

**Mirela Nicolov**

**Zoltan Szabadai**

**PHYSIQUE PHARMACEUTIQUE**  
**TRAVAUX PRATIQUES**

**DEUXIÈME ÉDITION RÉVISÉE ET COMPLÉTÉE**



**Editura "Victor Babeș"**

**Timișoara, 2023**

**Editura "Victor Babeș"**

Piața "Eftimie Murgu" nr. 2, cam. 316, 300041 Timișoara

Tel./Fax 0256 495 210

email: *evb@umft.ro*

[www.umft.ro/editura](http://www.umft.ro/editura)

**Director General: Prof. univ. emerit Dr. Dan V. Poenaru**

**Colecția: Ghiduri și îndrumătoare de laborator**

**Coordonator colecție: Prof. univ. Dr. Adrian Vlad**

**Referent științific: Prof. univ. dr. Codruța Șoica**

© 2023

Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate.

Reproducerea parțială sau integrală a textului, pe orice suport, fără acordul scris al autorilor este interzisă și se va sancționa conform legilor în vigoare.

**ISBN 978-606- 786-354-3**

## TABLE DES MATIÈRES

RÈGLES DE PROTECTION DU TRAVAIL DANS LE LABORATOIRE DE PHYSIQUE PHARMACEUTIQUE.....	3
GRANDEURS PHYSIQUES ET UNITÉS DE MESURE.....	4
THÉORIE DES ERREURS .....	13
DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DES SOLIDES.....	22
DÉTERMINATION DE LA DENSITE DU LIQUIDE A L'AIDE DU PYCNOMETRE .....	32
DÉTERMINATION DE LA DENSITE D'UN MATERIAU SOLIDE A L'AIDE DU PYCNOMETRE .....	36
DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ D'UN LIQUIDE À L'AIDE DE LA BALANCE MOHR-WESTPHAL .....	38
DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DES LIQUIDES A L'AIDE DES DENSIMÈTRES.....	43
DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DU LIQUIDE AVEC LA MÉTHODE ABBE .....	52
DÉTERMINATION DE LA TENSION SUPERFICIELLE DES LIQUIDES.....	58
MESURE DE LA VISCOSITÉ DYNAMIQUE ET CINEMATIQUE A L'AIDE DU VISCOSIMÈTRE HÖPPLER .....	69
MESURE DE LA VISCOSITÉ DYNAMIQUE, CINÉMATIQUE ET RELATIVE AVEC LE VISCOSIMÈTRE ÜBELLOHDE	77
LES LOIS DU PENDULE GRAVITATIONNEL.....	85
DETERMINATION DU MOMENT D'INERTIE D'UN CORPS RIGIDE A L'AIDE DU PENDULE DE TORSION TRIFILAIRE.....	91
L'ETUDE DE LA LOI DE BERNOULLI.....	95
ETUDE DE LA LOI DES GAZ . LOI DE BOYLE-MARIOTTE.....	104
DÉTERMINATION DE LA CHALEUR SPÉCIFIQUE POUR LES MATÉRIAUX SOLIDES ET LIQUIDES .....	110
L'ÉTUDE DE LA DIFFUSION LIBRE .....	119
ÉTUDE DE LA VARIATION DE LA CONDUCTANCE AVEC LA CONCENTRATION POUR LES ÉLECTROLYTES FORTS ET FAIBLES .....	132
VARIATION DE LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DE L'EAU AVEC LA TEMPÉRATURE .....	142
DÉTERMINATION DES TDS.....	147

DÉTERMINATION DE LA SALINITÉ DES SOLUTIONS.....	151
L'ÉTUDE DU PH .....	160
TITRAGE CONDUCTOMÉTRIQUE DES SELS .....	172
ÉTUDE DES RÉISTANCES.....	182
ETUDES DE PHOTOMÉTRIE.....	194
ETUDE DE L'INTENSITÉ SONORE.....	202
DETERMINATION DE L'INDICE DE REFRACTION DE MILIEUX TRANSPARENTS SOLIDES ET LIQUIDES A L'AIDE DU MICROSCOPE .....	217
DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR FOCAL DES LENTILLES PAR LA MÉTHODE DE BESSEL .....	234
BIBLIOGRAPHIE.....	240

# RÈGLES DE PROTECTION DU TRAVAIL DANS LE LABORATOIRE DE PHYSIQUE PHARMACEUTIQUE

## Règles générales

- Pendant les heures de travaux pratiques, une blouse de protection sera portée et les vêtements synthétiques seront évités
- Seule la présence des instruments expérimentaux, du cahier et de l'ordinateur est autorisée sur la table de travail. Les objets personnels seront stockés dans des endroits désignés pour leur stockage
- Les travaux pratiques seront effectués uniquement sous la supervision de l'enseignant
- Avant d'utiliser des substances, vérifiez l'étiquette (trois fois)
- L'expérience en cours ne sera pas laissée sans surveillance
- Il est strictement interdit de goûter les produits chimiques du laboratoire
- L'utilisation de la verrerie de laboratoire dans le but de boire ou de manger est strictement interdite
- Verrerie sera vérifiée pour être en bon état de fonctionnement et lavé avant et après utilisation (trois fois avec de l'eau distillée)
- Afin d'éviter la contamination des substances, il n'est pas permis d'échanger les bouchons entre les récipients, ni d'insérer des pipettes d'un récipient à l'autre, sans le laver au préalable.

## En cas d'accident chimique

En cas de brûlure avec des substances corrosives, il est nécessaire de laver la plaie à grande eau et de traiter avec diverses substances, en fonction de l'agent chimique qui a causé la brûlure :

- *brûlures causées par des acides* : une base sera utilisée pour la neutralisation - solution de bicarbonate de sodium à 2%

- *brûlure causée par les bases* : un acide sera utilisé pour la neutralisation - solution d'acide borique à 2%

- *brûlure thermique* : appliquer des préparations pharmaceutiques spéciales destinées au traitement des brûlures, par exemple : OXIMED

Une visite médicale est obligatoire après tout accident, pour toutes les personnes qui y ont été impliquées !

# GRANDEURS PHYSIQUES ET UNITÉS DE MESURE

Les grandeurs physiques définissent les propriétés de leurs corps caractériser les processus dans lesquels les changements qui se produisent peuvent être décrits quantitativement.

Des exemples de grandeurs physiques sont : la masse, la température, la vitesse, la charge électrique. La physique a longtemps été appelée la science de la mesure, car l'étude des phénomènes physiques implique la mesure des grandeurs qui les caractérisent.

La mesure est un processus par lequel on peut comparer la grandeur physique respective avec une grandeur bien définie, de même nature, qu'un a été choisi comme unité de mesure. Cette comparaison (ou mesure) se fait au moyen d'un instrument de mesure.

## EXEMPLES DES UNITÉS DE MESURE :

1 mètre pour longueur , 1 seconde pour temp , 1 kg pour masse .

Certaines grandeurs physiques sont des grandeurs fondamentales, définies uniquement par description de la procédure de mesure.

Par exemple, la distance est déterminée par la mesure avec une règle et le temps en mesurant avec une horloge. Les autres grandeurs physiques sont des grandeurs dérivées, car elles sont obtenues par des formules de calcul utilisant les grandeurs fondamentales .

Par exemple, la vitesse représente le rapport entre la distance parcourue par un corps dans une période de temps .

Au fil du temps, différents systèmes d'unités de mesure ont été utilisées comme nous, les grandeurs fondamentales /de base ainsi que d'autres unités de mesure correspondantes .

Aujourd'hui, le **Système international d'unités**, SI, est le plus fréquemment utilisé, employant les grandeurs et unités de mesure fondamentales suivantes :

N° crt	Grandeur physique	Unité de mesure	SI	CGS
1	Temps	Deuxième (s)	[t] <sub>SI</sub> = 1s	[t] <sub>CGS</sub> = 1s
2	Distance	Mètre (m)	[d] <sub>SI</sub> = 1m	[d] <sub>CGS</sub> = 1 cm
3	Masse	Kilogramme (kg)	[m] <sub>SI</sub> = 1 kg	[m] <sub>CGS</sub> = 1g
4	Température	Kelvin	[T] <sub>SI</sub> = 1K	[T] <sub>CGS</sub> = 1K
5	Une quantité de substance	Mole	[v] <sub>SI</sub> = 1mol	[v] <sub>CGS</sub> = 1mol
6	L'intensité du courant électrique	Ampères	[I] <sub>SI</sub> = 1A	[I] <sub>CGS</sub> = 1A
7	Intensité lumineuse	La bougie	[E] <sub>SI</sub> = 1cd	[E] <sub>CGS</sub> = 1cd

**MÈTRE - UNITÉ de mesure pour LONGUEUR ( m )** Le mètre est la longueur égale à 1650763,73 longueurs d'onde dans le vide du rayonnement qui correspond à la transition entre les niveaux d'énergie 2p10 et 5d5 de l'atome de Krypton 86.

*Observation*

La définition du mètre a été adoptée par la 11e Conférence générale des poids et mesures en 1960 à travers la 6e résolution.

**LE KILOGRAMME - UNITÉ de mesure pour MASSE ( Kg ):** Le kilogramme est la masse du prototype international. Le terme poids désigne la même quantité avec une force  $G = m \cdot g$  - où  $g$  est l'accélération gravitationnelle ;  $g=9.80665 \text{ m/s}^2$

*Observation:*

La définition du kilogramme a été adoptée par les première et troisième Conférences générales des poids et mesures en 1889 et 1901, respectivement. Le kilogramme en tant que "prototype international" est conservé au Bureau international des poids et mesures à Sèvres, dans les conditions fixées par la Conférence générale des poids et mesures à partir de 1889.

**SECONDE - UNITÉ ( S ) de mesure pour TEMPS** La seconde est la durée de 9192631770 périodes du rayonnement qui correspond à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de Césium 133.

*Note:*

La définition de la seconde a été adoptée par la 13e Conférence des poids et mesures de 1967 à travers la 1ère résolution.

**AMPÈRE - L'UNITÉ D'INTENSITÉ DU COURANT ÉLECTRIQUE ( A )** L'ampère est l'intensité d'un courant électrique qui, maintenu dans deux conducteurs rectilignes parallèles de longueur infinie et de section circulaire négligeable, placés dans le vide, à une distance de 1m de chacun autre, produira entre ces conducteurs une force de 1 N sur une longueur de 1 m.

*Observation:*

La définition de l'ampère a été adoptée par la 9e conférence des poids et mesures de 1948 à travers la 2e résolution.

**CANDELA - L'UNITÉ D'INTENSITÉ LUMINEUSE ( Cd )** La candela est l'intensité lumineuse dans une direction donnée d'une source qui émet un rayonnement monochromatique avec une fréquence de  $540.10^{12} \text{ Hz}$  et dont l'intensité énergétique dans cette direction est

*Observation:*

La définition de la bougie a été adoptée par la 16e Conférence des poids et mesures de 1979



**LE KELVIN - UNITÉ de mesure pour TEMPÉRATURE THERMODYNAMIQUE ( K )** Un Kelvin est la fraction  $1/273,16$  de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

*Observation:*

La définition Kelvin a été adoptée par la 13e Conférence des poids et mesures en 1967 à travers la 4e résolution.

La même unité de mesure et le même symbole sont utilisés pour évaluer une plage de température.

**L'UNITÉ -MOLE de mesure pour LA QUANTITÉ DE SUBSTANCE ( mol )**

a) La mole représente la quantité d'atomes déterminée expérimentalement dans 0,012 kg de  $C^{12}$ .

b) Chaque fois que la taupe est utilisée, les entités élémentaires doivent être spécifiées, elles peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupes spécifiés par ces particules.

*Observation:*

La définition de la taupe a été adoptée par la 14e conférence des poids et mesures à partir de 1971

Autres unités de mesure :

**L'angle du plan** est mesuré en **radians** .

**Le radian** est l'angle plan avec le sommet au centre d'un cercle qui délimite sur la circonférence du cercle un arc dont la longueur est égale au rayon du cercle.

La définition du radian a été adoptée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) à travers la recommandation R31, partie 1.

**L'angle solide** - est mesuré en **stéradians** .

**Le stéradian** est l'angle solide au sommet au centre d'une sphère qui délimite à la surface de la sphère une aire égale à l'aire d'un carré dont le côté est égal au rayon de la sphère.

La définition du radian a été adoptée par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) à travers la recommandation R31, partie 1.

Le premier étalon de longueur était une barre faite d'un alliage platine-iridium appelé mètre étalon, en 1959 le Yard est défini :  $1 \text{ yard} = 0,9144 \text{ m}$  ;

$1 \text{ pouce} = 2,54 \text{ cm}$

## **AUTRES UNITÉS DE MESURE :**

### **Unités de mesure pour force :**

$$1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$$

$$1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$$

### **Unités de mesure pour masse :**

$$1 \text{ livre (lb)} = 453,5923 \text{ g} = 0,4535923 \text{ kg}$$

$$1 \text{ once (oz)} = 28,35 \text{ g}$$

### **Unités de mesure pour l'énergie**

$$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4186,10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

### **Unités de mesure pour longueur**

$$1 \text{ pouce} = 25,4 \text{ mm}$$

$$1 \text{ verge (verge)} = 0,9144 \text{ m}$$

$$1 \text{ mille} = 1609,344 \text{ m}$$

$$1 \text{ mille marin} = 1853,18 \text{ m}$$

### **Unités de mesure pour la surface**

$$1 \text{ ar} = 100 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ acre} = 4046,86 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ sur}^2 \text{ (pouce carré)} = 6,452 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ verge}^2 \text{ (verge carré)} = 0,9144 \text{ m}^2$$

### **Unités de mesure pour le volume**

$$1 \text{ gallon américain} = 3,785 \text{ l} = 3785 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ gallon Angleterre} = 4,546 \text{ l} = 4546 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ baril américain de pétrole} = 158,98 \text{ l}$$

$$1 \text{ once (liquide)} = 28,413 \text{ cm}^3 = 1,7339 \text{ po}^3$$

### **Unités de mesure pour la température**

Température en degrés Fahrenheit :  $t_F = (9/5) \cdot t_C + 32$

Température en degrés Réaumur :  $t_R = t_K - 218.52$

1 gramme (SI) = 0,03527 once

1 feddan (Égypte) = 1,038 acres = 0,42 ha

1 ardeb (Égypte) = 191,612 l

1 hamlah (Égypte) = 74 890 kg

1 drachme (Turquie) = 3.207g

1 cuffisco (Sicile) = 22.1981 l

1 cuartilo (Mexique) = 0.547 l

1 cuarteron (Espagne) pour l'huile = 0,151 l

1 diner (Espagne) = 1,199 g

1 chittak (Inde) = 58,319 g

1 buncal (Indonésie) = 46,344 g

1 baril de ciment (USA) = 170 550 kg

1 baril de pétrole (USA) = 158,987 kg

1 fer (unité de masse pour l'épaisseur de peau) = 1/48 po = 0,539 mm

1 koku (Japon) = 180,4857 dm<sup>3</sup>

1 kivan (Japon) = 3,75 kg

## LONGUEURS MESURÉES – EXEMPLES

<b>Distance</b>	<b>Unité de mesure mètres (m)</b>
Distance au quasar le plus éloigné	$6 \cdot 10^{25}$
Distance à la nébuleuse la plus proche (La nébuleuse de la mer d'Andromède)	$2 \cdot 10^{22}$
Le rayon de notre galaxie	$6 \cdot 10^{19}$
Distance à l'étoile la plus proche (Alpha Centauri)	$4,3 \cdot 10^{16}$
Rayon du soleil	$6,9 \cdot 10^8$
Rayon de Terre	$6,4 \cdot 10^6$
La hauteur d'un homme	$1,8 \cdot 10^0$
L'épaisseur d'un livre	$4 \cdot 10^{-2}$
L'épaisseur d'une page dans un livre	$1 \cdot 10^{-4}$
La taille d'un virus de la poliomyélite	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Le rayon d'un atome d'hydrogène	$5 \cdot 10^{-11}$
Le rayon effectif d'un proton	$1,2 \cdot 10^{-15}$

## INTERVALLES DE TEMPS MESURÉS

Intervalles de temps	Unité de mesure Secondes (s)
Âge de la Terre	$1,2 \cdot 10^{17}$
La durée de vie moyenne d'un être humain	$2 \cdot 10^9$
La durée de la révolution de la Terre autour du Soleil (1 an)	$3,1 \cdot 10^7$
La durée de la rotation de la Terre autour de son axe (1 jour)	$8,6 \cdot 10^4$
La demi-vie des neutrons libres	$7 \cdot 10^2$
Le temps entre deux battements cardiaques normaux	$8 \cdot 10^{-1}$
La période du diapason qui donne la note A	$2,3 \cdot 10^{-3}$
La période de rotation typique d'une molécule	$1 \cdot 10^{-12}$
La demi-vie des pions neutres	$2,2 \cdot 10^{-16}$

**Pour la force :**  $1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$  ou  $1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$

**Pour les travaux mécaniques :**  $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$

$1 \text{ P (équilibre)} = 1 \text{ dyn.s/cm}^2 = 0,1 \text{ Pa.s}$

$1 \text{ m} = (\text{stokes}) = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

$1 \text{ gauss} = 1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$

$1 \text{ oersted} = 1 \text{ Oe} = (100/4 \text{ Pi}).(\text{A/m})$

$1 \text{ pouce} = 25,4 \text{ mm}$

$1 \text{ verge} = 0,914 \text{ m}$

Température en degré Celsius:  $T = \frac{5}{9}(T_F - 32) + 273.15$  où  $T_F$  est la température Fahrenheit.

<b>Autres unités de mesure de la masse</b>		
<b>Non.</b>	<b>Nom</b>	<b>SCG</b>
1	1 grain	0.065g
2	1 scrupule (apoth) (=20g)	1.29g
3	1 drachme (apoth) (=60g)	3.88g
4	1 once (avdp)	1.77g
5	1 once (apoth) (480 grains)	31.10g
6	1 once (avdp) (437,5 grains)	28.35g
7	1 livre ou livre (apoth)	373,24 grammes
8	1 livre ou livre (avdp) 16 onces = 7000 grains	453,59 grammes

### **P RÉFIXES UTILISÉS POUR LES MULTIPLES ET LES SOUS-MULTIPLES D'UNITÉS DE MESURE**

$10^{-1}$	Déci	$10^1$	Déca
$10^{-2}$	Centi	$10^2$	Hecto
$10^{-3}$	Mili	$10^3$	Kilo
$10^{-6}$	Micro	$10^6$	Méga
$10^{-9}$	Nano	$10^9$	Giga
$10^{-10}$ mètres	Å (Angström)		
$10^{-12}$	Pico	$10^{12}$	Téra
$10^{-15}$	Femto	$10^{15}$	Péta
$10^{-18}$	Atto	$10^{18}$	Exa
		$10^{21}$	Zetta
$10^{-24}$	Yocto	$10^{24}$	Yotta
$10^{-27}$	Ronto	$10^{27}$	Ronna
$10^{-30}$	Quecto	$10^{30}$	Quetta

# THÉORIE DES ERREURS

## 1. CALCUL DES ERREURS POUR LES QUANTITÉS MESURÉES DIRECTEMENT

Les mesures ne peuvent être effectuées qu'avec un degré de précision limité et, par conséquent, la valeur réelle d'une grandeur ne peut être connue.

Les résultats des mesures ne représentent qu'une valeur approximative plus ou moins proche de la valeur réelle. L'impossibilité de connaître la valeur réelle des grandeurs à mesurer s'explique par des erreurs commises lors du processus de mesure.

***L'ERREUR représente la différence entre la valeur réelle et celle mesurée .***

Les erreurs sont inévitables, mais elles peuvent être réduites en prenant certaines précautions. Il est indispensable de connaître le degré de précision des mesures qui peut être apprécié en évaluant l'erreur commise.

La détermination d'une grandeur physique peut se faire directement, lorsque le résultat est lu directement sur l'instrument de mesure, ou indirectement, lorsqu'il est obtenu en le calculant à partir d'autres grandeurs physiques déterminées directement (par exemple, la longueur  $l$ , le temps  $t$ , la masse  $m$  sont lues directement, tandis que la vitesse  $v$  est obtenue à partir du calcul.)

Les erreurs sont classées comme ***erreurs systématiques*** ou ***erreurs accidentelles*** .

La caractéristique des ***erreurs systématiques*** est la distorsion des mesures à chaque fois dans le même sens, augmentant ou diminuant toutes les mesures.

***Les erreurs accidentelles*** , qui sont dues à des causes aléatoires, prennent des valeurs différentes dans les deux sens, dans les mesures successives d'une même grandeur. Ils ne sont pas égaux en valeur absolue, différant généralement par des mesures différentes.

Les erreurs accidentelles obéissent aux lois du calcul de probabilité et se caractérisent par les propriétés suivantes :

- ✓ La probabilité de commettre une erreur positive est égale à celle de commettre une erreur négative.
- ✓ La probabilité de faire une petite erreur est égale à celle de faire une grosse erreur.
- ✓ La somme des erreurs accidentelles produites lors de la mesure de la même quantité tend vers zéro lorsque le nombre de mesures est très grand.

L'erreur réelle est la différence entre la valeur mesurée et la valeur réelle d'une grandeur :

$$\Delta x_1 = x_1 - x$$

$$\Delta x_2 = x_2 - x$$

$$\Delta x_3 = x_3 - x$$

.....

$$\Delta x_n = x_n - x$$

-----

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = \sum_{i=1}^n x_i - nx$$

Ou 
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{\sum \Delta x_i}{n} = \bar{x} = \varepsilon$$

où  $\bar{x}$  - est la moyenne des valeurs de  $x_i$

$\varepsilon$  est la moyenne des erreurs

pour un grand nombre d'erreurs :  $\varepsilon \rightarrow 0$

### MOYENNE DES VALEURS ABSOLUES DES ERREURS INDIVIDUELLES

$$|\Delta x_1| = |x_1 - x|$$

$$|\Delta x_2| = |x_2 - x|$$

$$|\Delta x_3| = |x_3 - x|$$

.....

$$|\Delta x_n| = |x_n - x|$$

$$\text{et } \bar{x} = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3| + \dots + |\Delta x_n|}{n}$$

Une possibilité de choisir des carrés d'erreur individuels est :

$$(\Delta x_1)^2 = (x_1 - x)^2$$

$$(\Delta x_2)^2 = (x_2 - x)^2$$

$$(\Delta x_3)^2 = (x_3 - x)^2$$

.....

$$(\Delta x_n)^2 = (x_n - x)^2$$

Si  $x$  représente la moyenne des carrés, alors la somme des carrés des erreurs devient minimale :



$$S(x) = (x_1 - x)^2 + (x_2 - x)^2 + (x_3 - x)^2 + \dots + (x_n - x)^2$$

La dérivée par rapport à x s'annule et s'obtient comme suit :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{ qu'on appelle } \mathbf{LA\ VALEUR\ MOYENNE}$$

Elle peut être déterminée comme suit : **L'ERREUR QUADRATIQUE MOYENNE D :**

$$m = \pm \sqrt{\frac{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + (\Delta x_3)^2 + \dots + (\Delta x_n)^2}{n}}$$

Ou 
$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n}}$$

Ce paramètre dépend très peu du nombre de mesures, si un nombre suffisant de déterminations est effectué.

$m^2$  est appelé **DISPERSION** – il représente le carré de l'erreur quadratique moyenne.

**ERREURS APPARENTES :**

$$v_1 = x_1 - \bar{x}$$

$$v_2 = x_2 - \bar{x}$$

$$v_3 = x_3 - \bar{x}$$

.....

$$v_n = x_n - \bar{x}$$

-----

$$\sum_{i=1}^n v_i = \sum_{i=1}^n x_i - n\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i - \frac{n \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0$$

Le lien entre l'erreur réelle et l'erreur apparente est le suivant :

$$\sum x_i - v_i = \bar{x} - n = \varepsilon$$

L'erreur quadratique moyenne peut également être exprimée en utilisant les erreurs apparentes :

$$\sum x_i = v_i + \varepsilon$$

$$\varepsilon = \Delta x_1 - v_1$$

$$\varepsilon = \Delta x_2 - v_2$$

.....

$$\varepsilon = \Delta x_n - v_n$$

---


$$n\varepsilon = \sum \Delta x_i - \sum v_i = \sum \Delta x_i$$

$$\text{donc } \varepsilon = \frac{\sum \Delta x_i}{n}$$

$$\sum (\Delta x_i)^2 = \sum v_i^2 + 2\varepsilon \sum v_i + n\varepsilon^2$$

$$\sum (\Delta x_i)^2 = \sum v_i^2 + n\varepsilon^2$$

$$\frac{\sum (\Delta x_i)^2}{n} = \frac{\sum v_i^2}{n} + \frac{\sum (\Delta x_i^2)}{n} = \frac{\sum v_i^2}{n} + \frac{\sum (\Delta x_i^2)}{n} + \frac{2 \sum_i \sum_j \Delta x_i \Delta x_j}{n^2}$$

$$\text{on obtient ainsi la formule suivante : } m^2 = \frac{\sum (\Delta x_i)^2}{n}$$

ensuite, la formule suivante est obtenue pour l'erreur quadratique moyenne :  $m = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}$

où  $v_i = x_i - \bar{x}$  et  $n$  représente le nombre de mesures.

**L'ERREUR QUADRATIQUE MOYENNE** devient :  $m = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

Si une certaine valeur d'une mesure  $x_i$  et  $m$  est connue, alors on s'attend à ce que la valeur réelle soit incluse dans l'intervalle :  $(x_i - m, x_i + m)$ .

Parce que la valeur moyenne ne coïncide pas avec la valeur réelle, elle présente un écart caractéristique par rapport à celle-ci, également appelé **ERREUR QUADRATIQUE DE LA**

**MOYENNE ARITHMÉTIQUE**:  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$ .

**La valeur réelle sera incluse dans l'intervalle suivant**  $(\bar{x} - \mu, \bar{x} + \mu)$ .

Les propriétés des erreurs accidentelles peuvent être exprimées à l'aide de la fonction de distribution gaussienne, si une fonction continue est acceptée pour les erreurs accidentelles :

$$P(v) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right)$$

où  $\sigma$  est une constante qui dépend de la nature des mesures et de la précision des exécutions et  $P(v)$  représente la densité de probabilité ou la probabilité que l'erreur d'une grandeur soit incluse dans l'intervalle  $(v, v+dv)$ .

La probabilité que l'erreur soit incluse dans l'intervalle  $(-\delta, +\delta)$  est :

$$\begin{aligned} \alpha &= \int_{-\delta}^{+\delta} P(v)dv = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\delta}^{+\delta} \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right)dv = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\eta}^{+\eta} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\eta} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt \end{aligned}$$

$$\text{Où } \eta = \frac{\delta}{\sigma} \quad ; \quad v = \sigma \cdot t$$

En effectuant l'intégrale, nous arrivons à une somme calculée dans les tableaux pour différentes valeurs de  $\eta$ .

L'interprétation de  $\sigma$  est la suivante : si  $\eta=1$ , alors  $\sigma = \delta$ .

Ainsi,  $2\sigma$  représente l'intervalle  $(-\sigma, +\sigma)$ , dans lequel environ 68% des erreurs sont incluses, qui représente une fraction de 2/3 du nombre d'erreurs.

$\alpha$  - représente la probabilité que l'erreur soit incluse dans l'intervalle  $(-\delta, +\delta)$  ;

$\alpha$  - est appelé coefficient de confiance.

$(-\delta, +\delta)$  - intervalle de confiance.

**Ainsi, la probabilité que la valeur réelle  $x$  soit incluse dans l'intervalle  $(x_i - m, x_i + m)$  représente 68 %.**

**L'erreur quadratique moyenne de la moyenne a l'interprétation suivante :**

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} : \text{il y a une probabilité de 68\% ( } \approx 2/3 \text{ ) pour que la valeur réelle de}$$

**la grandeur mesurée soit incluse dans l'intervalle  $(\bar{x} - \mu, \bar{x} + \mu)$**

**et les résultats sont exprimés sous la forme :  $x = \bar{x} \pm \mu$**

**Parfois, le but est de trouver l'intervalle  $(-\delta, +\delta)$  dans lequel 50% des erreurs sont incluses.**

Dans ce cas, la valeur obtenue pour une seule mesure est l'erreur quadratique moyenne :

$$m = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ et l'erreur quadratique moyenne de moyenne :}$$

$$\mu_p = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \text{ qui sont appelées erreurs probables.}$$

Afin d'obtenir un aperçu clair des erreurs accidentelles, il est utile d'utiliser les erreurs relatives définies pour chaque mesure individuelle par les rapports :  $v_1/x_1, v_2/x_2, \dots, v_n/x_n$ .

Et pour la moyenne arithmétique  $\pm \frac{m}{x}$ .

Si ces deux types de relations sont multipliés par 100, nous obtenons les valeurs relatives en pourcentage.

## 2. CALCUL DES ERREURS POUR LES QUANTITES RESULTANT D'UN CALCUL

Dans la plupart des cas, il s'agit de déterminer une grandeur obtenue à partir de mesures directes. Connaissant les erreurs commises lors de la mesure des quantités pouvant intervenir dans l'obtention du résultat final, il convient de trouver une méthode pour calculer l'erreur sur le résultat lui-même. Les erreurs étant très faibles, la méthode de développement en série peut être utilisée.

La théorie des erreurs stipule que si un grand nombre de mesures sont effectuées directement sur chaque quantité qui entre dans une formule, l'erreur quadratique moyenne de la moyenne de la quantité résultant d'un calcul est donnée par la relation  $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = Y$  la grandeur résultant d'un calcul effectué à l'aide de grandeurs directement mesurables  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Et :

$$\mu = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \mu_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \mu_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \mu_n\right)^2}$$

on observe que la relation :  $m = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}$  est un cas particulier de la formule ci-dessus pour

$$f = x_i = x$$

$$\text{et } \mu_1^2 = \frac{\sum v_{i1}^2}{n_1(n_1-1)}; \quad \mu_2^2 = \frac{\sum v_{i2}^2}{n_2(n_2-1)}; \quad \dots; \quad \mu_N^2 = \frac{\sum v_{iN}^2}{n_N(n_N-1)}$$

### 3. MÉTHODE DES MOINDRES CARRÉS

Il existe des travaux de laboratoire dont le but est de déterminer une grandeur qui constitue un coefficient constant à partir d'une relation linéaire de la forme :  $\underline{\mathbf{Y}} = \mathbf{A} \cdot \underline{\mathbf{x}} + \mathbf{B}$ .

Une telle relation est la loi de Hooke, par exemple :  $F=kx$ , dans laquelle on demande la détermination du coefficient  $k$  ou l'accélération du centre du cylindre roulant sur un plan incliné avec frottement de roulement. Selon le péché  $\alpha \approx \alpha$  ( pour  $\alpha$ - petit :  $a= A \cdot \alpha + B$  ) où  $B$  est requis.

En effectuant plusieurs mesures pour  $x$  et  $y$ , les constantes  $A$  et  $B$  peuvent être déterminées à partir d'une représentation graphique. Habituellement, les points représentatifs ne sont pas exactement sur une ligne droite, étant affectés par des erreurs accidentelles. La question se pose par quelles méthodes les constantes  $A$  et  $B$  doivent être déterminées pour que leurs valeurs soient aussi proches que possible de la valeur réelle.

Ce problème est résolu par la « *méthode des moindres carrés* » qui repose sur la condition suivante : la valeur la plus probable des constantes sera celle pour laquelle la somme des erreurs quadratiques est minimale.

Il peut s'écrire en conséquence :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_i y_i$$

$$\overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_i x_i^2$$

$$\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_i x_i y_i$$

$$\text{Donc: } \overline{x^2} A + \bar{x} B - \overline{xy} = 0$$

$$\bar{x} A + B - \bar{y} = 0$$

Les solutions de ces équations constituent les valeurs recherchées pour  $A$  et  $B$  :

$$A = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}$$

$$B = \frac{\overline{x^2} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \overline{xy}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}$$

La méthode peut également être appliquée dans des relations non linéaires obtenues à partir de démonstrations similaires.

#### 4. MÉTHODE STATISTIQUE DE CALCUL DE LA VALEUR MOYENNE $\bar{x}$

1. Le mode de calcul statistique est entré

Mode → ÉTAT

2. Entrez les données dans les statistiques :

10.52 - DATA	}	ou M+
10.65 - DATA		
10.45 - DATA		
10.45 - DATA		
10.48 - DATA		

3. Le nombre de données saisies dans la statistique doit être vérifié :  $n=5$

(SHIFT)(n) ⇒  $n=5$

4. La valeur moyenne est calculée :

$\bar{x} = 10,51$

## MÉTHODE STATISTIQUE DE CALCUL DE L'ERREUR

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{(10,52 - 10,51)^2 + (10,65 - 10,51)^2 + (10,45 - 10,51)^2 + (10,45 - 10,51)^2 + (10,48 - 10,51)^2}{5 \cdot 4}}$$

1. Le mode de calcul statistique est entré
2. La mémoire précédente doit être supprimée
3. Saisissez les différences en mémoire :

$$(10,52-10,51)=\text{DATE}$$

$$(10,65-10,51)=\text{DATE}$$

$$(10,45-10,51)=\text{DATE}$$

$$(10,45-10,51)=\text{DATE}$$

$$(10,48-10,51)=\text{DATE}$$

4. Chèque non. de données de la mémoire : n=5

$$(\text{MAJ})(6) \Rightarrow n=5$$

5. La somme des carrés est calculée

$$\sum x^2 = 0,0278$$

6. Ensuite, le calcul suivant est effectué  $\frac{\sum x^2}{5 \cdot 4} = 1,39 \cdot 10^{-3}$

7. Il est calculé  $\sqrt{\frac{\sum x^2}{5 \cdot 4}} = \sqrt{1,39 \cdot 10^{-3}} = 0,0372$

8. L'erreur calculée est  $\mu = 0,0372$

Ainsi , la plage des valeurs réelles est :

$$x_{real} \in (10,51 - 0,0372 ; 10,51 + 0,0372 )$$

$$x_{real} \in (10,4728 ; 10,5472 )m$$

# DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DES SOLIDES

## INTRODUCTION

La densité d'un matériau est une vieille notion physique depuis le siècle. XVII. Émile Littré définit la masse volumique comme le rapport entre la masse et le volume. Laplace utilise en 1810 pour la notion de densité celle de masse volumique, qui est encore associée en 1960 par le Bureau international des poids et mesures.

**La densité** est le rapport entre la masse et son volume :  $\rho = \frac{m}{V}$

**La densité relative** d'un matériau est le rapport entre sa densité et la densité d'un matériau de référence. Dans le cas des liquides, l'eau pure à 4 °C est utilisée comme référence. Dans le cas des liquides, la mesure précise de la masse volumique est effectuée à l'aide du pycnomètre. Dans le cas de la mesure de la densité de gaz ou de vapeurs, le gaz de référence est l'air. La densité est une quantité qui a l'unité de mesure suivante : kg/m<sup>3</sup>, et la densité relative n'a pas d'unité de mesure.

Les densimètres sont utilisés pour la recherche et le développement, le contrôle qualité, les transactions commerciales, dans les secteurs industriels tels que :

- ***pétrochimie*** : de nombreuses règles définissent l'utilisation des différents modèles de densimètres dans ce secteur.
- ***Pharmacie*** : selon les modalités décrites dans la Pharmacopée Européenne.
- ***Boissons*** : pour déterminer la concentration en sucre des boissons sucrées, et pour la fabrication de la bière, pour déterminer le degré d'alcool dans les boissons alcoolisées ;
- ***Chimie*** : en mesurant la densité, de nombreux produits chimiques sont autorisés tels que : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH, HNO<sub>3</sub>, etc. ;
- ***Cosmétiques*** : la production d'articles cosmétiques nécessite de nombreux contrôles sur les matières premières et les produits finis dans le respect des lois



## LA DENSITÉ ou la masse volumique

C'est une grandeur physique qui caractérise la masse de l'unité de volume. Il est généralement noté avec la lettre grecque  $\rho$  ( *rhô* ) car il est également utilisé par le Bureau international des poids et mesures.

La masse volumique est par définition le rapport entre la masse et le volume  $\rho = \frac{m}{V}$

Où:

m- la masse du matériau étudié

V- le volume du matériau étudié

La densité est synonyme de densité absolue et de densité spécifique

**L'unité de mesure dans le Système international est : kilogramme par mètre cube : ( kg  $\cdot$  m<sup>-3</sup> ou kg/m<sup>3</sup> ) :  $[\rho]_{SI} = \frac{kg}{m^3}$**

**L'unité de mesure dans le système CGS est : gramme par centimètre cube : ( g  $\cdot$  cm<sup>-3</sup> ou g/cm<sup>3</sup> ) :  $[\rho]_{CGS} = \frac{g}{cm^3}$**

### La densité ou la masse volumique en vrac

**ou masse volumique apparente** est définie comme le rapport de la masse du matériau et du volume de l'assemblage de grains :  $\rho_{apparent} = \frac{m_{mat}}{V_{apparent}}$

**La masse volumique réelle** est le rapport entre la masse du matériau et la masse réelle des grains

$$\rho_{real} = \frac{m_{mat}}{V_{real}}$$

### Densité absolue - est utilisé pour les matériaux poreux.

Cette densité est utilisée dans le cas de matériaux poreux. Pour ceux-ci, le matériau doit être finement broyé et la densité réelle de la poudre obtenue est mesurée. La densité absolue de matière est le rapport entre la masse du matériau et le volume réel auquel on a soustrait le volume des pores (ouverts et fermés).

La densité absolue est égale à la densité des particules pour les matériaux non poreux.

$$\rho_{absolute} = \frac{m_{mat}}{V_{absolute}} = \frac{m_{mat}}{V_{real} - V_{pore}}$$

**Tableau 1 : différentes valeurs de la densité des matériaux solides**

<b>minérales matériaux communs</b>	<b>densité (kg/m<sup>3</sup>)</b>
amiante	2500
argile	1300 - 1700
calcaire	2000 - 2800
compost	550 - 600
craie	1700 - 2100
diamant	3517
granit	1800 - 2500
carreaux	1600 - 1900
kaolin	2260
marbre	2650 - 2750
quarz	2650
Pierre ponce	910
porcelaine	2500
sable	1600 (sec) - 2000 (saturé)
silicium	2330
sol végétal	1250
gamme de verre	2530
coton	20-60
<b>Métaux et alliages</b>	<b>densité (kg/m<sup>3</sup>)</b>
acier	7500-8100
acier à haute vitesse	8400 - 9000
fonte	6800 - 7400
aluminium	2700
argent	10500
béryllium	1848
bronze	8400 - 9200
Carbone (diamant)	3508
carbone (graphite)	2250
en permanence	8910
cuivre	8920
duralumin	2900

<b>minérales matériaux communs</b>	<b>densité (kg/m<sup>3</sup>)</b>
étain	7290
fer	7860
iridium	22560
laiton	7300 - 8800
lithium	530
magnésium	1750
mercure	13545,88
molybdène	10200
nickel	8900
or	19300
osmium	22610
palladium	12000
platine	21450
mener	11350
potassium	850
tantale	16600
titane	4500
tungstène	19300
uranium	18700
vanadium	6100
zinc	7150

## MESUREMENTS AVEC BALANCE

Le principe de fonctionnement des balances électroniques repose sur les variations des caractéristiques électriques de certains matériaux lorsqu'ils sont soumis à une compression mécanique. Les variations électriques sont mesurées et enregistrées sur un écran qui permet l'expression de la masse du corps inconnu qui comprime les éléments constitutifs du balancier.

En fonction des masses pouvant être mesurées, les balances électroniques sont classées selon les divisions et la capacité de mesure :

### Exemple de balances analytiques :



**équilibre** (0,1  $\mu$ g / 3g);

**solde** (0,001 mg / 3 g);

**solde** (0,01 mg / 30 g);

**solde** (0,1 mg / 160 g);

**balance de précision** (1 mg / 160 g - 60 kg )

## BALANCE À MAIN



Il est utilisé pour peser de petites quantités de substance : généralement 0,06 g – 100-200 g, plusieurs modèles de pesée sont connus de 0,25- 0,5- 1- 2- 5- 10 – 20 g (avec une sensibilité décroissante).

De manière constructive, le balancier à main est constitué d'un levier métallique suspendu, avec la

flèche pointant vers le haut, avec deux bras égaux qui oscillent autour d'un point d'appui terminé par un anneau.

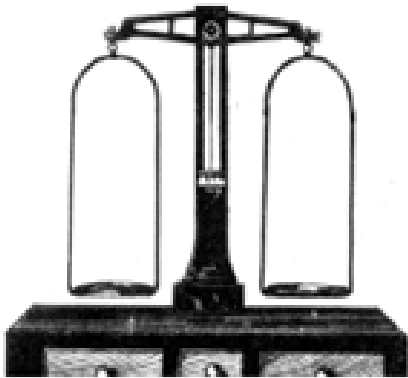
Aux extrémités des bras, 2 plaques anti-corrosives, généralement en celluloïd ou en matière plastique, sont suspendues dans 3 cordons de soie.

L'équilibre des mains peut être simple ou avec un curseur.

Avec les balances à main, la pesée s'effectue en équilibrant le poids de la substance sur l'un des plateaux avec des poids correspondants placés sur le plateau opposé. Sur la balance à main à curseur, l'un des bras, généralement celui de gauche, est divisé, le curseur glissant le long du levier qui indique le poids de la substance à peser (placé sur le plateau correspondant au bras non divisé).

Parfois, des poids supplémentaires peuvent être utilisés sur la plaque du bras gradué. Cette opération est déconseillée notamment pour les pesées de substances fortement actives.

**BALANCE PHARMACEUTIQUE :**

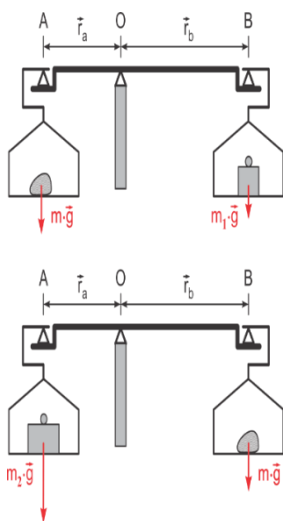


**Ou balance avec colonne :** Il est utilisé en pharmacie pour peser de 10 à 1000g ou de 5 à 500g avec une sensibilité au centigramme.

La balance est constituée d'une colonne métallique, montée verticalement sur un caisson ou support, généralement recouverte d'une plaque de marbre, à 1 à 3 tiroirs. Sur la partie supérieure de la colonne est posé sur un couteau, un levier horizontal à bras égaux, sur lequel deux plaques sont suspendues aux couteaux.

suspendues aux couteaux.

Le processus d'équilibrage de l'instrument est signalé par l'aiguille indicatrice, positionnée au milieu du levier et qui oscille avec lui devant un cadran gradué. Le processus d'équilibrage de l'instrument est vérifié avant chaque pesée, la balance pharmaceutique ayant des vis de réglage à l'extrémité de chaque bras.



