur la solubilité.

L'expérience montre que la solubilité varie avec :

- la température. Elle augmente dans le cas des réactions endothermiques, diminue dans le cas des réactions exothermiques et varie peu lors des réactions athermiques.
- Le solvant. La solubilité croît avec la polarité des solvants, plus un solvant est polaire, mieux il dissout les cristaux ioniques.

## 2 la concentration dans une solution

### 2.1 La concentration molaire d'une solution.

Généralement noté C, la concentration molaire d'une solution est égale à la quantité de matière de soluté dissoute dans 1L de solution. D'où  $C = n/V$  avec, C (mol/L), n (mol), V(L).

Remarques :

- une solution est dite molaire, décimolaire ou centimolaire lorsque sa concentration vaut respectivement 1mol/L, 0,1mol/L, 0,01mol/L.
- la dilution est un processus qui consiste à diminuer la concentration d'une solution en y ajoutant un volume V d'eau distillée. La quantité de matière d'un soluté restant constante. Si  $n_i$  est la quantité de matière de soluté avant la dilution et  $n_f$  celle après, on a :  $n_i = n_f$  soit  $C_i V_i = C_f V_f$ . C'est la relation de dilution.

#### Exercice d'application :

- Déterminer la concentration molaire d'une solution de sulfate de cuivre  $\text{CuSO}_4$  obtenue en dissolvant 1,5g de cristaux de  $\text{CuSO}_4$  et en complétant le volume d'eau à 500mL on donne en g/mol : Cu = 63,5, S = 32, O = 16.
- On dispose d'une solution  $S_1$  décimolaire de  $\text{ZnCl}_2$  de volume  $V_1 = 200\text{mL}$ . On la dilue en ajoutant 300mL d'eau. Quelle est la concentration  $C_2$  de la solution obtenue ?

### 2.2 Concentration molaire d'une espèce chimique A contenue dans une solution.

La concentration molaire d'une espèce chimique A dans une solution est la quantité de matière de cette espèce dissoute dans 1L de solution. Si  $n_A$  représente la quantité de matière de l'espèce A dans un volume V de solution, la concentration molaire notée [A] de l'espèce A est donnée par :

$[A] = n_A/V$ . Avec  $[A](\text{mol/L})$ ,  $n_A(\text{mol})$ ,  $V(\text{L})$ .

**Remarque :**

Une solution ionique est électriquement neutre car elle contient autant de charges positives que négatives. Cette neutralité électrique se traduit par une équation appelée équation d'électroneutralité. Ainsi, si une solution contient les ions  $M^{m+}$ ,  $N^{n+}$ ,  $T^{t-}$ ,  $V^{v-}$ , l'équation d'électroneutralité se traduit par  $m[M^{m+}] + n[N^{n+}] = t[T^{t-}] + v[V^{v-}]$ .

### 2.3 La concentration massique d'une espèce chimique dans une solution.

La concentration massique d'une espèce chimique contenue dans une solution est numériquement égale à la masse de l'espèce chimique considérée dans un litre de solution. Soit A l'espèce chimique, A sa masse et V le volume de la solution, sa concentration massique notée  $C_m$  est donnée par :

$C_m = m_A/V$ . comme  $n_A = m_A/M_A$ ,  $m_A = n_A M_A$  d'où  $C_m = n_A M_A/V = [A] M_A$ .

**Exercice d'application :**

- A) Calculer les concentrations des différents ions contenus dans une solution d' $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$  obtenue en dissolvant 5 g d' $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$  dans l'eau et en complétant le volume à  $500 \text{ cm}^3$ .
- B) Vérifier l'équation d'électroneutralité.



## CHAPITRE 7 : SOLUTION ACIDES, BASIQUES ou NEUTRES.

### Situation problème :

#### Compétences

- Donner les propriétés d'un acide fort et d'une base forte.
- Donner les propriétés d'un acide faible et d'une base faible.