**Pesée avec une balance à bras inégaux**

$$m \cdot g \cdot r_a = m_1 \cdot g \cdot r_b$$

$$m_2 \cdot g \cdot r_a = m \cdot g \cdot r_b$$

$$\frac{m}{m_2} = \frac{m_1}{m}$$

$$m = \sqrt{m_1 \cdot m_2}$$

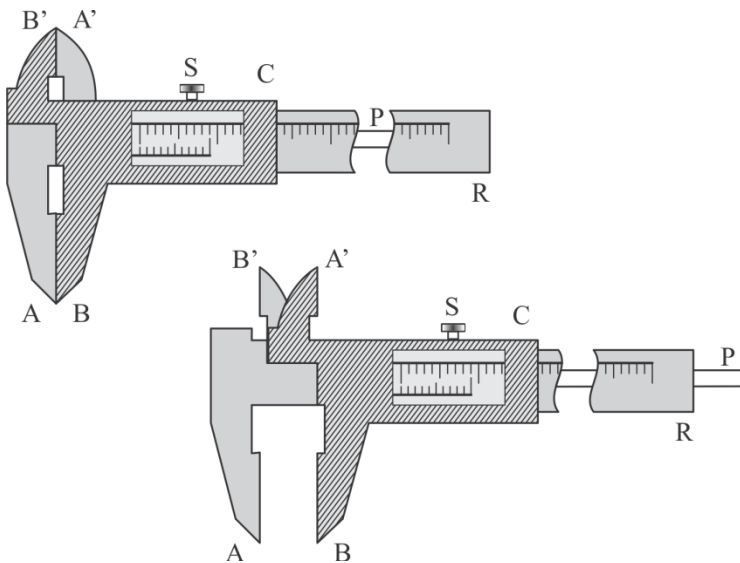
## MESUREMENT AVEC LE PIED Á COULLISE

Le pied à coulisse est un instrument de mesure de longueurs dont la construction est basée sur le principe du vernier linéaire. La précision des mesures effectuées avec le pied à coulisse varie entre

$$\frac{1}{10} \text{ et } \frac{1}{50} \text{ mm.}$$

### Description de l'appareil

Sur la figure ci-contre, on peut voir que l'étrier est composé des pièces suivantes :



- une règle métallique  $R$ , graduée en  $mm$ , qui se termine par un dispositif d'arrêt  $A$  d'un côté et un autre dispositif d'arrêt  $A'$ , du côté opposé ;
- une culasse mobile  $C$  ;
- un vernier  $V$  appliqué sur la culasse ;
- des dispositifs  $B$  de culasse  $B'$  correspondant aux dispositifs de butée  $A$  et  $A'$  servant à délimiter les cotes à mesurer ;
- lame mobile  $P$ , fixée à la culasse, la lame qui se déplace avec le vernier et qui sert à mesurer les profondeurs, tandis qu'elle  $AB$  sert à délimiter les épaisseurs, les diamètres extérieurs, etc., et  $A'B'$  sert à déterminer les diamètres intérieurs ;
- une vis  $S$  de blocage de la culasse.

**a) Mesure du diamètre intérieur de pièces cylindriques :**

Il est fait de telle manière que le dispositif d'arrêt est fixé à l'intérieur du cylindre  $A'$  à une extrémité du diamètre intérieur du cylindre, et en déplaçant la culasse, le dispositif mobile est fixé  $B'$  à l'autre extrémité du diamètre intérieur. La vis à tête cylindrique est vissée  $S$  puis la lecture est effectuée.

**b) Mesure du diamètre extérieur pour les pièces cylindriques :**

La mesure du diamètre extérieur pour des pièces cylindriques de l'épaisseur d'une barre, ou de l'épaisseur d'une plaque métallique, etc., se fait de la manière suivante : la tête de cylindre du vernier est déplacée et la pièce à mesurer est serrée entre les branches et pour que la pièce soit bien fixée, sans  $A$  la déformer  $B$ . Fixez la vis de culasse de manière à ce qu'elle ne bouge pas, puis effectuez la lecture selon les indications données ci-dessous.

**c) Mesurer la profondeur d'une pièce :**

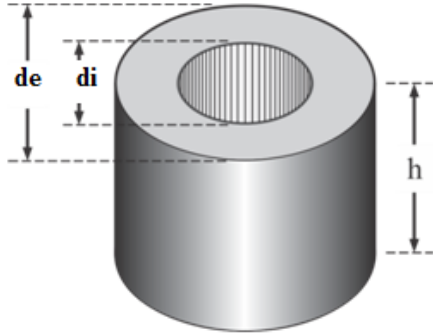
Cela se fait comme suit: pour mesurer avec précision la profondeur du cylindre, la culasse du vernier est déplacée. La lame se déplace avec la culasse. Lorsque la base du cylindre est atteinte, en appuyant le bord supérieur sur la règle du pied à coulisse, serrez la vis  $S$  et lisez les cotes sur la règle et sur le vernier.

## ÉTAPES DU TRAVAIL – MÉTHODE 1 :

1. La masse du matériau à étudier est déterminée à l'aide de la balance analytique du laboratoire
2. Calculer le volume du matériau solide considéré : un anneau de diamètre intérieur  $D_i$ , de diamètre

extérieur  $D_e$  et de hauteur  $h$ , à l'aide de la formule suivante :  $V = \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot (d_e^2 - d_i^2)$

$D_i$ ,  $D_e$  et  $h$  sont déterminés à l'aide du pied à coulisse.



3. La densité est calculée avec la formule :  $\rho = \frac{m}{V}$ .

4. 5 mesures sont effectuées pour  $h$ ,  $d_e$ ,  $d_i$ .

5. 5 calculs sont effectués pour  $V$  et  $\rho$ .

6. Notez les valeurs dans le tableau ci-dessous.

7. Les erreurs et l'intervalle pour les valeurs réelles doivent être calculés.

L'erreur moyenne et la plage des valeurs réelles sont calculées

$$\text{Valeur moyenne } \bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}$$

$$\text{L'ERREUR CARRÉALE MOYENNE DE LA MOYENNE } \mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n(n-1)}}$$

Intervalle pour les valeurs réelles :  $(\bar{\rho} - \mu, \bar{\rho} + \mu)$

**Tableau 1 : détermination de la masse volumique au niveau de l'anneau solide**

Non crt	h (cm)	de (cm)	di (cm)	V (cm <sup>3</sup> )	m (g)	$\rho \left( \frac{g}{cm^3} \right)$	$\bar{\rho} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$	$\mu \left( \frac{g}{cm^3} \right)$	$\rho_{\text{réel}} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$
1									
2									
3									
4									
5									



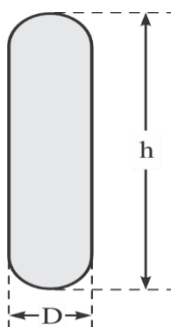
## ÉTAPES DU TRAVAIL – MÉTHODE 2 :

LECITHIN, ESENTIN, ACID AMINÉE capsule ou autres peuvent être choisis

1. La masse du matériau étudié est déterminée à l'aide de la balance.
2. Le diamètre et la hauteur sont mesurés à l'aide d'un pied à coulisse et sur la base de ces valeurs , nous pouvons calculer le volume des comprimés de lécithine qui est formé d'un cylindre + 2 s

$$\text{demi-sphères aux extrémités : } V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} (h - D) + \frac{\pi \cdot D^3}{6}$$

3. Avec le volume et les masses obtenus, nous sommes en mesure de calculer la densité , en utilisant la formule suivante :  $\rho = \frac{m}{v}$ .



4. Effectuez 5 mesures pour h et D.

5. 5 calculs doivent être effectués pour chaque V et  $\rho$ .

6. La valeur de densité moyenne doit être calculée à l'aide de la formule de

la moyenne arithmétique  $\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}$

7. L'erreur quadratique moyenne de la moyenne doit être calculé à l'aide de

la formule suivante :  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n(n-1)}}$

8. Calculez le intervalle de valeurs réelles  $(\bar{\rho} - \mu, \bar{\rho} + \mu)$ .

**Tableau 2 : détermination de la densité des comprimés de lécithine**

Non crt.	h(cm)	D(cm)	V(cm <sup>3</sup> )	m(g)	$\rho \left( \frac{g}{cm^3} \right)$	$\bar{\rho} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$	$\mu \left( \frac{g}{cm^3} \right)$	$\rho_{\text{réel}} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$
<b>1</b>								
<b>2</b>								
<b>3</b>								
<b>4</b>								
<b>5</b>								

**CONCLUSION** Les erreurs pour les grandeurs mesurées directement peuvent être calculées. En outre, les erreurs des quantités obtenues à partir d'un calcul peuvent être déterminées et les résultats peuvent être comparés. Des calculs similaires peuvent être effectués pour les matériaux avec différentes formes .

# DÉTERMINATION DE LA DENSITE DU LIQUIDE A L'AIDE DU PYCNOMETRE

## INTRODUCTION

La densité (d'après un ancien nom, "gravité spécifique") est une propriété intensive des substances. Par définition, la densité absolue est la masse de l'unité de volume de la substance respective. Si un matériau (solide, liquide ou gaz) de masse "m" occupe le volume "V", alors la densité absolue ("  $\rho$  ") du corps est :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Dans le Système international d'unités (SI), la masse volumique absolue est exprimée en  $\text{kg/m}^3$ . En pratique, on utilise souvent des unités de mesure tolérées ( $\text{g/cm}^3$ , g/litre, etc.).

Du fait de la présence du volume "V" dans la relation de définition (1), la valeur de la masse volumique absolue d'un matériau (solide ou liquide) dépend de la température.

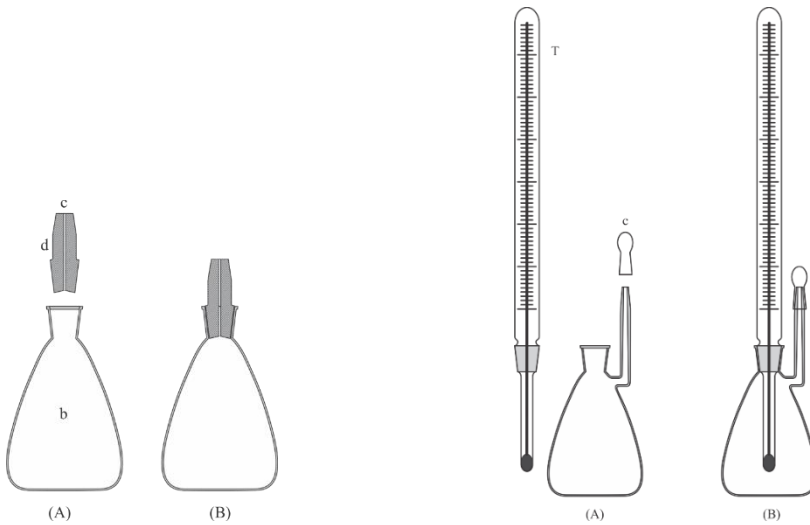
La densité relative "d" est souvent utilisée, et elle représente le rapport entre la densité absolue de la substance d'intérêt ( $\rho$ ) et la densité absolue d'un matériau de référence ( $\rho_{\text{ref}}$ ).

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{ref}}} \quad (2)$$

De la relation (2) résulte que la densité relative est une grandeur adimensionnelle. Étant donné que les deux quantités dépendent de la température, la densité relative dépend également de la température. La densité de l'eau est souvent choisie comme " $\rho_{\text{ref}}$ ". Concernant la température, deux expressions de cette grandeur sont utilisées. Si l'on compare la densité absolue du milieu étudié (" $\rho$ "), mesurée à une température de  $20^\circ\text{C}$ , avec la densité absolue (" $\rho_{\text{ref}}$ ") du milieu de référence, également mesurée à une température de  $20^\circ\text{C}$ , alors la densité relative est notée " $d_{20}^{20}$ ". Si vous comparez la densité absolue du milieu étudié (" $\rho$ "), mesurée à une température de  $20^\circ\text{C}$ , avec la densité absolue (" $\rho_{\text{ref}}$ ") de l'eau, mesurée à une température de  $4^\circ\text{C}$ , alors la densité relative est noté " $d_4^{20}$ ". La pertinence de cette dernière comparaison réside dans le fait que la densité de l'eau est maximale à une température de  $4^\circ\text{C}$ .

## Détermination de la masse volumique d'un liquide au moyen de le pycnomètre

La figure 2 représente un pycnomètre simple, et la figure 3 représente un pycnomètre équipé d'un thermomètre. Le pycnomètre représenté sur la figure 2 est constitué d'un flacon en verre ("b") et d'un bouchon en verre ("d") muni d'un canal mince ("c").



**Fig. 2 Pycnomètre simple Fig. 3 Pycnomètre équipé d'un thermomètre**

### ÉTAPES DU TRAVAIL .

- 1) Peser le pycnomètre vide et sec, ainsi que le bouchon "d" (Figure 2-(A), masse " $m_o$ ").
- 2) Un liquide de référence dont la densité absolue «  $\rho_{ref}$  » est connue est introduit dans le ballon « b », de façon à ce que le ballon « b » soit rempli à ras bord, après quoi il est fermé avec le bouchon « d » (Figure 2-B ). L'excès de liquide de référence sort par le canal "c", donc le volume de liquide de référence restant dans le pycnomètre est égal à la somme du volume du ballon "b" et du volume du canal "c" (volume "V") .
- 3) Peser le pycnomètre rempli de liquide de référence («  $m_{ref}$  »).
- 4) Vider, laver et sécher le pycnomètre, après quoi il doit être rempli avec le liquide étudié de la manière décrite à l'étape 2.
- 5) Peser le ballon rempli du liquide étudié ("m").
- 6) Les quantités mises en jeu satisfont à la relation (5).

$$V = \frac{m_{ref} - m_o}{\rho_{ref}} = \frac{m - m_o}{\rho} \quad (5)$$

$\rho$ - la masse volumique absolue du liquide étudié peut s'exprimer comme suit :

$$\rho = \rho_{\text{ref}} \cdot \frac{m - m_o}{m_{\text{ref}} - m_o} \quad (6)$$

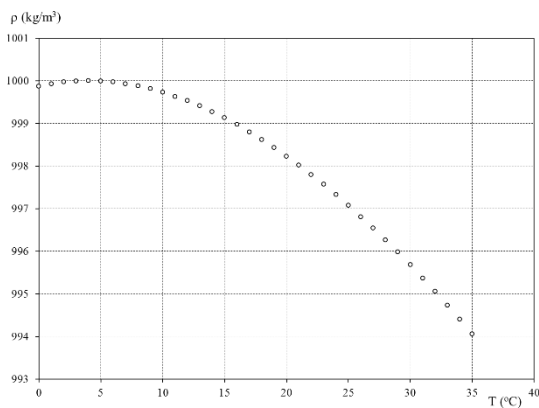
et aussi la densité relative "d":

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{ref}}} = \frac{m - m_o}{m_{\text{ref}} - m_o} \quad (7)$$

La partie expérimentale est réalisée en utilisant trois liquides, l'éthanol ( $C_2H_5-OH$ ), le tétrachlorure de carbone ( $CCl_4$ ) et l'acétone ( $(CH_3)_2CO$ ), le liquide de référence étant à chaque fois de l'eau distillée . La densité de l'eau en fonction de la température est indiquée dans le tableau 2 et la figure 4.

**Tableau 2 Densité de l'eau en fonction de la température**

t ( ° C)	$\rho$ (kg/ m <sup>3</sup> )	t ( ° C)	$\rho$ (kg/ m <sup>3</sup> )	t ( ° C)	$\rho$ (kg/ m <sup>3</sup> )
<b>0</b>	999,87	<b>13</b>	999,40	<b>22</b>	997,80
<b>1</b>	999,93	<b>14</b>	999,27	<b>2. 3</b>	997,56
<b>2</b>	999,97	<b>15</b>	999,13	<b>24</b>	997,32
<b>3</b>	999,99	<b>16</b>	998,97	<b>25</b>	997,07
<b>4</b>	1000,00	<b>17</b>	998,80	<b>26</b>	996,81
<b>5</b>	999,99	<b>18</b>	998,62	<b>27</b>	996,54
<b>6</b>	999,97	<b>19</b>	998,43	<b>28</b>	996,26
<b>7</b>	999,93	<b>20</b>	998,23	<b>29</b>	995,97
<b>8</b>	999,88	<b>21</b>	998,02	<b>30</b>	995,67



**Fig. 4 Densité de l'eau en fonction de la température**

Les données obtenues de la partie expérimentale doivent être introduites dans les tableaux 3.1 et 3.2.

**Tableau 3.1.**

Liquide	m(g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH		
CCl <sub>4</sub>		
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO		

**Tableau 3.2. Détermination de la densité du liquide à l'aide du pycnomètre :**

**Solution de NaCl de différentes concentrations,**

**m<sub>0</sub> = ..... g**

**V= 25 ml,**

**m(g) = masse du pycnomètre rempli de liquide**

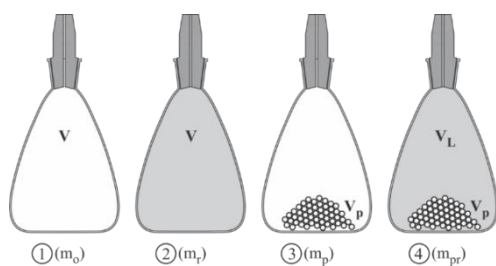
C <sub>NaCl</sub> (%)	M (g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
0,9		
1		
5		
6		
8		
dix		
15		
20		
25		
30		
50		

# DÉTERMINATION DE LA DENSITE D'UN MATERIAU SOLIDE A L'AIDE DU PYCNOMETRE

Si la taille d'un matériau solide peut être saisie à l'intérieur d'un pycnomètre, la densité du corps peut être déterminée à l'aide du pycnomètre. Cette technique est particulièrement utile si l'échantillon étudié est une cire ou a la consistance d'une pâte, ou est constitué de plusieurs particules, pas nécessairement identiques. Dans ce cas, une densité moyenne (apparente) de l'échantillon solide ou semi-solide peut être déterminée.

## ÉTAPES DU TRAVAIL

- 1) Peser le pycnomètre sec vide (avec le bouchon, Figure 5-1 ; masse «  $m_o$  »).
- 2) Remplir le pycnomètre avec un liquide de référence dont la masse volumique «  $\rho_r$  » est connue (Figure 5-2 ; masse «  $m_r$  »).
- 3) Videz, lavez et séchez le pycnomètre, insérez l'échantillon dans le pycnomètre et pesez-le (avec le bouchon, Figure 5-3 ; masse "  $m_p$  " )
- 4) En gardant l'échantillon solide dans le pycnomètre, remplir le volume du pycnomètre avec le liquide de référence en prenant soin de ne pas former de bulles d'air et fermer le pycnomètre avec le bouchon (Figure 5-4, masse "  $m_{pr}$  " ) .



**Fig. 5 Les étapes de détermination de la masse volumique d'un corps solide avec un pycnomètre.**

Si noté :

- $\rho$  densité de corps solide « » ;
- "  $\rho_r$  " la masse volumique du liquide de référence ;
- "  $V$  " le volume interne (y compris le volume du canal dans le bouchon) du pycnomètre vide ;
- «  $V_p$  » le volume de l'échantillon solide ;
- «  $V_L$  » le volume de liquide de référence qui remplit le pycnomètre contenant le corps solide ;

- « m<sub>o</sub> », « m<sub>r</sub> », « m<sub>p</sub> » et « m<sub>pr</sub> » les masses pesées dans les quatre étapes, alors de l'équilibre des masses et des volumes résultent les relations suivantes :

$$V_L \cdot \rho_r + V_p \cdot \rho = m_{pr} - m_o \quad (8)$$

$$V_p \cdot \rho = m_p - m_o \quad (9)$$

En substituant le produit  $V_p \cdot \rho$  de la relation (9) à la relation (8), la formule suivante résulte :

$$V_L \cdot \rho_r + m_p - m_o = m_{pr} - m_o \quad (\text{dix})$$

$$V_L = V - V_p = \frac{m_r - m_o}{\rho_r} - \frac{m_p - m_o}{\rho} \quad (11)$$

$$\text{D'autre part, } V_L = \frac{m_{pr} - m_p}{\rho_r} \quad (12)$$

A partir des relations (11) et (12) on obtient la formule suivante, en éliminant le volume " $V_L$ ",

$$\frac{m_r - m_o}{\rho_r} - \frac{m_p - m_o}{\rho} = \frac{m_{pr} - m_p}{\rho_r} \quad (13)$$

Après avoir expliqué la masse volumique " $\rho$ " à partir de la relation (13), on obtient l'expression (14) de la masse volumique " $\rho$ " du corps solide en fonction des masses pesées " $m_o$ ", " $m_r$ ", " $m_p$ " et " $m_{pr}$ " :

$$\rho = \rho_r \cdot \frac{m_p - m_o}{m_r + m_p - m_{pr} - m_o} \quad (14)$$

En pratique, la densité d'une quantité de petites billes de verre est déterminée. A cet effet, les opérations décrites dans la séquence 1) - 4) sont effectuées. Le corps solide est une quantité (arbitraire) de petites billes de verre et l'eau distillée est utilisée comme liquide de référence. Il est important de vérifier la température de l'eau distillée et d'utiliser la valeur «  $\rho_r$  » correspondant à cette température (du tableau 2). Les pesées sont effectuées avec la balance d'analyse semi-micro. Les masses pesées et le résultat sont inscrits dans le tableau 4.

**Tableau 4 Résultats de la détermination de la densité du corps solide**

m <sub>o</sub> (g)	m <sub>r</sub> (g)	m <sub>p</sub> (g)	m <sub>pr</sub> (g)	t (°C)	$\rho_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )

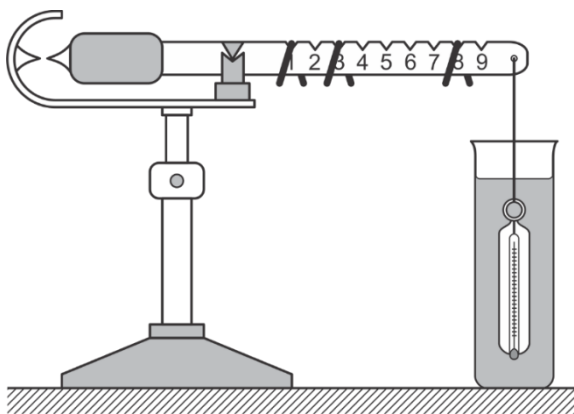
# DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ D'UN LIQUIDE À L'AIDE DE LA BALANCE MOHR-WESTPHAL

## INTRODUCTION

*Mohr-Westphal* est également basé sur le principe d'Archimède. La figure 7 montre les détails de construction d'une *balance de Mohr-Westphal*.

Un flotteur est accroché à l'un des bras de la balance (dans certains cas un thermomètre est inclus dans le flotteur), et un contrepoids se trouve sur l'autre bras. Sur le bras équipé d'un flotteur, il y a des évidements où différents poids peuvent être fixés.

Pour déterminer la masse volumique d'un liquide, le flotteur est plongé dans le liquide de référence (dont la masse volumique est connue, ce liquide est souvent de l'eau) et la balance est équilibrée. Verrouillez la position des bras d'équilibrage, retirez le flotteur, lavez et séchez. Après avoir monté le flotteur en position initiale, il est plongé dans le liquide étudié et les balanciers sont déverrouillés. La force de remontée étant différente de celle observée pour le liquide de référence, la balance devient déséquilibrée. En changeant les valeurs et les positions des poids sur le bras de la balance, la balance est à nouveau équilibrée. Fondamentalement, la différence entre les poids apparents du volume du liquide de référence et de la colonne du liquide étudié, déplacée par le volume du flotteur, est déterminée.



**Fig. 1** *Équilibre de Mohr-Westphal*

Si dans la première phase de la mesure (lorsque le flotteur est immergé dans le liquide de référence) le poids apparent du flotteur est " $G_r$ " et dans la deuxième phase (lorsque le flotteur est immergé dans le liquide étudié) le poids apparent du flotteur est «  $G_p$  », puis, de la loi relative à la force ascensionnelle ( loi

*d'Archimède* ) il en résulte la formule suivante :

$$G_p - G_r = \frac{\rho_p - \rho_r}{\rho_r} (1)$$

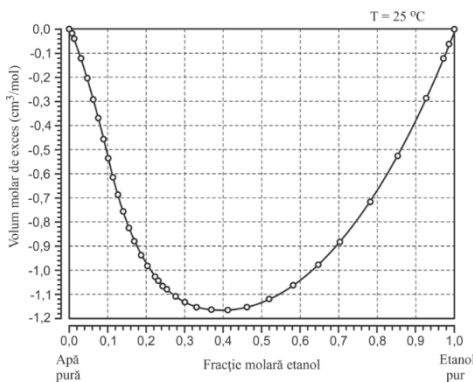


Dans la relation (1) " $\rho_r$ " et " $\rho_p$ " représentent respectivement la masse volumique du liquide de référence et du liquide étudié (de l'échantillon).

## DENSITÉ D'UN MÉLANGE L'EAU-ÉTHANOL EN FONCTION DE LA COMPOSITION. CONTRACTION DE VOLUME LORS DU MÉLANGE DE LIQUIDES

Lors du mélange de deux liquides miscibles, on constate (presque toujours) que le volume résultant du mélange diffère de la somme des volumes initiaux (le constat le plus courant est une diminution du volume total par rapport à la somme des volumes mélangés - contraction du volume ). Par exemple, si des volumes égaux d'éthanol et d'eau sont mélangés, la température augmente lors du mélange. Après que la température du mélange est ramenée à la valeur initiale, on constate que le volume du mélange est inférieur à la somme des volumes mélangés.

La figure 2 représente le volume molaire du mélange éthanol-eau en fonction de la composition du mélange (exprimée en fraction molaire d'éthanol).



**Fig. 2 Volume molaire des mélanges éthanol-eau selon la composition**

On constate que pour un mélange éthanol-eau, dans lequel la fraction molaire d'éthanol est de 0,4, le volume molaire est inférieur d'environ 1,16 cm<sup>3</sup>/mol au volume molaire résultant de la sommation des volumes. Ce phénomène peut être suivi en déterminant la masse volumique des mélanges éthanol-eau en fonction de la composition du mélange.

Si lors du mélange du volume " $V_1$ " d'éthanol avec le volume " $V_2$ " d'eau, les deux liquides ayant les densités " $\rho_1$ " et " $\rho_2$ ", alors théoriquement (si aucune contraction de volume ne se produirait), la densité du mélange serait " $\rho_t$ ", et le volume du mélange, " $V_t$ ", serait la somme des volumes mélangés.

$$\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2 = \rho_t \cdot (V_1 + V_2) = \rho_t \cdot V_t \quad (16)$$

Pratiquement, du fait de la contraction volumique, le volume du mélange est «  $V_p$  » et la densité «  $\rho_p$  ».

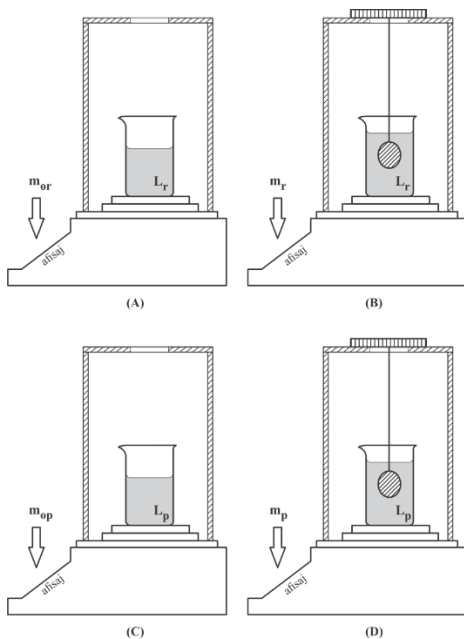
$$\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2 = \rho_p \cdot V_p \quad (17)$$

Des relations (16) et (17) il résulte :

$$\rho_p = \rho_t \cdot \frac{V_t}{V_p} \quad (18)$$

Le volume «  $V_p$  » étant inférieur au volume théorique «  $V_t$  », la densité réelle «  $\rho_p$  » est supérieure à la densité théorique «  $\rho_t$  ».

Ce phénomène peut être mis en évidence en mesurant la densité réelle «  $\rho_p$  » du mélange. Une voie alternative peut être basée sur l'utilisation de la balance analytique semi-micro (Figure 3).



**Fig. 3 Mise en évidence de la contraction volumique du mélange éthanol-eau**

## ÉTAPES DU TRAVAIL

- 1) Un *verre Berzelius*, rempli du liquide de référence (eau distillée), est placé sur le plateau d'une balance analytique et la masse «  $m$  » ou «  $m$  » affichée est lue (Figure 3-A).
- 2) Un corps suspendu par un fil fin est plongé dans le liquide (Figure 3-B) et l'indication sur l'affichage de la balance ( $m_r$ ) est lue.
- 3) Vider, laver et sécher à la fois le *verre Berzelius* et le flotteur, après quoi les opérations des points 1) et 2) sont répétées, mais avec le liquide étudié dans le verre (lire les masses  $m_{op}$  et  $m_p$ , respectivement (Figures 3-C et 3-D).

Le flotteur doit être complètement immergé dans le liquide et ne pas toucher la paroi ou le fond du verre.

L'expérience est en quelque sorte la configuration inverse de celle présentée sur l' *équilibre Mohr-Wesrphal* . Le flotteur étant fixe, la force ascensionnelle se manifeste sur le verre et implicitement sur le plateau de la balance analytique.

Si les densités du liquide de référence et du liquide étudié (échantillon) sont écrites avec "  $\rho_r$  " et "  $\rho_p$  ", respectivement, et avec "  $V$  " le volume du flotteur, alors, en tenant compte de *la loi*

*d'Archimède* , concernant la force d'ascension, elle peut s'écrire :

$$\begin{aligned} m_r &= m_{or} + V \cdot \rho_r \\ m_p &= m_{op} + V \cdot \rho_p \end{aligned} \quad (19)$$

Après avoir retiré le volume «  $V$  » et expliqué la densité de l'échantillon «  $\rho_p$  », il en résulte :

$$\rho_p = \rho_r \cdot \frac{m_p - m_{op}}{m_r - m_{or}} \quad (20)$$

Fondamentalement, la masse volumique des mélanges éthanol-eau est déterminée, à température ambiante, pour des mélanges dans lesquels le rapport volumique éthanol:eau est de 0:100 (eau pure) ; 20:80 ; 40:60 ; 60:40 ; 80:20 ; 100:0 ; (éthanol pur). les données sont saisies dans le tableau 1.

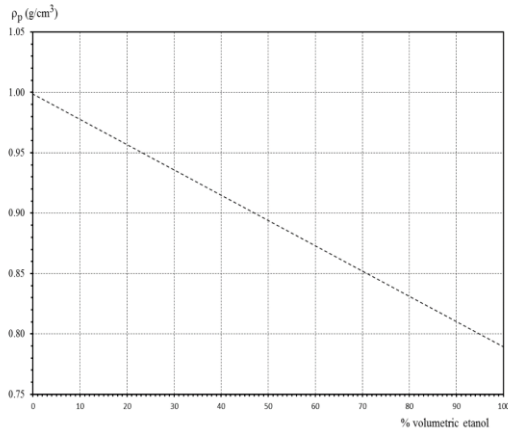
**Tableau 1 Résultats**

<b>Rapport volumétrique éthanol:eau</b>	<b>m<sub>ou</sub> (g)</b>	<b>m<sub>r</sub> (g)</b>	<b>m<sub>op</sub> (g)</b>	<b>m<sub>p</sub> (g)</b>	<b><math>\rho_r</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\rho_p</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>
0:100						
20:80						
40:60						
60:40						
80:20						
100:0						

Etant donné que dans les colonnes II et VI du tableau il y a des quantités se référant à l'eau distillée, dans ces colonnes une seule valeur est inscrite, commune aux six compositions.

" $\rho_p$ " est représenté graphiquement en fonction de la composition en pourcentage volumétrique du mélange éthanol-eau, selon le modèle de la figure 10. La ligne brisée représente le tracé théorique de

la densité par rapport à la composition pour le cas où la contraction du volume ne se produirait pas lors de la préparation le mélange éthanol-eau. Le graphique résultant des données expérimentales est situé au-dessus de cette ligne, signe que lorsque l'éthanol est mélangé à de l'eau, la densité a des valeurs plus élevées que prévu théoriquement, donc une contraction de volume se produit.



**Fig. 4** Modèle de représentation graphique des résultats

# DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DES LIQUIDES A L'AIDE DES DENSIMÈTRES

## INTRODUCTION

### DENSITÉ

C'est une grandeur physique qui caractérise la masse de l'unité de volume. Il est généralement noté avec la lettre grecque  $\rho$  ( *rho* ), car il est également utilisé par le Bureau international des poids et mesures.

La masse volumique est par définition le rapport entre la masse et le volume  $\rho = \frac{m}{V}$

Où:

m- la masse du matériau étudié

V- le volume du matériau étudié

La densité est synonyme de densité absolue et de densité spécifique

**L'unité de mesure dans le Système international est :**

- **kilogramme par mètre cube :** (  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ou  $\text{kg}/\text{m}^3$  ):  $[\rho]_{SI} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

**L'unité de mesure dans le système CGS est :**

- **gramme par centimètre cube :** (  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  ou  $\text{g}/\text{cm}^3$  ):  $[\rho]_{CGS} = \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

L'eau est souvent utilisée comme liquide de référence pour calculer la masse volumique des liquides et des solides.

La masse volumique de l'eau est de  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$  (ou  $1 \text{ kg}/\text{dm}^3$  ou  $1 \text{ kg}/\text{l}$  ou  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ ). C'est la masse volumique de l'eau à  $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$  et à la pression atmosphérique normale. En effet, l'eau a une particularité parmi les liquides : sa densité est maximale, non pas à la température de fusion ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) comme la plupart des liquides, mais à  $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$ . En métrologie, en prenant comme référence une propriété physique qui passe par un extrême c'est très intéressant ce qui se passe au voisinage de cet extrême : la propriété physique varie très peu. Ainsi, au voisinage de  $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$ , une imprécision dans la détermination de la température exacte affecte très peu la masse volumique de l'eau et donc le résultat de la mesure de masse volumique

Densité relative:  $d = \frac{\rho_{solid}}{\rho_{water}}$  ou  $d = \frac{\rho_{liquid}}{\rho_{water}}$

Où  $\rho_{matériel}$  est la masse volumique du matériau considéré (liquide ou solide) et  $\rho_{water}$  est la masse volumique de l'eau (1 000 kg/m<sup>3</sup>).

Pour corriger les valeurs mesurées à des températures autres que la température de référence, il faut utiliser la courbe de variation de la masse volumique de l'eau en fonction de la température, afin d'en déduire la masse volumique des matériaux à la température des mesures.

Tableau 1

<b>L iquides</b>	<b><math>\rho</math> (kg/ m<sup>3</sup>)</b>
Acétone	790
Acide acétique	1 049
azote liquide à -195 °C	810
brome à 0 °C	3 087
l'eau à 4 °C	1 000,0
Eau de mer	1 000 à 1 032
benzine	750
éthanol	789
éther	710
diesel	850
glycérine	1 260
hélium liquide à -269 °C	150
huile d'olive	920
hydrogène liquide à -252 °C	70
oxygène liquide à -184 °C	1 140
lait	1030

## THÉORÈME D'ARCHIMÈDE

*Un corps plongé dans un liquide est poussé de bas en haut avec une force égale au poids du volume de fluide déplacé par le corps.*

Le théorème s'applique aux corps immergés dans des liquides au repos.

Le théorème s'applique si le liquide d'immersion et le corps immergé sont au repos. Il est également nécessaire de remplacer le corps immergé par du liquide d'immersion sans perturber l'équilibre. Un contre-exemple est le bouchon d'une salle de bain rempli d'eau : s'il est remplacé par de l'eau, il est clair que la salle de bain est vide et que le fluide n'est plus au repos. Le théorème ne s'applique pas car nous sommes dans un cas où le bouchon n'est pas complètement mouillé par le liquide et ne passe pas sa surface libre.

Dans un champ gravitationnel uniforme, la force d'Archimède, noté du symbole  $F_A$ , est donné par la formule :

$$\vec{F}_A = -M_f \vec{g}$$

Où  $M_f$  est la masse du fluide contenu dans le volume déplacé  $V$  et  $g$  est l'accélération gravitationnelle. Si la masse du fluide déplacé est exprimée en fonction de la densité, la force d'Archimède a la forme :

$$\vec{F}_A = -\rho \cdot V \cdot \vec{g}$$

Sous forme scalaire, il s'écrit :  $\|\vec{F}_A\| = \rho \cdot V \cdot g$

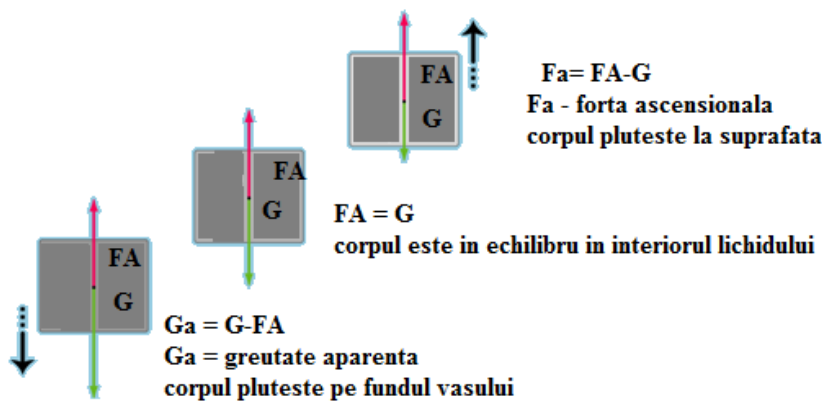


Figure 1 : Représentation schématique de la loi d'Archimède

La force d'Archimède  $F_A$  et le poids  $G$  peuvent être dans l'un des 3 cas présentés (de gauche à droite) :

**Cas 1.**  $G > F_A$  (le poids  $G$  est supérieur à la force d'Archimède  $F_A$ )

Dans ce cas le poids apparent apparaît :  $G_a = G - F_{UNE}$

Le corps tombe à la base du vaisseau

**Cas 2.**  $G = F_A$  le corps est en équilibre à l'intérieur du liquide.

**Cas 3.**  $G < F_A$  (La force d'Archimède  $F_A$  est supérieure au poids  $G$ )

Dans ce cas la force de scension apparaît :  $F_a = F_A - g$

$$F_p = \rho V g$$

$$F_A = \rho_f V g$$

$$g / F_A = \rho_s / \rho_f$$

**Le rapport des forces est égal à celui des densités**

- **Si la densité du matériau solide est supérieure à celle du fluide  $G > F_A$ , le solide tombe au fond de la cuve**
- **Si la densité du matériau solide est inférieure à celle du fluide  $G < F_A$ , le solide flotte à la surface du liquide de la cuve**
- **Si la densité du matériau solide est égale à celle du fluide  $G = F_A$ , le solide reste en équilibre à l'intérieur du liquide de la cuve.**

## MESURE DE LA DENSITÉ DES LIQUIDES À L' AIDE DU DENSIMÈTRE

Le densimètre est constitué d'un cylindre en verre rempli d'air, qui a des poids à la base et qui est gradué. Il pénètre plus ou moins dans le liquide à mesurer, selon sa densité.

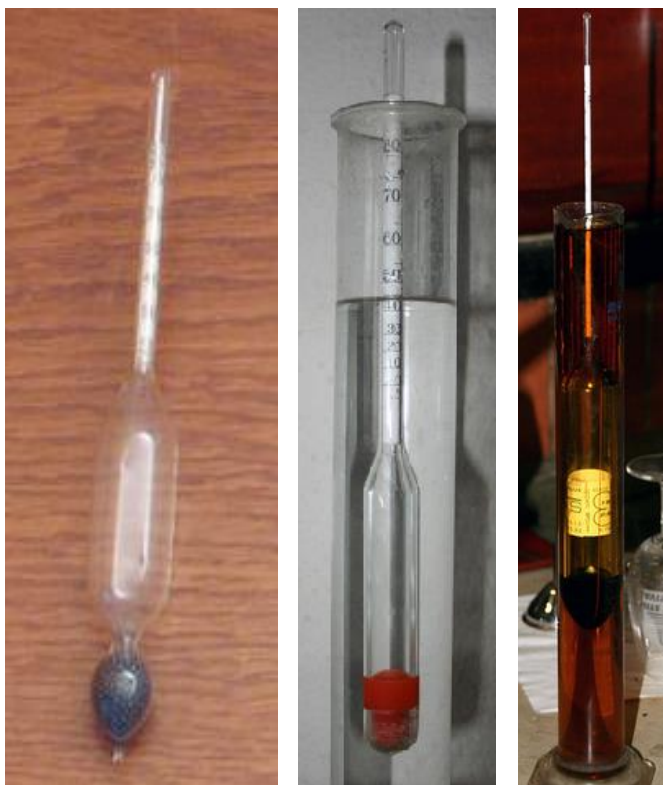
La densité du liquide dans lequel il est plongé se lit directement sur la graduation qui est en contact avec la surface libre du liquide.

L'aréomètre est principalement utilisé pour mesurer la densité du moût de raisin, de l'orge, du sirop de sucre ou pour évaluer la teneur en alcool. L'hydromètre est également utilisé dans les tests de laboratoire de sédimentométrie pour calculer la distribution des particules microscopiques dans un échantillon de sol.

Il est également utilisé dans l'industrie céramique comme moyen de contrôle de la densité des barbotines, principalement pour la densité des émaux ou des barbotines qui recouvriront les carreaux



ou les briques. Ce type de mesure a l'avantage d'être facile à mettre en œuvre et de permettre un contrôle très rapide, mais est moins précis que la mesure de densité si un volume précis est pesé à l'aide de récipients standards de 100 ml



**L'hydromètre Fahrenheit** ressemble à un tube de verre rempli d'air au milieu, avec du mercure en bas et contient un récipient en haut. Lorsque l'aréomètre est immergé dans un liquide de densité inconnue, il flotte. Les masses marquées sont ensuite ajoutées au récipient supérieur jusqu'à ce que le centre de l'hydromètre soit complètement immergé. La masse totale ajoutée est la plus grande force Archimède imposée à l'hydromètre par le liquide, c'est-à-dire que la densité de ce dernier est plus grande.

**Figure 2. Variantes de densimètres, aréomètres, alcoomètres**

**L'alcoomètre sert à mesurer le degré alcoométrique** à partir de la masse volumique du liquide a été défini par Louis Joseph Gay-Lussac en 1824, aux fins de taxation sur l'alcool. Un hydromètre directement gradué en degrés d'alcool est plongé dans le liquide. La valeur mesurée est corrigée en fonction de la température du liquide. Les tables de densité et leurs corrections de température ont été établies expérimentalement par Gay-Lussac. Cette technique n'est précise que si le liquide ne contient que de l'eau et de l'alcool en solution, d'où la nécessité d'une distillation préalable, si des données rigoureuses sont requises pour des besoins commerciaux ou fiscaux.

Petits aréomètres gradués en degrés, alcoomètres ou balances alcoolisées sont utilisés par les professionnels et les contrôleurs pour mesurer grossièrement et rapidement le titre alcoométrique d'un produit.

Aujourd'hui, l'ébulliomètre de Malligand, apparu en 1875, sert à mesurer la force du vin, qui est un alambic miniature équipé d'un thermomètre de précision. Le point d'ébullition d'une solution éthanol - l'eau dépend de leurs rapports. La température lue est convertie en alcool en lisant un

tableau. La précision de la mesure dépend de la concentration d'autres substances, telles que les sucres et l'acide carbonique, qui modifient le point d'ébullition. Dans l'industrie du vin, l'expression "degré Malligand" a longtemps été utilisée pour "% vol. à 15°C".

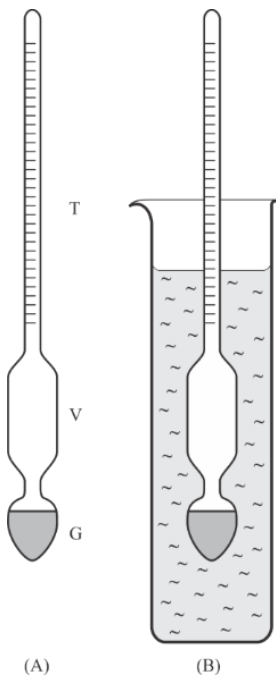
Apparu en 1967, un densimètre électronique permet la mesure du TAV (degré d'alcool) à partir d'une solution hydroalcoolique, ce qui nécessite une distillation avant mesure, si les échantillons ont une matrice complexe (vin, cognac, armagnac, liqueurs...).

La mesure de densité à tube oscillant (densimètre électronique) est devenue la méthode standard de référence dans les années 1990 pour de nombreux producteurs et spécialistes des vins, spiritueux et plus récemment pour l'éthanol ainsi que le carburant de précision (TAV +/- 0,01% v/v) et la facilité de utiliser.

### **DETERMINATION DE LA DENSITE D'UN LIQUIDE A L'AIDE D'UN DENSIMETRE**

La détermination de la densité d'un liquide avec un hydromètre est basée sur *la loi d'Archimède* concernant la force ascendante exercée sur un corps immergé dans un liquide. La figure 3 représente un densimètre. Il s'agit d'un instrument en verre dans lequel on distingue trois parties : le poids « G », le corps volumétrique « V » et la tige/barre munie de divisions « T » (Figure 3-A). Le liquide étudié est introduit dans un verre et ensuite, le densimètre est introduit dans le liquide. L'hydromètre flotte dans le liquide et la profondeur à laquelle il s'enfonce dépend de la densité du liquide. La profondeur se lit sur les divisions faites sur la barre "T", qui correspondent aux valeurs de densité du liquide (Figure 3-B).

Lors de la détermination, il est important de contrôler la température du liquide. Pour cette raison, un thermomètre est également inclus dans certains densimètres.



Pour couvrir une plage suffisamment large de valeurs de densité, des ensembles de densimètres sont utilisés, chacun calibré pour une plage de densité spécifique. Lors de la détermination de la masse volumique d'un liquide de béton, choisir le densimètre de l'ensemble qui, inséré dans le liquide, flotte sans toucher le fond de la cuve.

En pratique, on détermine la masse volumique des liquides suivants : éthanol ( $C_2H_5OH$ ), tétrachlorure de carbone ( $CCl_4$ ), acétone ( $(CH_3)_2CO$ ). Lors de la réalisation de l'expérience, il est important que le densimètre ne touche pas la paroi du récipient dans lequel est placé le liquide étudié.

Les densimètres étant étalonnés par le fabricant, la détermination des masses volumiques ne dépend d'aucun liquide de référence.

**Figure 3. Densimètre simple**

### ÉTAPES DU TRAVAIL

1. 3 mesures sont effectuées pour chaque liquide (solutions NaCl et KCl) avec des concentrations de 0,9%, 1%, 5%, 6% et 8%
2. Les valeurs moyennes, les erreurs et les valeurs réelles seront calculées
3. Les calculs sont effectués pour la densité relative - d
4. Les valeurs moyennes, les erreurs et les valeurs réelles seront calculées
5. Les valeurs obtenues sont inscrites dans le tableau
6. La représentation graphique se fera en respectant la fonction :  $\rho = \rho(c)$

**Tableau 2: densités des solutions de NaCl**

Non	Sol. utilisé	$\rho$ (g/l)	$\bar{\rho}$ (g/l)	$\mu_\rho$ (g/l)	$\rho_{\text{réel}}$ (g/l)	$d = \frac{\rho_{\text{liquid}}}{\rho_{\text{water}}}$	$\bar{d}$	$\mu_d$	d vrai
1	H <sub>2</sub> O								
2									
3									
1	NaCl 0,9 %								
2									
3									
1	NaCl 1%								
2									
3									
1	NaCl 5%								
2									
3									
1	NaCl 6%								
2									
3									
1	NaCl 8%								
2									
3									

**Tableau 3 : Densités des solutions pour KCl**

No.c rt	Sol. utilisé	$\rho$ (g/l)	$\bar{\rho}$ (g/l)	$\mu_{\rho}$ (g/l)	$\rho_{\text{réel}}$ (g/l)	$d = \frac{\rho_{\text{liquid}}}{\rho_{\text{water}}}$	$\bar{d}$	$\mu_d$	d vrai
1	H <sub>2</sub> O								
2									
3									
1	<b>KCl</b> 0,9 %								
2									
3									
1	<b>KCl</b> 1%								
2									
3									
1	<b>KCl</b> 5%								
2									
3									
1	<b>KCl</b> 6%								
2									
3									
1	<b>KCl</b> 8%								
2									
3									

# DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DU LIQUIDE AVEC LA MÉTHODE ABBE

## INTRODUCTION

En physique des ondes, la réfraction désigne le changement de direction de propagation de l'onde lorsqu'elle traverse la surface de séparation entre deux milieux (optique, acoustique ou encore sismique)

La réfraction signifie un changement d'orientation :

- Front d'onde - est la ligne qui décrit une onde lumineuse (en optique physique ou en sismologie)
- Du faisceau : la direction de propagation des ondes est perpendiculaire à celle du front d'onde

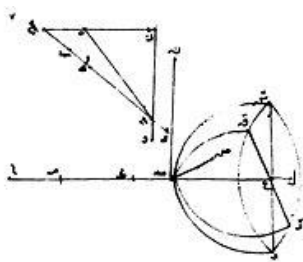
Les deux changements d'orientation sont équivalents dans le cas de la réfraction, cependant, nous préférons le premier pour expliquer le phénomène, et le second pour quantifier le phénomène

La lumière est déviée lorsqu'elle passe d'un milieu transparent à un autre (par exemple, de l'air à l'eau, ou vice versa). Ce phénomène se remarque lorsque l'on regarde une paille dans un verre et qu'elle apparaît brisée. Cette "division" est possible grâce à la "réfraction".

La lumière est dite « réfractée », et la propriété qui caractérise différents milieux transparents est la « réfraction ».

La réfraction diffuse peut être distinguée de la réfraction parfaite.

- dans le cas de **la réfraction diffuse** , le rayon incident est séparé en une multitude de rayons dans le second milieu de propagation ;
- dans le cas d' **une réfraction parfaite** , un seul rayon apparaît, dans le second milieu.



إنه ان مائة عليها سطح سوي وغيره ان كان هذا السطح يقطع سطح سوي  
على نقطة تسمى بالزاوية من سطح السطحين السويين من غير ان يكون ذلك  
الخط مستوي والتمثيل الهندسي من هذا السطح يوجب على قطع وتر  
خط مستوي وان كان هذا السطح انما من سطح مستوي فيكون نقطة تسمى  
بمركزه وتر السطح وتسمى من هذه النقطة والزاوية تسمى بالزاوية  
انها انما من نقطة تسمى على نقطة تسمى على سطح مستوي من سطح مستوي

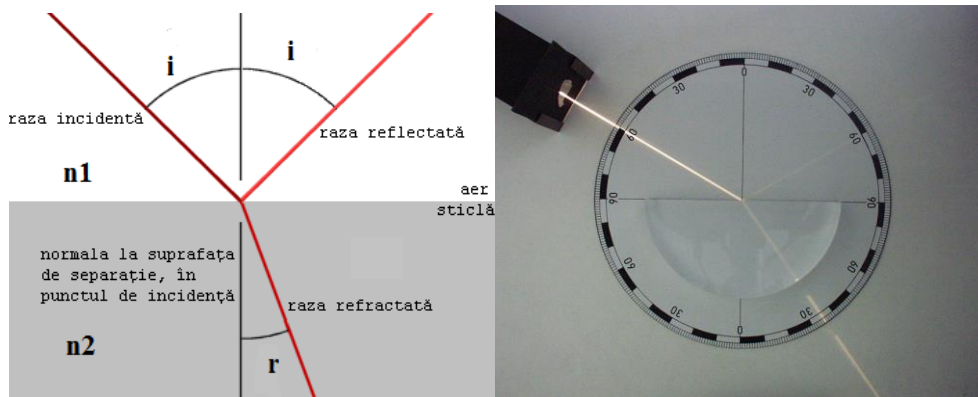
La réfraction diffuse se produit généralement dans la nature. Pour une réfraction parfaite, la surface optique (la surface de séparation entre les cercles) doit être parfaitement lisse, et le second milieu doit être parfaitement transparent et amorphe ou monocristallin.

Les premiers concepts découverts en optique expérimentale sont ceux liés aux phénomènes de réflexion et de réfraction.

La réfraction était déjà bien connue de Ptolémée

Le premier à mentionner la loi de la réfraction fut **Ibn Sahl**. (vers 940-1000)

### Loi de Snell-Descartes



En optique, chaque milieu transparent est caractérisé par l'indice de réfraction  $n_i$   
 La dioptrie est la surface de séparation entre deux milieux.

Les lois de la réfraction (la seconde loi), établies par Snell et Descartes, permettent d'expliquer le phénomène quantitatif, stipulent que :

- Les rayons incident, normal et réfracté sont coplanaires.
- L'indice de réfraction noté avec  $n$  est le rapport entre le sin de l'angle d'incidence  $i$  et le sin de l'angle de réfraction  $r$

$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$ , si  $n_1 = 1$  et  $n_2 = n$  alors :

- $$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

On observe alors que :

- Plus l'indice de réfraction  $n_2$  est élevé, plus le rayon réfracté se rapproche de la normale, et inversement ;
- Si l'indice de réfraction  $n_2$  est inférieur à  $n_1$  (par exemple, le rayon passant du verre à l'air), l'angle dit "critique" peut être dépassé, au-delà duquel on observe une réflexion totale.

## **DESCRIPTION DU RÉFRACTOMÈTRE ABBE :**

Le réfractomètre est un appareil utilisé pour déterminer l'indice de réfraction inconnu de certaines solutions. Il est utilisé depuis le 19<sup>ème</sup> siècle.

En principe, toutes les solutions ont maintenant un indice de réfraction unique qui peut être utilisé pour son identification.

L'indice de réfraction des composés organiques est dans la gamme  $n \in (1,08, 1,25)$

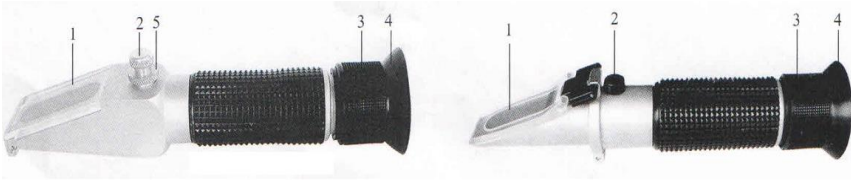
Le réfractomètre Abbe est utilisé avec succès pour déterminer l'indice de réfraction des composés organiques, des solutions, des produits alimentaires, des produits pharmaceutiques et la concentration en protéines sériques.

L'indice de réfraction est mesuré en alignant le réticule dans le télescope avec la ligne correspondant à la réflexion totale (voir la ligne de démarcation entre les zones claires et sombres du télescope).

Cette ligne est déplacée en faisant tourner le prisme. La lecture s'effectue à température constante, ce qui est important, c'est pourquoi les prismes sont souvent enfermés dans une chemise d'eau, qui peut être reliée à un bain thermostatique.

La société Carl Zeiss et la maison Abbe sont à l'origine du réfractomètre pendant une grande partie de son histoire. Ernst Abbe publia son livre en 1874 : »Neue lui APPARATE....«, dans lequel il discutait de la théorie décrite et des instruments qu'il avait développés pour mesurer l'indice de réfraction à l'aide de prismes et de réflexion totale. Il a d'abord décrit le réfractomètre Abbe inventé en 1863 pour déterminer l'indice de réfraction des fluides avec un indice de réfraction dans la gamme ( $n = 1,03-1,07$ ). Cet instrument comprend les prismes Amici d'origine et est essentiellement le même que le réfractomètre Abbe moderne, mais sans le gain de température. Initialement, Carl Zeiss a produit cet instrument pour un usage interne et pour des clients privés. Ce n'est qu'après 1884 que Abbe est proposé dans les catalogues pour les microscopes Zeiss mais sans illustrations. Carl Zeiss a publié son premier catalogue d'instruments en 1893, suite à la formation d'un nouveau département d'instruments optiques sous la direction du Dr C. Pulfrich. Le réfractomètre Abbe était la figure de proue de ce catalogue, à la fois avec et sans prismes à chemise d'eau.





où:

1. plaque d'éclairage - où tombe la lumière incidente
2. vis d'étalonnage
3. réglage de la mise au point
4. oculaire
5. vis de calibrage contraire

## ÉTAPES DU TRAVAIL

1. Placez l'extrémité avant du réfractomètre dans la direction de la lumière

**2. Réglage du zéro :** ouvrez la plaque du réfractomètre vers la région lumineuse

1. Placez 2-3 gouttes d'eau distillée sur le prisme principal.
2. Fermez le couvercle du prisme - fermez l'accès à la lumière et appuyez doucement, de sorte que l'eau se répande sur toute la surface du prisme sans bulles d'air ni points secs.
3. Laissez l'échantillon de rester sur le prisme pendant environ 30 secondes.
4. Ensuite, l'étalonnage du réfractomètre est effectué de manière à ce que la lumière limite coïncide avec la ligne zéro correspondant à l'obscurité.
5. Le réglage du réfractomètre avec la fonction de compensation de température doit se faire en dessous des valeurs de 20 °C qui est la température ambiante. Lorsque la température de la pièce ou de l'environnement de travail (sans échantillon) change de plus de 5 °C, il est recommandé de mentionner la précision de l'étalonnage.
6. La procédure de travail est effectuée après l'étalonnage et se fait essentiellement de la même manière que l'étalonnage.
7. La plaque du réfractomètre est ouverte.
8. Nettoyez la surface du prisme avec un chiffon doux en coton.
9. Placez 2-3 gouttes de solution sur le prisme principal.
10. Fermez la plaque de lumière du jour et appuyez légèrement, puis lisez la valeur sur l'échelle de limite d'obscurité appropriée.

11. La lecture est la valeur mesurée de la densité de la solution.
12. Après la mesure, nettoyez immédiatement l'échantillon de test de la surface du prisme et de la plaque de couverture avec un chiffon en coton humide. Après séchage, il doit être parfaitement fermé.

### **DETERMINATION DE LA CONCENTRATION DE LA SOLUTION**

1. Préparer différentes solutions de propylène glycol  $C_3H_8O_2$  avec eau distillée avec des concentrations entre 10-80%
2. Lire la valeur de densité sur l'appareil (réfractomètre Abbe) sur l'échelle à gauche
3. En utilisant la formule,  $c = \frac{m(g)}{M.V(l)}$  la concentration peut être déterminée. Où M est la masse

molaire du propylène glycol  $C_3H_8O_2$  soit :  $M_{C_3H_8O_2} = 3 \cdot 12 + 8 \cdot 1 + 2 \cdot 16 = 76 \text{ g/mol}$ , donc

**$M_{C_3H_8O_2} = 76 \text{ g/mole}$**

4. Entrez les données dans le tableau ci-dessous
5. La représentation graphique se fera en respectant la fonction :  
 $\rho = \rho(c)$
6. Entrez les données dans le tableau ci-dessous
7. Lisez les valeurs de la température de congélation sur l'échelle du milieu et écrivez les données correspondantes dans le tableau

**Tableau 1 : variation de densité avec concentration et congélation température pour les solutions d'éthylène glycol**

Crt. Non.	c <sub>p</sub> (%)	c (M)	$\rho \left( \frac{kg}{l} \right)$	à C -
1	10			
2	20			
3	30			
4	40			
5	50			
6	60			
7	70			
8	80			

$$c_M = \frac{\rho \cdot c_p \cdot 10}{M}$$

L'expérience peut être réalisée avec différentes solutions de clarithromycine, de solutions de vitamine C, etc.

# DÉTERMINATION DE LA TENSION SUPERFICIELLE DES LIQUIDES

## INTRODUCTION

Dans le cas d'un liquide en contact avec un milieu gazeux, une molécule à l'intérieur de celui-ci est uniformément sollicitée dans toutes les directions par les autres molécules, de sorte que la résultante de ces forces est nulle, par contre une molécule située au niveau du liquide- la surface de séparation des gaz sera soumise à une force d'attraction vers l'intérieur du liquide, car les molécules de gaz étant moins nombreuses que celles du liquide, les forces d'attraction qu'elles exerceront seront plus faibles. Ces molécules constituent la couche superficielle du liquide et la force avec laquelle l'unité de surface est attirée de la couche superficielle vers l'intérieur du liquide est appelée pression moléculaire. Ainsi, la couche superficielle a une énergie potentielle plus élevée que les molécules à l'intérieur, étant proportionnelle à la surface de la couche supérieure. Selon la condition minimale pour cette énergie de surface, la surface d'un liquide tend toujours vers la forme qui lui donne une surface minimale. Ainsi la surface d'un liquide se comporte comme une membrane étirée, et la force qui tend à mesurer la surface s'appelle la force de tension superficielle. Si nous avons noté avec  $dL$  le travail mécanique effectué pour augmenter la surface de la membrane de  $dS$ , on écrit :

$$dL = - \sigma dS \quad (1)$$

où  $\sigma$  est le **COEFFICIENT DE TENSION SUPERFICIELLE**.

Si le processus réalisé avec le film est un processus réversible et isotherme (il se déroule à température ambiante), cette chose mécanique représente précisément l'énergie libre de la membrane

$$- d E = d L \quad (2)$$

$$d E = \sigma dS \quad (3)$$

En intégrant la relation (3) entre  $S=0$  et  $S=S$  on obtient :

$$E = \sigma S \quad (4)$$

Par conséquent, **la force de tension superficielle** sera de la forme :

$$F = \sigma \cdot l \quad (5)$$

où  $l$  représente la longueur du contour sur lequel la force de tension superficielle  $F$  est appliquée.

De la relation (4) on peut déduire que le coefficient de tension superficielle représente l'énergie libre liée à la perte de surface de la surface de la membrane superficielle.

Considérez un tube capillaire ouvert à une extrémité. Le détachement d'une goutte qui prend naissance à l'extrémité d'un tube capillaire se produit lorsque son poids surmonte la force de tension superficielle.

Dans ce cas on peut écrire :

$$m \cdot g = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma \quad (6)$$

ou 
$$V_1 \cdot \rho \cdot g = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma \quad (7)$$

où  $V_1$  est le volume d'une goutte,  $r$  est le rayon du tube capillaire, donc le coefficient de tension superficielle sera le suivant :

$$\sigma = \frac{V_1 \rho g}{2\pi r} \quad (8)$$

Le volume  $V_1$  d'une goutte peut être déterminé en connaissant le volume  $V$  du liquide et le nombre  $n$  de gouttes issues de ce volume :

$$V_1 = \frac{V}{n} \quad (9)$$

Si on a un liquide connu caractérisé par le coefficient de tension superficielle  $\sigma_o$  et la tension  $\rho_o$ , on écrit la relation (10). En divisant la relation (8) par (10) on peut écrire la relation (11).

$$\sigma_o = \frac{V \rho_o g}{2\pi r n_o} \quad (10)$$

$$\underline{\sigma = \sigma_o \frac{\rho n_o}{\rho_o n}} \quad (11)$$

La méthode de la goutte nous donne des mesures relatives. Cela présente l'avantage qu'avec cette méthode, les mesures ne dépendent pas de l'angle limite du liquide par rapport au matériau capillaire et la méthode peut également être utilisée pour les liquides visqueux (liquides à viscosité plus élevée). Aussi ces mesures sont aussi simples et précises.

Dans cet article, nous proposons de déterminer le coefficient de tension superficielle pour différents liquides, à l'aide du stalagmomètre.

## **DODECYL SULFATE DE SODIUM - SDS**

Le dodécylsulfate de sodium (SDS), le laurylsulfate de sodium ou le laurylsulfate de sodium (SLS) est un composé organique de formule  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ .

Il s'agit d'un tensioactif anionique utilisé dans de nombreux produits de nettoyage et d'hygiène.

Le sel est composé d'un sulfate inorganique avec une chaîne de 12 atomes de carbone attachés à un groupe sulfate, conférant au matériau les propriétés requises pour les détergents amphiphiles. Dérivé des huiles de noix de coco et de palme, c'est un élément commun à de nombreux nettoyeurs ménagers.

**PRODUCTION :** Le SDS est synthétisé en traitant l'alcool laurique avec du gaz de trioxyde de soufre, des huiles, où un atome d'hydrogène peut produire du sulfate de lauryle. Le procédé fréquemment pratiqué industriellement utilise du trioxyde de soufre comme gaz. Le produit obtenu est ensuite neutralisé par addition de soude ou de carbonate de sodium. L'alcool laurique est à son tour généralement dérivé de l'huile de noix de coco et de l'huile de palme hydrolysées, libérant les acides gras, suivi d'une hydrogénation. En raison de cette méthode de synthèse, les échantillons commerciaux de SDS sont souvent un mélange d'autres sulfates d'alkyle, avec le sulfate de dodécyle comme composant principal. Le SDS est disponible dans le commerce sous forme de poudres et de granulés. Il apparaît que la forme dégranulée se dissout plus rapidement que la poudre dans l'eau.

**APPLICATIONS :** SDS est principalement utilisé comme détergent à lessive avec de nombreuses applications de nettoyage. Le SDS est un agent tensioactif extrêmement efficace et est utilisé dans une tâche qui nécessite l'élimination des taches et des résidus huileux.

Par exemple, on le trouve à des concentrations plus élevées dans les produits industriels, y compris les dégraissants pour moteurs, les nettoyeurs pour sols et les savons de lavage de voiture. On le retrouve dans les dentifrices, les shampoings, les crèmes à raser, les bains moussants.

Il peut être utilisé pour faciliter la lyse cellulaire lors de l'extraction de l'ADN et de la dégradation des protéines en SDS-PAGE. Le laurylsulfate de sodium, appelé scientifiquement dodécylsulfate de sodium (SDS) ou Duponol, est fréquemment utilisé dans la préparation de protéines pour l'électrophorèse selon la technique SDS-PAGE. Ce composé agit en perturbant les liaisons non covalentes des protéines, en dénaturant et en faisant perdre aux molécules leur forme native (conformation).

Cette nouvelle charge négative est sensiblement supérieure à la charge d'origine de cette protéine. La répulsion électrostatique créée par la liaison au SDS provoque le déploiement des protéines en une forme de bâtonnet, éliminant les différences de forme. La répulsion électrostatique agit comme un facteur de séparation dans le gel.

Le laurylsulfate de sodium est probablement le tensioactif anionique le plus étudié. Comme tous les surfactants dans les détergents, le laurylsulfate de sodium débarrasse la peau des huiles et peut irriter la peau et les yeux.

La concentration micellaire critique (CMC) dans l'eau pure à 25 °C est de 8,2 mM, et le nombre d'agrégation à cette concentration est généralement considéré comme étant d'environ 62.

La fraction d'ionisation micellaire (de  $\alpha$ ) est d'environ 0,3 (ou 30%).

Les solutions aqueuses de SDS sont également populaires pour disperser ou mettre en suspension des nanotubes tels que les nanotubes de carbone (NTC). Cependant, le dodécylbenzène sulfonate de sodium (NaDDBS) et le Triton X-100 seraient mieux dispersés sur les parois en carbone.

Le laurylsulfate de sodium est également utilisé dans l'analyse de l'hémoglobine. Le groupe hydrophobe de SLS agit sur la sous-unité de la globine, provoquant un changement conformationnel. Les tissus biologiques traités au dodécylsulfate de sodium sont soumis à une microscopie optique quasi-transparente qui permet de voir à travers eux.

Le SDS est un bactéricide topique potentiellement efficace qui peut également inhiber et éventuellement prévenir l'infection par divers virus enveloppés et non encapsulés, tels que le virus de l'herpès simplex, le VIH et le virus de la forêt de Semliki.

**Pesticides :** Certaines espèces de mouches, de fourmis et de mites sont attirées par le laurylsulfate de sodium, même en petites quantités, puis tuées. C'est le principal ingrédient actif de la plupart des répulsifs contre les mouches des fruits achetés en magasin. Les mouches des fruits y sont souvent attirées.

Troubles du goût : le laurylsulfate de sodium réduit temporairement la perception du goût sucré, un effet couramment observé après l'utilisation récente de dentifrices contenant cet ingrédient.

Des études toxicologiques ont montré que le SDS n'est pas cancérigène lorsqu'il est appliqué directement sur la peau ou consommé. Une revue de la littérature scientifique a déclaré que "SLS [SDS] était négatif dans un test de mutation bactérienne d'Ames, un test de mutation génique et d'échange de chromatides sœurs dans des cellules de mammifères et un test in vivo sur les micronoyaux de souris. Les résultats négatifs de l' in des études in vitro et in vivo indiquent que le SDS n'interagit pas avec l'ADN. La seule étude menée sur l'étude de cancérogénicité a déclaré que "le SDS n'était pas cancérigène chez le Beagle". Dans le cas étudié, les détails manquaient et les données avaient une signification limitée "(Agner T (1991)." La sensibilité à la dermatite atopique des patients atteints de dermatite irritante est causée par le laurylsulfate de sodium "Acta Derm Venereol 71 (4): ... 296-300)

**Sensibilité :** Il a été démontré qu'il irrite la peau du visage lors d'une exposition prolongée et constante (plus d'une heure) chez l'adulte jeune. Le SDS peut aggraver les problèmes de peau chez les personnes souffrant d'hypersensibilité cutanée chronique. Certaines personnes sont plus touchées que d'autres. Dans les études animales, le SDS semble irriter la peau et les yeux.

**Aphtes :** Il y a eu plusieurs études sur la façon dont le dentifrice SDS affecte la récurrence des aphtes, connus dans certains pays sous le nom de plaies blanches. Les résultats de ces études étaient contradictoires. En 1994, une étude centrale préliminaire a montré que les patients présentaient un nombre significativement plus élevé d'ulcères aphteux après avoir utilisé un dentifrice contenant du SLS qu'un dentifrice sans SLS. Cependant, une étude publiée en 1999 n'a pas trouvé de différences statistiquement significatives. Une étude de 2012 n'a trouvé aucune différence significative dans le nombre d'ulcères, mais n'a pas trouvé de différence significative dans la durée et les scores de douleur liée à l'ulcère. Seule l'étude de 2012 sur les patients utilisant un dentifrice sans SLS a montré une cicatrisation plus rapide de l'ulcère et moins de douleur liée à l'ulcère, en moyenne, que les patients utilisant un dentifrice contenant du SLS.

**Interaction avec le fluorure :** Certaines études ont suggéré que le SLS dans le dentifrice pourrait diminuer l'efficacité du fluorure dans la prévention de la carie dentaire (caries). Cela peut être dû à l'interaction avec le dépôt SLS de fluorure sur l'émail des dents.



## DISPOSITIF EXPÉRIMENTALES

**LE STALAGMOMETRE ou BURETTE** (figure 1) est constitué d'un réservoir d'un volume déterminé, délimité par deux repères, terminé par un tube capillaire, à travers lequel le liquide s'écoule, goutte à goutte.

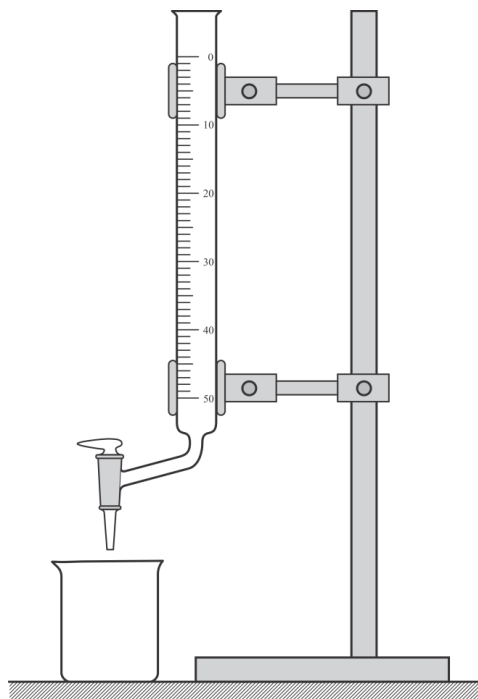


Figure 1. Représentation schématique du stalagmomètre

De l'eau est introduite dans le stalagmomètre. Comptez les gouttelettes d'eau formées pendant que l'eau s'écoule entre les deux points de repère (dans un volume donné). Les opérations sont répétées pour les autres substances qui sont à l'étude. 5 déterminations sont faites pour chaque substance, dont la densité est connue et dont le coefficient de tension superficielle est déterminé avec la relation (11). Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

## ÉTAPES DU TRAVAIL

1. L'eau est introduite dans le stalogramme
2. Les gouttes qui se forment à partir d'un volume donné (entre 2 marques) de liquide sont comptées
3. L'opération est répétée pour toutes les autres substances utilisées
4. 3 mesures sont effectuées pour chaque substance
5. Le coefficient de tension superficielle est déterminé avec la formule (11)
6. Les données sont entrées dans les tableaux 1 et 2, respectivement.

## DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Connaissant la densité des solutions, le coefficient de tension superficielle des fluides est déterminé

avec la relation :  $\sigma = \sigma_0 \frac{\rho n_0}{\rho_0 n}$  (11)

Les résultats seront présentés dans le tableau 1.

Pour chaque substance, la valeur moyenne est calculée  $\bar{\sigma}$

De plus, l'erreur sera calculée avec la formule suivante  $\mu = \sqrt{\frac{\sum (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n(n-1)}}$

et l'intervalle des valeurs réelles  $\sigma_{real} \in (\bar{\sigma} - \mu, \bar{\sigma} + \mu) \cdot 10^{-3} \frac{N}{m}$

Tableau 1. Variation de la tension superficielle avec la densité  $\sigma = \sigma(\rho)$

Non crt.	Substance	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$n$ nr.gouttes	$\sigma$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\bar{\sigma}$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\mu$ ( $10^{-3} N/m$ )
1	eau ( H2O )	$\rho_0 = 1000$		$\sigma_0 = 72.8$	-	-
2						
3						
1	alcool isopropyle	786				
2						
3						
1	alcool éthyle ( C2H6O )	789				
2						
3						
1	acétone ( C3H6 )	792				
2						
3						
1	TOLUÈNE ( C7H8 )	870				
2						
3						
1	méthanol ( CH4O )	1015				
2						
3						
1	aniline (C6H7H)	1010				
2						
3						
1	acide acétique C2H4O2	1050				
2						
3						
1	DMSO Oxyde de diméthyle sulfure	1100				
2						
3						
1	éthylène glycol C2H4O2	1110				
2						
3						
1	peroxyde d'hydrogène H2O2	1450				
2						
3						

Tableau 2 : Variation de la tension superficielle avec la concentration  $\sigma = \sigma(c)$

Nr. Crt.	Subst.	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$n$ Nr.gouttes	$\sigma$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\bar{\sigma}$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\mu$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\sigma_{réel}$
1	eau ( H <sub>2</sub> O )	1000		$\sigma_0 = 72.8$	-	-	
2							
3							
1	SDS 0,5 %						
2							
3							
1	FDS 1%						
2							
3							
1	SDS 2%						
2							
3							
1	SDS 5%						
2							
3							
1	SDS 6%						
2							
3							
1	SDS 9 %						
2							
3							

## CONCLUSIONS

Des conclusions sont tirées concernant la variation de la tension superficielle avec la densité, respectivement avec la concentration de la substance étudiée.

L'intervalle des valeurs réelles pour les liquides étudiés est calculé selon la formule :

$$\sigma_{real} \in (\bar{\sigma} - \mu, \bar{\sigma} + \mu) 10^{-3} \frac{N}{m}$$

Tableau 3 : Variation de la tension superficielle avec la concentration :

SOLUTION MICELLAIRE

N° crt	C(%)	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$n$ (Non. gouttes)	$\sigma$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\bar{\sigma}$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\mu$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\sigma_{réel}$
1	eau ( H2O )	1000		$\sigma_0 = 72.8$	-	-	
2							
3							
1	10	988.4					
2							
3							
1	20	989.2					
2							
3							
1	30	990					
2							
3							
1	40	990.4					
2							
3							

**CONCLUSIONS**

Des conclusions sont tirées concernant la variation de la tension superficielle avec la densité, respectivement avec la concentration de la substance étudiée.

L'intervalle des valeurs réelles pour les liquides étudiés est calculé selon la formule :

$$\sigma_{réel} \in (\bar{\sigma} - \mu, \bar{\sigma} + \mu) 10^{-3} \frac{N}{m}$$

Tableau 4 : Variation de la tension superficielle avec la concentration : GLYCÉRINE

N° crt	C(%)	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$n$ (pas de gouttes)	$\sigma$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\bar{\sigma}$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\mu$ ( $10^{-3} N/m$ )	$\sigma_{réel}$
1	eau (H <sub>2</sub> O)	1000		$\sigma_0 = 72.8$	-	-	
2							
3							
1	10						
2							
3							
1	20						
2							
3							
1	30						
2							
3							
1	40						
2							
3							
1	50						
2							
3							

### CONCLUSIONS

Des conclusions sont tirées concernant la variation de la tension superficielle avec la densité, respectivement avec la concentration de la substance étudiée.

L'intervalle des valeurs réelles pour les liquides étudiés est calculé selon la formule :

$$\sigma_{réel} \in (\bar{\sigma} - \mu, \bar{\sigma} + \mu) 10^{-3} \frac{N}{m}$$

# MESURE DE LA VISCOSITÉ DYNAMIQUE ET CINEMATIQUE A L'AIDE DU VISCOSIMÈTRE HÖPPLER

## INTRODUCTION

### VISCOSITÉ

A des vitesses pas trop élevées, l'écoulement du fluide est linéaire (en couches parallèles), ainsi, les lignes de courant sont bien déterminées et ne se croisent nulle part, chaque particule de fluide reste toujours à l'intérieur du même tube de courant. **A grande vitesse, le mouvement du fluide devient TURBULENT**, irrégulier, les portions du fluide se mélangent (l'écoulement du fluide idéal avec tourbillons). **Si les couches de fluide glissent les unes contre les autres, des forces de frottement interne ou de viscosité apparaissent entre elles**. La couche avec la vitesse la plus faible freinera la couche avec la vitesse la plus élevée et vice versa la couche avec la vitesse la plus élevée augmentera la vitesse de la couche avec la vitesse la plus faible.

L'apparition de ces forces, localisées dans les plans de travail, s'explique par la variation de la quantité de mouvement des couches due au passage des molécules d'une couche à l'autre. On supposera que le sens d'écoulement du fluide est le même et que la vitesse d'écoulement ne varie comme un mode que dans la direction perpendiculaire (transversale) au sens d'écoulement.

L'exemple montre que **la force de frottement interne qui apparaît dans le plan de glissement par unité de surface est proportionnelle au degré de vitesse (loi de Newton)** :

$$\mathfrak{F} = \frac{dF}{dS} = \eta \frac{dv}{dz} \quad (1)$$

ainsi  $dF = \eta \frac{dv}{dz} dS$  (2)

où  $\eta$  est le coefficient de viscosité dynamique dépendant de la nature du fluide (et de la température).

La taille du coefficient de viscosité est :  $[\eta]_{s.i.} = \frac{N \cdot m}{m^2 \cdot \frac{m}{s}} = \frac{Kg \cdot m \cdot s}{s^2 \cdot m^2} = \frac{Kg}{m \cdot s}$  ou  $[\eta]_{s.i.} = \frac{N \cdot S}{m^2}$

L'unité CGS est un poise (P) (d'après POISEUILLE) :  $1P = 1 \frac{g}{cm \cdot s} = 0,1 \frac{Kg}{m \cdot s}$ . Ainsi

l'unité de mesure en SI est DECAPOISE (daP).

Pour les liquides  $\eta$  c'est  $10^{-3}$  daP et pour les gaz  $\eta$  c'est deux ordres de grandeur plus bas :  $\eta = 10^{-5}$  daP.

LA VISCOSITÉ CINÉMATIQUE  $\nu$  est le rapport entre la viscosité  $\eta$  et la densité  $\rho$

du fluide :  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$  et son unité de mesure est  $[\nu]_{S.I} = 1 \frac{Kg}{m \cdot s} \cdot \frac{m^3}{Kg} = 1 \frac{m^2}{s}$  dans CGS, l'unité est

STOKES (St)  $1St = 1 \frac{cm^2}{s} = 10^{-4} \frac{m^2}{s}$ .

Pour les liquides  $\nu \approx 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ , pour les gaz  $10^{-5} \frac{m^2}{s}$  (plus élevé que pour les liquides)

L'existence d'un frottement interne (viscosité) peut facilement être démontrée expérimentalement en suspendant un disque ou un cylindre sous lequel un autre disque ou cylindre tourne par un fil.

La couche de fluide immédiatement adjacente au corps en rotation y adhère et est entraînée par lui.

Les autres couches sont entraînées à des vitesses de plus en plus faibles jusqu'à ce que la dernière couche soit collée à l'autre disque ou cylindre, sur lequel s'exercera une force de frottement qui la fera tourner (voir fig.1).

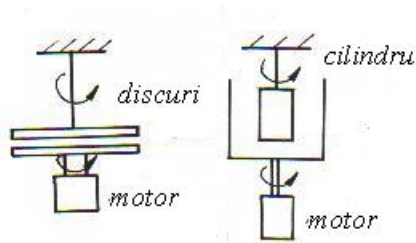


Figure 1



## LA FORMULE DE POISEUILLE

L'étude **de l'écoulement linéaire stationnaire** d'un fluide visqueux à travers un tube. L'écoulement linéaire se produit à des vitesses pas trop élevées ou à des diamètres pas trop grands.

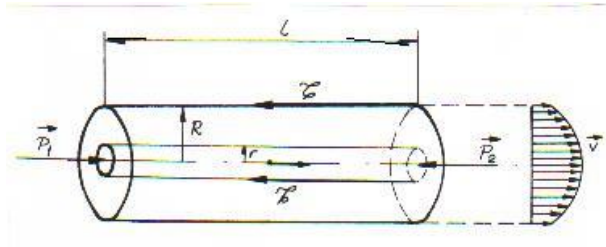


Figure 2.

Si l'on délimite un tube courant de rayon  $r$  (voir fig.2). Les forces de pression des extrémités agissent sur le fluide dans ce tube avec la  $p_1\pi r^2 - p_2\pi r^2$  force de frottement interne résultante sur la surface latérale, exercée par le reste du fluide en raison de la viscosité  $\mathfrak{F}2\pi r l$ .

L'écoulement étant **stationnaire** (à vitesse constante), les forces s'équilibrent :

$$(p_1 - p_2)\pi r^2 = 2\pi r l \mathfrak{F} \text{ ou } (p_1 - p_2)r = -2l\eta \cdot \frac{dv}{dz} \quad (3)$$

( $\mathfrak{F}$  est la force de frottement interne :  $\mathfrak{F} = \frac{dF}{dS} = \eta \frac{dv}{dz}$ ) Le signe moins apparaît à cause du signe

moins du gradient de vitesse  $\frac{dv}{dz} < 0$  ; la vitesse sur l'axe du tube est maximale et décroît sur les parois

du tube, étant nulle à la paroi, dans la couche adjacente.

Par intégration on obtient :

$$dv = -\frac{p_1 - p_2}{2l\eta} r dz \quad (4)$$

$$v = -\frac{p_1 - p_2}{4l\eta} r^2 + C \frac{dv}{dz} \quad (5)$$

La constante C est déterminée à partir de la condition qu'à la paroi pour  $r=R$ , la vitesse soit nulle.

$$v(r) = \frac{p_1 - p_2}{4l\eta} (R^2 - r^2) = v_m \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (6)$$

où 
$$v_m = \frac{(p_1 - p_2)R^2}{4l\eta} \quad (7)$$

Ainsi 
$$\frac{v}{v_m} = 1 - \frac{r^2}{R^2} \quad - \text{la distribution de vitesse est parabolique.} \quad (8)$$

Si nous calculons le débit volumique :

$$Q_v = \int v dS = \int_0^r v \cdot 2\pi r \cdot dr = \int_0^r \frac{2\pi(p_1-p_2)}{4l\eta} (R^2 - r^2) r dr = \frac{2\pi(p_1-p_2)}{4l\eta} \cdot \int_0^r (R^2 - r^2) r dr = \frac{\pi(p_1-p_2)}{8l\eta} R^4 = S v \quad (9)$$

where  $v = \frac{p_1-p_2}{8l\eta} R^2$

$$Q_v = \frac{\pi(p_1-p_2)}{8l\eta} R^4 = S v \quad (10)$$

where  $v = \frac{p_1-p_2}{8l\eta} R^2$

C'est la formule de **POISEUILLE (1841)**. Le débit est proportionnel à la perte de charge par unité de longueur du tube et à la puissance 4ème du rayon du tube.

Cette formule peut être utilisée pour déterminer la viscosité des fluides (par exemple dans le viscosimètre **OSTWALD**).

La loi de Poiseuille explique certains aspects de la physiologie de la circulation sanguine. Le réseau capillaire humain totalise  $10^5$  Km. Selon les besoins de l'organisme, le flux sanguin est facilement régulé par constriction ou dilatation des vaisseaux sanguins.

#### **COUCHE LIMITE. LOI DE STOKES .**

Lorsqu'un corps se déplace dans un fluide, une très fine couche de fluide adhère à la surface, entraînée par le corps. En régime linéaire, c'est-à-dire à des vitesses pas trop élevées, il existe au voisinage du corps **une couche relativement mince, appelée couche limite, dans laquelle la vitesse tombe à zéro et dans laquelle se manifestent les forces de frottement dues à la viscosité .**

Nous pouvons évaluer l'épaisseur de la couche limite comme suit : nous écrivons la longueur et la largeur de la couche limite avec h et b. Alors la force de frottement interne selon la loi de Newton

$$\text{est : } F \approx \eta \cdot \frac{v}{d} \cdot h \cdot b \quad (11)$$

D'autre part, la force de frottement interne peut être trouvée à partir de la variation de quantité de mouvement du fluide (de la couche à vitesse nulle à celle à vitesse v) dans l'unité de temps :

$$F \approx Q_m \cdot v = \rho db v \cdot v = \rho db \cdot v^2 \quad (12)$$

$$\text{De ces deux expressions il résulte : } d \cong \sqrt{\frac{h\eta}{\rho v}} \quad (13)$$

Si le rapport  $\frac{hb}{d} = l$  est une longueur caractéristique du corps, alors la force de frottement devient :

$$\boxed{F = \text{const.} \cdot \eta l v} \text{ Loi de Stokes} \quad (14)$$

**LOI DE STOKES** : La force de frottement  $F$  rencontrée par un corps (en régime d'écoulement) est proportionnelle à la viscosité du fluide  $\eta$ , à la dimension linéaire caractéristique du corps et à sa vitesse  $v$ .

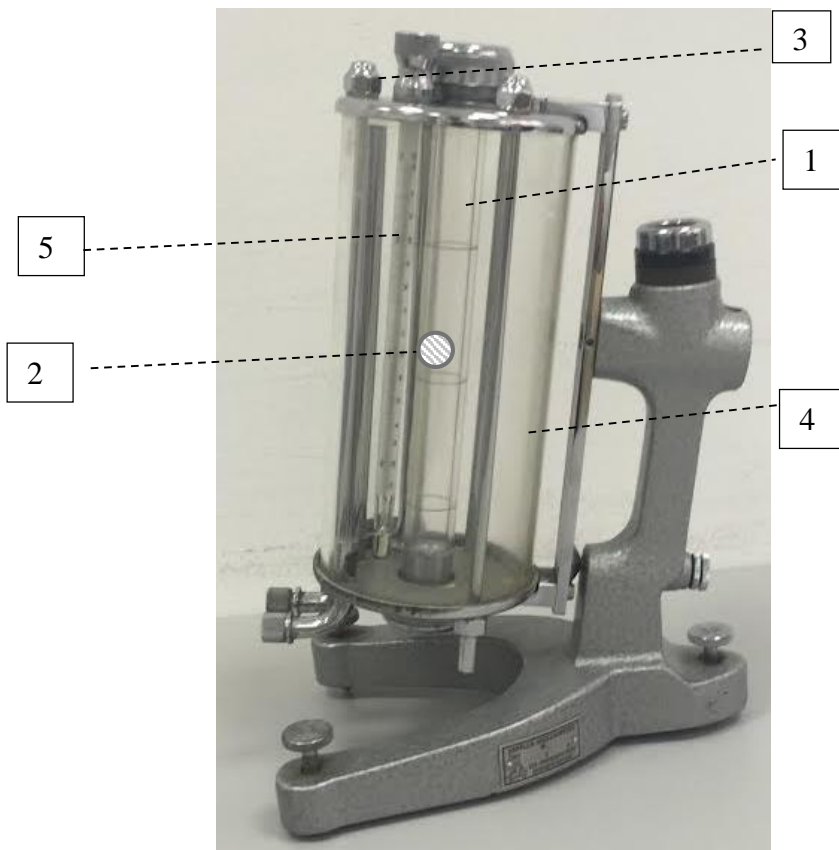
**Dans le cas de la sphère, la formule de STOKES**  $F = 6\pi\eta r v$  est obtenue : (15)

où  $r$  - est le rayon de la sphère.