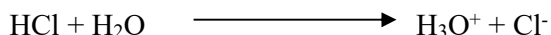
#### 1- Solutions aqueuses acides :

##### 1.1- Notion d'acide fort : exemple d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique.

Une solution aqueuse d'acide chlorhydrique est obtenue par dissociation dans l'eau d'un gaz incolore à odeur suffocante de densité supérieure à 1 appelé chlorure d'hydrogène de formule brute HCl.

- En présence d'une solution de nitrate d'argent, on observe un précipité blanc de chlorure d'argent, la solution contient donc les ions  $\text{Cl}^-$ .
- Elle fait virer au jaune le bleu de bromothymol et en rouge l'hélianthine, la solution contient donc les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

L'étude de la solution montre qu'elle ne contient aucune molécule de HCl. La dissociation du chlorure d'hydrogène dans l'eau s'accompagne d'une réaction chimique totale rapide et exothermique :



La solution aqueuse d'acide chlorhydrique est une solution ionique. Elle contient en plus des molécules d'eaux, les espèces majoritaires  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{Cl}^-$  et de façon minoritaire  $\text{OH}^-$ . Les solutions aqueuses de chlorures d'hydrogènes sont des **acides forts** car la **dissociation** est totale.

Si  $n$  représente la quantité de matière de HCl dissoute dans un volume  $V$  d'eau, la concentration molaire de la solution obtenu est :

$$C = n/V, [\text{H}_3\text{O}^+] = n_{\text{H}_3\text{O}^+}/V = n/V = C. [\text{H}_3\text{O}^+] = C$$

#### Remarque :

Tous les acides qui réagissent totalement sur l'eau sont des acides forts.

En plus des monoacides comme HCl, il existe des diacides (l'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), et des triacides (acides phosphoriques  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) etc.

##### 1.2 Notion d'acide faible : Exemple d'une solution aqueuse d'acide éthanóïque.

L'acide éthanóïque généralement appelé acide acétique, est un acide carboxylique qui à l'état pur est un liquide moléculaire, sa formule brute est  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

L'acide acétique est miscible à l'eau en toute proportion. Sa dissolution est faiblement exothermique. La solution aqueuse d'acide éthanóïque conduit le courant électrique, elle fait virer au jaune le BB, elle est donc acide. Elle contient plus d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  que  $\text{OH}^-$ , l'analyse de cette solution montre que outre les molécules d'eau, elle contient majoritairement des molécules d'acides éthanóïque de façon minoritaire des ions éthanóate  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+$  et de façon ultra minoritaire les ions  $\text{OH}^-$ .

L'équation de dissolution des molécules d'acide éthanóïque dans l'eau est alors un équilibre chimique qui se traduit par :



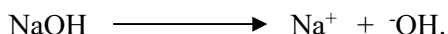
**1.3 Définition :** un acide est tout corps susceptible de céder les protons  $\text{H}^+$  au cours d'une réaction chimique : c'est la définition de Bronsted d'un acide.

#### 1.4 Exemples d'autres acides :

### 2- Solutions aqueuses basiques :

#### 2.1- Notion de base forte : Exemple d'une solution aqueuse de NaOH.

Couramment appelé soude, l'hydroxyde de sodium est un solide cristallisé blanc qui se présente le plus souvent sous forme de pastille, constitué d'ion sodium  $\text{Na}^+$  et hydroxyde  $\text{OH}^-$ . La dissociation dans l'eau est exothermique et se traduit par l'équation :

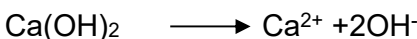


La solution obtenue fait virer au bleu le bleu de bromothymol et en rouge violacé la phénolphthaléine, elle est donc basique. Elle colore par l'intermédiaire d'un fil de platine la flamme d'un bec Meeker donc contient des ions  $\text{Na}^+$ . Les solutions aqueuses d'hydroxyde de sodium sont des solutions ioniques. En plus des molécules d'eaux, elles contiennent des espèces majoritaires  $\text{OH}^-$  et  $\text{Na}^+$  et ultra minoritaires  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

La réaction de la soude avec l'eau est totale, l'hydroxyde de sodium est donc une base forte. Si n est la quantité de matière de NaOH dissoute dans un volume V d'eau, la concentration de la solution est :  $C=n/V$

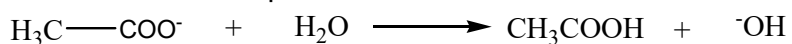
#### Remarque :

- Cette relation n'est valable que pour des solutions de concentrations comprises entre  $10^{-6}$  et  $10^{-1}\text{mol/L}$ .
- Toute base totalement ionisée en solution aqueuse est une base forte. En plus des monobases comme NaOH ; il existe des polybases qui libèrent plusieurs ions  $\text{OH}^-$  exemple l'hydroxyde de calcium  $\text{Ca(OH)}_2$ .



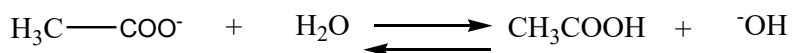
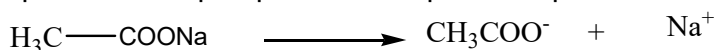
#### 2.2 Notion d'une base faible : Exemple d'une solution basique d'éthanoate de sodium.

L'éthanoate de sodium de formule  $\text{CH}_3\text{COONa}$  est un solide ionique blanc formé d'ion éthanoate et d'ion sodium. Il est très soluble dans l'eau et sa dissolution s'accompagne d'une dispersion des ions qui sont ensuite hydratés. La solution aqueuse d'éthanoate de sodium conduit le courant électrique, elle fait virer au bleu le BB, cette solution est donc basique c'est-à-dire qu'elle contient d'avantage d'ion  $\text{OH}^-$  que  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Les ions  $\text{OH}^-$  proviennent de l'hydratation des ions éthanoate selon l'équation :



L'analyse de la solution montre qu'elle contient majoritairement les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ , de façon minoritaire des ions  $\text{OH}^-$  et les molécules d'acide et de façon ultra minoritaire les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

La dissolution de l'éthanoate de sodium suivit de la solvatation (hydratation) des ions est alors un équilibre chimique qui se traduit par les équations :



Toutes les bases dont la réaction sur l'eau est limitée sont appelées des bases faibles.

**2.3- Définition** : une base est tout corps susceptible de fixer des protons  $H^+$  au cours d'une réaction chimique.

**3- Solution neutre : exemple de l'eau salée :**

## CHAPITRE8 : NOTION DE PH

### Situation problème :

### Compétences :

#### 1. Quelques généralités.

- Une **solution** est obtenue en dissolvant un corps solide liquide ou gazeux (**soluté**) dans un liquide (**solvant**). Dans le cas où le solvant est l'eau, la solution est dite **aqueuse**. Les solutions sont généralement homogènes.

Certaines solutions ont la particularité de conduire le courant électrique dans ce cas :

Soit elles possèdent des porteurs (ions) on parle alors de **solution ionique**, soit elles constituent des molécules polaires qui constituent constamment des **dipôles électriques**.

- Généralement noté **C**, la concentration molaire d'une solution est la quantité de matière de soluté dissoute dans un litre de solution. Ainsi, si **n** représente la quantité de matière du soluté et **V** le volume de la solution la concentration de cette solution est :

$$C = n/V \text{ avec } C \text{ (mol/L), } n \text{ (mol) et } V \text{ (L).}$$

#### Remarque :

Lorsque la concentration est de **1 mol/L**, on parle de **solution molaire**, lorsqu'elle est de **0,1mol/L** on parle de solution **decimolaire**, lorsqu'elle est de **0,01mol/L**, on parle de **solution centimolaire**.