## TRAVAIL PRATIQUE

### DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Pour déterminer la viscosité dynamique et cinématique, le viscosimètre Hoppler est utilisé. La température peut également être contrôlée depuis l'intérieur du viscosimètre dans la plage (-20, +120 ° C)



1. le tube où tombe la balle
2. balle
3. le bouchon de fermeture du tube où est introduit le fluide visqueux qui sera étudié
4. tube extérieur
5. thermomètre
6. La température peut être contrôlée à l'intérieur du viscosimètre dans la plage (-20 ; +120) °C

## ÉTAPES DU TRAVAIL

### MESURE DU TEMPS DE TOMBE DE LA BALLE

Enregistrez le temps que la balle tombe entre les deux marques sur le tube. Le tube est rempli au préalable avec le liquide visqueux à étudier (la distance entre les deux marques a une valeur de 4,5 cm = 45 mm)

### DONNÉES EXPÉRIMENTAL

**LE CALCUL DE LA VISCOSITÉ DYNAMIQUE se fait avec la formule :**  $\eta = k.(\rho_1 - \rho_2).t$

Où

- k est la constante de la boule (ayant pour unité  $\frac{mPa.s.cm^3}{g.s}$ )
- $\rho_1$  – la masse volumique de la balle (ayant pour unité : g/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_2$  - la masse volumique du liquide à étudier (ayant pour unité : g/cm<sup>3</sup>)
- t - le temps de chute de la balle.

**LE CALCUL DE LA VISCOSITÉ CINÉMATIQUE se fait avec la formule :**  $\nu = \frac{\eta}{\rho_2}$

L'unité de mesure est  $1 \frac{mm^2}{s} = 1cSt$

Le calcul de la densité de la balle qui tombe est déterminé comme suit :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4.\pi.R^3}{3}} = \frac{3m}{\pi.D^3}$$

Où R- rayon de la balle, D- diamètre de la balle, m - masse de la balle.

**Tableau 1 : Constantes de matériau**

Article	Ball e	Matériel	Densité g/cm <sup>3</sup>	Diamètre de boule millimètre	Agent K mPa · s · cm <sup>3</sup> /g · s	La plage de valeurs obtenues après avoir mesuré mPa · s
V91101	1	Verre Borosilicate	2.2	15.81	0,007	0,6...10
V91102	2	Verre borosilicaté	2.2	15.6	0,09	7...130
V91103	3	Ni-Fe	8.1	15.6	0,09	30...700
V91104	4	Ni-Fe	8.1	15.2	0,7	200...4800
V91105	5	Acier	7.7-8.1	14.0	4.5	800...10000
V91106	6	Acier	7.7-8.1	11.0	33	6000...75000

**Tableau 2 : Détermination de la viscosité dynamique et cinématique  $\eta$ (mPa.s)**

Nr.crt.	M (g)	D(cm)	$K \frac{mPa.s.cm^3}{g.s}$	$\rho_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	t(s)	$\eta = k.(\rho_1 - \rho_2)t$	$\nu = \frac{\eta}{\rho_2}$ (mm <sup>2</sup> /s)
1	4.58	1 580	0,01972	2.2212			
2	4.41	1 560	0,12801	2.2199			
3	16.13	1 559	0,13945	8.1380			
4	14.91	1 518	0,78017	8.1480			
5	11.16	1 399	6.32917	7,7925			
6	5.42	1 099	31.15722	7.8147			

**Tableau 3 : Détermination de la viscosité dynamique et cinématique pour le sirop de plantusine**

Nr.crt.	c (%)	$\rho_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	K $\frac{mPa.s.cm^3}{g.s}$	$\rho_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	t(s)	$\eta = k.(\rho_1 - \rho_2)t$ $\eta(mPa.s)$	$\nu = \frac{\eta}{\rho_2}$ mm <sup>2</sup> /s
1	20	1.06	0,12801	2.21996			
2	40	1.1					
3	60	1.14					
4	80	1.18					
5	100	1.24					

# MESURE DE LA VISCOSITÉ DYNAMIQUE, CINÉMATIQUE ET RELATIVE AVEC LE VISCOSIMÈTRE ÜBELLOHDE

## INTRODUCTION THÉORIQUE

Les forces d'attraction intermoléculaire qui s'opposent au déplacement relatif des molécules voisines provoquent l'apparition du phénomène de frottement interne aussi appelé viscosité

Les forces de frottement entre les couches de liquide en écoulement sont données par

**FORMULE DE NEWTON :** 
$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

Où  $\eta$  est le coefficient de viscosité,

S - surface de contact entre les couches liquides

$\frac{\Delta v}{\Delta x}$  - le gradient de vitesse

**LA FORMULE DE POISEUILLE** permet de calculer la viscosité  $\eta$ : 
$$Q = \frac{p \cdot R^4 \cdot \pi}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Q - couler; p - pression; R- rayon du tube ; l – longueur du tube.

L'écoulement laminaire de liquide est décrit par l'équation de Poiseuille :  $Q = \frac{p \cdot R^4 \cdot \pi}{8 \cdot \eta \cdot l}$

**La définition du flux est :** 
$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow V = Q \cdot t$$

Pour le liquide inconnu nous avons la formule suivante :  $V = \frac{p \cdot R^4 \cdot \pi \cdot t}{8 \eta l}$

Pour l'eau:  $V_0 = \frac{p_0 \cdot R^4 \cdot \pi \cdot t_0}{8 \eta_0 l}$

La pression du liquide inconnu est :  $p = \rho \cdot g \cdot h$

et la pression de l'eau vaut :  $p_0 = \rho_0 \cdot g \cdot h$

si le liquide a :  $V = V_0$

$$\frac{p \cdot R^4 \pi \cdot t}{8 \eta l} = \frac{8 \cdot \eta_0 l}{p_0 R^4 \pi \cdot t_0} = 1$$

$$\frac{p \cdot t}{\eta} = \frac{p_0 \cdot t_0}{\eta_0} \Rightarrow \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot t}{\eta} = \frac{\rho_0 \cdot g \cdot h \cdot t_0}{\eta_0}$$

$$\boxed{\frac{\rho \cdot t}{\eta} = \frac{\rho_0 \cdot t_0}{\eta_0}}$$

La formule de viscosité est :

$$\boxed{\eta = \eta_0 \frac{\rho \cdot t}{\rho_0 \cdot t_0}}$$

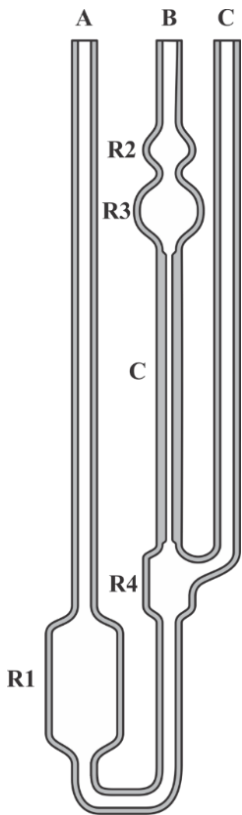
Et la formule de viscosité relative est :

$$\boxed{\eta_{relatif} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho \cdot t}{\rho_0 \cdot t_0}}$$

## TRAVAIL PRATIQUE

La figure ci-dessous représente le *viscosimètre Ubbelohde*. Il est en verre et comporte les parties constructives suivantes :

- réservoir R1, R2, R3 et R4 ;
- tubes de communication, ouverts à l'extrémité supérieure, (A), (B) et (C).
- tube à diamètre contrôlé (C) par lequel communiquent les réservoirs R3 et R4.



La détermination du coefficient de viscosité dynamique ( $\eta$ ) est basée sur la mesure du temps d'écoulement d'un volume contrôlé de liquide à travers le tube (C). Ce processus est régi par l'équation de *Poiseuille* selon laquelle le débit (Q) d'un liquide à travers un tube à section circulaire, de longueur (L) et de rayon intérieur (r), sous l'action d'une différence de pression ( $p \Delta$ ) entre les extrémités du tube :

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot L \cdot \eta} \quad (1)$$

Figure 1 . Viscosimètre *Ubbelohde*



Pratiquement, le temps d'écoulement ( $t$ ) d'un volume de liquide ( $V$ ) est mesuré, et le coefficient de viscosité dynamique est exprimé par la relation (2).

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot t}{8 \cdot L \cdot V} \quad (2)$$

Si la relation (2) est appliquée pour un liquide de référence dont le coefficient de viscosité dynamique ( $\eta_r$ ) est connu, le temps ( $t_r$ ) est nécessaire pour vider le volume ( $V$ ). Dans ce cas, l'équation s'écrit

comme suit :  $\eta_r = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot t_r}{8 \cdot L \cdot V} \quad (3)$

En divisant membre par membre les relations (2) et (3) , on obtient la formule suivante :

$$\frac{\eta}{\eta_r} = \frac{t}{t_r} \quad (4)$$

d'où le coefficient de viscosité dynamique du liquide étudié ( $\eta$ ) est calculé en fonction du coefficient de viscosité dynamique du liquide de référence ( $\eta_r$ ).

$$\eta = \eta_r \cdot \frac{t}{t_r} = d \cdot \frac{t}{t_r} \quad (5)$$

## ÉTAPES DE TRAVAIL

1. Pour l'exécution pratique de la mesure, remplir le viscosimètre avec le liquide à étudier à travers le tube de communication (A) (un volume d'environ 14-15 ml est recommandé).
2. Le tube de communication (C) est fermé et à l'aide de la pression d'air introduite dans le tube (B) le liquide est poussé vers le haut dans le tube (B) jusqu'à ce qu'il dépasse le réservoir R2. Les deux tubes (C) et (B) sont libérés. Le liquide commence à s'écouler à travers le tube (B) vers le réservoir (R4). Lorsque le niveau de liquide atteint la partie étroite entre les réservoirs (R2) et (R3), le décompte du temps démarre (la minuterie démarre). Lorsque le réservoir (R3) est vide, arrêtez le chronomètre et notez le temps enregistré ( $t$ ).
3. Vider le viscosimètre, le laver et le sécher. Après cela, remplissez-le avec le liquide de référence pour lequel le coefficient de viscosité dynamique ( $\eta_r$ ) est connu et répétez la procédure décrite ci-dessus. On note également cette fois le temps de vidange ( $t_r$ ) du réservoir (R3).
4. Les valeurs ( $t$ ) et ( $t_r$ ) sont entrées dans la relation (5) et le coefficient de viscosité dynamique ( $\eta$ ) du liquide étudié est calculé en fonction de celui du liquide de référence ( $\eta_r$ ).

**Tableau 1 : Détermination de la viscosité relative pour la glycérine**

Non.	C(%)	$d = \frac{\rho}{\rho_0}$	t(s)	$\eta = d \cdot \frac{t}{t_r}$	$\eta$	$\mu$	$\eta_{\text{réel}}$
1	eau	1					
2							
3							
1	10						
2							
3							
1	20						
2							
3							
1	30						
2							
3							
1	40						
2							
3							

Les valeurs moyennes et les erreurs seront calculées et introduites dans le tableau

**Tableau 2: Détermination de la viscosité relative au sirop Panadol en fonction de la concentration**

Non.	C(%)	$d = \frac{\rho}{\rho_0}$	t(s)	$\eta_{relativ} = d \cdot \frac{t}{t_0}$	$\bar{\eta}_{relativ}$	$\mu$	$\eta_{rel\ real}$
1	eau	1					
2							
3							
1	20						
2							
3							
1	40						
2							
3							
1	60						
2							
3							
1	80						
2							
3							
1	100						
2							
3							

Les valeurs moyennes et les erreurs seront calculées et introduites dans le tableau

**Tableau 3: Détermination de la viscosité relative de la solution de plantusine**

Non.	C(%)	$d = \frac{\rho}{\rho_0}$	t(s)	$\eta = d \cdot \frac{t}{t_r}$	$\eta$	$\mu$	$\eta_{\text{réel}}$
1	eau	1					
2							
3							
1	20	1.06					
2							
3							
1	40	1.10					
2							
3							
1	60	1.14					
2							
3							
1	80	1.18					
2							
3							
1	100	1.24					
2							
3							

Les valeurs moyennes et les erreurs seront calculées et introduites dans le tableau

En utilisant la formule suivante de FRX :

$\eta = k \cdot t \cdot \rho$  - la viscosité dynamique à l'aide du viscosimètre Ubbelohde peut être calculée

Où  $k = 0.005096 \frac{m^2}{s^2}$  la constante du viscosimètre d'Ubbelohde

t est le temps d'écoulement entre les deux amers

$\rho$  - la densité du liquide utilisé dans l'expérience

**Tableau 4 : Détermination de la viscosité dynamique de la solution de plantusine**

Non.	C(%)	$\rho(kg/m^3)$	t(s)	$\eta = k \cdot t \cdot \rho$	$\eta$	$\mu$	$\eta_{réel}$
1	eau	1					
2							
3							
1	20	1.06					
2							
3							
1	40	1.10					
2							
3							
1	60	1.14					
2							
3							
1	80	1.18					
2							
3							
1	100	1.24					
2							
3							

Les valeurs moyennes et les erreurs seront calculées et introduites dans le tableau

En utilisant la formule suivante de FRX :

$\eta = k \cdot t \cdot \rho$  - la viscosité dynamique à l'aide du viscosimètre Ubbelohde peut être calculée

Où  $k = 0,005096$  - la constante du viscosimètre d'Ubbelohde

t est le temps d'écoulement entre les deux amers

$\rho$  - la densité du liquide utilisé dans l'expérience

**Tableau 5: Détermination de la viscosité cinématique de la solution de plantusine**

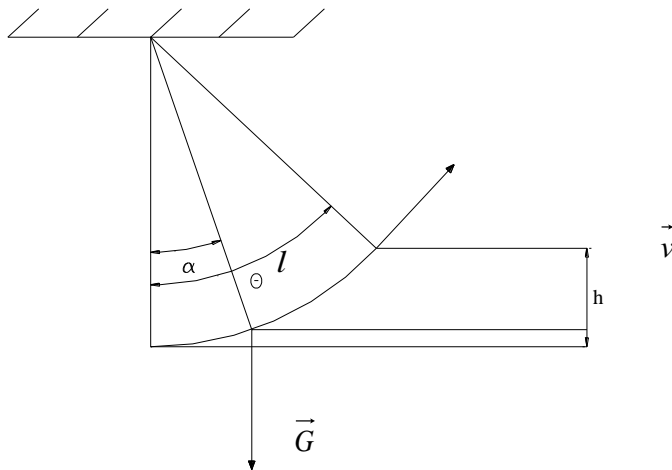
Non.	c(%)	$\rho$	t(s)	$v = \eta/c$	$\bar{v}$	$\mu$	$v_{réel}$
1	eau	1					
2							
3							
1	20	1.06					
2							
3							
1	40	1.1					
2							
3							
1	60	1.14					
2							
3							
1	80	1.18					
2							
3							
1	100	1.24					
2							
3							

Les valeurs moyennes et les erreurs seront calculées et introduites dans le tableau

# LES LOIS DU PENDULE GRAVITATIONNEL

## INTRODUCTION THÉORIQUE

Le pendule gravitationnel simple est un point suspendu par une corde inextensible de masse négligeable, qui peut osciller dans un plan vertical, autour d'un point de suspension sous l'action de son poids. Les forces de frottement sont négligées.



En choisissant pour l'angle de déviation le sens trigonométrique positif et l'axe Oz perpendiculaire à la figure vers le lecteur, le moment de force et le moment cinétique par rapport au point de suspension s'écrivent :

$$M_z = M = -mgl \sin \theta$$

$$L_z = L = mvl = m\dot{\theta} l^2$$

$$M_z = \dot{L}_z \Rightarrow \ddot{\theta} = \frac{g}{l} \sin \theta = 0$$

$$-mgl \sin \theta = m\ddot{\theta} l^2$$

$$-\frac{g}{l} \sin \theta = \ddot{\theta} \Rightarrow \ddot{\theta} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0$$

En simplifiant la masse, il s'ensuit que les oscillations ne dépendent pas de la masse du point matériel. L'équation peut être résolue pour des oscillations sous de petits angles

$$\theta \ll 1 \text{ rad} (\theta < 6^\circ) \Rightarrow \sin \theta \approx \theta \text{ en radians} \Rightarrow \ddot{\theta} + \frac{g}{l} \theta = 0.$$

$$\boxed{\ddot{\theta} + \omega^2 \theta = 0} \longrightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \Rightarrow$$

équation de l'oscillateur harmonique

La solution est  $\theta = \alpha \cos(\omega t + \varphi)$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

La relation pour la période est obtenue en simplifiant l'expression suivante :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1*3}{2*4}\right) \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \dots \right]$$

### **Les lois du pendule gravitationnel :**

- **La loi de la substance ou la loi des masses** : la période ne dépend pas de la masse et de la nature de la substance du point matériel.
- **La loi d'isochronisme des petites oscillations** : petites oscillations ( $\theta \ll 6^\circ$ ) ne dépendent pas de leur amplitude angulaire.
- **La loi des longueurs** : la période des oscillations est directement proportionnelle à la racine carrée de la longueur du pendule et inversement proportionnelle à la racine carrée de l'accélération gravitationnelle.



## DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'appareil est constitué de trois pendules à gravité constitués de matériaux différents (laiton, plomb, aluminium) et de masses différentes, suspendus à un support permettant de faire varier leurs longueurs.

## ÉTAPES DU TRAVAIL

- **Loi des masses :** Les trois pendules de même longueur mais de masses différentes sont mis en oscillation avec une faible amplitude. Le temps d'oscillation ( $n \gg 10$ ) est mesuré  $n$ , qui divisé par  $n$  donne la période d'oscillation.
- **La loi des longueurs :** elle s'étudie avec un pendule ayant la même masse mais des longueurs différentes. Les trois pendules de même masse mais de longueurs différentes sont réglés pour osciller tour à tour avec une faible amplitude. Le temps d'oscillation ( $n \gg 10$ ) est mesuré  $n$ , divisé par  $n$  donne la période d'oscillation.

## CALCULS DES RÉSULTATS

- **La loi des masses :** Compléter le tableau 1. Calculer les erreurs à l'aide de la formule et tracer la période  $T$  en fonction de la masse  $\bar{T} = \bar{T}(m)$ . Avec la méthode des plus petits, on démontre que la période ne dépend pas de la masse du pendule. où :

$$\bar{T} = Am + B; A = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}, B = \frac{\overline{x^2 y} - \bar{x}\bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}, x = m, y = \bar{T}$$

Tableau 1 : Vérification de la loi des masses l= .....cm

	$m(g)$	$t(s)$	$N(oscill.)$	$T(s)$	$\bar{T}(s)$	$\mu$	$T_{real}(s)$
1			10				
2							
3							
4							
5							
1			10				
2							
3							
4							
5							
1			10				
2							
3							
4							
5							
1			10				
2							
3							
4							
5							

Erreur quadratique moyenne de la moyenne :  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n(n-1)}}$

$n$  - le nombre de mesures,  $T_{real} \in (\bar{T} - \mu, \bar{T} + \mu)$ ,  $\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$ .

## MÉTHODE DES MOINDRES CARRÉS

Il existe des travaux de laboratoire dont le but est de déterminer une grandeur qui constitue un coefficient constant à partir d'une relation linéaire de la forme :  $\underline{Y = A \cdot x + B}$ .

Une telle relation est la loi de Hooke, par exemple :  $F=kx$ , dans laquelle on demande la détermination du coefficient  $k$  ou l'accélération du centre du cylindre roulant sur un plan incliné avec frottement de roulement. Selon le péché  $\alpha \approx \alpha$  ( pour  $\alpha$ - petit :  $a= A \cdot \alpha + B$  ) où  $B$  est requis.

En effectuant plusieurs mesures pour  $x$  et  $y$ , les constantes  $A$  et  $B$  peuvent être déterminées à partir d'une représentation graphique. Habituellement, les points représentatifs ne sont pas exactement sur une ligne droite, étant affectés par des erreurs accidentelles. La question se pose par quelles méthodes les constantes  $A$  et  $B$  doivent être déterminées pour que leurs valeurs soient aussi proches que possible de la valeur réelle.

Ce problème est résolu par la « *méthode des moindres carrés* » qui repose sur la condition suivante : la valeur la plus probable des constantes sera celle pour laquelle la somme des erreurs quadratiques est minimale.

Il peut s'écrire en conséquence :

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_i x_i \\ \bar{y} &= \frac{1}{n} \sum_i y_i \\ \bar{x^2} &= \frac{1}{n} \sum_i x_i^2 \\ \overline{xy} &= \frac{1}{n} \sum_i x_i y_i \end{aligned} \quad \text{Donc: } \begin{aligned} \bar{x^2} A + \bar{x} B - \overline{xy} &= 0 \\ \bar{x} A + B - \bar{y} &= 0 \end{aligned}$$

Les solutions de ces équations constituent les valeurs recherchées pour  $A$  et  $B$

$$\begin{aligned} A &= \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\bar{x^2} - (\bar{x})^2} \\ B &= \frac{\bar{x^2} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \overline{xy}}{\bar{x^2} - (\bar{x})^2} \end{aligned}$$

La méthode peut également être appliquée dans des relations non linéaires obtenues à partir de démonstrations similaires.

## LA LOI DES LONGUEURS :

Compléter le tableau 2.

Les erreurs sont calculées à l'aide de la formule et la période T est représentée graphiquement en fonction de la longueur.

**Tableau 2 : Vérification de la loi des longueurs m=.....g**

	$l(cm)$	$t(s)$	$T(s)$	$\bar{T}(s)$	$\mu$	$T_{real}(s)$	$T_C = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}(s)$
1							
2							
3							
4							
5							
1							
2							
3							
4							
5							
1							
2							
3							
4							
5							
1							
2							
3							
4							
5							

L'erreur quadratique moyenne de la moyenne :  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n(n-1)}}$

$n$  - le nombre de mesures,  $T_{real} \in (\bar{T} - \mu, \bar{T} + \mu)$ ,  $\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$ .

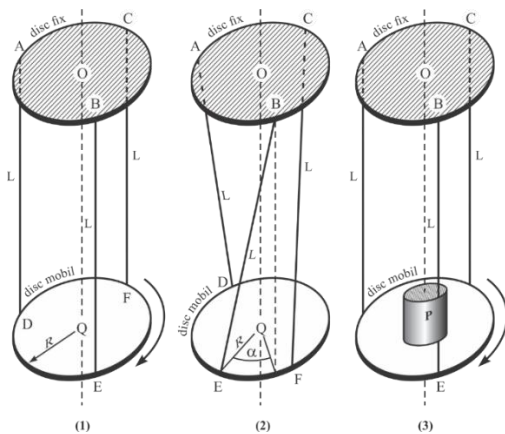
**5. Conclusions :** La période ne dépend pas de la masse, elle dépend de la longueur du pendule.

# DETERMINATION DU MOMENT D'INERTIE D'UN CORPS RIGIDE A L'AIDE DU PENDULE DE TORSION TRIFILAIRE

## INTRODUCTION

Le pendule de torsion trifilaire est constitué de deux disques égaux reliés par trois fils fins (de masse négligeable), chacun de longueur "L". L'ensemble est positionné verticalement (Figure 1-1)

Soit le rayon des disques égal à "R". Le disque supérieur est fixe tandis que le disque inférieur peut tourner autour de l'axe vertical "OQ". Après avoir fait tourner le disque inférieur autour de l'axe "OQ" avec l'angle "  $\alpha_0$  " par rapport à la position d'équilibre initiale (Fig 1-2), le disque mobile s'élève à partir de la position initiale, donc l'énergie potentielle du système augmente.



**Fig. 1 Détails de construction du pendule de torsion trifilaire**

Laissé libre, le système revient à sa position initiale et s'engage dans un mouvement d'oscillation circulaire. L'oscillation du disque mobile a une période "T<sub>o</sub>", dépendante de la longueur "L" des fils porteurs, du rayon "R" des disques, de l'angle de rotation initial "  $\alpha_0$  " et du moment d'inertie du disque mobile, "I<sub>o</sub>", par rapport à l'axe de rotation "OQ". Au cours de l'oscillation l'allongement [valeur instantanée à l'instant "t" de l'angle, " (t) "  $\alpha$ ] change périodiquement dans le temps. La tension " F", qui agit dans chaque fil de support, est déterminé par le poids du disque mobile "M<sub>o</sub>". La période d'oscillation est T<sub>o</sub>. La relation entre ces grandeurs est exprimée par l'équation différentielle (1).

$$I_o \cdot \frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} + \frac{R^2 \cdot F(t)}{L} \cdot \sin \alpha(t) = 0 \quad (1)$$

Dans la relation (1) la tension dans le fil, "F(t)", est dépendante de la valeur momentanée de l'allongement "  $\alpha(t)$ ", donc implicitement du temps. Dans le cas d'un écart initial faible (  $\alpha_0 < 5^\circ$  ), l'acceptation de quelques simplifications se justifie :

- (a)  $\sin \alpha(t) \approx \alpha(t)$  [  $\alpha(t)$  étant exprimé en radians ]
- (b) La tension dans le fil est approximativement constante et déterminée, à chaque instant du mouvement, par le poids du disque mobile :  $F \approx M_o \cdot g$  ("g" est l'accélération gravitationnelle).
- (c) L'oscillation est approximativement aronique, c'est-à-dire que la période "T<sub>o</sub>" peut être considérée comme constante dans le temps, indépendante de l'angle "  $\alpha_0$  ".

A la lumière de ces simplifications, l'équation (1) peut être transcrite comme suit :

$$\frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} + \frac{R^2 \cdot M_o \cdot g}{L \cdot I_o} \cdot \alpha(t) = 0 \quad (2)$$

Une équation différentielle du type

$$\frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot \alpha(t) = 0 \quad (3)$$

a comme solution une fonction de la forme :  $\alpha(t) = A \cdot \sin \alpha_0 \cdot t$  où "  $\alpha_0$  " représente la pulsation, et " A " est l'amplitude de l'oscillation. La relation entre la pulsation "  $\alpha_0$  " et la période " T<sub>o</sub> " de l'oscillation est :

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi}{T_o} \quad (4)$$

En comparant les équations (2), (3) et (4), il s'ensuit :

$$\omega_0^2 = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} = \frac{R^2 \cdot M_o \cdot g}{L \cdot I_o} \quad (5)$$

$$I_o = \frac{T_o^2 \cdot R^2 \cdot g \cdot M_o}{4 \cdot \pi \cdot L} \quad (6)$$

La relation (6) exprime le moment d'inertie "I<sub>o</sub>" du disque mobile. Si un objet rigide (noté "P" sur la figure 1-3) est déposé sur le disque mobile, ayant le moment d'inertie "I<sub>P</sub>" par rapport à l'axe de rotation "OQ", alors la période d'oscillation ("T<sub>o</sub>") est modifié devient "T"). Dans ce cas, la masse totale qui génère la tension dans le fil est  $M = M_o + M_P$ , « M<sub>P</sub> » étant la masse de l'objet « P ». Le moment d'inertie total, « I », est la somme des moments d'inertie « M<sub>o</sub> » et « M<sub>P</sub> ».

$$I = I_o + I_P = \frac{T^2 \cdot R^2 \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot (M_o + M_P) \quad (7)$$

A partir de cette formule , on obtient le moment d'inertie "IP" de l'objet "P" par rapport à l'axe de

$$\text{rotation "OQ"} : I_P = \frac{R^2 \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot [T^2 \cdot (M_o + M_P) - T_o^2 \cdot M_o] \quad (8)$$

## ÉTAPES DU TRAVAIL

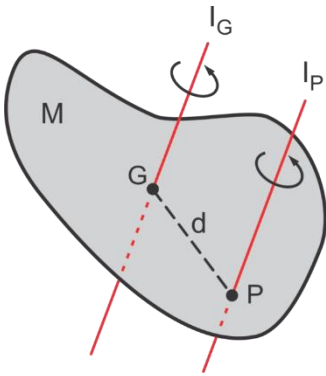
- (1) La masse  $M_o$  du disque mobile est déterminée.
- (2) L'oscillation de torsion du pendule est initiée en déviant le disque mobile d'un petit angle ( $\alpha_o < 5^\circ$ ).
- (3) La durée " $T_N$ " d'un nombre " $N$ " d'oscillations complètes est déterminée. Pour plus de précision, choisissez un maximum d'oscillations complètes. Si les oscillations s'amortissent rapidement, répétez l'expérience plusieurs fois.
- (4) La période " $T_o$ " est calculée en divisant la période " $T_N$ " par le nombre " $N$ ".
- (5) La masse " $M_p$ " du corps étudié est déterminée.
- (6) Le corps étudié s'installe au centre du disque mobile.
- (7) L'oscillation du système est initiée ( $\alpha_o < 5^\circ$ ).
- (8) Suivre la durée de " $N$ " oscillations complètes et obtenir la période " $T$ " en divisant la durée par le nombre de " $N$ " oscillations complètes.
- (9) Les données obtenues sont replacées dans la relation (8) pour obtenir la valeur du moment d'inertie «  $I_P$  » de l'objet par rapport à l'axe de rotation « OQ » du système.

## Le moment d'inertie par rapport aux axes parallèles de rotation (vérification du théorème de Huygens-Steiner)

Le théorème de Huygens - Steiner fait référence au moment d'inertie d'un corps par rapport à des axes de rotation parallèles (Figure 2). Si le corps a le moment d'inertie «  $I_G$  » par rapport à un axe de rotation passant par le centre de gravité du corps (« G »), alors le moment d'inertie du corps («  $I_P$  ») par rapport à un axe de rotation parallèle au premier axe, qui passe par le point "P" situé à la distance

$$"d" \text{ du centre de gravité "G", est } I_P = I_G + M \cdot d^2 \quad (9)$$

où " $M$ " représente la masse du corps.



**Fig. 2 L'essence du théorème de Huygens - Steiner**

de Huygens-Steiner peut être vérifié si deux corps identiques, chacun de masse "m", sont placés sur le disque mobile, symétriquement dans le capot avec le centre du disque mobile, la distance entre les deux corps étant de "2 d" . Dans ce cas, le moment d'inertie de l'ensemble ainsi formé

est avec la relation : 
$$I = \frac{R^2 \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot [T^2 \cdot (M_o + 2 \cdot M_p) - T_o^2 \cdot M_o] \quad (10)$$

On vérifie si le moment d'inertie "I", ainsi déterminé, vérifie la relation (11).

$$\frac{I}{2} = I_o + m \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (11)$$

**DONNÉES EXPÉRIMENTAL**

**Pour déterminer les moments d'inertie avec les relations ci-dessus, les tableaux de valeurs suivants seront établis :**

Tableau 1 : Détermination du moment d'inertie à l'aide

Non crt.	Mo (kg)	R(cm)	L(cm)	m2 (kg)	à(s)	N(Osc)	À (s)	Yo(kg.m <sup>2</sup> )
1								
2								
3								
4								
5								

Tableau 2:

Nrcrt.	m(kg)	R(cm)	r(cm)	l(cm)	m (kg)	à (s)	N(Osk)	T(s)	I(kg.m <sup>2</sup> )
1									
2									
3									
4									
5									

**5. Conclusions:** des conclusions sont tirées sur les valeurs des moments d'inertie ainsi obtenus et leurs valeurs



# L'ETUDE DE LA LOI DE BERNOULLI

## INTRODUCTION

### ÉQUATION DE BERNOULLI

*Un fluide incompressible sans viscosité est appelé FLUIDE IDÉAL.*

Avec une assez bonne précision, les liquides idéaux peuvent être considérés comme incompressibles. Bien que les gaz soient facilement compressibles, leur compressibilité ne se manifeste que dans des écoulements à des vitesses proches de la vitesse du son. L'expérience montre qu'un grand nombre de liquides et même de gaz, si leurs vitesses sont très inférieures à la vitesse du son et les gradients de vitesse faibles, correspondent de manière satisfaisante au fluide idéal. Nous allons étudier dans ce paragraphe l'écoulement d'un fluide idéal.

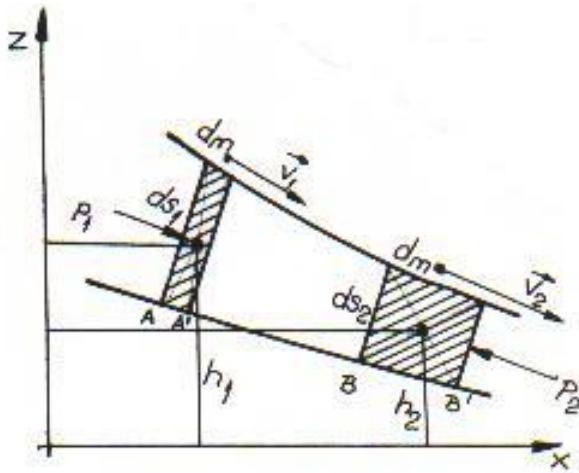


Figure 1 : Représentation schématique utile pour la loi de Bernoulli

Considérons le fluide idéal et un tube de courant infiniment mince, délimité aux extrémités par deux tronçons  $dS_1$ ,  $dS_2$  et appliquons les quantités de fluide ainsi délimitées par le théorème

de variation d'énergie mécanique. Pendant  $dt$  le système se déplace le long du tube de la position  $AB$  à  $A'B'$ . Tout se passe comme si la masse disparaissait de la portion  $AA'$

$$dm = \rho dS_1 v_1 dt = \rho dV \quad (1)$$

avec l'énergie cinétique  $\frac{dm \cdot v_1^2}{2}$  et l'énergie potentielle  $dm \cdot g \cdot h_1$ , et dans la portion  $BB'$  apparaîtrait

une masse égale (en raison de l'incompressibilité du fluide idéal)  $dm = \rho dS_2 \cdot v_2 \cdot dt = \rho dV$  à

l'énergie cinétique  $\frac{dm \cdot v_2^2}{2}$  et à l'énergie potentielle  $dm \cdot g \cdot h_2$ . La variation de l'énergie mécanique

(cinétique et potentielle) du système est donc :

$$dE = \frac{1}{2} dm(v_2^2 - v_1^2) + dm \cdot g(h_2 - h_1) \quad (2)$$

et doit être égal au travail mécanique des forces de pression exercées sur le système considéré :

$$\begin{aligned} dw &= F_1 \cdot dS_1 - F_2 \cdot dS_2 \\ &= p_1 dS_1 v_1 dt - p_2 dS_2 v_2 dt \\ &= p_1 dV - p_2 dV \end{aligned} \quad (3)$$

et  $dV = \frac{dm}{\rho}$

Les forces de pression latérales n'effectuent pas de travail mécanique et nous n'avons pas de forces de frottement tangentielles, le fluide étant supposé idéal (sans viscosité)  $dE=dw$

$$\text{Donc : } p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (4)$$

ou  $\boxed{p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{const.}}$  (5)

**(5) est l'équation de BERNOULLI**

La constante diffère généralement d'une ligne de courant à l'autre (il en est de même pour un écoulement sans tourbillons).

**La pression p est la pression statique**

$\boxed{pd = \frac{1}{2} \rho v^2}$  - **pression dynamique** (due à l'énergie cinétique du fluide, étant égale à l'énergie cinétique de l'unité de volume)

$\boxed{p = \rho g h}$  - **pression de position** (ou potentiel dû au fait que l'énergie potentielle est égale à l'énergie potentielle de l'unité de volume)

## LOI DE BERNOULLI

**La pression totale dans un fluide est constante le long d'une ligne de courant .**

**La pression statique** s'exerce sur un élément surfacique placé parallèlement aux lignes de courant, par exemple sur les parois du tube (c'est pourquoi on parle parfois de pression sur les parois) ou s'exerce sur un élément surfacique orienté arbitrairement mais déplacé solidairement avec le fluide

**. La pression statique est mesurée avec la sonde de pression.**

**La pression dynamique est mesurée avec le tube PRANDTL.**

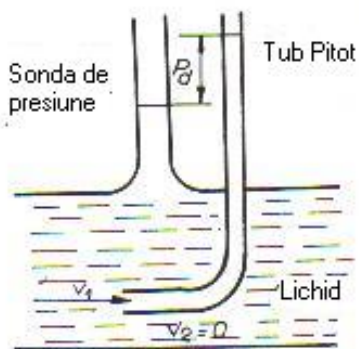
**La pression totale** s'exerce sur un élément de surface placé perpendiculairement aux lignes de courant et **est mesurée avec le tube de PITOT** dont l'ouverture est placée perpendiculairement aux lignes de courant.

Pour le tuyau horizontal, l'équation de BERNOULLI devient :

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const.} \quad (6)$$

## LE PARADOXE HYDRODYNAMIQUE

En pénétrant dans une portion étroite d'un tube de courant, la vitesse des particules augmente (le débit étant constant), c'est-à-dire qu'elles se déplacent plus vite, d'où il résulte que la pression dans



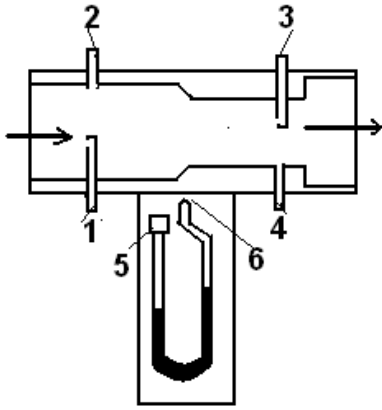
le fluide dans la portion large du tube doit être plus élevée que dans la partie étroite.

*Figure 2*

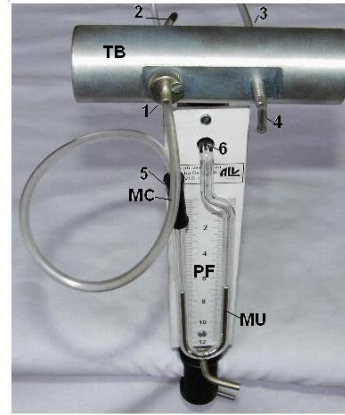
En effet, comme dans les portions étroites du tube la vitesse du fluide augmente (selon l'équation de continuité), la pression dynamique augmente également, donc la pression statique, c'est à dire la pression sur les parois, doit diminuer pour que leur

somme reste constante , selon l'équation de Bernoulli ( PARADOXE HYDRODYNAMIQUE )

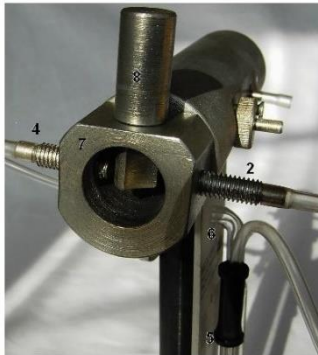




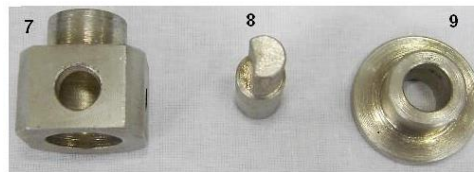
**Fig.1.Schema principială a dispozitivului de verificare a legii lui Bernoulli.**



**Fig.2.Vedere de ansamblu a dispozitivului de verificare a legii lui Bernoulli. Vedere frontală.**



**Fig.4.Vedere de ansamblu a aranjării elementelor suplimentare la dispozitivul de verificare a legii lui Bernoulli pentru evidențierea forței ascensionale.**



**Fig.3.Elemente suplimentare utilizate în efectuarea experiențelor legate de dinamica fluidelor.**

Outre la vérification de la loi de Bernoulli, l'appareil permet la réalisation expérimentale d'autres lois et phénomènes. Cet appareil peut également être utilisé comme tube de Pitot ou comme tube de Prandtl. Il est conçu pour être utilisé avec un aspirateur ordinaire.

## DESCRIPTION

La figure 1 montre très simplement le principe constructif de fonctionnement du dispositif de vérification de la loi de Bernoulli. Dans un tube, TB, de section variable, de 20mm à 16,5mm de diamètre, on fait circuler un jet d'air, qui est aspiré dans le sens de la flèche sur la fig.1, à l'aide d'un aspirateur, qui n'est pas représenté sur cette figure et qui se connecte à l'extrémité droite, comme on regarde l'image.

L'appareil est équipé de deux paires de sondes de mesure de pression, comme suit : 1 et 3 sont les sondes de mesure de pression totale, et 2 et 4 sont les sondes de mesure de pression statique (murale). Sur les deux tronçons, les deux paires de sondes sont disposées en croix, comme on peut le

voir sur la fig.2. Sur la face avant, PF, de l'appareil se trouve une règle de mesure devant laquelle est positionné un manomètre à mercure, MU.

Le manomètre à mercure, MU, sera utilisé pour mesurer les pressions statiques, dynamiques, totales par rapport à la pression atmosphérique ou différentiellement. Le couplage de ce manomètre, aux deux paires de sondes, se fait au moyen de tubes en polyéthylène. A l'extrémité 5 visible sur la face avant PF, l'accouplement se fait au moyen d'un manchon en caoutchouc, MC, et à la deuxième extrémité, 6, celle qui pénètre par la face avant, l'accouplement se fait par l'arrière, la pièce d'accouplement étant munie d'un embout mâle de sortie approprié.

## ÉTAPES DU TRAVAIL

Le montage de l'appareil est aussi simple que possible, 90% est déjà fait par l'entreprise de fabrication. Les étapes correspondantes sont les suivantes :

1- lire attentivement les instructions, ainsi que le CD avec les procédures expérimentales ;

2-retirer le tube manométrique, de l'emballage prévu à cet effet, retirer les manchons en caoutchouc de sécurité pendant le transport, des deux extrémités. Le déballage se fait en commençant par le bout le plus long puis le plus court ;

3-à l'extrémité courte, 5, connectez un manchon en caoutchouc, MC ;

4-insérer l'extrémité 6 du manomètre à mercure, MC, dans la partie supérieure du panneau avant, comme indiqué sur la fig.2. L'insertion se fait avec précaution, avec une rotation de  $30^{\circ}$  à droite et à gauche de la position verticale. Une rotation à un angle supérieur est interdite, il y a un risque que le mercure sorte du tube capillaire du manomètre.

5-Serrez modérément les vis M5 au dos de l'appareil. Le serrage est effectué jusqu'à ce que le tube capillaire ne puisse plus tourner dans le joint en caoutchouc, depuis le support de l'appareil.

Les opérations de 2 à 5 sont effectuées, soit avec le tube de pression inséré à 75 % dans un sac en plastique, soit au-dessus d'un bol d'eau. Ces précautions sont obligatoires afin d'éviter tout déversement accidentel de mercure dans le laboratoire.

6- le tube capillaire est inséré dans un petit sac plastique transparent, sac livré avec l'appareil et qui est fixé avec du ruban adhésif à l'avant de l'appareil. Le rôle de ce sac est d'éviter de renverser le mercure dans le laboratoire lorsque le tube capillaire se casse accidentellement.

## VÉRIFICATION DE LA LOI DE BERNOULLI, $P_T = CT$ .

Les formules de calcul sont :

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Si  $h_1 = h_2$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const.}$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_1^2 - v_2^2) = \frac{\rho}{2} \cdot v_1^2 \cdot \left[ \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^2 - 1 \right]$$

En même temps  $\Delta p = \rho_{\text{liquid}} \cdot g \cdot h$

$$\text{La vitesse d'écoulement du liquide dans le tuyau est donc : } v_1 = \sqrt{\frac{2 \rho_{\text{liquid}} \cdot g \cdot h}{\rho_{\text{aer}} \left[ \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^2 - 1 \right]}}$$

$$\text{Et la surface du tuyau est : } S_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \text{ respectivement : } S_2 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4}$$

La vitesse d'écoulement du fluide dans le tuyau vaut donc :

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \rho_{\text{liquid}} \cdot g \cdot h}{\rho_{\text{aer}} \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right]}}$$

$$\text{Et la vitesse dans la section } S_2 \text{ est : } v_2 = v_1 \frac{S_1}{S_2} = v_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

Les données sont saisies dans **le tableau 1**, pour les cas suivants :

1. Petite fermeture avec vannes fermées
2. Petite fermeture avec vannes ouvertes
3. Fermeture InLarge avec vannes ouvertes
4. Grande fermeture avec vannes fermées
5. Avec ouverture totale

Dans les tableaux 2, 3, 4, les valeurs de la variation de pression, de la vitesse d'écoulement à travers la conduite  $v_1$  et  $v_2$  sont inscrites.

## 6. DONNÉES EXPÉRIMENTAL

Tableau 1.