- La concentration molaire d'une espèce chimique X réellement présente dans une solution une fois la dissolution achevée est la quantité de matière de cette espèce chimique dissoute dans 1L de solution tel que :

$$[X] = n_X/V, \text{ avec } [X] \text{ (mol/L), } n_X \text{ (mol) et } V \text{ (L).}$$

- Une solution ionique est électriquement neutre car elle contient autant de charges positives que négatives. Cette neutralité électrique se traduit par une équation appelée équation d'électroneutralité. Ainsi, si une solution contient les ions  $M^{m+}$ ,  $N^{n+}$ ,  $T^{t-}$ ,  $V^{v-}$ , l'équation d'électroneutralité se traduit par  $m[M^{m+}] + n[N^{n+}] = t[T^{t-}] + v[V^{v-}]$ .

#### Remarque :

- Une espèce chimique A est dite **minoritaire** devant une espèce B si le rapport  $[A]/[B] < 10^{-2}$ .

- L'espèce A est dite **ultra minoritaire** devant B si  $[A]/[B] < 10^{-4}$ .

Dans les deux cas, l'espèce B est dite **majoritaire**.

#### Exercice d'application :

« cocktail d'ions »

Quelles sont les concentrations des ions obtenues en dissolvant :

- 15g de  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ;

- 23g de  $\text{NiSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$  ;
- 25mL d'une solution de chlorure de fer III à 27,5% en masse de  $\text{FeCl}_3$ , de masse volumique égale à 1,26 kg/L sachant que le volume total de la solution est amené à 1L.

On donne en g/mol : Co = 58,9 ; Ni = 58,7, N = 14 ; O = 16 ; H = 1 ; S = 32.

Vérifier l'équation d'électroneutralité.

Solution:

$M(\text{Co}(\text{NO}_3)_2, 6\text{H}_2\text{O}) = 291,03\text{g/mol}$ ,  $M(\text{NiSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}) = 280,87\text{g/mol}$ .

$M(\text{FeCl}_3) = 162,21\text{g/mol}$ .

$n(\text{Co}^{2+}) = 15/291,03 = 5,15 \times 10^{-2}\text{mol}$  ;  $n(\text{NO}_3^-) = 0,103\text{mol}$ .

$n(\text{Ni}^{2+}) = 23/280,87 = 8,19 \times 10^{-2}\text{mol}$  ;  $n(\text{SO}_4^{2-}) = 8 \times 10^{-2}\text{mol}$ .

$n(\text{Fe}^{3+})$  dans 1L de solution:  $n(\text{Fe}^{3+}) = 1260 \times 0,275 / 162,21 = 2,136\text{mol}$ , d'où dans la mélange  $n(\text{Fe}^{3+}) = 2,1360,025 = 5,34 \times 10^{-2}\text{mol}$  ;  $n(\text{Cl}^-) = 3n(\text{Fe}^{3+}) = 0,160\text{mol}$ .

Dans la solution obtenue, les concentrations des ions sont égales à :

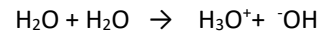
$[\text{Co}^{2+}] = 5,15 \times 10^{-2}\text{mol/L}$ ,  $[\text{Ni}^{2+}] = 8,19 \times 10^{-2}\text{mol/L}$ ,  $[\text{Fe}^{3+}] = 5,34 \times 10^{-2}\text{mol/L}$ ;

$[\text{Cl}^-] = 0,16\text{mol/L}$ ;  $[\text{NO}_3^-] = 0,103\text{mol/L}$ ;  $[\text{SO}_4^{2-}] = 8,19 \times 10^{-2}\text{mol/L}$ .

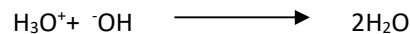
## 2- Autoprotolyse de l'eau.

Globalement, l'eau contient toujours les ions  $\text{OH}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+$  mais dont les proportions diffèrent au fur et à mesure que l'on s'approche de l'état de pureté.

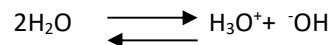
Ces ions proviennent de la réaction d'ionisation de l'eau pure, encore appelé réaction d'autoprotolyse de l'eau, cette réaction se traduit par :



Cette réaction est limitée par la réaction inverse entre  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  tel que :



Les deux réactions ayant lieu simultanément et dans les mêmes conditions, elles sont représentées par l'équilibre :



D'après les réactions (1) et (2), l'eau se comporte soit comme un acide, soit comme une base, une telle espèce est dite **ampholyte ou amphotère**.

## 3- Notion de produit ionique de l'eau.

En thermodynamique, on définit un nombre noté  $K_e$  et appelé constante d'équilibre d'autoprotolyse de l'eau ou encore produit ionique. Dans toute solution aqueuse, le produit ionique est donnée par :

$$K_e = [\text{OH}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+].$$

**Remarque :**

Le  $K_e$  de l'eau est un nombre sans dimension, il varie en fonction de la température (augmente), ainsi, à 25°C,  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7}\text{mol/L}$ ,  $[\text{OH}^-] = 10^{-7}\text{mol/L}$  d'où

$$K_e = [\text{OH}^-] \times [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-14}.$$

A 60°C,  $K_e = 10^{-13}$ .

## 4- Le pH des solutions aqueuses.

#### 4.1- Définition :

Pour les solutions diluées c'est-à-dire de concentration inférieure à 0,1 mol/L, et quelque soit les espèces chimiques présentent, Par définition, le pH est donné par :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \leftrightarrow \text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

C'est un nombre sans unité. Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination du pH :

- Le papier pH.
- Le pH-mètre (méthode la plus sur).
- Les indicateurs colorés.

#### 4.2- Solution neutre :

Une solution est neutre lorsqu'elle contient autant d'ions hydroniums  $\text{H}_3\text{O}^+$  que d'ion hydroxydes  $\text{OH}^-$  ainsi on a  $[\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$ . À 25°C,  $K_e = 10^{-14} = [\text{OH}^-] \times [\text{H}_3\text{O}^+] \leftrightarrow 10^{-14} = [\text{H}_3\text{O}^+]^2 \leftrightarrow \log 10^{-14} = \log [\text{H}_3\text{O}^+]^2 \leftrightarrow -14 \log 10 = 2 \log [\text{H}_3\text{O}^+]$  en multipliant par (-),  $14 = -2 \log [\text{H}_3\text{O}^+]$ ,  $\leftrightarrow 14 = 2\text{pH} \leftrightarrow \text{pH} = 7$ .

#### 4.3- Solution acide :

Les acides étant susceptible de céder des protons, une solution acide possède plus d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  que  $\text{OH}^-$  alors  $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ .

A 25°C  $K_e = 10^{-14}$ .  $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$  en multipliant ceci par  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ , on a :

$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 > [\text{OH}^-] [\text{H}_3\text{O}^+]$ ,  $[\text{H}_3\text{O}^+]^2 > K_e$ ,  $\log [\text{H}_3\text{O}^+]^2 > \log K_e$ ,  $2 \log [\text{H}_3\text{O}^+] > \log 10^{-14}$ , en multipliant par (-),

on a,  $-2 \log [\text{H}_3\text{O}^+] < -\log 10^{-14} \leftrightarrow 2\text{pH} < 14 \leftrightarrow \text{pH} < 7$ .

#### 4.4- Solution basique :

Selon Bronsted, les bases sont susceptibles de capter les protons  $\text{H}^+$  par conséquent une solution basique possède plus d'ion  $\text{OH}^-$  que d'ion  $\text{H}_3\text{O}^+$  d'où :  $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ .

A 25°C  $K_e = 10^{-14}$ .  $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$  en multipliant ceci par  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ , on a :

$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 < [\text{OH}^-] [\text{H}_3\text{O}^+]$ ,  $[\text{H}_3\text{O}^+]^2 < K_e$ ,  $\log [\text{H}_3\text{O}^+]^2 < \log K_e$ ,  $2 \log [\text{H}_3\text{O}^+] < \log 10^{-14}$ , en multipliant par (-),

on a,  $-2 \log [\text{H}_3\text{O}^+] > -\log 10^{-14} \leftrightarrow 2\text{pH} > 14 \leftrightarrow \text{pH} > 7$ .