Non. crt	d1 (mm)	d2 millimètre	$\rho_{\text{air}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	liquide (kg/m <sup>3</sup> )	Hmm	Ap (N/m <sup>2</sup> )	v1 (m/s <sup>2</sup> )	v2 (m/s <sup>2</sup> )
1	20	18	1.20	800				
2								
3								
4								
5								

Tableau 2 Calcul de la pression

	$\Delta p \left( \frac{N}{m^2} \right)$	$\Delta \bar{p} \left( \frac{N}{m^2} \right)$	$\mu_{\Delta p} \left( \frac{N}{m^2} \right)$	$\Delta p_{\text{real}} \left( \frac{N}{m^2} \right)$	$\Delta p = \rho_{\text{liquid}} \cdot g \cdot h$ Valeur moyenne: $\Delta \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_i}{n}$ Erreur: $\mu_{\Delta p} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta p_i - \Delta \bar{p})^2}{n(n-1)}}$ Plage de valeurs réelles : $\Delta p_{\text{real}} \in (\Delta \bar{p} - \mu_{\Delta p}, \Delta \bar{p} + \mu_{\Delta p})$
1					
2					
3					
4					
5					

Tableau 3 : calcul de la vitesse d'écoulement v1

N° crt	$v_1 \left( \frac{m}{s} \right)$	$\bar{v}_1 \left( \frac{m}{s} \right)$	$\mu_{v_1} \left( \frac{m}{s} \right)$	$v_{1\text{real}} \left( \frac{m}{s} \right)$	$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho_{\text{liquid}} \cdot g \cdot h}{\rho_{\text{aer}} \left[ \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right]}}$ Valeur moyenne: $\bar{v}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n v_{1i}}{n}$ Erreur: $\mu_{v_1} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{1i} - \bar{v}_1)^2}{n(n-1)}}$ Plage de valeurs réelles : $v_{1\text{real}} \in (\bar{v}_1 - \mu_{v_1}, \bar{v}_1 + \mu_{v_1})$
1					
2					
3					
4					
5					



**Tableau 4 : calcul de la vitesse d'écoulement  $v_2$**

N° crt	$v_2 \left( \frac{m}{s} \right)$	$\bar{v}_2 \left( \frac{m}{s} \right)$	$\mu_{v_2} \left( \frac{m}{s} \right)$	$v_{2real} \left( \frac{m}{s} \right)$	$v_2 = v_1 \frac{S_1}{S_2} = v_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2$
1					Valeur moyenne:
2					$\bar{v}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n v_{2i}}{n}$
3					Erreur:
4					$\mu_{v_2} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{2i} - \bar{v}_2)^2}{n(n-1)}}$
5					Plage de valeurs réelles : $v_{2real} \in (\bar{v}_2 - \mu_{v_2}, \bar{v}_2 + \mu_{v_2})$

# ETUDE DE LA LOI DES GAZ . LOI DE BOYLE-MARIOTTE

## INTRODUCTION

**La loi de Boyle-Mariotte** (aussi appelée **loi de Boyle** par les anglophones, ou **loi de Mariotte** ou **loi de Boyle-Mariotte** par les francophones) est l'une des lois thermodynamiques des gaz réels. Mariotte et Boyle ont trouvé avec une différence de quelques pourcents que la courbe était proche d'une hyperbole équilatérale donnée par les coordonnées de Clapeyron (p,V), soit :

$$pV = \text{constante pour une température constante donnée}$$

Ou il peut être écrit  $p_1.V_1 = p_2.V_2$

Autrement dit, en maintenant une température constante lors d'une augmentation de pression, il y a une diminution de volume.

La loi a été découverte par l'Irlandais Robert Boyle en 1662 et par le Français Français Edme Mariotte en 1676 .

Guillaume Amontons déclara en 1702 que cette loi n'est valable qu'à température constante et à basse pression.

Cette relation entre la pression et le volume a été notée par 2 scientifiques Richard Towneley et Henry Power. Robert Boyle a confirmé et découvert expérimentalement cette loi. Robert Hook a construit l'appareil pour l'expérience. La loi de Boyle est basée sur des expériences réalisées avec de l'air, qu'il considère comme composé de particules fluides au repos entre deux sources invisibles.

Boyle s'intéressait à l'air en tant qu'élément important de la vie.

Boyle a utilisé un tube en forme de J dans l'expérience où il a introduit du mercure dans une branche et a forcé l'air à se contracter sous la pression du mercure. Il a effectué l'expérience plusieurs fois dans des conditions différentes : différentes quantités de mercure dans l'installation et a conclu que la pression du gaz varie de manière inversement proportionnelle au volume de gaz occupé. Le physicien français Edme Mariotte (1620-1684) découvrit

La même loi avec Boyle indépendamment de lui en 1676, mais Boyle a publié les résultats déjà en 1662. Cependant, cette loi s'appelle la loi Boyle-Mariotte.

Plus tard en 1867 dans *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, Newton

Il a démontré mathématiquement qu'un fluide élastique contient des particules au repos, que des forces répulsives s'exercent entre elles qui sont inversement proportionnelles à la distance

La densité est inversement proportionnelle à la pression, mais cette réalité mathématique n'est pas l'explication physique de la relation observée.

La théorie cinétique-moléculaire introduite par Maxwell et Boltzmann deux siècles plus tard est nécessaire pour expliquer cette loi.

Cette loi est la première loi physique exprimée sous la forme d'une équation qui décrit la dépendance de deux grandeurs variables.

**L'équation mathématique de la loi de Boyle est la suivante :**

$$PV = k \text{ ou } P_1V_1 = P_2V_2 = \dots = P_nV_n$$

P représente la pression dans le système

V représente le volume de gaz

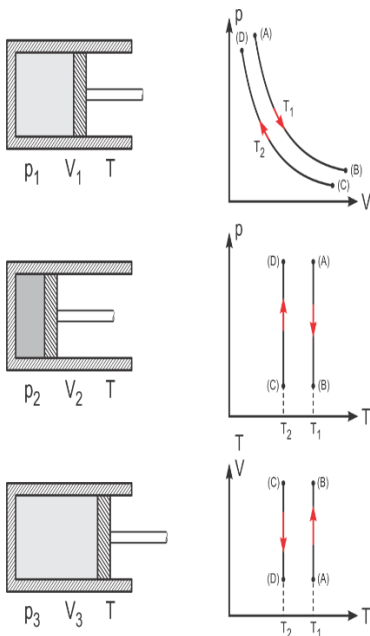
k est une constante qui dépend de la pression et du volume dans le système

### TRANSFORMATION (T=CONST.) – LOI DE BOYLE-MARIOTTE

$$PV = k \text{ ou } P_1V_1 = P_2V_2 = \dots = P_nV_n$$

(A) → (B) Expansion isotherme (avec  $T_1 = \text{const}$ )

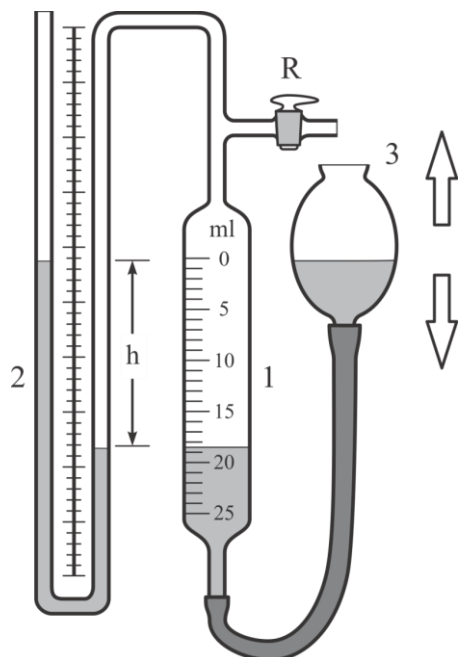
(C) → (D) Compression isotherme ( $T_2 = \text{const}$ ) et  $T_1 > T_2$



## PARTIE I : VERIFICATION DE LA LOI DES GAZ DE BOYLE MARIOTTE

### DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'instrument se compose de la burette 1 où les volumes de gaz  $V_1, V_2, \dots, V_n$  peuvent être déterminés. En modifiant la hauteur du réservoir 3, le volume du gaz dans la burette change, mais dans le même temps la pression change également, ce que l'on peut lire sur le manomètre 2.



**Figure 1.** Représentation schématique du dispositif utilisé pour vérifier la loi des gaz de Boyle Mariotte

### ÉTAPES DU TRAVAIL

1. déterminer la pression à étudier à l'aide du manomètre 2. Vous pouvez écrire  $p_1, p_2, \dots, p_n$
2. déterminer le volume correspondant de la burette 1. Il peut s'écrire :  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$
3. 5 mesures sont effectuées pour  $p$ , respectivement pour  $V$
4. 5 calculs appropriés sont effectués pour vérifier  $p_1 V_1 = p_2 V_2 = \dots = p_n V_n$
5. Présentez les données expérimentales dans le tableau ci-dessous

**Tableau 1 . Vérification de la loi sur les gaz**

Non. crt.	V lire cm <sup>3</sup>	V = V <sub>lu</sub> + V <sub>0</sub> cm <sup>3</sup>	P lire mm H <sub>2</sub> O	P = Plu + p <sub>0</sub> mmH <sub>2</sub> O	pV=K $\frac{N}{m^2} \cdot m^3 = N \cdot m$	$\bar{K}$	$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (K_i - \bar{K})^2}{n(n-1)}}$	$K_{real}$
1								
2								
3								
4								
5								

où

$P_0 = 760 \text{ mm Hg} = 10336 \text{ mm H}_2\text{O} = 101325 \text{ N/m}^2$  – est la pression atmosphérique normale

Et  $V_0 = 123,88 \text{ cm}^3$  est la constante de l'appareil ou on l'appelle aussi "volume mort" - c'est le volume du manomètre avec liquide mesuré de la division 0 au liquide dans le manomètre.

Pour déterminer le volume  $V_0$ , on utilise la formule de transformation isotherme :

$$pV = \text{constante comme suit : } p_1 \cdot (V_1 + V_0) = p_2 \cdot (V_2 + V_0)$$

$$V_0 = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{p_1 - p_2}$$

ou

$$p_1 = p_0 + \rho \cdot g \cdot h_1$$

$$p_2 = p_0 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Après avoir fait les calculs, on obtient :  $V_0 = 123,88 \text{ cm}^3 = 123,88 \text{ mL}$

Les conversions suivantes peuvent être effectuées :

pour pression p :  $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9,8 \text{ N/m}^2$

pour le tome V :  $1 \text{ cm}^3 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

moyennes , les erreurs et l'intervalle des valeurs réelles peuvent être calculés :

Valeur moyenne pour pV=K :  $\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n}$  et

L'erreur quadratique moyenne de la moyenne :  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (K_i - \bar{K})^2}{n(n-1)}}$

### CONCLUSIONS FINALES

**Des erreurs peuvent être calculées pour les valeurs obtenues par des mesures directes de p et V**

**Les graphes peuvent être représentés en respectant la fonction : p = p (V)**

## PARTIE 2 : CALCUL DE LA CONSTANTE UNIVERSELLE DES GAZ (R) :

La constante universelle des gaz parfaits notée R est le produit du nombre d'Avogadro Na et de la constante de Boltzman kB

Ce produit est  $R = 8,3144621 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  avec une précision de  $7,5 \times 10^{-6} \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Dans le système CGS, il peut également avoir les valeurs suivantes :

$$R = 0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$R = 8,2057 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ atm}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$R = 62,3637 \text{ L} \cdot \text{Torr}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \text{ ou } \text{L} \cdot \text{mmHg}/(\text{mol} \cdot \text{K})^2$$

$$R = 1,987 \text{ cal K}^{-1} \text{ mole}^{-1}^3$$

Conversions d'unités de mesure :

$$1 \text{ Pa} \approx 7\,500\,615 \times 10^{-3} \text{ mmHg ( millimètres de colonne de mercure )}$$

$$1 \text{ Pa} \approx 9.869\,233 \times 10^{-6} \text{ atm ( atmosphère normale )}$$

$$1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$1 \text{ hPa} = 10^{-3} \text{ bar} = 1 \text{ mbar ou millibar}$$

$$1 \text{ Pa} \approx 1,42 \times 10^{-4} \text{ psi}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$$

soit :  $10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar} = 1\,000 \text{ mbar} = 10,2 \text{ m H}_2\text{O colonne (colonne d'eau mètres)} = 0,987 \text{ atm}$

$1 \text{ psi} = 6894,76 \text{ Pa (N/m}^2) = 0,069 \text{ bar} = 0,069 \text{ kgf/cm}^2 = 51,7 \text{ mmHg} = 689,7 \text{ mm H}_2\text{O} = 0,068$   
atmosphère

En utilisant l'équation d'état :  $pV = nRT$

$$R = \frac{p \cdot V}{n \cdot T}$$

Où :  $T_0 = 273 \text{ K}$  et le volume molaire d'air est :  $V = 22,4 \text{ L} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

1 mole d'air c'est dans une volume de :  $V = 22,4 \text{ L (litres)}$

Tableau 2 . Détermination de la constante universelle des gaz - R

Non crt.	$p$ $\frac{N}{m^2}$	$V$ $m^3$ $10^{-6}$	$T$ (K)	$n$ (mole) $10^{-3}$	$R = \frac{p.V}{n.T}$ $\frac{J}{mol.K}$	$\bar{R}$ $\frac{J}{mol.K}$	$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n(n-1)}}$	$R$ réel
1								
2								
3								
4								
5								

moyennes , les erreurs et l'intervalle des valeurs réelles peuvent être calculés :

Valeur moyenne pour  $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$

L'erreur quadratique moyenne de la moyenne :  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n(n-1)}}$

# DÉTERMINATION DE LA CHALEUR SPÉCIFIQUE POUR LES MATÉRIAUX SOLIDES ET LIQUIDES

## INTRODUCTION

Afin de déterminer la température de différents matériaux nous devrions connaître la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par chaque matériau au sein du système. Cela dépend de la masse du matériau, de la nature du matériau à partir duquel le corps est fabriqué et du degré d'échauffement. Le chauffage d'un matériau peut être réalisé par rayonnement, courants de convection et conductivité thermique.

**La capacité thermique d'un matériau est égale à la chaleur nécessaire à ce matériau pour augmenter ou diminuer sa température d'un degré Kelvin**  $C = \frac{Q}{T}$

$$\text{L'unité de mesure est : } [C]_{S.I.} = \frac{[Q]_{S.I.}}{[T]_{S.I.}} = \frac{J}{K} \text{ ou } [C]_{S.I.} = \frac{kcal}{K}$$

**La CAPACITÉ THERMIQUE de l'unité de masse est appelée chaleur spécifique.**

$$c = \frac{C}{m} \text{ dont l'unité de mesure est : } [c]_{S.I.} = \frac{J}{kgK} \text{ ou } [c]_{S.I.} = \frac{kcal}{kgK}$$

**CHALEUR SPECIFIQUE est la chaleur requise par l'unité de masse du matériau augmenter ou diminuer sa température de 1 degré**  $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$

Et la **CAPACITÉ THERMIQUE** d'une mole de substance est appelée chaleur molaire et correspond à la quantité de chaleur nécessaire à une mole de substance pour augmenter ou diminuer sa

température de 1 degré Kelvin.  $C_{\mu} = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T}$  l'unité de mesure est :  $[c_{\mu}]_{S.I.} = \frac{J}{kmolK}$  ou

$$[c_{\mu}]_{S.I.} = \frac{kcal}{kmolK}$$

Entre le système international d'unités et le système toléré, il existe la relation suivante :

$$1 \frac{kcal}{K} = 4.186 \frac{J}{K}$$



La chaleur spécifique est une quantité variable dont la température augmente généralement avec son élévation, sa définition doit donc préciser la température à laquelle elle se réfère. Pour les corps solides chauffés dans la plage de température comprise entre  $273\text{ K}$  et  $373\text{ K}$  la chaleur spécifique est mesurée par la méthode de mélange basée sur le bilan thermique à l'aide du calorimètre. La méthode du mélange repose sur deux principes calorimétriques :

### **1. Le principe d'égalité des échanges thermiques :**

Lorsqu'il y a échange de chaleur et uniquement de chaleur entre les deux systèmes de corps, jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit établi, la somme de la chaleur reçue par le système initialement à la température la plus basse est égale à la somme de la chaleur perdue par le système de corps initialement à une température plus élevée.

### **2. Principe des transformations inverses :**

La quantité de chaleur nécessaire pour qu'un système de corps passe d'un état 1 à un état 2 est celle donnée par le système passant de l'état 2 à l'état 1. La méthode des mélanges consiste à chauffer le corps considéré à une température connue et à introduire à l'intérieur du récipient avec de l'eau, en mesurant l'augmentation de sa température. S'il est noté avec  $C$  la capacité thermique du calorimètre, avec  $M_a$  et  $c_a$  - la masse, respectivement la chaleur spécifique de l'eau dans le calorimètre,  $T_0$  - sa température initiale,  $T_f$  - la température finale du mélange.

Après introduction du corps à étudier dans le calorimètre en considérant que :  $Q = Mc\Delta T$  (1)

l'équation calorimétrique s'écrit :  $(c_a M_a + C)(T_f - T_0) = Mc(T - T_f)$  (2)

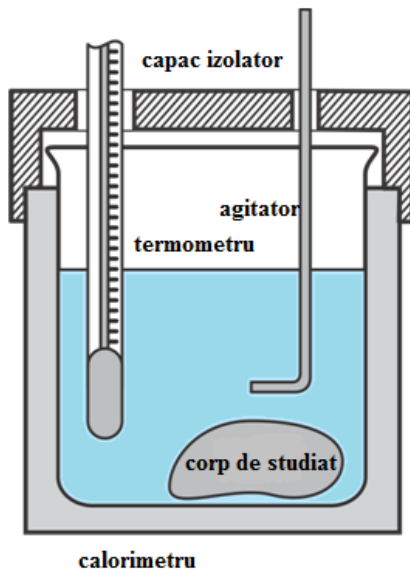
où la chaleur spécifique du corps à étudier est obtenue :  $c = \frac{(C + M_a c_a)(T_f - T_0)}{M(T - T_f)}$  (3)

La capacité thermique du calorimètre est donnée par la relation :  $C = \sum_{i=1}^n M_i c_i$

$M_i$ ,  $c_i$  - représentent respectivement les masses et les chaleurs spécifiques et les indices ont la spécification suivante : 1 – fait référence au récipient calorimétrique, 2 – agitateur, 3 – thermomètre.

Le but de cet article est de déterminer la chaleur spécifique d'un corps métallique à l'aide du calorimètre de Berthelot.

## DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL :



L'équipement nécessaire est constitué d'un calorimètre Berthelot, d'une plaque de cuisson électrique et d'une cuve permettant de chauffer les corps qui seront étudiés. Le calorimètre Berthelot comprend les éléments suivants : couvercle isolant, thermomètre, agitateur, cuve calorimétrique.

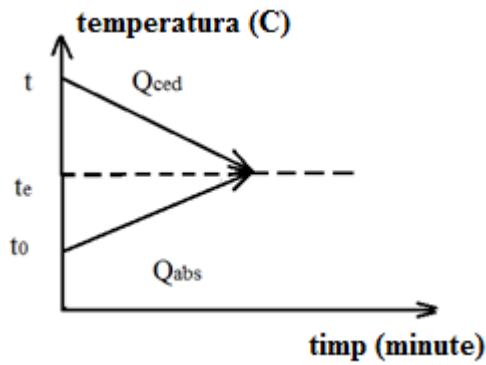
Figure 1. Représentation schématique du montage expérimental pour la détermination de la chaleur spécifique

## DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ CALORIQUE DU CALORIMÈTRE

### PROCÉDURE POUR LE TRAVAIL PRATIQUE – ÉTAPES ET TRAITEMENT DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES

**La capacité calorifique du calorimètre est déterminée comme suit :**

- Une quantité connue d'eau  $M_{a1}$  est introduite dans le calorimètre, la température de l'eau doit être en équilibre thermique avec la température ambiante - notée température  $t_0$
- Ensuite, une quantité connue d'eau chauffée  $M_{a2}$  est ajoutée dans le calorimètre, notée comme température  $t$
- La température finale du mélange ( $t_e$ ) est déterminée à l'aide d'un thermomètre
- Les données obtenues seront insérées dans le tableau 1.
- Les calculs sont effectués pour la capacité calorifique du calorimètre



$M_{a1}$  – masse d'eau froide introduite dans le calorimètre

$M_{a2}$  - masse d'eau chaude introduite dans le calorimètre

$c_a = 4182.61 \frac{J}{kgK}$  - chaleur spécifique de l'eau

L'équation calorimétrique est la suivante :  $|Q_{ced}| = Q_{abs}$  (1)

$$Q_{abs} = M_{a1}c_a(t_e - t_0) + C(t_e - t_0) > 0 \quad (2)$$

$$Q_{ced} = M_{a2}c_a(t_e - t) < 0 \quad (3)$$

$$|Q_{ced}| = M_{a2}c_a(t - t_e) > 0$$

$$M_{a1}c_a(t_e - t_0) + C(t_e - t_0) = M_{a2}c_a(t - t_e) \quad (4)$$

$$C = \frac{M_{a2}c_a(t - t_e)}{(t_e - t_0)} - M_{a1}c_a \quad (5)$$

Tableau 1 : Détermination de la capacité calorifique du calorimètre

n	$M_{a1}$ (kg)	$M_{a2}$ (kg)	$c_a$ $\left(\frac{J}{kgK}\right)$	$t_0$ (°C)	$t$ (°C)	$t_e$ (°C)	$C$ $\left(\frac{J}{K}\right)$	$\bar{C}$ $\left(\frac{J}{K}\right)$	$\mu$ $\left(\frac{J}{K}\right)$	$C_{creat}$ $\left(\frac{J}{K}\right)$
1			4182.61							
2										
3										
4										
5										

Les valeurs moyennes, les erreurs et l'intervalle des valeurs réelles seront calculés

La valeur moyenne de la capacité calorifique est  $\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$

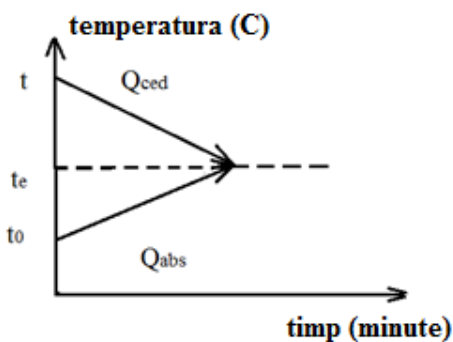
L'erreur quadratique moyenne de la moyenne :  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (C_i - \bar{C})^2}{n(n-1)}}$

L'intervalle des valeurs réelles est :  $C_{real} \in (\bar{C} - \mu, \bar{C} + \mu)$

## DÉTERMINATION DE LA CHALEUR SPÉCIFIQUE POUR LES SOLIDES

La chaleur spécifique pour les matériaux solides est déterminée comme suit :

- Une quantité connue d'eau  $M_a$  en équilibre thermique avec la température ambiante, à la température  $t_0$ , est introduite dans le calorimètre
- Après cela un matériau solide de masse- $m$  connue (dont la masse est déterminée avec une balance au préalable), est introduit dans le calorimètre à une température spécifique ( $t$ )
- La température finale ( $t_e$ ) du mélange (matériau eau-solide) est déterminée
- Les données obtenues seront entrées dans le tableau 1.
- Des calculs sont effectués pour la chaleur spécifique du matériau solide qui sera étudié.



$M_{a1} + M_{a2} = M_a$  est la masse d'eau froide dans le calorimètre

$m$  – est la masse du matériau solide dont la chaleur spécifique ( $c$ ) sera déterminé. Ce matériau solide (un corps en téflon) est chauffé à une température spécifique ( $t$ )

L'équation calorimétrique est :  $|Q_{ced}| = Q_{abs}$  (1)

$$Q_{abs} = M_a c_a (t_e - t_0) + C(t_e - t_0) > 0 \quad (2)$$

$$Q_{ced} = m.c.(t_e - t) < 0 \quad (3)$$

$$|Q_{ced}| = m.c.(t - t_e) > 0$$

$$M_a c_a (t_e - t_0) + C(t_e - t_0) = m.c (t - t_e) \quad (4)$$

$$c = \frac{M_a c_a (t_e - t_0) + C(t_e - t_0)}{m.(t - t_e)} \quad (5)$$

Tableau 2 : Détermination de la chaleur spécifique pour les matériaux solides

n	$M_a$ (kg)	$m$ (kg)	$c_a$ $\left(\frac{J}{kg.K}\right)$	$t_0$ (°C)	$t$ (°C)	$t_e$ (°C)	$c$ $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$	$\bar{c}$ $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$	$\mu$ $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$	$c_{real}$ $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$
1			4182.61							
2										
3										
4										
5										

Les valeurs moyennes, les erreurs et l'intervalle des valeurs réelles seront calculés

Valeurs moyennes de c :  $\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}$  et

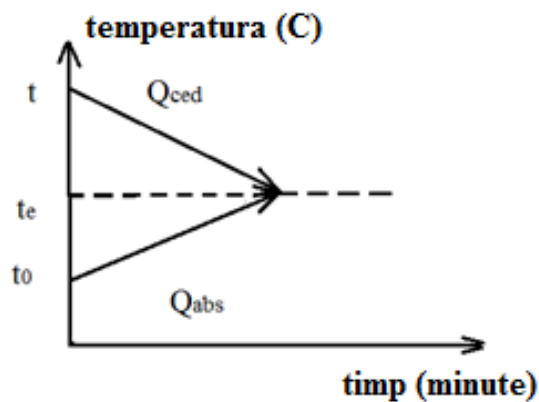
L'erreur quadratique moyenne de la moyenne :  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n(n-1)}}$

**La valeur réelle sera dans l'intervalle suivant :  $c_{real} \in (\bar{c} - \mu, \bar{c} + \mu)$**

## DÉTERMINATION DE LA CHALEUR SPÉCIFIQUE DES LIQUIDES

La chaleur spécifique des liquides est déterminée comme suit :

- Une quantité connue de liquide  $M_1$  est introduite dans le calorimètre en équilibre thermique avec la température ambiante, à la température  $t_0$
- Ensuite, une quantité connue du même liquide chauffé ( $M_2$ ) à la température  $t$  est ajoutée dans le calorimètre
- La température finale du mélange  $t_e$  est déterminée.
- Les données obtenues seront entrées dans le tableau 1.
- Les calculs sont effectués pour la chaleur spécifique du liquide étudié  $c_L$



$M_1$  – masse de liquide froid dans le calorimètre

$M_2$  - masse de liquide chaud dans le calorimètre

$c_L$  - chaleur spécifique du liquide qui sera étudié

**L'équation calorimétrique est :**  $|Q_{ced}| = Q_{abs}$  (1)

$$Q_{abs} = M_1 c_L (t_e - t_0) + C(t_e - t_0) > 0$$
 (2)

$$Q_{ced} = M_2 c_L (t_e - t) < 0$$
 (3)

$$|Q_{ced}| = M_2 c_L (t - t_e) > 0$$
 (3)

$$M_1 c_L (t_e - t_0) + C(t_e - t_0) = M_2 c_L (t - t_e)$$
 (4)

$$c_L = \frac{C(t_e - t_0)}{M_2(t - t_e) - M_2(t_e - t_0)}$$
 (5)

Tableau 3 : Détermination de la chaleur spécifique d'un liquide

n	$M_1$ (kg)	$M_2$ (kg)	C (J/K)	$t_0$ (°C)	$t$ (°C)	$t_e$ (°C)	$c_L$ $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$	$\bar{c}_L$ $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$	$\mu$ $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$	$c_{L\,real}$ $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$
1										
2										
3										
4										
5										

Les valeurs moyennes, les erreurs et l'intervalle des valeurs réelles seront calculés

Valeur moyenne de  $c_L$ :  $\bar{c}_L = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}$  et

L'erreur quadratique moyenne de la moyenne :  $\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n(n-1)}}$

**La valeur réelle sera dans l'intervalle :**  $c_{L\,real} \in (\bar{c}_L - \mu, \bar{c}_L + \mu)$



# L'ÉTUDE DE LA DIFFUSION LIBRE

## INTRODUCTION

Les solutions diluées présentent des caractéristiques similaires avec les mélanges gazeux. Les molécules de la substance dissoute diffusent, c'est-à-dire qu'elles se répandent dans la masse du liquide solvant.

En dissolvant un solide dans un liquide, la structure ordonnée est perdue et ses molécules obtiennent un supplément d'énergie cinétique, étant frappées par les molécules du solvant.

A leur tour, les molécules de solvant perdent une partie de leur énergie cinétique, qui se traduit par la diminution de la température de la solution. Afin de rétablir la température initiale, de la chaleur doit être fournie.

**La diffusion transporte des molécules (ou des ions) d'une concentration plus élevée à une concentration plus faible.**

La variation spontanée dans le temps des concentrations des composants d'un système due au mouvement relatif de leurs particules, consiste en un transport de masse ou de charge électrique.

**La diffusion dans les gaz ou dans les liquides consiste en la propagation des molécules d'un gaz (liquide) parmi les molécules d'un autre gaz (liquide), lorsque les substances entrent en contact, entraînant un transport de masse dans le sens d'une diminution de la concentration du molécules de chacun des composants considérés.**

$$\text{D'après } \underline{\text{la loi de Fick}} : \quad \frac{dn}{dt.S} = -D \frac{dC}{dx} \text{ ou } \frac{\Delta n}{\Delta t.S} = -D \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

Où J est le flux de matière

- D'une part, le flux de matière est égal au gradient de concentration  $\frac{dC}{dx}$  ou variation de concentration  $\Delta c$  dans une direction donnée x, soit  $\Delta x$

$$J = -D \frac{dC}{dx} \text{ ou } J = -D \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

- Cependant, le flux de matière est le nombre de moles de soluté  $\Delta n$  transportées en raison de la diffusion à travers une zone S de  $1 \text{ m}^2$  dans un intervalle de temps de  $\Delta t = 1 \text{ s}$ .

$$J = \frac{\Delta n}{\Delta t.S}$$

$$[J]_{S.I.} = 1 \frac{mol}{m^2 \cdot s}$$

$D$  est le coefficient de diffusion qui est une caractéristique de la substance dissoute mais aussi du milieu dans lequel la diffusion a lieu. La littérature scientifique fournit des données tabulées pour le coefficient de diffusion  $D$ .

Compte tenu de la formule :  $J = -D \frac{\Delta C}{\Delta x}$ , l'unité de mesure du gradient de concentration  $\frac{dC}{dx}$  est :

$$\left[ \frac{\Delta C}{\Delta x} \right]_{S.I.} = 1 \frac{mol}{m^3 \cdot m}$$

où  $\frac{mol}{m^3}$  est l'unité de mesure de la concentration

A partir de l'équation  $J = -D \frac{\Delta C}{\Delta x}$ , du point de vue de l'unité de mesure, l'unité suivante a été

obtenue :

$$\frac{mol}{m^2 \cdot s} = [D]_{S.I.} \cdot \frac{mol}{m^4} \Rightarrow [D]_{S.I.} = 1 \frac{m^2}{s}$$

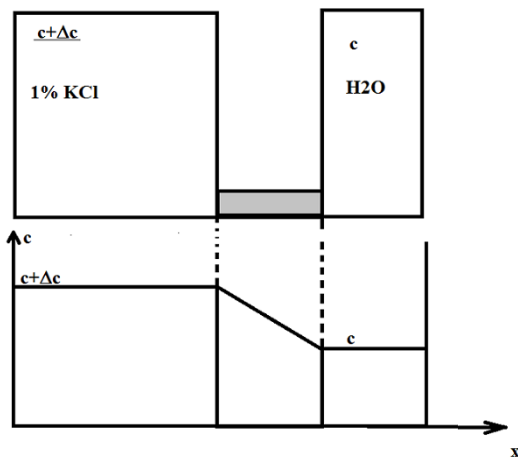
La loi de Fick n'est valable que pour des conditions stationnaires ! ( c'est-à-dire que , pour des conditions aux limites dans lesquelles on peut considérer qu'une très faible valeur du débit - dans un très petit intervalle de temps - ne modifie pas significativement le gradient de concentration).

Considérons 2 récipients de taille infinie qui communiquent entre eux par un canal, à travers lequel le soluté n'a pas tendance à s'écouler de la région à concentration plus élevée vers celle à concentration plus faible. Si les niveaux de liquide dans les deux compartiments sont égaux alors , du point de vue de la loi des vases communicants, il n'y a pas de tendance mécanique à l'écoulement d'un compartiment à l'autre .

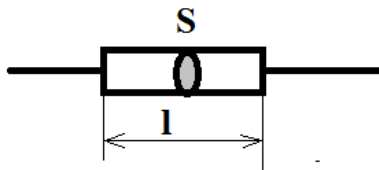
Pour mesurer la variation de concentration dans la solution étudiée, on mesure la conductivité électrique.

La conductivité électrique est l'inverse de la résistance :  $G = \frac{1}{R}$

L'unité de mesure de la conductivité est  $[G]_{S.I.} = \frac{1}{\Omega} = S(SIEMENS)$



Pour une résistance de longueur  $l$ , de section  $S$  et de résistivité  $\rho$ ,



l'expression de la résistance électrique s'écrit :  $R = \frac{\rho \cdot l}{S}$ .

L'unité de mesure de la résistivité est :  $[\rho]_{S.I.} = 1\Omega \cdot m$ .

On peut aussi parler de conductivité spécifique :  $\lambda = \frac{1}{\rho}$

## PARTIE EXPERIMENTALE

Une solution aqueuse de KCl est utilisée.

Les électrolytes peuvent être classés comme « forts » ou « faibles ». Les électrolytes forts se dissocient complètement en ions lors de la dissolution, tandis que les électrolytes faibles ne se dissocient que partiellement lors de la dissolution.

**KCl est un électrolyte qui se dissocie comme suit :  $KCl \rightarrow K^+ + Cl^-$**

Les électrolytes sont des formes ioniques qui se dissolvent dans l'eau

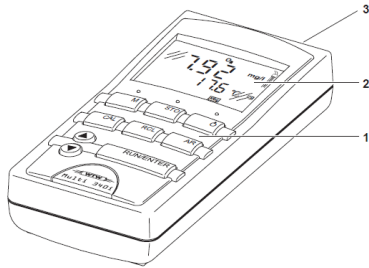
Tous les sels sont des électrolytes faibles : KCl, NaCl,  $CH_3COONa$

Les non-électrolytes sont des substances qui se dissolvent dans l'eau et ne se dissocient pas, telles que : glucose -  $C_6H_{12}O_6$ , urée -  $NH_2CONH_2$

## Exemples d' électrolytes forts et faibles

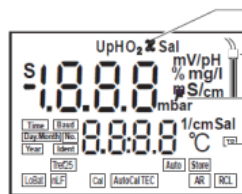
ACIDE		BASES	
Acides forts	Acides faibles	Bases fortes	Bases faibles
<b>ACIDES INORGANIQUES SOLIDES</b> acide nitrique, $\text{HNO}_3$ acide bromhydrique, $\text{HBr}$ acide chlorhydrique, $\text{HCl}$ acide chlorhydrique, $\text{HClO}_3$ acide iodhydrique, $\text{HI}$ acide perchlorique, $\text{HClO}_4$ acide sulfurique, $\text{H}_2\text{SO}_4$	<b>ACIDES INORGANIQUES DE FORCE FAIBLE ET MOYENNE</b> acide borique, $\text{H}_3\text{BO}_3$ <b>ACIDES ORGANIQUES FAIBLES</b> acide acétique, $\text{CH}_3\text{COOH}$ acide butyrique, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ acide benzoïque, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ acide citrique, $(\text{C}_6\text{O}_7\text{H}_8)$ acide formique, $\text{HCOOH}$ acide lactique, $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ acide malique, $\text{HOOCCH}_2\text{CHOHCOOH}$ acide oxalique, $\text{HOOCOOH}$ acide pyruvique, $\text{CH}_3\text{COCOOH}$ acide propionique, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ acide valérianique, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	$\text{NaOH}$ $\text{KOH}$ $\text{LiOH}$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $\text{Ba}(\text{OH})_2$	Ammoniac $\text{NH}_3$ $\text{H}_2\text{O}$ $\text{Mg}(\text{OH})_2$

# DESCRIPTION DE L'INSTRUMENT DE TRAVAIL : MULTIMETRE WTW 340I (CONDUCTOMETRE / PH METRE) :

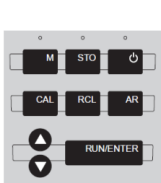


- 1- le clavier
- 2- affichage
- 3- connexion actuelle

## Affichage

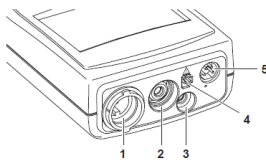


- affichage de l'état
- symbole de senseur / l'électrode
- affichage de la valeur mesurée
- fonction et affichage de la température



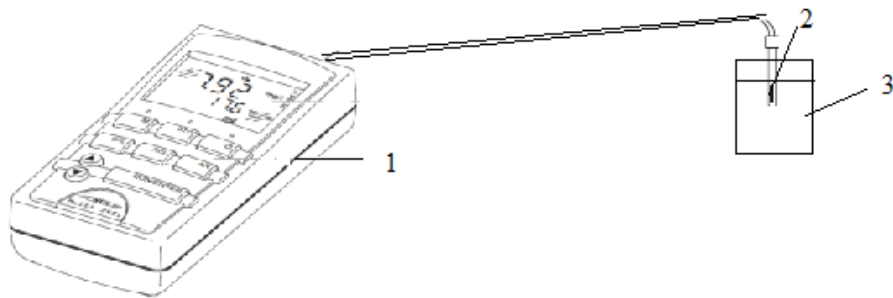
M	sélectionner la variable mesurée pH / potentiel Redox D.O. concentration / D.O. saturation conductivité / salinité
STO	enregistrer (sauver) une valeur mesurée
⏻	ouvert / fermé ( ON/OFF)
CAL	calibrer la variable mesurée actuellement fixée
RCL	Afficher / transmettre les valeurs mesurées
AR	activer / désactiver la fonction de lecture automatique (AutoRead)
▲	sélectionner le mode de mesure, augmenter les valeurs, rouleau
▼	sélectionner le mode de mesure, diminuer les valeurs, rouleau
RUNENTER	confirmer un enregistrement, activer la fonction lecture automatique (AutoRead) valeurs de sortie mesurée

## domaine de prise



1	D.O. sonde ou la conductivité du cellule
2	Electrode de pH
3	Sonde de température de pH
4	Branchez - dans l'unité d'alimentation
5	RS232 interface série

## ÉTAPES DU TRAVAIL



1. Mettre de l'eau distillée (AD) dans le verre 3

L'eau distillée se dissocie comme suit :  $2 \text{ H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$

Où  $\text{H}_3\text{O}^+$  - est appelé l'ion hydronium et  $\text{OH}^-$  l'ion hydroxyle.

L'eau ne se dissocie pas bien car ce n'est pas un électrolyte fort

2. Dans l'espace créé (2) par les deux sondes de conductivité, un matériau poreux est inséré - par exemple du coton (ouate)

3. La conductivité de l'eau distillée est mesurée

La conductance est lue  $G \left( \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right)$  toutes les 30 secondes jusqu'à 5 minutes lorsque la valeur de G se stabilise

4. Les données enregistrées seront saisies dans le tableau 1.

5. Changez la solution aqueuse : eau distillée du verre ( 3 ) avec une solution aqueuse de KCl à 1 %.

6. Les mesures sont effectuées toutes les 30 secondes jusqu'à 30 minutes.

7. Ne pas agiter la solution pour observer uniquement le phénomène de diffusion

Tableau 1

t(s)	H2O			KCl 1%		
	G ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	c ( $\text{mol}/\text{m}^3$ )	G /c	G( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	c( $\text{mol}/\text{m}^3$ )	G /c
0						
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
240						
270						
300						
330						
360						
390						
420						
450						
480						
510						
540						
570						
600						
630						
660						
690						
720						
750						
780						

810						
840						
870						
900						
930						
960						
990						
1020						
1050						
1080						
1110						
1140						
1170						
1200						
1230						
1260						
1290						
1320						
1350						
1380						
1410						
1440						
1470						
1500						
1530						
1560						
1590						
1620						
1650						
1680						
1710						



1740						
1770						
1800						

8. Ouvrir un fichier Excel et remplir le tableau 1, saisir la conductance G mesurée toutes les 30 s.

9. tracez le graphe  $G = G(t)$ . C'est un graphique qui après une période d'instabilité d'env. 3 minutes montre une variation linéaire de la conductivité en fonction du temps. La partie linéaire de la courbe est sélectionnée et l'équation correspondant à cette partie est déterminée :  $G = A_1 \cdot t + B_1$ . La valeur du coefficient  $R^2$  doit être proche de la valeur 1. Si la valeur de  $R^2$  est la plus proche de 1, cela signifie que c'est la droite qui représente le mieux le phénomène.

$A_1$  est la pente de la droite d'équation :  $G = A_1 \cdot t + B_1$ .

Nous avons donc représenté la variation de la conductance en fonction du temps :  $G=G(t)$

10. Pour déterminer la variation de la concentration d'ions enregistrée dans la région où la sonde a été insérée, ne pas retirer la couche poreuse de coton entre les deux capteurs conductimétriques et mesurer la conductivité d'une solution de KCl à 0,1 %. La corrélation entre la conductivité et la concentration est faite.

Pour la solution d'étalonnage (KCl 0,1 %), la valeur suivante est utilisée  $G = 1923 \frac{\mu S}{cm}$

La masse molaire de KCl est :  $M_{KCl} = 74,5 \frac{g}{mol}$

Pour la concentration de 0,1% de KCl, nous avons la valeur mesurée de  $G = 1923 \frac{\mu S}{cm}$

Pour la concentration de  $1000 \frac{g}{m^3}$  KCl la valeur mesurée de G est la suivante  $G = 1923 \frac{\mu S}{cm}$

Pour la concentration de  $\frac{1000}{74.5} \frac{mol}{m^3}$  KCl la valeur mesurée de G est la suivante  $G = 1923 \frac{\mu S}{cm}$

Ensuite, pour la concentration inconnue,  $c \left( \frac{mol}{m^3} \right)$  KCl nous avons la valeur mesurée de  $G \left( \frac{\mu S}{cm} \right)$

$$\text{donc } c \left( \frac{mol}{m^3} \right) = G \cdot \frac{1000 \frac{mol}{m^3}}{74,5 \frac{g}{mol} \cdot 1923 \frac{\mu S}{cm}} = G \cdot 0,006980145$$

$$c = G \cdot \frac{1000}{74,5 \cdot 1923} = G \cdot 0,006980145$$

(5)

**Ceci représente la formule pour calculer la concentration**

**Pour les valeurs obtenues dans cette formule, entrez les valeurs obtenues dans la deuxième colonne du tableau 1.**

11. Tracez le graphique  $c = c(t)$  en fonction du temps.

La droite est obtenue :  $c = A_2 \cdot t + B_2$  avec le coefficient  $R^2$  également très proche de 1.

12. Le flux d'ions est calculé selon la loi de Fick :  $J = \frac{\Delta n}{\Delta t \cdot S} = \frac{\Delta n \cdot v}{v \Delta t \cdot S}$ .

mais  $\frac{\Delta n}{v} = \Delta C$  - c'est la variation de la concentration, c'est-à-dire la variation du nombre de moles dans l'unité de volume.

alors le flux de particules s'écrit :  $J = \frac{\Delta n}{\Delta t \cdot S} = \frac{\Delta c \cdot v}{\Delta t \cdot S}$

$\frac{\Delta c}{\Delta t} = A_2$  représente la pente de la droite  $c = A_2 \cdot t + B_2$  qui est la variation concentration en fonction du temps  $c = c(t)$ .