## CHAPITRE 9 : DOSAGE D'UNE SOLUTION D'ACIDE CHLORHYDRIQUE PAR LA SOUDE

### Situation problème :

L'étude des réactions acide/base est très importante car elle nous permet de savoir et de comprendre de nombreuses réactions ayant lieu dans notre organisme lorsque nous consommons certains produits acides ou basiques. Elle nous permet de vérifier la composition de nombreux produits agricole ou pharmaceutique. En donnez en une application.

### Compétences :

#### 1. Etude de la réaction

##### 1.1 Définitions

- Dosage : Le dosage est une opération qui consiste à déterminer la concentration d'une solution à partir d'une autre solution de concentration connue.
- Dosage acido-basique : Opération qui consiste à déterminer la concentration d'un acide ou d'une base à l'aide d'une solution de base ou d'acide de concentration connue. On distingue :
  - le dosage pH-métrique qui consiste à mesurer progressivement la valeur du pH d'une solution par ajout modéré de la solution titrante.
  - Le dosage colorimétrique qui se fait par utilisation d'un indicateur coloré. On observe dans ce cas un changement de couleur.
- Point d'équivalence : C'est le point où le nombre de moles de base est égale au nombre de mole d'acide.

##### 1.2 Équation de la réaction et caractéristiques :

###### a- Dispositif expérimental.

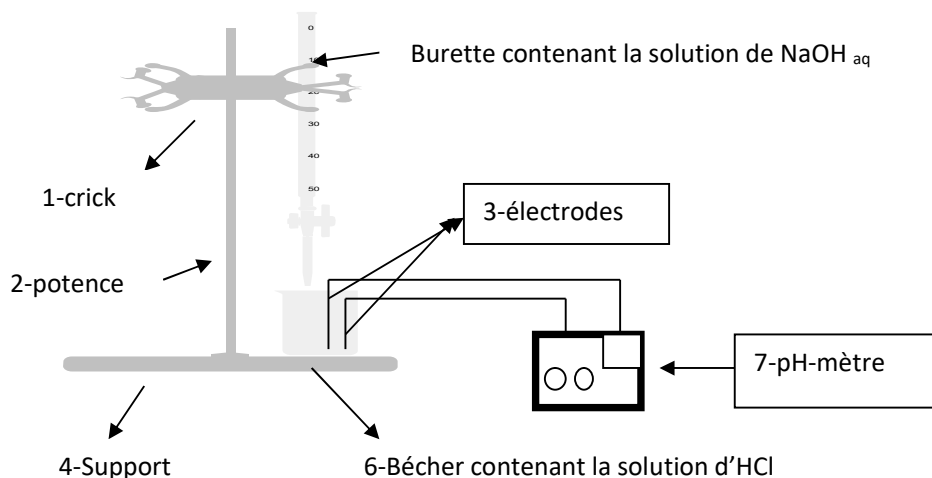


Fig.1 Dispositif expérimental pour dosage pH-métrique

### b- Expérience :

Dans un volume  $V_a = 100\text{ml}$  d'une solution d'HCl de concentration  $C_a = 10^{-2}\text{mol/L}$ , contenue dans un bécher et de  $\text{pH} = 2$ , versons à l'aide d'une micropipette un volume  $V_b = 1\text{ml}$  d'une solution d'NaOH de concentration  $C_b = 0,5\text{mol/L}$ , après agitation, le pH obtenu est 2,3.

### c- Conclusion :

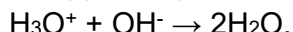
L'équation de la réaction entre une solution d'acide chlorhydrique ( $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ ) et d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+ + ^-\text{OH}$ ) s'écrit :  $(\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-) + (\text{Na}^+ + \text{OH}^-) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$ .

C'est une réaction rapide, totale et exothermique.

Les ions hydroniums ou oxoniums  $\text{H}_3\text{O}^+$  en excès dans le mélange ont donc réagit avec la quasi-totalité d'ions hydroxydes  $^-\text{OH}$ . La réaction de transfert prépondérante qui a lieu est donc :  $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ . C'est une réaction chimique exothermique. Les ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  ne participent pas au transfert de proton, ils sont dits **spectateurs ou indifférents**. Si on évapore toute l'eau dans la solution, il se forme des cristaux blancs de NaCl.

### d- Généralisation :

De manière générale, la réaction entre un acide fort et une base forte est celle entre les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  apportés par la solution acide et  $\text{OH}^-$  apportés par la solution basique tel que :



## 1.3 Equivalence acido- basique :

- Le bleu de bromotymol nous permet de mettre en évidence l'équivalence ;
- L'équivalence est obtenue lorsque les réactifs sont mélangés dans les proportions stœchiométriques. Donc on a à l'équivalence :  $n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{OH}^-)$  ;
- A l'équivalence, la solution passe du jaune au bleu à la goutte près grâce au bleu de bromothymol.

## 2. Dosage acido-basiques :

### 2.1 Principe:

Pour doser une solution d'acide de concentration inconnue  $C_a$ , on utilise une solution basique de concentration  $C_b$ . soit  $V_b$  le volume de la solution basique qu'il faut verser dans le volume  $V_a$  de la solution acide pour atteindre l'équivalence.

A l'équivalence, on a  $n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_{\text{HO}^-} \leftrightarrow C_a V_a = C_b V_{bE}$  (**formule du dosage acido-basique**) avec  $V_{bE}$  le volume de base équivalent. La concentration d'acide est donc :  $C_a = C_b V_{bE} / V_a$

### 2.2 Application :

- **Activité expérimentale** : Réaction entre une solution d'acide chlorhydrique et une solution d'hydroxyde de sodium.



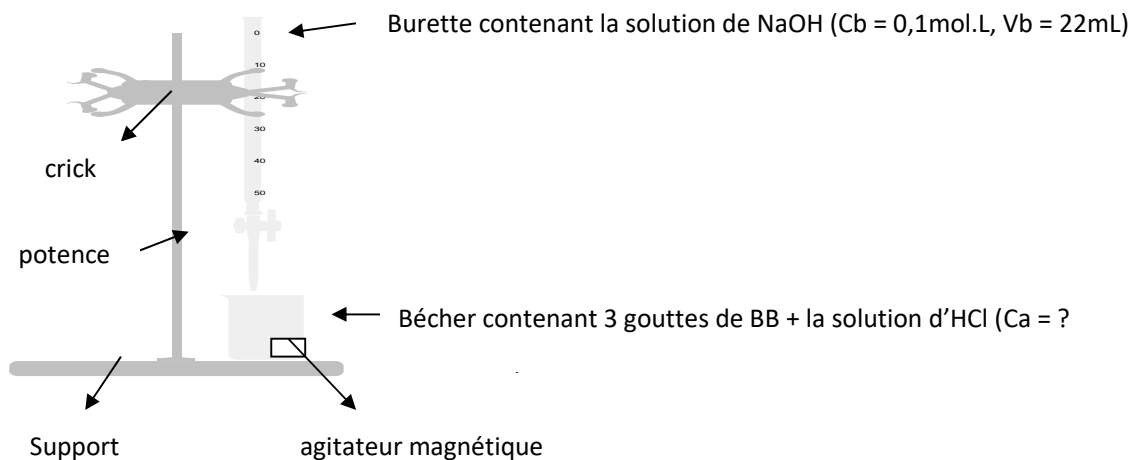
- **Objectif :** Doser une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium.