**Dans l'expression de flux**  $J = \frac{\Delta n}{\Delta t \cdot S} = \frac{\Delta c \cdot v}{\Delta t \cdot S}$ , le rapport entre le volume et la surface est :

$$\frac{v}{S} = \Delta x = 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}.$$

On considère que  $S = 1 \text{ cm}^2$  la surface du conducteur qui est  $S = 1 \text{ cm}^2$  est soumise au phénomène de diffusion et le volume correspondant  $V = 1 \text{ cm}^3$

Rappel : le volume de la sonde est utilisé ici, soit  $V = 1 \text{ cm}^3$

**Ainsi le flux correspondant au matériau poreux est  $J = A_2 \cdot 10^{-2}$**

Il convient de noter ici la signification de la notation  $A_2$

$\frac{\Delta c}{\Delta t} = A_2$  représente la pente de la droite  $c = A_2 \cdot t + B_2$  qui représente concentration en fonction du

temps  $c = c(t)$

Selon l'équation de Fick, le flux d'ions qui diffuse est  $J = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$

Mais ici nous avons une différence de concentration de 1% à 0%.

$$\text{Alors: } \frac{\Delta c}{\Delta x} = 134,2 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{10^{-2} \text{m}} = 134,2 \cdot 10^2 \frac{\text{mol}}{\text{m}^4}$$

On peut dire que la concentration équivalente de 1% correspond à une valeur de  $134,2 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$

$$1\% \text{ --- } \frac{1\text{g}}{100\text{ml}} \text{ --- } 10 \frac{\text{g}}{\text{l}} \text{ --- } 10000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \text{ --- } \frac{10000}{74,5} \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \text{ --- } 134,2 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

Elle peut s'écrire comme suit :  $A_2$  correspond à la pente de la droite de concentration  $c = c(t)$

$$A_2 \cdot 10^{-2} = -D \cdot 134,2 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$\boxed{D = \frac{A_2 \cdot 10^{-2}}{134,2 \cdot 10^2} = A_2 \frac{10^4}{134,2} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \text{ - LA FORMULE DE CALCUL DU COEFFICIENT DE}$$

## **DIFFUSION**

Où  $A_2$  est la pente de la droite obtenue à partir de la représentation graphique

$c = c(t)$

L'expérience peut être répétée pour LES SELS DE RÉHYDRATATION dont la composition comporte du NaCl et du KCl.

La masse molaire du NaCl est :  $M_{NaCl}=58,5$  g/mol et la masse molaire de KCl est  $M_{KCl}=74,5$  g/mol.

POUR LES SELS DE RÉHYDRATATION, la concentration est calculée une fois pour le NaCl puis pour le KCl avec la formule :

$$c = G \cdot \frac{1000}{133.1923} \quad (5)$$

Où  $M=M1+M2= 58.5+74.5=133$  g/mol

**Pour déterminer le coefficient de diffusion D**

L'équivalent de concentration de 1 % correspond à une valeur de

$$1\% \dots\dots\dots \frac{1g}{100 ml} \dots\dots\dots \frac{10000 mol}{(133) m^3} = 7.518 \frac{mol}{m^3}$$

Elle peut s'écrire :  $A_2$  correspond à la pente de la droite de concentration

$$c = c(t)$$

$$A_2 \cdot 10^{-2} = -D \cdot 7.518 \frac{mol}{m^3}$$

$$D = \frac{A_2 \cdot 10^{-2}}{7.518 \cdot 10^2} = A_2 \cdot \frac{10^4}{7.518} \frac{m^2}{s}$$

**LA FORMULE DE CALCUL DU COEFFICIENT DE DIFFUSION**

Où  $A_2$  est la pente de la droite obtenue à partir de la représentation graphique

$$c = c(t)$$

**L'expérience peut être réalisée avec l'EAU DISTILLÉE :**

La masse molaire de H<sub>2</sub>O est :  $M_{H_2O} = 18 \frac{g}{mol}$

Pour les sels de réhydratation, la concentration est calculée avec la formule :

$$c = G \cdot \frac{1000}{18.1923} \quad (5)$$

**Pour déterminer le coefficient de diffusion D**

La concentration équivalente de 1% correspond à une valeur de

$$1\% \dots \dots \dots \frac{1g}{100 ml} \dots \dots \dots \frac{10000 mol}{18 m^3} = 555.555 \frac{mol}{m^3}$$

Elle peut s'écrire : A<sub>2</sub> correspond à la pente de la droite de concentration

$$c = c(t)$$

$$A_2 \cdot 10^{-2} = -D \cdot 555,555 \frac{mol}{m^3}$$

$$D = \frac{A_2 \cdot 10^{-2}}{555.555 \cdot 10^2} = A_2 \cdot \frac{10^4}{555.555} \frac{m^2}{s}$$

**LA FORMULE DE CALCUL DU COEFFICIENT DE DIFFUSION**

Où A<sub>2</sub> est la pente de la droite obtenue à partir de la représentation graphique

$$c = c(t)$$

**LA REGLE DE DETERMINATION DANS LA CATEGORIE EST LES DIFFERENTES SOLUTIONS UTILISEES, EN UTILISANT LE COEFFICIENT DE DIFFUSION**

**Pour les MICROMOLÉCULES :**

$$M < 10^3 \text{ Da et } D \sim 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s} \sim 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

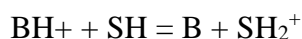
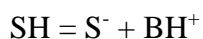
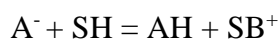
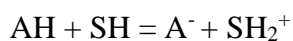
**Pour les MACROMOLECULES :**

$$10^3 \text{ Da} < M < 10^8 \text{ Da et } D \sim 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s} \quad D \sim 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$$

# ÉTUDE DE LA VARIATION DE LA CONDUCTANCE AVEC LA CONCENTRATION POUR LES ÉLECTROLYTES FORTS ET FAIBLES

## INTRODUCTION

Les transformations chimiques accompagnées du passage d'un courant électrique à travers le système considéré sont appelées réactions électrochimiques. De nombreuses réactions chimiques se font par transfert de charges électriques, comme les réactions de transfert de protons entre un acide (AH ou BH<sup>+</sup>) et un solvant SH, ou entre une base (B ou A<sup>-</sup>) et un solvant S :



En solution, les composants réactifs sont généralement sous forme ionique, mais ils peuvent également être des molécules neutres.

Un rôle important dans les processus électrochimiques est joué par l'état des espèces ioniques dans la phase liquide (par exemple, dans la solution). En tant que particules électriquement chargées, elles interagissent fortement à la fois avec le solvant (interaction appelée *solvatation*) et avec les autres particules ioniques (qui constituent *le sphère ionique*). Leur transition vers d'autres formes, suite à des réactions électrochimiques, est dépendante de la valeur de l'énergie libre du processus. Tant le processus de solvatation (interactions ion-molécule) que l'interaction avec l'atmosphère ionique (interactions ion-ion) présentent de grandes difficultés dans une approche quantitative au niveau microscopique.

**Les conducteurs électroniques** sont généralement des métaux solides ou fondus, des alliages et certains composés métalliques. La conduction électronique se produit par le mouvement ordonné des électrons, tandis que les ions positifs dont ils sont issus occupent des positions fixes. La conduction électronique peut être caractérisée quantitativement à l'aide d'une conductance spécifique, également appelée conductivité. Selon la loi d'Ohm, la résistance électrique,  $R$ , représente le rapport entre la différence de potentiel appliquée,  $U$ , et le courant résultant,  $I$  :  $R = \frac{\Delta U}{I}$  et est mesurée en ohms ( $\Omega$ )

La résistance électrique d'un corps dépend de sa longueur,  $x$ , et de sa section transversale  $S$  (lorsque la section est constante). La constante de proportionnalité, selon la nature du matériau, est appelée résistance spécifique ou résistivité :  $R = \frac{\rho \cdot l}{S}$

La valeur inverse de la résistance est appelée conductance et la valeur inverse de la résistivité

$$G = \frac{1}{\rho} \text{ est appelée conductivité ou conductance spécifique : } \frac{1}{R} = G \cdot \frac{S}{l}$$

Les dimensions de résistivité et de conductivité résultent de l'analyse des relations de définition :

$$[\rho]_{S.I.} = 1\Omega \cdot m \quad ; \quad [G]_{S.I.} = 1\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$$

L'unité  $\Omega^{-1}$  est parfois appelée mho (inverse d'ohm) ou siemens.

Les conducteurs électroniques ont des résistivités comprises entre  $10^{-8}$  et  $10^{-5} \Omega \cdot m$ , par rapport aux isolants qui ont des résistivités  $G > 10^6 \Omega \cdot m$ .

L'augmentation de la température entraîne une diminution de la conductivité des conducteurs électroniques due à l'augmentation de l'agitation du "gaz électronique".

**Les conducteurs ioniques** (également appelés conducteurs de seconde espèce), sous forme de solutions électrolytiques ou fondus, sont formés soit par la dissociation électrolytique de certaines substances polaires (substances ioniques telles que HCl, CH<sub>3</sub>COOH, etc.) dissolution dans des solvants polaires (par exemple l'eau), soit en dissolvant des substances solides à structure ionique (ionophores tels que NaCl, KNO<sub>3</sub>, etc.) soit en les faisant fondre. Les électrolytes sont considérés comme forts lorsqu'ils sont complètement dissociés, ou faibles lorsqu'ils ne sont que partiellement dissociés. La répartition des électrolytes en deux catégories a un caractère relatif puisque même les espèces dissociées interagissent entre elles. À des concentrations plus élevées, des "paires d'ions" ou même des agrégats plus élevés se forment.

Contrairement aux conducteurs électroniques, dans lesquels la densité de porteurs de charge (électrons) est une caractéristique intrinsèque du matériau, pour les conducteurs ioniques sous forme de solutions, la densité de porteurs de charge peut être modifiée en changeant la concentration.

De plus, le transport du courant électrique à travers une solution d'électrolyte est assuré à la fois par des ions positifs et négatifs. Le transport des ions dans une solution d'électrolyte se produit soit en raison de l'existence d'un gradient de concentration, soit en raison de l'application d'une différence de potentiel, soit des deux contraintes.

Afin de mettre en évidence les caractéristiques conductrices des solutions des différents électrolytes, une normalisation de la concentration est d'abord nécessaire. La conductivité mesurée à différentes concentrations doit être convertie en une quantité liée à une unité de concentration. Le rapport entre la conductivité et la concentration molaire, appelé conductivité molaire, permet la comparaison entre les conductivités de solutions d'électrolytes différents à la même concentration. La conductivité molaire est définie comme :  $G_m = \frac{1000 \cdot G}{C_m}$ .

où  $C_m$  est la concentration molaire de l'électrolyte, et le facteur 1000 convertit la concentration molaire de mol/L en unités SI ( $\text{mol/m}^3$ ).

Étant donné que les propriétés conductrices d'une solution d'électrolyte dépendent à la fois des concentrations des ions et de leurs charges, une propriété normalisée également du point de vue de la valence des ions est la conductivité équivalente, définie **comme** :  $G_e = \frac{1000 \cdot G}{C_e}$ .

où  $C_e$  représente la concentration normale (en équivalents grammes par litre de solution).

En l'absence d'interactions entre ions, la conductivité équivalente devrait être une caractéristique constante de chaque système. On a constaté expérimentalement que, pour des solutions diluées d'électrolytes forts, la conductivité équivalente décroît avec l'augmentation de la concentration, selon une loi de la forme :  $G_c = G_0 - A \cdot \sqrt{C}$ . En extrapolant les valeurs de  $G_c$  à concentration nulle (lorsque les interactions interioniques s'annulent), les conductivités équivalentes à dilution infinie,  $G_0$ , on obtient. Ce sont des propriétés intrinsèques des porteurs de charge et sont tabulées pour des ions individuels dans des solutions aqueuses à une température de  $25^\circ \text{C}$ . Ils sont utilisés dans le calcul d'autres propriétés de transport des solutions d'électrolytes.

La dépendance en température de la conductivité des solutions d'électrolyte est également différente de celle des conducteurs électroniques : une augmentation de la température entraîne une augmentation de la conductivité des solutions d'électrolyte diluées selon une loi empirique de la forme :  $G_t = G_{25} \left[ 1 + \alpha(t - 25) - \beta(t - 25)^2 \right]$

Le transport des ions dans les solutions peut se produire à la fois en raison de l'application d'un champ électrique et en raison de l'existence d'un gradient de concentration. Dans le premier cas, le transport est appelé migration, et dans le second cas, diffusion. La diffusion des particules neutres est décrite par les lois de Fick. Pour les ions, ces lois doivent être modifiées pour tenir compte du



gradient de champ électrique induit par un gradient de concentration. Les deux mécanismes de transport peuvent se produire séparément ou ensemble.

La conduction électronique et ionique sont deux mécanismes extrêmes qui peuvent être trouvés ensemble, coopérant dans le transport du courant électrique.

## ÉTAPES DU TRAVAIL

Une solution aqueuse de KCl est utilisée.

Les électrolytes peuvent être « forts » ou « faibles ». Les électrolytes forts se dissocient complètement en ions lors de la dissolution, tandis que les électrolytes faibles ne se dissocient que partiellement lors de la dissolution.

**KCl est un électrolyte qui se dissocie comme suit :  $\text{KCl} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Cl}^-$**

Les électrolytes sont des substances qui, à l'état fondu ou en solution, sont des conducteurs électriques. La conductivité électrique des solutions d'électrolytes est très différente (qu'il s'agisse de combinaisons ioniques ou covalentes) et par conséquent elles ont été classées selon ce critère en **électrolytes forts** et en **électrolytes faibles** .

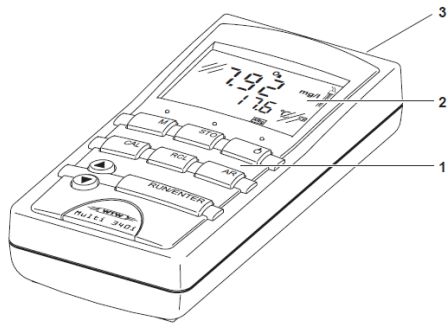
**Les électrolytes forts** sont les suivants :

- sels : NaCl,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$  ;
- les hydroxydes solubles : NaOH, KOH,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  ;
- acides minéraux : HBr, HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ;

**Les électrolytes faibles** sont les suivants :

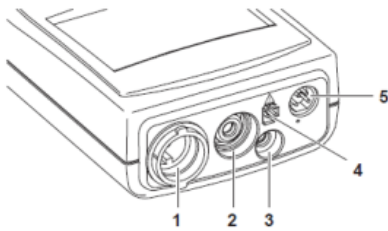
- acides organiques :  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  ;
- acides inorganiques :  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , HCN ;
- bases :  $\text{NH}_3$ , amines.

# DESCRIPTION DE L'APPAREIL : MULTIMÈTRE WTW 340I (CONDUCTOMETRE / pH METRE):



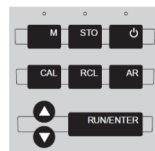
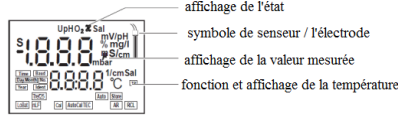
- 1- clavier (Clavier)
- 2- affichage
- 3- région de connexion (champ Jack)

## domaine de prise

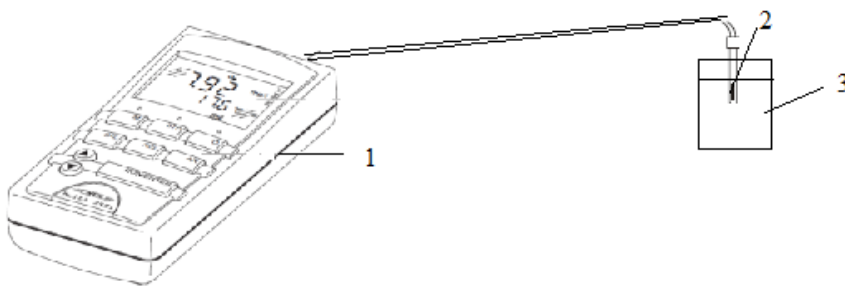


- |   |  |
|---|--|
| 1 | D.O. sonde ou la conductivité du cellule |
| 2 | Electrode de pH                          |
| 3 | Sonde de température de pH               |
| 4 | Branchez - dans l'unité d'alimentation   |
| 5 | RS232 interface série                    |

## Affichage



- |                  |   |
|------------------|---|
| <b>M</b>         | sélectionner la variable mesurée<br>pH / potentiel Redox<br>D.O. concentration / D.O. saturation<br>conductivité / salinité |
| <b>STO</b>       | enregistrer (sauver) une valeur mesurée   |
| <b>ON/OFF</b>    | ouvert / fermé ( ON/OFF)  |
| <b>CAL</b>       | calibrer la variable mesurée actuellement fixé  |
| <b>RCL</b>       | Afficher / transmettre les valeurs mesurées   |
| <b>AR</b>        | activer / désactiver la fonction de lecture automatique (AutoRead)  |
| <b>▲</b>         | sélectionner le mode de mesure, augmenter les valeurs, rouleau  |
| <b>▼</b>         | sélectionner le mode de mesure, diminuer les valeurs, rouleau   |
| <b>RUN/ENTER</b> | confirmer un enregistrement, activer la fonction lecture automatique (AutoRead) valeurs de sortie mesurée                   |





1. Préparez des solutions d'acide acétique  $\text{CH}_3\text{COOH}$  de différentes concentrations comme suit :
2. Une solution mère d'acide acétique de concentration  $c_1 = 0,4 \text{ M}$  est préparée comme suit : 12 g d'acide acétique dans 500 ml d'eau.
3. A partir de la solution mère d'acide acétique avec  $c_1 = 0,4 \text{ M}$ , préparer les autres solutions nécessaires à l'expérience et dont la conductance est mesurée  $G \left( \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right)$  comme présenté dans le tableau 1.

Tableau 1

Sol non	Le volume en ml d'acide acétique $\text{CH}_3\text{COOH}$ de concentration $c_1 = 0,4 \text{ M}$ à verser dans une fiole jaugée . A partir de cette valeur, ajouter de l'eau jusqu'au volume de 50 ml de la fiole jaugée.	La concentration obtenue en molaires (M)
1	45	0,36
2	40	0,32
3	35	0,28
4	30	0,24
5	25	0,20
6	20	0,16
7	15	0,12
8	10	0,08
9	5	0,04
10	2	0,016
11	1	0,008

4. Ainsi, 12 solutions de travail sont obtenues, ayant des concentrations comprises entre 0,4 M et 0,008 M, qui sont introduites dans le verre Berzelius et ensuite leur conductance sera mesurée

$$G\left(\frac{\mu S}{cm}\right).$$

Les résultats sont présentés dans le tableau 2 en colonne 4 .

5. Calculez  $G/c$  et inscrivez les résultats dans le tableau 2 dans la colonne 5 .

6. Une solution de KCl - un électrolyte fort - de concentration  $c_1 = 0,4 \text{ M}$  est obtenue comme suivant :

- dissoudre 14,9 g de KCl - dans 500 ml d'eau

- la formule de concentration molaire est utilisée  $c = \frac{m(g)}{M.V(l)}$

- où  $m = 14,9 \text{ g}$  est la masse de KCl utilisée

$V = 500 \text{ ml} = 0,5 \text{ L}$  est le volume d'eau utilisé pour obtenir la solution aqueuse

où  $M = 74,5 \text{ g/mol}$  est la masse molaire de KCl

7. À partir de la solution mère de KCl avec  $c_1 = 0,4 \text{ M}$ , préparez les autres solutions nécessaires

à l'expérience et ensuite leur conductance sera mesurée  $G\left(\frac{\mu S}{cm}\right)$  (voir tableau 3)

Tableau 2:

Non. Alors	c(M)	$G\left(\frac{\mu S}{cm}\right)$ CH <sub>3</sub> COOH	G/c CH <sub>3</sub> COOH	$G\left(\frac{\mu S}{cm}\right)$ KCl	G/c KCl
1.					
1	0,4				
2	0,36				
3	0,32				
4	0,28				
5	0,24				
6	0,20				
7	0,16				
8	0,12				
9	0,08				
10	0,04				

8. Ouvrez un fichier Excel et renseignez les données du tableau 2 :

9. Les données seront représentées graphiquement pour CH<sub>3</sub>COOH (électrolyte faible) et KCl (électrolyte fort) comme la fonction suivante  $G=G(c)$

10. Représentez ensuite graphiquement  $\frac{G}{c} = \frac{G}{c}(c)$  pour CH<sub>3</sub>COOH (électrolyte faible) et KCl (électrolyte fort)

11. Comparez les graphiques obtenus pour les électrolytes faibles et forts.

Tableau 3:

Non. Alors 1.	Masse de KCl exprimée en grammes m(g) nécessaire pour atteindre la concentration	La concentration obtenue en molaires (M)
1	14.9	0,4
2	13,41	0,36
3	11.92	0,32
4	10,43	0,28
5	8,94	0,24
6	7.45	0,20
7	5,96	0,16
8	4.47	0,12
9	2,98	0,08
10	1.49	0,04

# VARIATION DE LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DE L'EAU AVEC LA TEMPÉRATURE

## INTRODUCTION

Le courant électrique traversant un milieu conducteur rencontre une résistance de sa part qui se manifeste par une difficulté dans le passage du courant. Pour assurer une intensité de courant (" $I$ ") à travers le conducteur, il est nécessaire d'appliquer une différence de potentiel (tension électrique, " $U$ ") entre les extrémités du milieu conducteur. Plus une différence de potentiel est nécessaire pour assurer une intensité de courant, plus la résistance électrique («  $R$  ») du milieu conducteur est élevée.

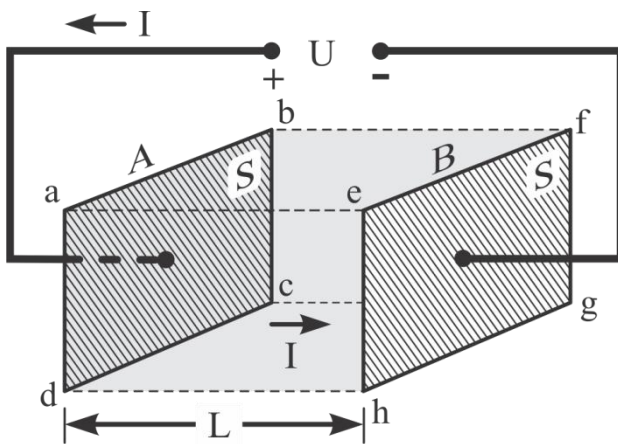


Figure 1 . \_ Résistance électrique d'un environnement

La figure 1 montre un montage imaginaire pour définir la résistance électrique d'un environnement. Le milieu d'intérêt se trouve entre les électrodes planes « A » et « B » et remplit uniformément le parallélépipède a, b, c, d, e, f, g, h limité par ces électrodes. Si la différence de potentiel entre les électrodes « A » et « B » est «  $U_{AB}$  » (exprimée en *volts* ), et l'intensité du courant électrique est «  $I$  » (exprimée en *ampères* ), alors la résistance électrique «  $R_{AB}$  » du milieu (exprimé en *ohms* ) est calculé selon la relation (1).

$$R_{AB} = \frac{U_{AB}}{I} \quad (1)$$

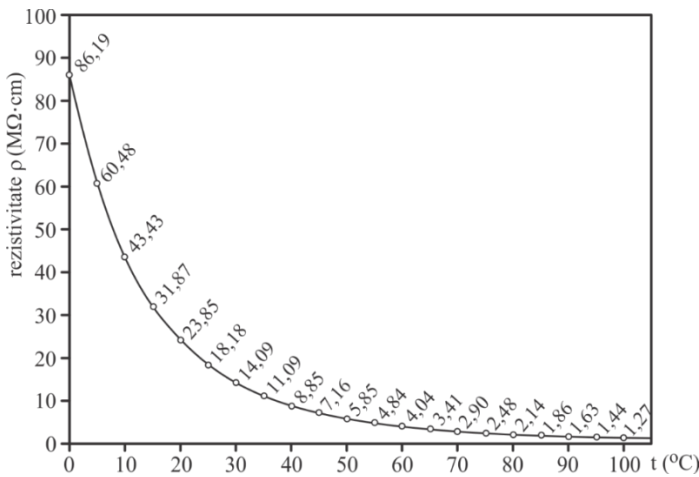
La résistance électrique d'un environnement, outre la particularité de l'environnement, dépend de ses facteurs géométriques selon la relation (2).



$$R_{AB} = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (2)$$

Dans la relation (2), "L" représente la longueur et "S" est l'aire de la section du chemin parcouru par le courant électrique entre les électrodes "A" et "B". Le coefficient «  $\rho$  » est caractéristique du matériau de l'environnement ; est la *résistivité* de l'environnement (dans le Système international d'unités, elle est exprimée en *ohms • mètre* ,  $\Omega \cdot m$ ).

La valeur de la résistivité d'un milieu dépend de la température : dans le cas des conducteurs métalliques, la résistivité augmente avec la température ; dans le cas des semi-conducteurs et des solutions électrolytiques, la résistivité diminue avec la température. La figure 2 illustre la dépendance à la température de la résistivité de l'eau pure (exprimée dans l'unité tolérée *méga-ohm•centimètre* ,  $M\Omega \cdot cm$  ).



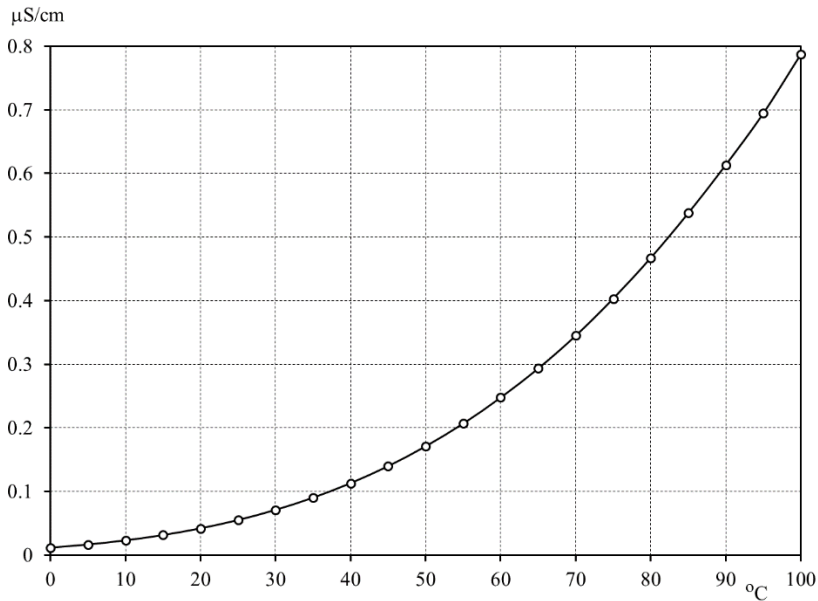
**Fig. 2 Dépendance de la résistivité de l'eau pure à la température**

La valeur réciproque de la résistance "R" est exprimée en  $(\Omega)^{-1}$  ,  $(\Omega \cdot m)^{-1}$  ; cette unité de mesure est appelée « *Siemens* », « S ».

L'inverse de la résistivité est la conductivité électrique, "K".

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

Si pour la résistivité électrique " ρ " l'unité de mesure tolérée *ohm • centimètre* ,  $\Omega \cdot cm$  est acceptée, la conductivité électrique " K " s'exprime en " *Siemens / cm* ", " *S / cm* ". La figure 3 représente la conductivité "G" de l'eau pure en fonction de la température.



**Fig. 3 Dépendance de la conductivité de l'eau pure à la température**

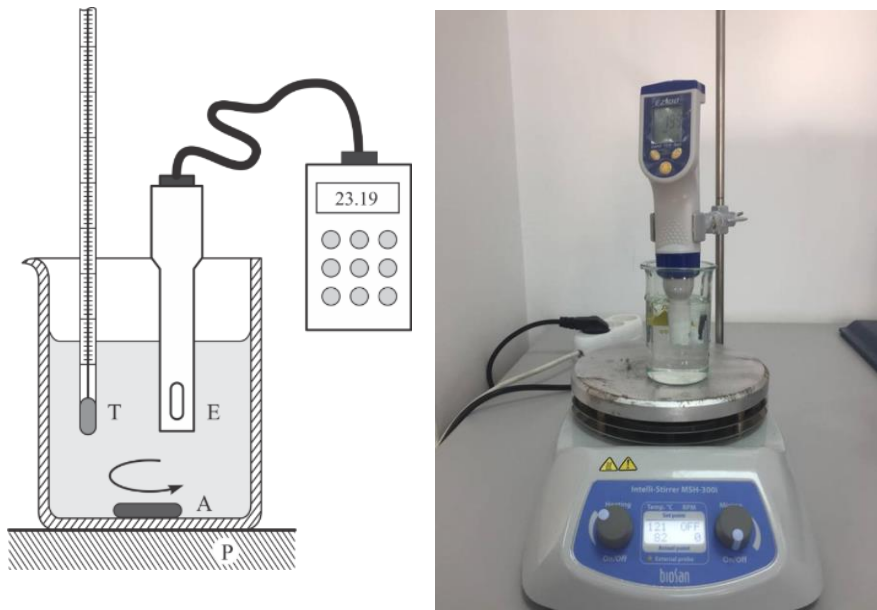
### ÉTAPES DU TRAVAIL

Dans un bécher *Berzelius* de 100 ml mettre 50 ml d'eau bidistillée, un thermomètre (« T »), un barreau magnétique (« A ») et l'ensemble électrode (« E ») de la sonde d'un conductimètre (Fig. 4 ). Le verre est posé sur un plateau chauffant avec possibilité d'agitation magnétique. La température indiquée par le thermomètre et la conductivité affichée par l'instrument de mesure sont enregistrées. Le chauffage de l'eau est démarré et la modification de la conductivité de l'eau est surveillée. Les couples température/valeur sont enregistrés. conductivité pour chaque changement de température de 5 °C. La surveillance du processus est poursuivie jusqu'à la température de 75 °C.

Arrêtez de chauffer l'eau et enregistrez, tous les 5 °C, la conductivité en fonction de la température pendant le refroidissement de l'eau. La conductivité de l'eau est représentée graphiquement en fonction de la température pour le chauffage et le refroidissement.

Comparez le graphique obtenu avec celui de la figure 4.

Comment expliquer la différence observée ?



**Figure 4 . Assemblage expérimental**

Tableau 1 : Variation de la conductance avec la température pour l'eau

N° crt	T(oC)	G( $\mu$ S/cm)
1	20	
2	25	
3	30	
4	35	
5	40	
6	45	
7	50	
8	55	
9	60	
dix	65	
11	70	
12	75	

Tableau 2 : Variation de la conductance avec la température

N° crt		Solution de NaCl 0,9%	Sels de réhydratation
	t( °C)	G( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	G( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	25		
2	30		
3	31		
4	32		
5	33		
6	34		
7	35		
8	36		
9	37		
dix	38		
11	39		
12	40		
14	41		
15	42		
16	43		
17	44		
18	45		

Des graphes sont représentés :  $G=G(t)$  pour l'eau du robinet (tableau 1 ) et pour une solution de NaCl 0,9 % et des sels de réhydratation (tableau 2) .

Des conclusions sont formulées.

# DÉTERMINATION DES TDS

## INTRODUCTION

**TDS - le total des solides dissous** est une mesure de la teneur dissoute de toutes les substances inorganiques et organiques combinées présentes dans un liquide sous la forme d'une suspension moléculaire, ionisée ou microgranulaire (sol colloïdal). En général, la définition de telles tailles est que les solides doivent être suffisamment petits pour passer à travers des filtres de taille micrométrique (taille normale ou inférieure). Les TDS ne sont normalement discutés que pour les systèmes d'eau douce car la salinité comprend certains des ions qui composent la définition des TDS.

L'application principale de TDS est l'étude de la qualité de l'eau. Bien que le TDS ne soit généralement pas considéré comme un polluant primaire (c'est-à-dire qu'il n'est pas considéré comme étant associé à des effets sur la santé), il est utilisé comme indication des caractéristiques esthétiques de l'eau potable et comme indicateur global de la présence d'un large éventail de substances chimiques. contaminants.

Les principales sources de TDS dans les eaux réceptrices sont le ruissellement agricole et résidentiel, les eaux de montagne riches en argile, le lessivage de la contamination des sols et les rejets de pollution de l'eau provenant des usines de traitement des eaux usées ou industrielles.

**Les composants chimiques les plus courants sont le calcium, les phosphates, les nitrates, le sodium, le potassium et le chlorure**, qui se trouvent dans le ruissellement des nutriments, le ruissellement général des eaux pluviales et le ruissellement de la neige lorsque des sels de déglacage routier sont appliqués. **Les produits chimiques peuvent être des cations, des anions, des molécules ou des agrégats d'un millier de molécules ou moins**, tant que des microgranules solubles sont formés.

Les éléments exotiques et nocifs des TDS sont les pesticides résultant du ruissellement de surface. Certains solides dissous d'origine naturelle sont dus à l'altération et à la dissolution des roches et des sols.

Des normes de qualité de l'eau ont été établies, par exemple les États-Unis ont des valeurs de 500 mg/L pour assurer le goût de l'eau potable.

La valeur TDS adaptée à la consommation est comprise entre 50 et 100 ppm. Une bonne classification dans ce sens est la suivante :

- Bon goût : 30 – 60 ppm.
- Goût convenable : 60-200 ppm.
- Goût acceptable : 200 – 250 ppm.
- Goût inacceptable : plus de 250 ppm.

Solides dissous totaux Le TDS se différencie du total des solides en suspension (TSS) en ce que ce dernier ne peut pas passer à travers un tamis de deux micromètres et reste pourtant indéfiniment en suspension dans la solution. Le terme « solides décantables » fait référence à des matériaux de toute taille qui ne restent pas en suspension ou dissous dans un réservoir de stockage qui n'est pas sujet au mouvement et exclut à la fois les TDS et les TSS. Les solides solubles peuvent inclure des particules plus grosses ou des molécules insolubles.

Le TDS peut être mesuré à l'aide de deux méthodes telles que : l'analyse gravimétrique et la conductométrie (mesure de la conductivité électrique).

Les méthodes gravimétriques sont les plus précises et impliquent l'évaporation du solvant liquide et la mesure de la masse de résidu restant. Cette méthode est généralement la meilleure, même si elle prend du temps. Si les sels inorganiques constituent la grande majorité des TDS, les méthodes gravimétriques sont appropriées.

La conductivité électrique de l'eau est directement liée à la concentration de solides ionisés dissous dans l'eau. Les ions des solides dissous dans l'eau créent la capacité de cette eau à conduire un courant électrique qui peut être mesuré à l'aide d'un compteur conventionnel ou d'un compteur TDS. Lorsqu'elle est corrélée avec les mesures de TDS en laboratoire, la conductivité fournit une valeur approximative de la concentration de TDS, généralement à moins de dix pour cent.

**La relation entre TDS et la conductance électrique spécifique de l'eau suit l'équation suivante :**

$$TDS = k_e EC$$

Où TDS est mesuré en mg/L et EC (la conductance électrique est mesurée en microSiemens/cm à 25°C).

$k_e$  est le facteur de corrélation entre les deux grandeurs et a des valeurs comprises entre 0,55 et 0,8.

Du point de vue des valeurs TDS, l'eau est classée en :

- Eau douce : TDS = 500 ppm
- Eau saumâtre : TDS = 500 - 30 000 ppm

- Eau salée : TDS = 30 000 - 40 000 ppm
- Hypersalin : TDS supérieur à 40 000 ppm

Les solides ionisés dissous tels que les sels et les minéraux augmentent la conductivité électrique (CE) d'une solution. Comme il s'agit d'une mesure du volume de solides ionisés, la CE peut être utilisée pour estimer le TDS. Les solides organiques solides tels que le sucre et les particules solides microscopiques, ou ceux tels que les colloïdes, n'affectent pas de manière significative la conductivité d'une solution et ne sont pas pris en compte.

Un compteur TDS indique le total des solides dissous (TDS) d'une solution, c'est-à-dire la concentration de particules solides dissoutes.

La meilleure méthode pour mesurer le TDS de l'eau en laboratoire est d'évaporer l'eau et les solvants puis de peser le résidu restant.

De nombreux compteurs TDS affichent les valeurs TDS en parties par million (ppm);

1 ppm indique 1 milligramme de solides dissous par kilogramme d'eau.

Les termes EC et TDS sont souvent utilisés pour quantifier la quantité de solides dissous dans l'eau. L'H<sub>2</sub>O pur a une conductivité pratiquement nulle. La conductivité est généralement environ 100 fois supérieure aux valeurs de cations ou d'anions exprimées en équivalents. Le TDS est calculé en convertissant EC par un facteur de 0,5 à 1,0 fois EC, selon les niveaux étudiés.

La seule façon précise de mesurer le TDS est d'évaporer l'eau et de peser le résidu solide obtenu. Le niveau de TDS peut être estimé en mesurant la CE (conductivité électrique) de l'eau avec un conductimètre et en convertissant. Un compteur TDS est en fait un compteur EC calibré en TDS, estimant TDS à partir d'EC. Certains compteurs peuvent être réglés pour afficher l'une ou l'autre des valeurs.

Tous les éléments dissous dans l'eau ont une charge électrique. Il est donc possible d'estimer les valeurs de TDS en déterminant la conductivité électrique de l'eau en y faisant passer un petit courant. Une mesure similaire est effectuée avec un ohmmètre qui mesure la tension et le courant résultants et calcule la conductivité.

La conversion de CE en TDS peut créer des erreurs importantes car le facteur de conversion est différent pour différents solides dissous.

Par exemple, pour le chlorure de potassium, pour convertir EC en TDS, le facteur de conversion est de 0,50 à 0,57. Le chlorure de sodium a un facteur de 0,47 à 0,50 et certains minéraux dissous couramment trouvés peuvent atteindre 0,85.

Le facteur de conversion varie également avec la température et seules des mesures plus sophistiquées mesurent la température de la solution et compensent.

### Dispositif expérimental :

Il se compose du TDS-mètre, qui mesure les valeurs TDS de différentes solutions

### ÉTAPES DU TRAVAIL



1. Introduire dans un verre Berzelius, la solution expérimentale
2. Introduire le TDS-mètre dans le verre Berzelius rempli de solution
3. La valeur TDS pour chaque solution à étudier est lue sur l'écran du TDS-mètre
3. Entrez les valeurs obtenues dans le tableau ci-dessous

Tableau 1. Données expérimentales pour l'analyse TDS

N° crt	La solution	TDS (ppm)	Remarque
1			
2			
3			
4			
5			



# DÉTERMINATION DE LA SALINITÉ DES SOLUTIONS

## INTRODUCTION

La salinité est la quantité de sel dissous dans un milieu aqueux, appelé eau salée.

Ceci est généralement mesuré en  $\frac{g \text{ salt}}{kg \text{ sea water}}$  (il s'agit techniquement d'une quantité sans dimension).

La salinité est un facteur important dans la détermination de nombreuses quantités chimiques des eaux naturelles et des processus biologiques en leur sein.

La salinité est une variable d'état thermodynamique qui, avec la température et la pression, régit les caractéristiques physiques telles que la densité et la capacité de transfert de chaleur de l'eau.

### **La salinité dans le domaine médical**

Une solution saline est un mélange de chlorure de sodium dans de l'eau et a un certain nombre d'utilisations en médecine. Appliqué sur la zone touchée, il est utilisé pour nettoyer les plaies, aider à retirer les lentilles de contact et améliorer l'hydratation des yeux. Par injection dans une veine, il est utilisé pour traiter la déshydratation, comme dans les cas de gastro-entérite et d'acidocétose diabétique. Il est également utilisé pour diluer d'autres médicaments qui doivent être administrés par injection.

De grandes quantités peuvent entraîner une congestion, un gonflement, une acidose et du sodium dans le sang. Chez les personnes souffrant de sodium sanguin à long terme, une utilisation excessive peut provoquer un syndrome de démyélinisation osmotique.

La solution saline fait partie de la famille des médicaments cristalloïdes. Il est le plus couramment utilisé sous forme de solution stérile de 9 g de sel par litre (0,9 %), appelée solution saline normale. Des concentrations supérieures et inférieures peuvent également être utilisées occasionnellement.

### **La solution saline a un pH de 5,5, ce qui la rend acide**

L'utilisation médicale de la solution saline a commencé vers 1831.

Il figure sur la liste des médicaments essentiels de l'Organisation mondiale de la santé, les médicaments les plus efficaces et les plus sûrs nécessaires dans un système de santé. Le prix de gros dans les pays en développement est d'environ 0,60 à 4,20 dollars par litre de solution saline normale.

**Une solution saline normale** (NSS, NS ou N/S) est le nom usuel d'une solution de NaCl à 0,90 % m/v, 308 mOsm/L ou 9,0 g par litre. Moins fréquemment, cette solution est appelée solution saline physiologique ou solution saline isotonique (car elle se rapproche étroitement de l'isotonique, c'est-à-dire physiologiquement normale) ; bien qu'aucun de ces noms ne soit techniquement exact (puisque la solution saline normale n'est pas exactement comme le sérum sanguin), ils véhiculent l'effet pratique couramment observé : un bon équilibre hydrique avec un minimum d'hypotonicité ou d'hypertonicité.

**solution saline normale** est fréquemment utilisée comme perfusion intraveineuse (IV) pour les personnes qui ne peuvent pas prendre de liquides par la bouche et qui ont développé ou risquent de développer une déshydratation ou une hypovolémie.

NS est également utilisé à des fins aseptiques. Le NS est généralement le premier liquide utilisé lorsque l'hypovolémie est suffisamment grave pour menacer l'adéquation de la circulation sanguine et a longtemps été considéré comme le liquide le plus sûr à administrer rapidement en grandes quantités.

Cependant, on sait maintenant qu'une perfusion rapide de NS peut provoquer une acidose métabolique.

**La solution saline** est la solution de 9 grammes de chlorure de sodium (NaCl) dissous dans l'eau, jusqu'à un volume total de 1000 ml (poids par unité de volume (poids / volume)). La masse de 1 millilitre de solution saline normale est de 1,0046 gramme à 22 °C. Le poids moléculaire du chlorure de sodium est d'environ 58,5 grammes par mole, donc 58,5 grammes de chlorure de sodium équivaut à 1 mole. Étant donné que la solution saline normale contient 9 grammes de NaCl, la concentration est de 9 grammes par litre divisé par 58,5 grammes par mole ou 0,154 mole par litre. Parce que NaCl se dissocie en deux types d'ions, les ions sodium et chlorure - 1 molaire est 2 osmolaire de NaCl.

Ainsi, **la solution saline** contient 154 mEq/l Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>. Il a un degré d'osmolarité légèrement plus élevé (c'est-à-dire plus dissous par litre) que le sang. Cependant, si vous tenez compte du coefficient osmotique, une correction pour les solutions non idéales, alors la solution saline est beaucoup plus proche de l'isotonique.

NaCl est d'environ 0,93, donc  $0,154 \times 1000 \times 2 \times 0,93 = 286,44$ . Cependant, l'osmolarité de la solution saline normale est proche de l'osmolarité du NaCl dans le sang.

À des fins médicales, la solution saline est souvent utilisée pour nettoyer les plaies et les abrasions cutanées. Une solution saline normale ne brûle pas et ne pique pas lorsqu'elle est appliquée.

La solution saline est également utilisée dans la thérapie intraveineuse, l'apport intraveineux d'eau supplémentaire pour réhydrater les personnes ou pour répondre aux besoins quotidiens en eau et en sel (besoins "d'entretien") d'une personne qui ne peut pas les prendre par voie orale. Étant donné que la perfusion d'une solution à faible osmolalité peut entraîner des problèmes tels que l'hémolyse, les solutions salines intraveineuses à faible concentration contiennent généralement du dextrose (glucose) ajouté pour maintenir une osmolalité sûre tout en délivrant moins de chlorure de sodium. La quantité de solution saline normale perfusée dépend en grande partie des besoins de la personne (par exemple, diarrhée ou insuffisance cardiaque).

Une solution saline est souvent utilisée comme lavage nasal pour soulager certains des symptômes du rhume. La solution exerce une influence adoucissante et relâchante sur le mucus pour faciliter le lavage et le nettoyage des voies nasales pour les bébés et les adultes. Dans ce cas, une "solution saline domestique" peut être utilisée : cela se fait en dissolvant environ une demi-cuillère à café de sel de table dans 240 ml d'eau propre du robinet. Dans de très rares cas, une infection à l'amibe par *Naegleria fowleri* peut survenir si l'amibe pénètre dans le corps par le nez. Par conséquent, l'eau utilisée pour l'irrigation nasale doit être stérile. Notez que l'eau du robinet propre n'est pas nécessairement un liquide stérile.

Les collyres sont des gouttes contenant une solution saline, utilisées dans l'œil. Selon l'affection traitée, ils peuvent contenir des stéroïdes, des antihistaminiques, des sympathomimétiques, des bêta-bloquants, des parasympathomimétiques, des parasympatholytiques, des prostaglandines, des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), des antibiotiques ou des anesthésiques topiques. Les gouttes oculaires ne contiennent parfois aucun médicament et ne sont que des solutions lubrifiantes et de remplacement des larmes.

Les systèmes de gouttes salines conçus pour les seringues (par exemple, Wallace Cameron Ultra Saline Minipod) sont distribués dans les programmes modernes d'échange de seringues car les médicaments peuvent être efficacement administrés soit par injection, soit par voie ophtalmique, ce qui est comparable à l'utilisation intraveineuse.

Il a été montré que l'élimination plasmatique de l'acide latanoprost est rapide (demi-vie de 17 minutes) après administration ophtalmique ou intraveineuse. Cependant, l'utilisation ophtalmique se fait avec des médicaments stériles filtrés qui sont puissants à des doses assez faibles et avec une acidité ajustée au pH de 7,0 à 7,5 après l'ajout du médicament pour éviter les lésions oculaires. L'œil

humain a un pH d'environ 7,5, l'eau a un pH de 7,0. Les solutions salines hypertoniques à 7% de NaCl sont considérées comme des agents mucoactifs et sont donc utilisées pour hydrater les sécrétions épaisses (mucus) afin de faciliter la toux et l'expectoration.

des solutions salines hypertoniques de 3% de NaCl sont également utilisées en cas de soins intensifs, d'hypertension intracrânienne aiguë ou d'hyponatrémie sévère.

Il a été démontré que l'inhalation de solution saline hypertonique aide à résoudre d'autres problèmes respiratoires, en particulier la bronchiolite. La solution saline hypertonique est actuellement recommandée par la Cystic Fibrosis Foundation comme élément principal d'un schéma thérapeutique de la fibrose kystique.

Une solution de xylitol à 11 % avec une solution saline à 0,65 % stimule le lavage nasopharyngé et a un effet sur les bactéries pathogènes nasales. Cela a été utilisé dans la médecine complémentaire et alternative.

Les autres concentrations couramment utilisées comprennent :

- Une solution saline semi-normale (0,45 % de NaCl), souvent avec "D5" (5 % de dextrose), contient 77 mEq/L de Na et de Cl et 50 g/L de dextrose.
- ¼ de solution saline normale (0,22 % de NaCl) contient 39 mEq/L de Na et de Cl et contient presque toujours 5 % de dextrose pour des raisons d'osmolalité. Il peut être utilisé seul dans les services de réanimation néonatale.

Une solution saline peut être utilisée dans les protocoles d'administration de liquide périopératoire pour réduire les perfusions intraveineuses excessives de liquide et diminuer les complications pulmonaires.

**Une solution saline hypertonique** est utilisée pour traiter l'hyponatrémie et l'œdème cérébral. Correction rapide de l'hyponatrémie au moyen d'une solution saline hypertonique ou de toute perfusion saline  $> 40$  mmol/L (Na + ayant une valence de 1,40 mmol/L = 40 mEq/L) myélinolyse pontique centrale (CPM) et nécessite une surveillance constante de la réponse de la personne. L'élimination de l'eau en combinaison avec un bloc diurétique ne produit pas le risque de CPM aussi élevé que l'administration de solution saline ; cependant, il ne corrige pas l'hyponatrémie aussi rapidement que l'administration d'une solution saline hypertonique. En raison de l'hypertonie, l'administration peut entraîner une phlébite et une nécrose tissulaire. Ainsi, les concentrations supérieures à 3 % de NaCl doivent normalement être administrées via un cathéter veineux central, également appelé « cathéter central ».

Les solutions de NaCl moins couramment utilisées sont 7 % (1200 mEq/L) et 23,4 % (environ 4000 mEq/L), qui sont toutes deux utilisées (également par voie centrale), souvent avec des diurétiques supplémentaires, dans le traitement des lésions cérébrales traumatiques.

Le dextrose (glucose) à 4 % dans une solution saline à 0,18 % est parfois utilisé pour l'entretien.

Dans le domaine médical, les types les plus courants de solutions salines sont la soupe comme suit :

- Solution de Ringer lactate
- Solution d'acétate de Ringer
- Solution de sucre intraveineuse
  - Dextrose à 5 % dans une solution saline normale ( D5NS )
  - Dextrose à 10 % dans une solution saline normale (D10NS)
  - 5% de dextrose dans une solution saline semi-normale (D5HNS)
  - Dextrose à 10 % dans une solution saline semi-normale (D10HNS)

En biologie cellulaire, les solutions salines suivantes sont utilisées :

- tamponnée (PBS) (recette Dulbecco = D-PBS, Galfre, Kuchler, Ausubel, etc.)
- TRIS - solution saline tamponnée (TBS) (recette Goldsmith, Ausubel, etc.)
- Solution saline équilibrée de Hank (HBSS)
- d'Earle (EBSS)
- Citrate salin standard (SSC)
- HEPES - solution saline tamponnée (HBS) (recettes de Dittmar, Liu, Ausubel, etc.)
- de Gey (GBSS)
- **Solution Ringer lactate** (également connue sous le nom de solution de lactate de sodium ou solution de Hartmann, est un mélange de chlorure de sodium, de lactate de sodium, de chlorure de potassium et de chlorure de calcium dans l'eau)

**La solution de sucre intraveineuse** est également appelée solution de dextrose et est un mélange de dextrose et d'eau qui comprend :

**D5W** (dextrose à 5 % dans l'eau), composé de 278 mmol/L de dextrose

**D5NS** (dextrose à 5 % dans une solution saline normale), qui contient en outre une solution saline normale (0,9 % p/v de NaCl).

**D5 1/2NS** Dextrose à 5 % dans une solution saline à moitié normale), (0,45 % p/v de NaCl).

**D5LR** (dextrose à 5 % dans une solution de Ringer lactate)

**D50** - 50% dextrose dans l'eau

Le pourcentage est ici considéré comme un pourcentage massique, donc une solution de glucose/dextrose à 5 % contient 50 g/L de glucose/dextrose (5 g/100 ml)

Le glucose fournit 4 kcal/gramme d'énergie, donc une solution de glucose à 5 % fournit 0,2 kcal/ml. Si elle est préparée à partir de dextrose monohydraté, qui fournit 3,4 kcal/gramme, une solution à 5 % fournit 0,17 kcal/ml

Un salinomètre est un appareil conçu pour mesurer la salinité ou la teneur en sel dissous d'une solution.

Étant donné que la salinité affecte à la fois la conductivité électrique et la gravité spécifique d'une solution, un salinomètre se compose souvent d'un compteur d'ec (conductomètre) ou d'un hydromètre et d'une méthode de conversion de ces lectures en une lecture de salinité.

Un salinomètre peut être calibré soit en micro-ohms, dans une unité de conductivité électrique (généralement 0-22), soit directement calibré en unités de salinité en "grains par gallon" (0-0,5).

Une lecture typique sera de 2 micro-Ohms ou 0,05 grains par gallon.

Les générateurs d'eau douce (évaporateurs) utilisent des salinomètres pour la distillation de l'eau afin de mesurer la qualité de l'eau. L'eau de l'évaporateur peut être utilisée pour l'approvisionnement en eau potable, l'eau salée n'est pas souhaitable pour la consommation humaine.

Dans certains cas, une distillation plus élevée est nécessaire pour une utilisation dans les chaudières à eau, où l'eau salée serait désastreuse. Dans ces cas, un salinomètre est également installé sur le système d'alimentation où il alertera l'ingénieur de toute contamination saline. Le salinomètre peut commuter automatiquement la sortie de l'évaporateur des réservoirs d'eau douce vers les réservoirs d'eau d'alimentation en fonction de la qualité de l'eau. Une qualité supérieure (faible salinité) est requise pour l'eau d'alimentation des chaudières, pas pour la consommation.

Une courbe de niveau de salinité constante est appelée isohaline, ou parfois isohaline.

La salinité dans les rivières, les lacs et l'océan est conceptuellement simple, mais techniquement difficile à définir et à mesurer avec précision.

**Conceptuellement, la salinité est la quantité de sel dissous dans l'eau** . Les sels sont des composés tels que le chlorure de sodium, le sulfate de magnésium, le nitrate de potassium et le bicarbonate de sodium qui se dissocient en ions. La concentration des ions chlorure dissous est parfois appelée chlorinité. Sur le plan opérationnel, le soluté est défini comme celui qui peut passer à travers un filtre très fin (un filtre avec une taille de pores de 0,45  $\mu\text{m}$ , mais de nos jours généralement 0,2  $\mu\text{m}$ ).

La salinité peut être exprimée en fraction massique, c'est-à-dire la masse de matière dissoute dans une unité de masse de solution.

L'eau de mer a généralement une valeur de salinité d'environ 35 g/kg, bien que des valeurs inférieures soient typiques près des côtes où les rivières se jettent dans l'océan.

Les rivières et les lacs peuvent avoir une large gamme de salinités, de moins de 0,01 g/kg à plusieurs g/kg, bien qu'il existe de nombreux endroits où l'on trouve des valeurs de salinité plus élevées.

La Mer Morte a une salinité supérieure à 200 g/kg.

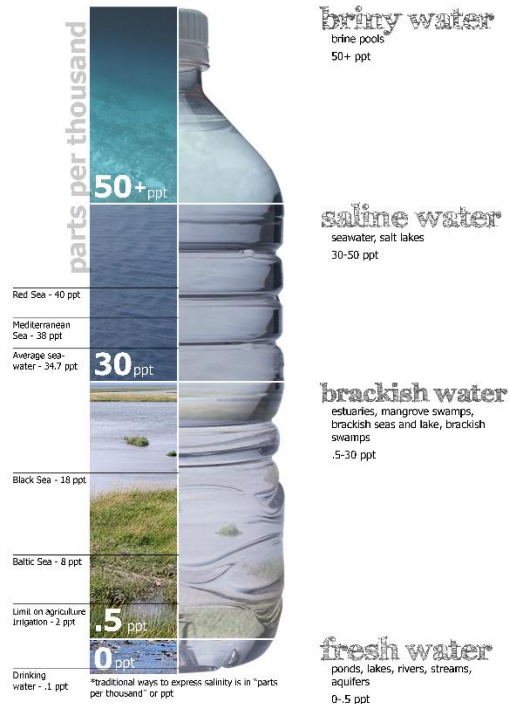
L'eau de pluie, avant qu'elle ne touche le sol, a un TDS de 20 mg/l ou moins.

Quelle que soit la taille des pores utilisée pour les filtres, la valeur de salinité résultante d'un échantillon d'eau naturelle donné ne variera pas de plus de quelques pour cent (%). Cependant, les océanographes physiques travaillant dans l'océan abyssal sont souvent préoccupés par la précision et l'intercomparabilité des mesures effectuées par différents chercheurs à des moments différents à près de cinq chiffres significatifs. Un produit d'eau de mer en bouteille connu sous le nom d'eau de mer standard IAPSO est utilisé par les océanographes pour normaliser leurs mesures avec une précision suffisante pour répondre à cette exigence.

<b>Classification des milieux aqueux selon les niveaux de salinité</b>			
<b>Eau fraîche</b>	<b>Eau saumâtre</b>	<b>Eau salée</b>	<b>saumure</b>
<b>&lt; 0,05 %</b>	<b>0,05 – 3 %</b>	<b>3 – 5%</b>	<b>&gt; 5%</b>
<b>&lt; 0,5‰</b>	<b>0,5 – 30 ‰</b>	<b>30 – 50‰</b>	<b>&gt; 50‰</b>

Un autre nom pour les eaux marines est les mers euhalines. La salinité des mers euhalines est de 30 à 35. Les mers ou les eaux pauvres ont des salinités comprises entre 0,5 et 29 et les mers métahalines de 36 à 40. Ces eaux sont considérées comme thalassiques parce que leur salinité océanique est dérivée et définie comme homoiohaline si la salinité ne ne varie pas beaucoup dans le temps (essentiellement constant). Le tableau ci-dessous modifié de Por (1972), suit le système "Venetia" (1959).

<b>Série d'eau thalassique</b>
>300
hyperhalin
60–80
métahalines
40
myxoeuhalines
30
polyhaline
18
mésohalin
5
oligohalines
0,5



L'eau de mer très salée, pour laquelle les sels cristallisent, est aussi appelée solution saline.

La salinité est un facteur écologique d'importance considérable, influençant les types d'organismes qui vivent dans un environnement aquatique. La salinité

influence également les types de plantes qui pousseront soit dans un environnement aquatique, soit sur des terres alimentées par l'eau (ou les eaux souterraines). 11 Une plante adaptée aux conditions salines est appelée halophyte. Un halophyte qui tolère la salinité résiduelle du carbonate de sodium est appelé une usine de verre ou de sel ou de

tonneau. Les organismes (principalement des bactéries) qui peuvent vivre dans des conditions très salées sont spécifiquement classés comme extrêmophiles ou halophiles. Un organisme qui peut supporter une large gamme de salinités est appelé euryhaline.

La salinité des océans est un moteur de la circulation océanique mondiale, où les changements de densité dus à la fois aux changements de salinité et aux changements de température à la surface de l'océan produisent des changements de flottabilité, provoquant la chute et la montée de la masse d'eau. On pense que les changements de la salinité des océans contribuent aux changements mondiaux du dioxyde de carbone, car plus d'eau salée est moins soluble dans le dioxyde de carbone. De plus, pendant les périodes glaciaires, l'hydrographie est telle qu'une cause possible de circulation réduite est la production d'océans stratifiés. Dans de tels cas, il est plus difficile d'assainir l'eau par circulation thermohaline.



## TRAVAIL PRATIQUE

Il se compose d'un salinomètre, qui mesure les valeurs de salinité de différentes solutions

### ÉTAPES DU TRAVAIL



1. Introduire dans un verre Berzelius, la solution expérimentale
2. Introduire le salinomètre dans le verre Berzelius rempli de solution
3. La valeur de salinité de chaque solution à étudier est lue sur l'écran du salinomètre
3. Introduire les valeurs obtenues dans le tableau ci-dessous

Tableau 1. Données expérimentales pour la mesure de la salinité

N° crt	La solution	salinité (ppt)	Remarque
1			
2			
3			
4			
5			

# L'ÉTUDE DU PH

## INTRODUCTION

Les **ÉLECTROLYTES SOLIDES** se dissocient complètement en solution aqueuse.

Exemples d'électrolytes forts :

tous les sels,

acides forts ( $H_2SO_4$ , HCl,  $HNO_3$ )

bases fortes (NaOH, KOH)

Les **électrolytes faibles** se dissocient dans une faible mesure. La plupart des molécules sont non dissociées en solution aqueuse.

Exemples d'électrolytes faibles :

Acides faibles ( $H_2CO_3$ ,  $CH_3COOH$ )

Bases faibles : ammoniac ( $NH_3$ ) et eau ( $H_2O$ ).

Les solvants non polaires peuvent être des lipides dans le corps, des phospholipides des membranes. Ils dissolvent préférentiellement les substances non polaires et non les ions.

Les réactions entre ions en solution aqueuse, à 37 °C, sont des réactions rapides.

Les systèmes acido-basiques et les systèmes correspondant aux autres réactions ioniques de l'organisme sont en état d'équilibre. Cet état d'équilibre peut différer d'un compartiment à l'autre.

La loi d'action de masse est utilisée pour traiter les équilibres chimiques et physiques.

**L'acidité ou la basicité** d'une solution aqueuse est mesurée par le pH ou le pOH

La dissociation de l'eau se fait selon l'équation stoechiométrique :  $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

Ou plus exactement :  $2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$

Pour simplifier, on considère

$H^+$  l'ion hydronium de formule  $H_3O^+$

**L'eau se dissocie très peu**, sa constante de dissociation ou le **produit ionique de l'eau** est :

$H^+$  et  $OH^-$  proviennent uniquement de la dissociation de l'eau et seront en quantités égales :

$$P_{H_2O} = 10^{-14} (\text{mol} / \text{l})^2$$

En réalité, l'eau dissout également une partie du  $CO_2$  de l'air et du silicate du verre, elle n'est donc pas pure.

**Si un acide fort, complètement dissocié est dissous, pratiquement tous les ions  $H^+$  proviennent de la dissociation de l'acide dissous dans l'eau. Le produit de la concentration des 2 ions reste constant :  $[H^+] \cdot [OH^-] = \text{const ant}$ , donc la concentration  $[OH^-]$  diminue.**

**Si une base forte complètement dissociée est dissoute , la concentration des ions  $OH^-$  sera égale à la concentration de la base dissoute et la concentration des ions  $H^+$  diminuera**

**Solution aqueuse acide = est une solution aqueuse où  $[H^+] > [OH^-]$  et  $pH < 7$**

**Solution aqueuse basique = est une solution aqueuse où  $[H^+] < [OH^-]$  et  $pH > 7$**

**Solution aqueuse neutre = est une solution aqueuse où  $[H^+] = [OH^-]$  et  $pH = 7$**

## **DISSOCIATION DES ACIDES ET DES BASES FAIBLES**

### **LA NOTION DE pH**

La dissociation électrolytique est un phénomène par lequel certaines substances en solution se décomposent en ions positifs et en ions négatifs.

**En dissociant un acide, des ions hydrogène et des ions radicalux acides apparaissent , comme suit :  $AH \rightleftharpoons A^- + H^+$**

**En dissociant une base, on obtient des ions oxydryle et des ions radicalaires basiques , comme suit :  $BOH \rightleftharpoons B^{++} + OH^-$**

**L'eau se comporte comme un électrolyte et se dissocie en ions hydrogène et ions oxydryle :  $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$**

**En réalité l'ion hydrogène  $H^+$  obtenu après dissociation des hydrates et la relation d'équilibre s'écrira :  $2HOH \rightleftharpoons H_3O^+ + HO^-$**

**L'ion  $H_3O^+$  - est appelé hydronium**

La double flèche montre que les molécules d'eau s'ionisent et se régénèrent en permanence à partir des ions. Si la température est constante, la vitesse d'ionisation et de restauration des molécules reste constante, atteignant une concentration stationnaire de  $H^+$  égale à la concentration de  $OH^-$  .

Si un acide fort est dissous dans l'eau, la concentration des ions hydronium  $H^+$  augmente et celle des ions hydroxyles  $OH^-$  diminue, car le produit ionique de l'eau reste constant à une température donnée.

Si une base forte est dissoute dans l'eau, la concentration de  $OH^-$  augmente et celle de  $H^+$  diminue.

A température constante les concentrations de  $H^+$  et  $OH^-$  oscilleront comme suit :

<b>H<sup>+</sup></b>	$10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	.	$10^{-7}$	.	$10^{-12}$	$10^{-13}$	$10^{-14}$
<b>OH<sup>-</sup></b>	$10^{-14}$	$10^{-13}$	$10^{-12}$	.	$10^{-7}$	.	$10^2$	$10^1$	$10^0$
<b>Personnage</b>	<b>ACIDE</b>				<b>NEUTRE</b>		<b>ALCALIN</b>		

Pour simplifier les calculs, il a été convenu d'exprimer cette concentration

par **pH-** qui représente le logarithme avec changement de signe de la concentration en ions

hydrogène : **pH = - journal H<sup>+</sup>**

ou en général , selon SORENSEN : **pX=-log X=log (1/X)**

aussi, il peut s'écrire comme suit : **pH + pOH = pK**, où pK est le produit ionique de l'eau

<b>pH</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	.	<b>7</b>	.	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>pOH</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	.	<b>7</b>	.	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Caractère</b>	<b>ACIDITÉ</b>				<b>NEUTRALITÉ</b>		<b>ALCALINITÉ</b>		

Le caractère acide ou basique d'une solution peut être décrit quantitativement en termes de concentration en ions hydrogène. Dans certaines situations, la concentration a une valeur très faible, il est donc plus pratique d'utiliser la notion de pH.

**Le pH est par définition le logarithme décimal avec changement de signe de la concentration molaire en ions hydronium :**

$$pH = -\log [H^+]$$

**Le pOH d'une solution vaut :**

$$pOH = -\log [OH^-]$$

**La relation entre eux est : pH + pOH = 14**

pH et pOH sont complémentaires

Il suffit d'indiquer le pH pour savoir si une solution est acide ou alcaline :

- si  $\text{pH} < 7$  - la solution est acide
- si  $\text{pH} = 7$  - la solution est neutre
- si  $\text{pH} > 7$  - la solution est alcaline (ou basique)

#### échelle de pH

$\text{H}^+$	$10^0$	-	$10^{-7}$	-	$10^{-14}$
pH	0	-	7	-	14
pOH	14	-	7	-	0
Caractère _	ACIDE		NEUTRE	BASIQUE	

**La solution neutre** est la solution dans laquelle la concentration des ions  $\text{H}^+$  et  $\text{OH}^-$  sont égaux et par conséquent la valeur de **le pH est de 7**.

**Lorsqu'un acide fort est dissous dans l'eau**, il se dissocie complètement en ions, les ions  $\text{H}^+$  proviennent pratiquement que de l'ionisation de l'acide. Le produit ionique de l'eau reste constant, l'augmentation de la concentration en ions  $\text{H}^+$  reste constant, il va provoquer la diminution de la concentration en ions  $\text{OH}^-$ ,

**le domaine acide est celui dans lequel le  $\text{pH} < 7$ .**

**Si une base forte est dissoute dans l'eau, les ions  $\text{OH}^-$**  proviendront exclusivement de cette ionisation, la concentration des ions  $\text{OH}^-$  prévaudra.

**Le domaine de base est celui dans lequel la concentration en  $\text{OH}^-$  est plus élevé, donc :  $\text{pH} > 7$**

## ÉLECTROLYTES ET NON ÉLECTROLYTES

ACIDE		BASES	
Acides forts	Acides faibles	Bases fortes	Bases faibles
<p><b>ACIDES INORGANIQUES SOLIDES</b>            acide nitrique, <math>\text{HNO}_3</math>            acide bromhydrique, <math>\text{HBr}</math>            acide chlorhydrique, <math>\text{HCl}</math>            acide chlorhydrique, <math>\text{HClO}_3</math>            acide iodhydrique, <math>\text{HI}</math>            acide perchlorique, <math>\text{HClO}_4</math>            acide sulfurique, <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math></p>	<p><b>ACIDES INORGANIQUES DE FORCE FAIBLE ET MOYENNE</b>            acide borique, <math>\text{H}_3\text{BO}_3</math>            acide fluorhydrique, <math>\text{HF}</math>            acide phosphorique <math>\text{H}_3\text{PO}_4</math></p> <p><b>ACIDES ORGANIQUES FAIBLES</b>            acide acétique, <math>\text{CH}_3\text{COOH}</math>            acide butyrique, <math>\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}</math>            acide benzoïque, <math>\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}</math>            acide citrique, <math>(\text{C}_6\text{O}_7\text{H}_8)</math>            acide formique, <math>\text{HCOOH}</math>            acide lactique, <math>\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}</math>            acide malique, <math>\text{HOOCCH}_2\text{CHOHCOOH}</math>            acide oxalique, <math>\text{HOOC}\text{COOH}</math>            acide pyruvique, <math>\text{CHCOCOOH}</math>            acide propionique, <math>\text{CH}_3\text{CHCOOH}</math>            acide valériane, <math>\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}</math></p>	<p><math>\text{NaOH}</math>  <math>\text{KOH}</math>  <math>\text{LiOH}</math>  <math>\text{Ca}(\text{OH})_2</math>  <math>\text{Ba}(\text{OH})_2</math></p>	<p>Ammoniac  <math>\text{NH}_3</math>  <math>\text{H}_2\text{O}</math>  <math>\text{Mg}(\text{OH})_2</math></p>

## ELECTROLYTES ET NON ELECTROLYTES

### formules de calcul du pH

▶ Pour les **ACIDES FORTS** : 
$$pH = -\lg[H^+] = -\lg[HA] = -\lg c$$

▶ Pour les **ACIDES FAIBLES** : 
$$pH = pK_{HA} + \lg \frac{[D]}{[P]}$$

( **Formule de Henderson Hasselbach** )

Forme D déprotonée, forme P protonée

▶ Pour les **BASES FORTES** : 
$$pH = 14 - pOH = 14 + \lg[OH^-]$$

### Le pH des SOLUTIONS D'ACIDES FAIBLES ET DE BASES

- Lorsque seule la concentration initiale de l'acide faible est connue, compte tenu du fait que les ions  $H^+$  et  $A^-$  issus de la dissociation sont dans la solution en

concentrations égales, la constante d'équilibre devient : 
$$K_{HA} = \frac{[H^+]^2}{[HA]}$$

- Après le logarithme, on obtient : 
$$-\lg K_{HA} = -\lg[H^+]^2 + \lg[HA]$$

- Similaire à la définition de pH :  $pH = -\lg K$

◦ La formule de calcul du pH est : 
$$pH = \frac{pK_{HA} - \lg[HA]}{2}$$

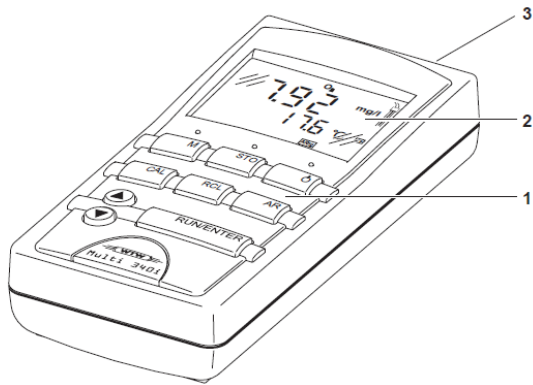
Lorsque la concentration de la forme protonée est connue

$[P] = [HA]$  – la concentration molaire de l'acide faible

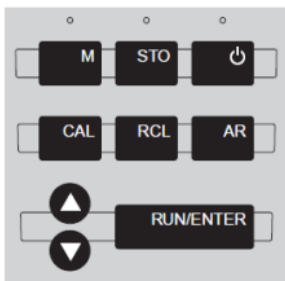
ainsi que la concentration de la forme déprotonée  $[D] = [A^-]$  – la concentration molaire de la base conjuguée

▶ La **FORMULE HENDERSON HASSELBACH** 
$$pH = pK_{HA} + \lg \frac{[D]}{[P]}$$
 est utilisé :

## MONTAGE EXPERIMENTAL : pH - mètre

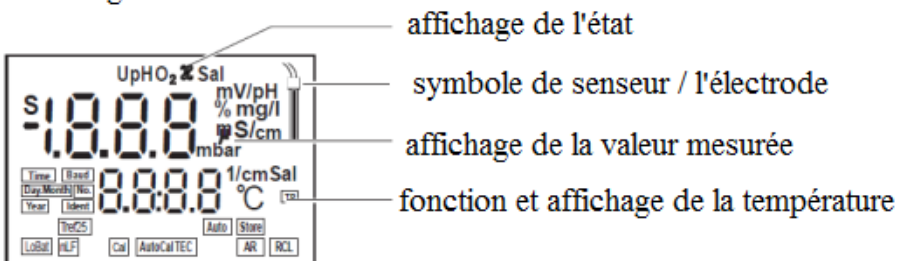


- 1- clavier (Clavier)
- 2- affichage
- 3- le système de prise (Jack field)



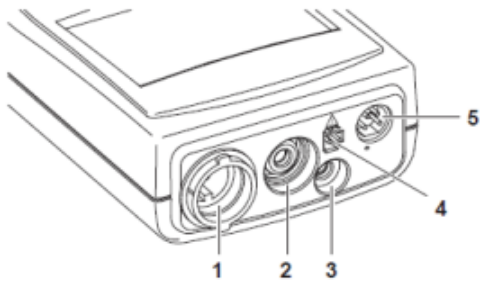
<b>M</b>	sélectionner la variable mesurée pH / potentiel Redox D.O. concentration / D.O. saturation conductivité / salinité
<b>STO</b>	enregistrer (sauver) une valeur mesurée
	ouvert / fermé ( ON/OFF)
<b>CAL</b>	calibrer la variable mesurée actuellement fixé
<b>RCL</b>	Afficher / transmettre les valeurs mesurées
<b>AR</b>	activer / désactiver la fonction de lecture automatique (AutoRead)
	sélectionner le mode de mesure, augmenter les valeurs, rouleau
	sélectionner le mode de mesure, diminuer les valeurs, rouleau
<b>RUN/ENTER</b>	confirmer un enregistrement, activer la fonction lecture automatique (AutoRead) valeurs de sortie mesurée

### Affichage



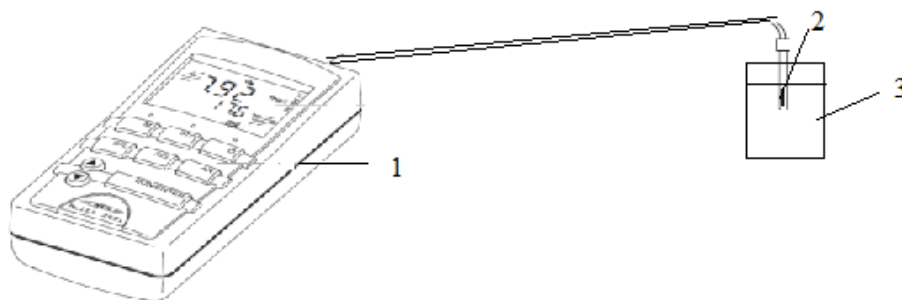


## domaine de prise



1	D.O. sonde ou la conductivité du cellule
2	Electrode de pH
3	Sonde de température de pH
4	Branchez - dans l'unité d'alimentation
5	RS232 interface série

## ÉTAPES DU TRAVAIL



### DÉTERMINATION DANS LE DOMAIN ACIDE :

1. Tout d'abord, l' étalonnage est effectué dans la gamme acide en utilisant une solution tamponnée avec  $\text{pH} = 4$
2. Insérez l'électrode dans la solution d'étalonnage et lisez le pH. Si l'appareil n'indique pas correctement, calibrez l'appareil.
3. Une solution non tamponnée (eau du robinet) est introduite dans un verre Berzelius ( $V=20 \text{ mL}$ )
4. Ajouter  $0,5 \text{ mL}$  de  $\text{HCl } 0,1 \text{ M}$  5 fois, à l'aide d'une pipette
5. La solution est agitée jusqu'à ce que le pH-mètre n'indique aucune variation de la valeur du pH
6. Lire les valeurs de pH et les introduire dans le tableau
7. Répétez les étapes 3 à 6 avec une solution non tamponnée de  $\text{pH} = 4$

### DÉTERMINATION DANS LE DOMAIN BASIQUE:

1. Tout d'abord, le calibrage se fait dans le domaine basique à l'aide de la solution tamponnée au  $\text{pH} = 7$
2. Insérez l'électrode dans la solution d'étalonnage et lisez le pH. Si l'appareil n'indique pas correctement, calibrez l'appareil.
3. Une solution non tamponnée (l'eau distillée) est introduite dans un verre Berzelius ( $V = 20 \text{ mL}$ )
4. Ajouter 5 fois  $0,5 \text{ mL}$  de  $\text{KOH } 0,1 \text{ M}$ , à l'aide d'une pipette
5. La solution est agitée jusqu'à ce que le pH-mètre n'indique aucune variation
6. Lire les valeurs de pH et les introduire dans le tableau
7. Répétez les étapes 3 à 6 avec une solution non tamponnée de  $\text{pH} = 7$

### Préparation de solution tamponnée avec pH = 4.0

7,71 mL de solution de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  à 0,2 M + 12,29 mL de solution d'acide citrique ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) à 0,1M donnent 20 mL de solution tamponnée à pH = 4

### Préparation de solution tamponnée avec pH = 5,0

10,30 mL de solution de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  de concentration 0,2 M + 9,70 mL de solution d'acide citrique ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) à 0,1 M on obtient 20 mL de solution tamponnée à pH=7.

Nous avons une solution tamponnée à pH=4 dans laquelle nous introduisons 5x0,2 mL de HCl 0,1 M et dans la solution tamponnée à pH=7 nous introduisons 5x 0,2 mL de KOH 0,1M.

Tableau 1 : Valeurs de pH pour le milieu basique et acide V= 20 m L

Non.	V (ml)	pH domaine acide		pH domaine de base	
		HCl 0,1 M	HCl 0,1 M	KOH 0.1M	KOH 0.1M
		Solution non tamponné	Solution tamponné	Solution non tamponné	Solution tamponné
1	0				
2	0,5				
3	1.0				
4	1.5				
5	2.0				
6	2.5				

## CALCULS ET GRAPHIQUES

1. Pour les 4 cas, les calculs suivants sont effectués :

La variation de pH pour le cas d'une solution sans HCl ni KOH

La variation de pH pour le cas d'une solution avec HCl ou KOH

$$\Delta\text{pH} = \text{pH} (\text{après } 25 \text{ ml}) - \text{pH} (0)$$

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{final}} - \text{pH}_{\text{initial}}$$

2. On calcule  $i = \frac{\Delta V}{|\Delta\text{pH}|}$  - **le pouvoir tampon qui caractérise l'efficacité du système tampon à**

**résister aux variations de pH**

3. Il est également calculé pour les 4 situations :

1. domaine acide – solution non tamponnée
2. domaine acide - solution tamponnée
3. domaine de base - solution non tamponnée
4. domaine de base - solution tamponnée

4. Tracez les courbes pH=pH(V) : pour les 4 situations :

1. domaine acide – solution non tamponnée
2. domaine acide - solution tamponnée
3. domaine de base - solution non tamponnée
4. domaine de base - solution tamponnée

Tableau 2 : quantités nécessaires pour obtenir des solution tamponnée à différents pH

pH	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (c= 0,2 M) ( mL )	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> ( c = 0.1M ) (acide citrique) (mL )
3.0	20,55	79,45
4.0	38,55	61,45
5.0	51,5	48,5
6.0	63.15	36,85
7.0	82,35	17,65
8.0	97,25	2,75

Tableau 3 : quantités nécessaires pour obtenir des solution tamponnée à différents pH

pH	CH <sub>3</sub> COOH (c=0.2M) ( mL )	CH <sub>3</sub> COONa (c=0.2M) ( mL )
3.47	95	5
3,80	90	dix
4.15	80	20
4.38	70	30
4.57	60	40
4,75	50	50
4,93	40	60
5.12	30	70
5,70	dix	90
6.03	5	95

# TITRAGE CONDUCTOMÉTRIQUE DES SELS

## INTRODUCTION

Selon les sources suivantes : DEX '98 (1998) ; DOOM 2 (2005) ; NODEX (2002)

**TITRAGE a la signification suivante** : Déterminer par analyse volumétrique la concentration d'une solution. - Depuis frère **titre**. Soumettre à une analyse spéciale (pour déterminer la concentration).

/<fr. *titre* Déterminer la proportion de composants dans une substance. [< frère. *titre* ].

**TITRAGE représente la détermination analytique quantitative d'un échantillon.**

## TITRAGE - LE CAS GENERAL

### Classification des méthodes électroanalytiques

Les méthodes électrochimiques peuvent être classées selon plusieurs critères :

- selon la manière dont le système étudié est perturbé, ils peuvent être stationnaires et non stationnaires ;
- selon la variable surveillée : courant (chronoampérométrie, voltamétrie), potentiel (chronopotentiométrie), charge (chronocoulométrie), impédance.
- selon la variable perturbée, il peut y avoir : des méthodes à potentiel contrôlé (potentiostatique), à courant contrôlé (galvanostatique) et coulostatique ;
- Une catégorie distincte est celle des méthodes hydrodynamiques (voltampérométrie sur électrode disque ou anneau tournant), dans lesquelles l'électrode de travail et l'électrolyte sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre. Dans ces méthodes, la convection forcée fonctionne.

### Titration conductimétrique - principe

- la présence d'ions dans une solution permet le passage du courant électrique
- conductivité
- varie proportionnellement à la concentration de l'analyte
- est l'inverse de la résistance électrique

$$G = \frac{1}{R}; \quad R = \frac{\rho \cdot l}{S}; \quad G_s = \frac{1}{\rho}; \quad G = \frac{1}{R} = G_s \cdot \frac{S}{l}$$

G = conductivité

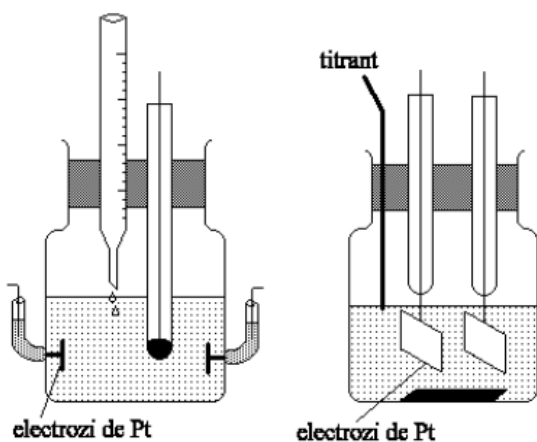
$\rho$  = résistivité

l = longueur de colonne

S = aire de la section transversale du poteau

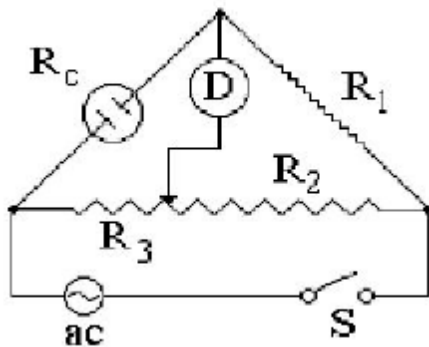
G<sub>s</sub> = conductivité spécifique

### TITRAGE CONDUCTOMÉTRIQUE – CELLULE DE TITRAGE – THÉORIE



- la cellule en verre, fermée ou non, dans laquelle sont insérées les électrodes de platine ou d'argent et la solution à analyser ;
- une tension constante est appliquée entre les deux électrodes, déterminant le courant passant par dissolution à la suite d'une réaction chimique;
- la différence de potentiel entre les électrodes dépend des processus qui ont lieu aux électrodes et phénomènes de transport actuels.

## TITRAGE CONDUCTOMÉTRIQUE - SCHÉMA DE PRINCIPE



- mesure de la résistivité de la solution avec un pont de Wheatstone
- Constante de cellule rapport l/s
- la conductivité spécifique le rapport  $\chi = C/R$
- Unité de mesure de la conductivité – Siemens (S)

## TITRAGE CONDUCTOMÉTRIQUE - APPLICATIONS

- **CONTRÔLE DE LA PURETÉ DE L'EAU DISTILLÉE C'ÉTAIT LA BASE DE LA DÉTERMINATION DU PRODUIT IONIQUE DE L'EAU**
- **DÉTERMINATION DES POINTS D'ÉQUIVALENCE DANS LES TITRAGE**
- **TITRAGE DES ACIDES FORTS AVEC DES BASES FORTES**

A- Courbe de titrage conductimétrique de HCl 0,1M avec NaOH 0,1M

A - ils ont une diminution de la conductivité de la solution jusqu'à l'équivalence, en raison de la formation de molécules d'eau et du remplacement de l'ion hydrogène par du sodium à mobilité réduite. Après le point d'équivalence, il y a une augmentation de la conductivité de la solution en raison de l'excès d'hydroxyde de sodium ajouté et de la grande mobilité de l'ion hydroxyle.

B- Courbe de titrage du pnitrophénol 0,001 M avec 0,1 M NaOH

B - une forme différente de la courbe de titrage, qui s'explique par la lente augmentation de la conductivité



de la solution par formation de p-nitrophénoxyde de sodium ionisé, et après équivalence, on observe une augmentation plus prononcée de la conductivité de la solution, du fait de l'excès de soude ajoutée, qui est un électrolyte fort.

- **TITRAGE DES ACIDES FAIBLES AVEC DES BASES FAIBLES**

Dans le cas du titrage conductimétrique d'une solution d'ammoniac 0,01M avec une solution d'acide acétique 0,5M dans le méthanol (les deux électrolytes étant faibles), on obtient une courbe d'allure totalement différente des deux autres .

Jusqu'à équivalence, la conductivité de la solution augmente beaucoup du fait de la formation d'acétate d'ammonium ionisé (électrolyte dur), et après équivalence la conductivité créée très légèrement en raison du petit excès de solution d'acide acétique ajoutée, qui est un électrolyte faible. La méthode basée sur le suivi de la variation de la conductivité d'une solution à la suite d'une réaction chimique ;

- Il utilise une cellule spécifique munie de deux électrodes Pt, à travers lesquelles une tension constante est appliquée déterminant le courant traversant la solution à la suite d'une réaction chimique ;

- Grâce à la représentation graphique de la conductivité de la solution à différents moments du titrage en fonction du volume de titrant ajouté, on obtient la courbe de titrage constituée de deux segments droits dont l'intersection indique le point d'équivalence.

- **TITRAGE POTENTIOMÉTRIQUE**

La variation du potentiel de la solution à analyser déterminée par une certaine réaction chimique est surveillée ;

- A partir de cette variation déterminée à l'aide d'une électrode indicatrice (par rapport à une électrode de référence), on peut déterminer la concentration en analyte, respectivement le volume titrant (à partir duquel on peut calculer la concentration en analyte) ;

## TITRAGE POTENTIOMÉTRIQUE – ÉLECTRODES INDICATEUR

### ÉLECTRODES DE TYPE I :

**Métal en contact avec son cation ou un non-métal en contact avec son anion**

**Exemples :**

- $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}(\text{s})$
- $\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}(\text{s})$
- ELLE
- $\text{Ag}^+ / \text{Ag}$
- $\text{Cl}^- / \text{Cl}_2(\text{g}) / \text{Pt}$
- **La réponse de l'électrode est Nernstienne**
- $E = E_0 + (RT/nF) \ln a(\text{M}^{2+})$

### Électrodes de type II :

- Métal en contact avec un sel métallique peu soluble
- Exemples :
- $\text{Ag} / \text{AgCl}(\text{s})$
- $\text{Hg} / \text{Hg}_2\text{Cl}_2(\text{s}) / \text{Cl}^-$  (électrode au calomel saturé ; SCE)
- La réponse de l'électrode est Nernstienne
- $E = E_0 - (RT/F) \ln a(\text{Cl}^-)$

### Électrodes de type III :

Électrodes servant de source d'électrons (redox, électrodes inertes)

Exemples :

- métaux : Pt, Au, graphite, Hg
- semi-conducteurs : Si, GaAs, In-SnO<sub>2</sub>/verre
- Réponse :
- pour Pt en contact avec  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  en solution :
- $E = E_0 - 0,059 \log ([\text{Fe}^{2+}] / [\text{Fe}^{3+}])$

## Titration potentiométrique - applications

### Exemple de titration potentiométrique d'un chlorure avec AgNO<sub>3</sub> :

- la détermination du point d'équivalence peut se faire par la représentation graphique de  
du potentiel de la solution lors du titrage en fonction du volume de nitrate ajouté (a) ; reçu  
la dérivée du potentiel

(b) ou la dérivée seconde du potentiel

(c) en fonction du volume de titrant ajouté.

Le volume d'équivalence peut être déterminé à partir de

- méthode graphique
- calculs **basés sur la relation Hosteller – Roberts**. Des volumes constants de titrant de 0,1 ou 0,2 ml sont ajoutés autour du point d'équivalence, donc  $\Delta V$  et  $\Delta V^2$  sont constants et E ou  $\Delta E^2$  peuvent être représentés graphiquement  $\Delta E$  en fonction de V.

$$\bullet \quad V_e = V_1 + 0.1 \cdot \left( \frac{\frac{\Delta^2 E_1}{\Delta V^2}}{\frac{\Delta^2 E_1}{\Delta V^2} - \frac{\Delta^2 E_{21}}{\Delta V^2}} \right) = V_1 + 0.1 \left( \frac{\Delta^2 E_1}{\Delta^2 E_1 - \Delta^2 E_2} \right)$$

Ancien - vol d'équivalence

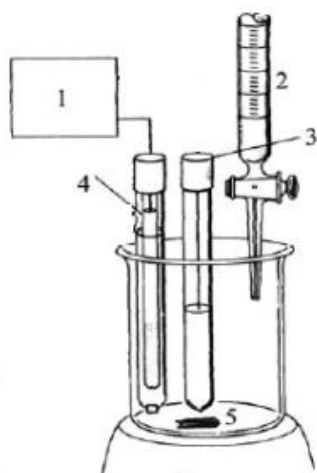
V<sub>1</sub> vol de titrant avant équivalence

0,1 - volume de titrant autour du point d'équivalence

$\Delta E_2^2 / \Delta V^2$  – dérivée seconde après équivalence

$\Delta E_1^2 / \Delta V^2$  – dérivée seconde avant équivalence

## DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL



- 1 – conductimètre
- 2 – burettes
- 3 – thermomètre
- 4 – électrode indicatrice - capteur conductimétrique
- 5 – agitateur magnétique

## ÉTAPES DU TRAVAIL

Un échantillon est introduit dans un récipient dont la quantité est inconnue . Un solvant est introduit sur l'échantillon - dans notre cas, il peut également s'agir d'eau, après quoi un réactif de titrage est introduit dans des conditions de contrôle et en petites portions.