Matériels	Produits chimiques
2 seringues de 2mL	-solution de NaOH <sub>aq</sub> à 0,1mol.L
2 micropipettes	Solution de HCl <sub>aq</sub> à titrer
1 entonnoir	Phénophtaléine
1 tube en silicone	Eau
1 micro support à 2 clips	
1 comboplate à godets	
1 micro spatule et 1 macro spatule.	
1microburette.	
1microbruleur	
2 béchers pour prélever les solutions.	
2 godets pour eau et poubelle	

Consigne :

- En cas de contact de la peau avec l'acide ou la base, la rincer rapidement à l'eau
- Éviter de remettre le produit prélevé dans son flacon initial
- Rincer toujours le matériel avant son utilisation

➤ **Dispositif expérimental.**



➤ **Mode opératoire**

1. Réaliser le montage (fixer le micro support dans le godet D<sub>2</sub> et orienter les clips au dessus du godet F<sub>1</sub>).
2. Remplir la micro burette avec la solution de NaOH<sub>aq</sub> jusqu'à la graduation 0,00mL et la fixer dans les clips.
3. Prélever à l'aide de la seringue 1,00 ml de la solution HCl<sub>aq</sub> et l'introduire dans le godet F<sub>1</sub>. Faire de même pour les godets F<sub>4</sub> et F<sub>6</sub>.
4. Ajouter une goutte de phénophtaléine dans F<sub>1</sub> et noter la couleur de la solution.
5. Verser progressivement la solution de soude de la micro burette dans la solution d'acide tout en homogénéisant à l'aide de la micro spatule, jusqu'à ce que la solution change de couleur.
6. Noter le volume V<sub>1</sub> de NaOH<sub>aq</sub> versé.
7. Remplir de nouveau la micro burette et reprendre les opérations 4 ; 5 et 6 en ayant pris soin de placer le micro support dans les godets D<sub>7</sub> et D<sub>12</sub>. A l'approche du volume V<sub>1</sub>, laisser tomber la solution de soude goutte à goutte et relever alors les volumes V<sub>2</sub> et V<sub>3</sub>. Nettoyer le matériel et l'assécher.

➤ **Interprétation des observations.**

1. Pourquoi la solution change-t-elle de couleur lorsqu'on verse un volume approprié de solution de soude ?.....
2. Écrire l'équation bilan de la réaction qui s'est produite dans les godets. ....  
.....
3. Calculer V<sub>b</sub> = (V<sub>1</sub> + V<sub>2</sub>)/2 le volume moyen de la solution de soude versée V<sub>b</sub> = .....
4. A partir de l'équation chimique, déterminer la concentration C<sub>a</sub> de la solution d'acide chlorhydrique.  $\text{n}_{\text{H}_3\text{O}^+} = \text{n}_{\text{HO}^-} \leftrightarrow C_a V_a = C_b V_b, C_a = C_b V_b / V_a$ . AN) C<sub>a</sub> = .....  
C<sub>a</sub> = .....±0,01mol/L.

Nous avons ainsi réalisé le dosage de notre solution d'acide chlorhydrique par la solution de soude.

## CHAPITRE 10 : CARACTERISATION DE QUELQUES IONS

### Situation problème :

Observer une étiquette d'une bouteille d'eau minérale Aquabel.

- Quels sont les ions contenus dans cette eau ?
- Comment identifier ces ions ?

### Compétence :

Caractériser les ions contenus dans une solution

#### 1- Identification des cations

Les cations sont pour la plus part des ions métalliques. Ils ont pour formule générale  $M^{+n}$  où M désigne le métal considéré et n le nombre d'électrons cédés.

Cation	Réactif	Test	Schéma	Observation	Equation-bilan
cuivre $Cu^{2+}$	Hydroxyde de sodium				

#### 2- Identification des anions

Ces tests se résument dans le tableau suivant :

Anion	Réactif	Test	Schéma	Observation	Equation-bilan

#### 3- Méthodes générales d'identification