Pendant ce temps, les propriétés du contenu du récipient sont surveillées, telles que :

- Propriétés chimiques : titrage chimique
- Propriétés physiques : titrage physique : conductivité, concentration, ou propriétés optiques telles que la transparence de la solution utilisée ou non

Si le titrage se poursuit au-delà d'une certaine valeur limite, un changement radical se produit.

Nous voulons déterminer la quantité d'AgNO<sub>3</sub> dans un échantillon.

La réaction a lieu :  $\text{AgNO}_3 \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^-$

La solution de titrage utilisée est le KCl 0,1 M qui est ajouté en petites portions contrôlées

La réaction a lieu :  $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{AgCl}$  (précipité blanc - solution très difficile à dissoudre)

L'échantillon titré est d'environ 220 mg d'AgNO<sub>3</sub> dans H<sub>2</sub>O

Le réactif de titrage est : une solution de KCl 0,1 M.

Le titrage a lieu dans un récipient de titrage (avec 3 entrées) dans lequel :

- l'électrode de conductivité
- la pointe de la burette par laquelle le réactif de titrage est ajouté
- thermomètre pour le contrôle de la température.

## ÉTAPES DU TRAVAIL

1. L'échantillon d'AgNO<sub>3</sub> - un solide cristallin - est introduit dans le récipient de titrage
2. Un volume d'eau approprié est ajouté pour amener le niveau du liquide dans le récipient de titrage à la hauteur appropriée afin que l'électrode puisse effectuer la mesure.
3. Le contenu du récipient de titrage est agité à l'aide d'un agitateur magnétique.
4. La burette d'un volume nominal de 25 ml est remplie avec la solution de titrage (KCl 0,1 M), jusqu'à la division 0 (en haut).
5. Pendant que le contenu du récipient de titrage est agité, la solution de titrage est ajoutée par portions de 0,5 ml.
6. Après chaque quantité ajoutée, lire la conductance de la solution dans le récipient de titrage.
7. Les données sont saisies dans le tableau ci-dessous.
8. Si dans le récipient de titrage à la fin de l'expérience la couleur de la solution obtenue dans le récipient est blanc laiteux, lors de l'introduction d'ammoniac la solution devient transparente.

**Tableau 1.** La conductance de la solution dans le récipient de titrage

Non.	V(ml)	G( $\mu$ S/cm)
1	0	
2	0,5	
3	1	
4	1.5	
5	2	
...	.....	
36	17	

## LES DONNÉES EXPÉRIMENTAL

Au début du titrage, la conductivité électrique montre une

diminuer avec l'ajout du réactif de titrage car dans cette phase la conductivité est contrôlée par la très faible solubilité et dissociation de l'AgCl. A partir d'un certain volume ajouté, on constate une augmentation de la conductivité. **Explication** elle consiste dans le fait que lorsque toute la quantité d'Ag<sup>+</sup> est précipitée, lors de l'ajout de la solution de titrage, la concentration totale en ions augmente progressivement (K<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> : les deux types d'ions contribuent à la conductivité électrique) La conductivité mesurée en fonction du volume de solution ajoutée est représentée graphiquement. Le volume de la solution auquel se produit la variation soudaine de la pente de la courbe de titrage est appelé le volume d'équivalence à partir duquel la quantité d'AgNO<sub>3</sub> dans l'échantillon peut être calculée.

Si nous connaissons la masse molaire de AgNO<sub>3</sub> :  $M_{AgNO_3} = 169,86 \text{ g/mol}$ .

(M<sub>Ag</sub>= 107,87 g/mol, M<sub>N</sub>= 14 g/mol, M<sub>O</sub> = 16 g/mol)

Solution de KCl .....0,1 M

1000 ml sol .....( contient) ..... 0,1 mol KCl

V ( ml) ..... n mol KCl ..... nmol AgNO<sub>3</sub>

$$n = \left( V \cdot \frac{0.1}{1000} \right) \text{ mol KCl}$$

$$n = \left( V \cdot \frac{0.1}{1000} \right) \text{ mol AgNO}_3$$

$M_{AgNO_3} = 169,86 \text{ g/mol}$

$M_{AgNO_3} = 169,86 \text{ g/mol}$  ..... 1 mole d'AgNO<sub>3</sub>

$$m_{AgNO_3} \dots\dots\dots \left( V \cdot \frac{0.1}{1000} \right) \text{ mol AgNO}_3$$

$$m = \left( M_{AgNO_3} \cdot V \cdot \frac{0.1}{1000} \right) \text{ g AgNO}_3$$

$$m = \left( M_{AgNO_3} \cdot V \cdot \frac{0.1}{1000} \right) \text{ g Ag}^+$$

La conductivité mesurée en fonction du volume de solution ajoutée est représentée graphiquement :

G=G(V)

On obtient : G= A.V+B

Où A représente la pente de la droite.

Mais nous avons affaire à deux droites :

Première droite jusqu'à  $V_e$  :  $G = A_1 \cdot V + B_1$

Deuxième à droite à partir de  $V_e$  vers le haut :  $G = A_2 \cdot V + B_2$

$A_1$  et  $A_2$  sont les pentes des lignes tracées.

Pour trouver le volume équivalent, les équations des deux droites sont égales :

$$A_1 \cdot V_e + B_1 = A_2 \cdot V_e + B_2$$

$$V_e (A_1 - A_2) = B_2 - B_1$$

$$V_e = \frac{B_2 - B_1}{A_1 - A_2}$$

# ÉTUDE DES RÉSISTANCES

## INTRODUCTION

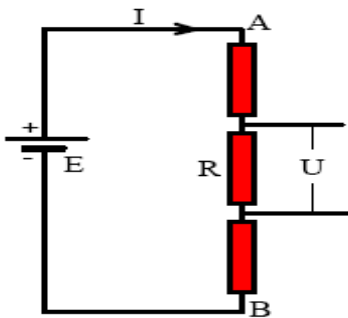
### LOI D'OHM POUR UNE PARTIE DE CIRCUIT

Considérant un circuit électrique composé de plusieurs consommateurs et d'un générateur de puissance, on peut facilement apprécier que le potentiel électrique entre les points A et B diminue lorsque le courant électrique passe. En faisant le rapport des tensions électriques U et des courants I traversant chaque consommateur, on constate qu'ils sont constants.

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{U_3}{I_3} = \dots = \frac{U_n}{I_n} = \text{const.}$$

ou

$$\frac{U}{I} = R$$

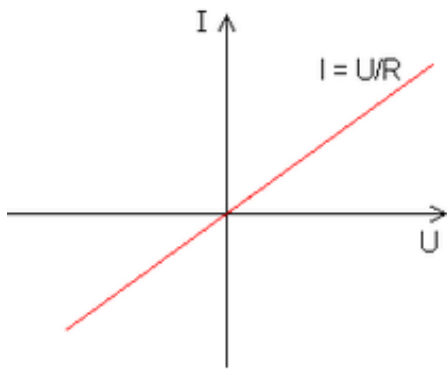


**Le conducteur ohmique est un composant électronique appelé aussi résistance qui vérifie la loi d'Ohm :**

$$U = I.R$$

Où I est l'intensité du courant, en ampères, qui traverse la résistance R, et U est la tension aux bornes.





La courbe caractéristique de l'intensité du courant électrique I en fonction de la tension aux bornes U est une droite passant par l'origine

La caractéristique d'une résistance idéale est la courbe :  $I = f(U) = U/R$

Parfois, le terme résistance pure ou résistance idéale est utilisé.

Par exemple, la résistance d'un conducteur métallique qui dépend de la température  $\theta$  est donnée par la relation :

$R = R_0(1 + a\theta + b\theta^2)$  avec  $R_0$  un hypothétique conducteur ohmique qui modélise parfaitement un conducteur thermostaté à une température de 0K.  $\theta$  est exprimé en K

La chute de tension U sur une portion du circuit est proportionnelle à l'intensité du courant I qui traverse la portion du circuit  $U = RI$

La constante de proportionnalité entre la tension et le courant électrique est appelée résistance électrique et est notée R. L'unité de mesure de la résistance électrique est dérivée comme suit.

$$\frac{U}{I} = R$$

$$[R]_{SI} = \frac{[U]_{SI}}{[I]_{SI}} = \frac{1V}{1A} = 1\Omega$$

La résistance électrique est caractéristique d'un consommateur électrique et dépend de ses éléments

de construction :  $R = \frac{\rho.l}{S}$

Où  $\rho$  est une caractéristique du matériau à partir duquel les consommateurs sont fabriqués.

La résistivité électrique dépend de la température du conducteur  $\rho = \rho_0(1 + \alpha.t)$

Où  $\rho_0$  est la résistivité à 0°C et  $\alpha$  est le coefficient thermique de résistivité

La résistance électrique dépend de la température  $R = R_0(1 + \alpha.t)$

Tableau avec les caractéristiques électriques de quelques matériaux

([http://msabau.xhost.ro/?Fizic%E3:Electrokinetics:Ohm's\\_Law](http://msabau.xhost.ro/?Fizic%E3:Electrokinetics:Ohm's_Law))

la substance	$\rho_0$ ( $\Omega.m$ ). $10^{-8}$	$\rho$ ( $\Omega.m$ ) ( $20^0 C$ ). $10^{-8}$	$\alpha$ (degré <sup>-1</sup> ). $10^{-4}$
nickel	30	42	1
or	1,92	2.24	83
cuivre	1.48	1,68	68
fer	8,59	9.71	65
argent	1.42	1,59	61
tungstène	5.02	5.47	45
platine	9,83	10.6	39
aluminium	2.44	2,65	43
mercure	94.1	95,8	9

### LOI D'OHM POUR UN CIRCUIT INTÉGRÉ

Soit un circuit électrique simple constitué d'un générateur qui a une tension électromotrice  $E$  et une résistance interne  $r$ , qui génère un courant électrique d'intensité  $I$  dans le circuit formé par le générateur et une résistance électrique de résistance  $R$ , on peut écrire

- **Loi d'Ohm pour l'ensemble du circuit :**  $I = \frac{E}{R + r}$
- **La loi d'Ohm pour une portion de circuit s'écrit :**

$$U = RI, u = RI$$

On peut donc écrire que l'intensité du courant électrique qui traverse un circuit électrique fermé est directement proportionnelle à la tension électromotrice  $E$  de la source et inversement proportionnelle à la résistance électrique totale du circuit.

La tension aux bornes du circuit fermé est :  $U = E - RI$

La tension aux bornes du circuit ouvert est :  $U = E$ , car  $I=0$

Pour une résistance externe nulle, l'intensité du courant de court-circuit peut s'écrire  $I_{cc} = E / r$ . Le courant de court-circuit est le courant maximal qu'un générateur électrique peut fournir

## LES LOIS DE KIRCHHOFF

Les lois de Kirchhoff expriment la conservation de l'énergie et de la charge dans un circuit électrique. Ils portent le nom du physicien allemand qui les a introduits en 1845 : Gustav Kirchhoff.

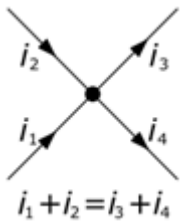
Dans un circuit complexe, il est possible de calculer les différences de potentiel aux bornes de chaque résistance et le courant direct dans chaque branche du circuit en appliquant les deux lois de Kirchhoff : la loi des nœuds et la loi des boucles.

### LA LOI DES NŒUDS

La somme des intensités des courants entrant par un nœud est égale à la somme des intensités des courants sortant du même nœud.

La figure montre le sens d'orientation de chaque fil (choisi arbitrairement), qui entre ou sort du nœud A. L'intensité d'un courant est une grandeur algébrique (positive ou négative) définie en fonction de l'orientation du fil. Par exemple, si l'intensité d'un fil d'entrée est de 3 A, cela signifie que dans ce fil à la sortie il y aura une intensité de - 3 A.

Selon la loi des nœuds, il peut s'écrire :  $i_1 + i_2 = i_3 + i_4$ .



Le schéma illustrant la loi des nœuds

Cette loi découle directement de la loi de conservation des charges électriques, en tenant compte du fait qu'en régime stationnaire, ces charges ne peuvent s'accumuler en aucun point du circuit. Les tâches arrivant à un nœud compensent celles qui partent. Cette loi permet de résoudre les « équations électriques » à l'aide de la méthode des nœuds.

## LA LOI DES MAILLES

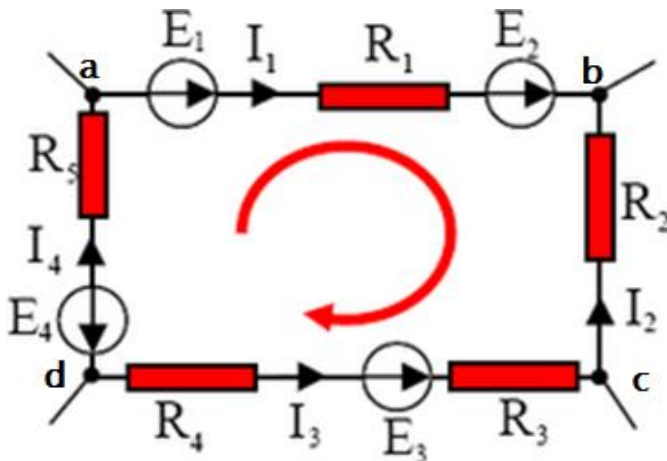
Dans tout OEIL d'un réseau, proche des régimes quasi-stationnaires et pourvu que les variations du flux magnétique à travers les mailles soient négligeables, la somme algébrique des différences de potentiel le long des mailles est constamment nulle.

Cette loi résulte de l'additivité des différences de potentiel entre deux points.

La différence de potentiel entre a et b est  $U_{ab} = V_a - V_b$ .

$V_a$  et  $V_b$  étant les potentiels respectifs des points a et b.

En additionnant toutes ces différences sur un œil fermé, on obtient un résultat nul.



Cette loi permet de résoudre les équations électriques en utilisant la méthode du maillage

$$E_1 + E_2 - E_3 - E_4 = R_1 j_{e1} - R_2 j_{e2} - R_3 j_{e3} - R_4 j_{e4} + R_5 j_{e5}$$

La loi des nœuds n'est valide que si le flux du champ électrique entourant chaque nœud reste nul ou constant. Elle n'est donc pas valable en électrostatique.

Dans un semi-conducteur coexistent deux types de charges mobiles, les électrons et les trous. Le courant total, la somme du courant d'électrons et du courant de trous obéit strictement à la loi de nœud. Pour décrire avec une excellente approximation le comportement d'un transistor bipolaire, on peut se limiter au transport d'un seul type de charge : les porteurs minoritaires dans la base. L'équation aux nœuds de ces porteurs doit tenir compte de leur stockage ainsi que de leur disparition par recombinaison. Cette équation, également improprement appelée équation de Kirchhoff, a été améliorée pour décrire les lasers à transistors.

## MÉTHODES DE RACCORDEMENT DES RÉSISTANCES

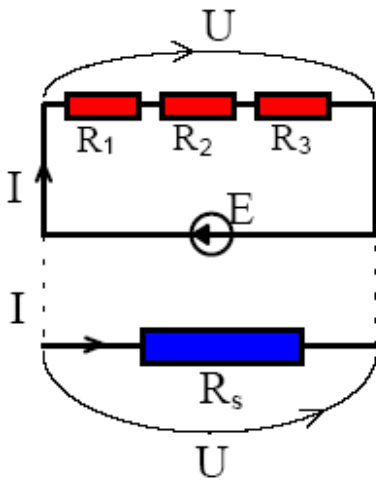
Toute partie d'un circuit électrique communique avec le reste du circuit via un certain nombre de bornes. La situation la plus simple est celle où la partie circuit est un dipôle. Si le dipôle est passif (ne contient pas de générateurs) composé uniquement de résistances, alors il peut être remplacé par une seule résistance, appelée résistance équivalente, de sorte que le reste du circuit ne « sente » pas le remplacement.

Une résistance est équivalente à un groupe de résistances si, lorsque la même tension est appliquée à la résistance que le groupe équivalent, un courant électrique circule avec la même intensité.

Les lois de connexion des résistances s'appliquent strictement aux conducteurs ohmiques :

- connecter des résistances en série :  $R_s = R_1 + R_2 + R_3$
- connecter des résistances en parallèle :  $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

## CONNEXION DES RÉSISTANCES EN SÉRIE



Si deux résistances ou plus sont connectées en série, elles font partie de la même branche d'un réseau électrique.

Le regroupement de résistances en série permet d'obtenir la même puissance.

Considérant qu'un groupe de trois résistances connectées en série sur chaque résistance correspond à une tension U<sub>1</sub> ; U<sub>2</sub> et U<sub>3</sub> on peut écrire :

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

En utilisant des résistances, la loi d'Ohm s'écrit :

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$\text{ou } U = Ie (R_1 + R_2 + R_3)$$

On applique la même loi pour le circuit équivalent :

$$U = IRS$$

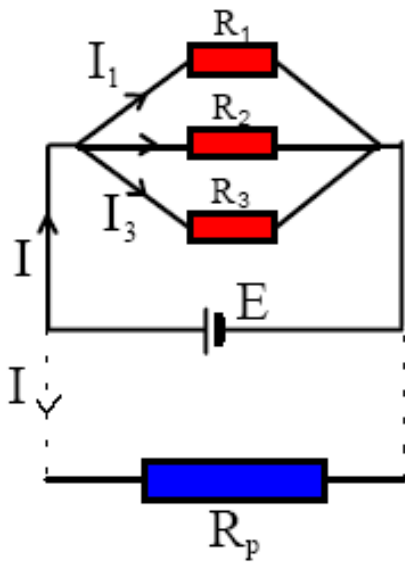
Il en résulte la relation suivante :  $R = R_1 + R_2 + R_3$

Dans le cas général, lorsqu'on connecte des résistances en série, on écrit :

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 \text{ ou : } R_s = \sum_{k=1}^n R_k .$$

La résistance équivalente est toujours supérieure à n'importe laquelle des résistances composantes R<sub>k</sub>.

## CONNEXION DES RÉSISTANCES EN PARALLÈLE



Deux ou plusieurs résistances connectées en parallèle sont connectées entre les deux mêmes nœuds

La résistance équivalente en parallèle est soumise à la même tension  $U$  aux bornes

D'après la première loi de Kirchhoff

je =  $I_1 + I_2 + I_3$  et

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \text{ ou}$$

$$I = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\text{et } I = \frac{U}{R_p}$$

$$\text{Pour le circuit équivalent } \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\text{donc: } \frac{1}{R_p} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} \text{ si nous avons } n \text{ résistances connectées en parallèle}$$

la résistance équivalente  $R_p$  de la connexion en parallèle est toujours inférieure à toute résistance  $R_k$

Si nous avons 2 résistances connectées en parallèle, la résistance équivalente est calculée avec la relation :

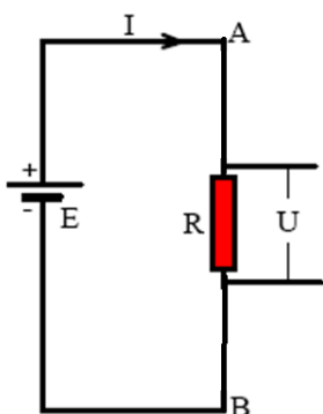
$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

## ÉTAPES DU TRAVAIL

1. Lire les valeurs de la tension  $U$  sur le voltmètre et les valeurs des résistances  $R$
2. L'intensité du courant électrique que je lis est déterminée
3. Le calcul est effectué à l'aide de la formule suivante :  $I_{\text{calculé}} = \frac{U}{R}$

## PARTIE EXPERIMENTALE

### VERIFICATION DE LA LOI D'OHM POUR UN CIRCUIT SIMPLE



1. Lire la valeur de la tension électrique  $U$  sur le voltmètre et la valeur de la résistance  $R$

Pour une résistance de  $R = 1000\Omega$

$R = 1000\Omega$

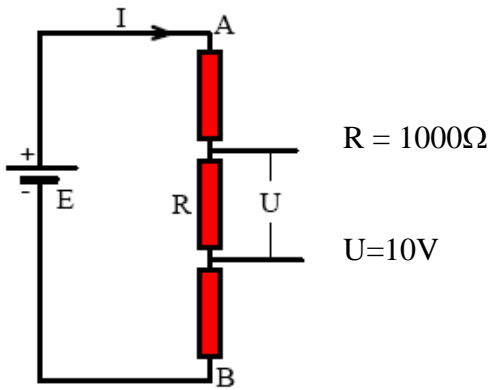
$U = 10V$

Entrez les valeurs lues dans le tableau suivant :

	U(V)	R( $\Omega$ )	J'ai lu (A)	J'ai calculé (A)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				



## CONNEXION DES RÉSISTANCES EN SÉRIE



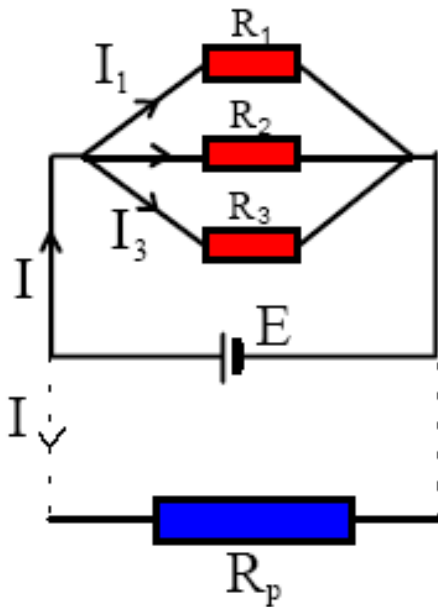
2. Saisir les valeurs lues dans le tableau suivant :

	tu (T)	R ( $\Omega$ )	j'ai pris (UN)	$R_{\text{total}} = U/I$ mes ( $\Omega$ )	R totale calculé ( $\Omega$ )	j'ai calculé (UN)
1						
2						
3						
4						
5						

## CONNEXION DES RÉSISTANCES EN PARALLÈLE

$$R_1 = R_2 = R_3 = R = 1000\Omega$$

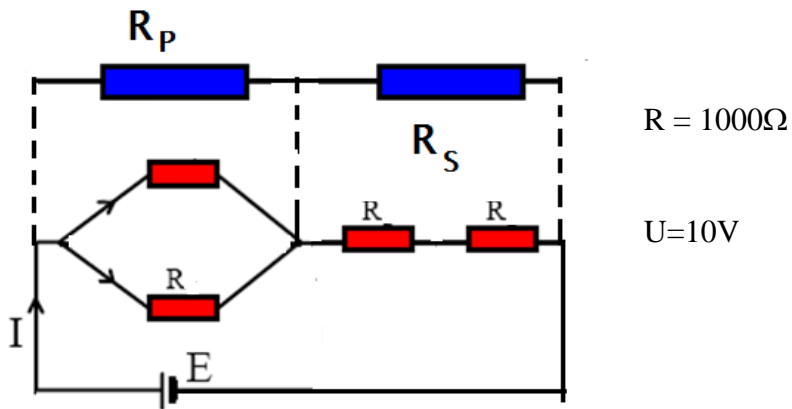
$$U=10V$$



2. Saisissez les données dans le tableau suivant :

	tu (T)	R ( $\Omega$ )	je lis (UN)	$R_{\text{total}} = U/I_{\text{lu}}$ ( $\Omega$ )	$R_{\text{totale}} \text{ calculé}$ ( $\Omega$ )	j'ai calculé (UN)
1						
2						
3						
4						
5						

## ASSOCIATIONS DE RÉSISTANCE MIXTE



2. Inserez les données dans le tableau suivant :

	tu (T)	R ( $\Omega$ )	j'ai pris (UN)	$R_{total} = U/I$ mes ( $\Omega$ )	$R_{total}$ calculé ( $\Omega$ )	j'ai calculé (UN)
1						
2						
3						
4						
5						

# ETUDES DE PHOTOMÉTRIE

## INTRODUCTION

Considérant que le champ de rayonnement du rayonnement lumineux fait partie intégrante du champ de rayonnement du rayonnement optique, on peut faire les observations suivantes :

- a ) les grandeurs photométriques doivent avoir leur correspondant entre les grandeurs radiométriques
- b ) les unités utilisées pour mesurer les grandeurs radiométriques sont basées sur les unités fondamentales utilisées pour mesurer les grandeurs radiométriques sont basées sur les unités fondamentales utilisées pour mesurer la longueur, la masse et le temps, auxquelles s'ajoute l'unité complémentaire de mesure de l'angle solide.
- c ) les unités que nous utiliserons pour mesurer les grandeurs photométriques doivent avoir les mêmes unités fondamentales que les grandeurs radiométriques auxquelles il faut ajouter l'unité fondamentale appelée CANDELA.
- d ) les notations CIE conduisent aux conclusions suivantes : la définition de la taille, le symbole de la taille et l'unité de mesure des grandeurs photométriques ont été recommandés et acceptés par la commission internationale de l'éclairage.

*La LUMIÈRE du point de vue de la technique de l'enlumineur est l'énergie rayonnante (ou rayonnement) évaluée selon sa capacité à produire la sensation visuelle chez les personnes.*

L'évaluation de l'énergie rayonnante en tant que lumière se fait à l'aide de l'œil, l'instrument optique principal par rapport auquel tous les autres instruments optiques ne sont qu'auto-adjoints.

Si différentes distributions spectrales sont impliquées, les normes de base utilisées pour évaluer le flux radiant en tant que flux lumineux sont données par un ensemble de facteurs de sensibilité de l'œil. Afin de distinguer les mécanismes de l'œil normal en fonction des valeurs du flux radiatif, on appellera la vision pendant un jour clair **vision diurne**, et la vision pendant **vue du crépuscule** du soir . La vision diurne correspond à des flux de rayonnement relativement élevés et la vision crépusculaire correspond à des flux de rayonnement relativement faibles.

## RENDEMENT SPECTRAL LUMINEUX

La sensation de vision varie beaucoup en fonction de la fréquence du rayonnement ou de la longueur d'onde du rayonnement dans le domaine spectral de la lumière. L'œil en tant qu'observateur standard (CIE) adapté à la vision diurne présente la sensibilité maximale pour  $\lambda = 555$  nm. La visibilité de l'œil décroît assez rapidement de part et d'autre de cette valeur, atteignant la valeur 0 pour :  $\lambda = 380$  nm et  $\lambda = 780$  nm. Lorsqu'on normalise par rapport à sa valeur maximale correspondant à la valeur  $\lambda = 555$  nm la visibilité correspondant à une longueur d'onde donnée  $\lambda$ - on définit ainsi **l'efficacité spectrale lumineuse  $K_\lambda$  (ou luminosité relative)**.  $K_\lambda$  est le facteur de visibilité standard de l'œil humain adapté à la vision diurne et avec la composante trichromatique  $y$  ( $y_\lambda$ ) de l'observateur standard dans le système trichromatique (CIE).

Les valeurs du rendement spectral lumineux ont été acceptées tant par la Commission internationale de l'éclairage que par l'Union internationale de physique pure et appliquée et par le Comité des poids et mesures. Ils ont servi de base à l'établissement de différents types d'étalons photométriques.

**Le FLUX LUMINEUX  $\Phi$  (CIE)** est défini comme le taux temporel de variation de la lumière à travers une surface donnée

$$\Phi = K \int_0^\lambda K_\lambda \Phi_{e\lambda} d\lambda$$

où  $\Phi_{e\lambda}$  - est le flux rayonnant spectral

L'intégration doit être considérée pour les domaines de longueur d'onde où l'intégrale est non nulle. Au-delà de la plage visible, l'intégrande est nulle car  $K_\lambda$  est nul. Choisir la valeur de la constante de proportionnalité  $k = 683$  et exprimer le flux rayonnant  $\Phi_{e\lambda}$  en watts, **l'unité de mesure du flux lumineux  $\Phi$  est le lumen (lm)**

**Le lumen est le flux lumineux dans l'unité d'angle solide de 1 stéradian créé par une source lumineuse ponctuelle d'une intensité de 1 candela. Le lumen est le flux lumineux traversant l'unité de surface dont les points sont situés à une distance de 1 m d'une source lumineuse de 1 candela.**

**Le RENDEMENT LUMINEUX** d'une source lumineuse est défini comme le rapport entre le flux lumineux  $\Phi_\lambda$  et le flux rayonnant  $\Phi_{e\lambda}$ . L'ancien nom de l'efficacité lumineuse est **LIGHT EFFICIENCY FACTOR**. L'unité de mesure de l'efficacité lumineuse est le lm/W. L'efficacité lumineuse n'est pas la même que l'efficacité d'une source de rayonnement, qui s'exprime également en lm/W, mais qui se réfère à la puissance d'alimentation de la source de rayonnement et non au flux rayonnant de la source.

**LA QUANTITÉ DE LUMIÈRE**  $Q = \int_0^t \Phi dt \quad (C.I.E)$

**La quantité de lumière Q est donnée par l'intégrale temporelle du flux lumineux**

Si le flux lumineux est une quantité constante dans le temps, la quantité de lumière est donnée par le produit du flux lumineux et du temps de fonctionnement de la source lumineuse. L'unité de mesure de la quantité de lumière est **lm.h**. Dans le cas de sources lumineuses à courte durée de fonctionnement, comme celles utilisées en photographie, **l'unité de mesure est le lm.s**.

**L'INTENSITÉ LUMINEUSE**  $I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (C.I.E.)$

**L'intensité lumineuse d'une source lumineuse dans une direction donnée est définie comme la densité de l'angle solide du flux lumineux provenant de cette direction.**

L'intensité lumineuse est égale au rapport entre le flux lumineux traversant un élément surfacique perpendiculaire à la direction du flux lumineux et l'élément d'angle solide que l'élément surfacique sous-tend par rapport à la source lumineuse, considérée comme ponctuelle. L'angle solide devant avoir un pic, la définition donnée pour l'intensité lumineuse ne s'applique qu'aux sources ponctuelles. Dans de nombreux cas, les dimensions des sources lumineuses sont négligeables devant la distance à laquelle elles sont observées, de sorte que l'on peut considérer que la lumière provient d'une source ponctuelle.

**L'unité de mesure de l'intensité lumineuse I est l'unité de mesure fondamentale en photométrie et porte le nom de candella -cd - (CIE)**

**ÉCLAIRAGE**  $E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (C.I.E)$

La densité surfacique du flux lumineux  $\Phi$  à travers une surface  $S$  donnée est appelée **éclairage**  $E$ . Lorsque des valeurs quantitatives ne sont pas appliquées à la place de l'éclairage, **la quantité d'éclairage** ou **d'éclairement** est utilisée. L'unité de mesure (CIE) utilisée pour mesurer l'éclairement est le **lux (lx)** et se définit comme l'éclairement d'une surface d'une surface de **1 m<sup>2</sup>** sur laquelle se répartit uniformément un flux lumineux égal à **1 lm**. Si l'unité de surface est **1cm<sup>2</sup>**, l'unité d'éclairement est (CIE) est la **photo(ph)**

**LUMINOSITÉ**  $B = \frac{dI}{dS_n} = \frac{d^2\Phi}{dS_n d\Omega} = \frac{d\Phi}{d\Omega}$

ou la **luminance** ou **luminosité** est définie comme l'intensité lumineuse correspondant à l'unité de surface d'une source lumineuse vue depuis une direction donnée.

Le terme luminosité généralement utilisé fait référence à l'attribut de couleur des surfaces à partir desquelles la lumière arrive généralement à l'œil. Avec l'aide de la luminosité, les perceptions visuelles peuvent être classées de peu claires (sombres) à très lumineuses.

**L'unité de mesure de luminosité internationalement reconnue est  $cd.m^{-2}$**

La brillance d'une surface dans une direction donnée peut aussi s'exprimer en  $lm.m^{-2}$  à condition que la surface respective soit éclairée uniformément et parfaitement diffusée. Une surface parfaitement diffusée doit satisfaire exactement la loi du cosinus à la fois en émission et en réflexion, ce qui est difficile à réaliser d'un point de vue pratique. L'unité de mesure crée des ambiguïtés de similitude entre luminosité et intensité lumineuse, alors que la luminosité n'est que la densité surfacique de l'intensité lumineuse.

Le flux lumineux  $\Phi$  correspond à l'unité de surface d'une surface parfaitement diffusée dont l'intensité lumineuse dans la direction normale à la surface est égale à **I** candela sera égale à  **$\pi.I$**  lumens.

L'unité de mesure de luminosité acceptée par (CIE) est le **nit** :  $1 \text{ nt} = 1 \text{ cd/m}^2$ . L'échasse est aussi utilisée comme unité tolérée :  $1 \text{ sb} = 1 \text{ cd/1cm}^2$ .

**Le lambert** est également utilisé comme unité de mesure de luminosité :  $1\text{L} = 1/\pi \cdot \text{cd}/\text{cm}^2$ . **Lambert** est la luminosité uniforme d'une surface parfaitement diffusée qui émet ou réfléchit de la lumière à un taux temporel égal à  $1 \text{lm}/\text{cm}^2$

La médiation doit de prendre en compte à la fois la variation de luminosité d'un point à un autre ainsi que la variation de luminosité avec l'angle d'observation. Le Lambert est une unité de mesure pour les sources lumineuses intenses telles que le Soleil.

**Pour les sources lumineuses moins intenses, on peut utiliser le sous-multiple appelé millilambert : mL.**

**DENSITÉ LUMINEUSE**  $U = \frac{dQ}{dV}$

**La quantité de lumière correspondant à l'unité de volume est appelée densité lumineuse u et se mesure en  $(\text{lm}\cdot\text{h})/(\text{m}^3)$  ou  $(\text{lm}\cdot\text{s})/\text{m}^3$**

Parmi **les coefficients photométriques**, les plus importants et les plus fréquemment utilisés sont :

- a) **TRANSMISSION LUMINEUSE t** est défini comme la fraction de lumière incidente transmise par un certain milieu.
- b) **TRANSMISSION LUMINEUSE r** est défini comme la fraction de la lumière incidente réfléchiée par un certain milieu.
- c) **ABSORBANCE LUMINEUSE  $\alpha$**  est défini comme la fraction de la lumière incidente absorbée par un certain milieu.

## **NORMES DE MESURE. L'UNITÉ FONDAMENTALE DE LA PHOTOMÉTRIE**

Les étalons utilisés en photométrie sont **des étalons primaires** et **des étalons secondaires**.

**CANDELLA** (LUMINOUS INTENSITY MEASUREMENT UNIT) est utilisé comme étalon principal en photométrie, bien que même l'unité de flux lumineux pourrait être plus appropriée.

Les premiers standards d'intensité lumineuse étaient les bougies. Au début de ce siècle, il a été proposé d'utiliser le radiateur à corps noir comme norme préliminaire, mais en raison de difficultés expérimentales, ce n'est qu'en 1931 que la première norme établie de ce type a été atteinte. La température utilisée était celle de la solidification du platine. Après que plusieurs laboratoires nationaux aient fabriqué cet étalon de corps noir et qu'il ait été constaté que le résultat était



satisfaisant, il a été convenu en 1948 qu'il devrait être universellement accepté comme étalon de lumière primaire.

Lors de la 13e Conférence générale des poids et mesures en 1967, la **définition de la bougie a été adoptée :**

***CANDELLA est l'intensité lumineuse dans la direction perpendiculaire d'une surface de 1/600000 m<sup>2</sup> du corps noir à la température de solidification du platine sous une pression de 101325 N/m<sup>2</sup>***

Entre l'éclairage international utilisé en 1948 comme unité de mesure de l'intensité lumineuse et la candella il existe une relation :

$$1 \text{ éclairage international} = 1.005 \text{ candelas}$$

La définition de la bougie selon le corps noir a été conservée entre les années 1948 - 1979 et la norme correspondante s'est avérée bien plus stable que ses prédécesseurs. En utilisant la loi de Planck et la température de solidification thermodynamique du platine, la distribution de puissance spectrale a pu être calculée.

Deux choses ont conduit à la redéfinition de la bougie, la première se référant aux difficultés de réalisation pratique de l'étalon corps noir intégral et la seconde se référant à l'augmentation rapide de l'application des techniques radiométriques en photométrie. La redéfinition de la bougie par rapport au watt offre la possibilité à plusieurs laboratoires de construire leurs propres standards.

***La candella est l'intensité lumineuse dans une direction donnée d'une source qui émet un rayonnement monochromatique avec une fréquence  $\nu = 540.10^{12}$  Hz et a une intensité radiante de (1/683) W/sr.***

La valeur  $\nu = 540.10^{12}$  Hz correspond à une longueur d'onde (= 555 nm)

Ainsi, la bougie représente l'unité fondamentale en SI

$$K(\lambda) = \frac{F_\lambda}{\Phi_{e\lambda}}$$

Efficacité spectrale lumineuse

$$[K]_{s.i.} = \frac{lm}{W}$$

La valeur maximale de  $K(\lambda)$  est obtenue pour  $\lambda = 555$  nm et est

$K(\lambda) = 683$  lm/W. Le rendement spectral lumineux  $V(\lambda)$  du flux rayonnant

(vision photopique) est égal au rendement lumineux correspondant à une certaine longueur d'onde donnée et le rendement lumineux égal à 683 lm/W correspond à une longueur d'onde  $\lambda = 555$  nm.

Alors on peut écrire :  $V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{683}$

Toute grandeur photométrique  $X_f$  (correspondant à la vision diurne) peut être obtenue à partir d'une grandeur radiométrique  $X_e$  par la relation :

$$X_f = \int_{380nm}^{780nm} X_{e,\kappa} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

## 2. Mesures d'éclairage.

Les valeurs suivantes sont recommandées pour les mesures d'éclairage

<b>L'emplacement</b>		<b>éclairage E (lx)</b>
<b>BUREAU</b>	Salles de conférence, salles de réception	200-700
	Locaux de l'église	700-1500
<b>des usines (Entreprises)</b>	Passages d'entrée, départements de conditionnement des marchandises	150-300
	Département de production (ligne de production)	300-750
	Service qualité (vérification)	750-1500
	Département d'assemblage de composants électroniques	1500-3000
<b>Hôtels</b>	Les salles d'attente	100-200
	Réception	200-1000
<b>magasins Supermarchés</b>	Couloirs, escaliers,	150-200
	Tableau à vendre	750-1500
	Vitrines	1500-3000
<b>HÔPITAUX</b>	Salons pour les patients	100-200
	Salle d'examen	200-750
	Salle d'opération	750-1500
	Salle pour les soins d'urgence	750-1500
<b>écoles, les universités</b>	amphithéâtres	100-300
	Salles de classe	300-750
	laboratoire	750-1500

## EXPÉRIMENTAL :

Les mesures sont effectuées à l'aide du luxmètre numérique BF06 TROTEC avec photodétecteur



Figure 1. Luxmètre numérique BF06 TROTEC avec photodétecteur

## ÉTAPES DU TRAVAIL

A l'aide de l'appareil luxmètre numérique BF06, des mesures d'intensité lumineuse seront effectuées.

Les travaux pratiques se font à l'aide de l'appareil Digital Luxmeter BF06 et d'une lampe

	E(lx)	ré(x)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Les déterminations d'intensité lumineuse seront faites en fonction de la distance à la source lumineuse, selon la fonction suivante :  $E=E(x)$

# ETUDE DE L'INTENSITÉ SONORE

## INTRODUCTION

L'acoustique est la science du son, considérée comme la partie de la physique qui traite de l'étude des phénomènes concernant la production, la propagation, la réception des sons ainsi que leurs effets. Dans l'usage courant, le terme "son" désigne non seulement le phénomène dans l'air responsable de la sensation d'ouïe, mais aussi l'homme ou l'animal. Les perturbations à basses fréquences (infrasons) ou à hautes fréquences (ultrasons) qui sont reçues par un organe auditif humain ou animal sont également considérées comme « sonores » ; on peut parler de son sous-marin, de son dans les solides ou de son dans les structures.

Le vaste domaine de l'acoustique et le domaine d'intérêt sont attribués à de multiples applications telles que :

- a) l'existence du caractère omniprésent des perturbations mécaniques générées par des causes naturelles et l'activité humaine ;
- b) l'existence de la sensation d'ouïe, de la capacité vocale humaine, de la communication par le son ainsi que la variété des influences psychologiques que le son a sur l'organe auditif.

Des domaines tels que la parole, la musique, l'enregistrement et la reproduction du son, la téléphonie, l'audiologie, l'acoustique architecturale et le contrôle du bruit ont une forte association avec la sensation auditive.

Le son est un moyen de transmission d'informations, indépendant de notre capacité naturelle à entendre, c'est un facteur important notamment en acoustique sous-marine. Les effets physiques du son sur les substances et les corps avec lesquels il interagit représentent d'autres domaines d'intérêt et d'application.

La figure 1 montre les domaines de l'acoustique et les disciplines auxquelles elle est associée. Le premier anneau montre les subdivisions traditionnelles de l'acoustique et l'extérieur présente les domaines techniques et artistiques dans lesquels l'acoustique est appliquée.

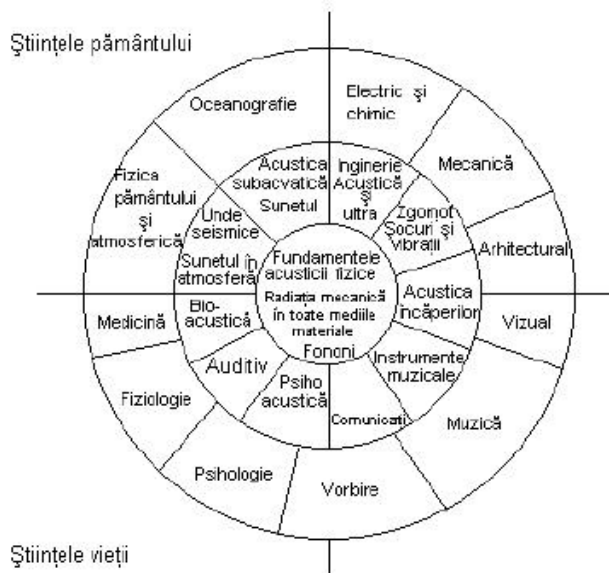


Figure 1. Représentation schématique des domaines de l'acoustique

### Historique

L'idée que le son est un phénomène ondulatoire est née d'observations sur les vagues de l'eau. La notion d'onde désigne une perturbation oscillatoire qui s'éloigne de la source et ne transporte aucune quantité de matière sur de longues distances de propagation. L'interprétation des ondes était également compatible avec la déclaration d'Aristote (384 - 322 BH) selon laquelle le mouvement de l'air est généré par une source qui pousse l'air environnant vers l'avant de telle manière que le son se propage sans altération sur de longues distances jusqu'à ce que la perturbation de l'air soit éteinte. Un résultat expérimental pertinent avec des antécédents de l'époque de Pythagore (550Â.H) montre que le mouvement d'air généré par un corps (source) qui oscille avec une seule note de musique est aussi un mouvement oscillatoire et a la même fréquence que le corps (source) ; historiquement, cela est lié au développement de lois pour les fréquences naturelles des cordes vibrantes et pour l'interprétation physique des consonnes musicales. Les principaux auteurs de ces interprétations étaient le philosophe français Marin Mersenne (1588 - 1648) qui était appelé *le père de l'acoustique* et Galileo Galilei (1564 - 1642) dont le livre "Discours mathématiques concernant deux nouvelles sciences" (1638) contient la déclaration la plus crédible, donnée jusqu'alors, en matière d'équivalence de fréquence. La description par Mersenne dans le livre "Harmonique universelle" (1636) de la première détermination absolue de la fréquence d'un son audible (à 84 Hz) indique qu'il avait déjà démontré que le rapport des fréquences absolues de deux cordes oscillantes rayonnant dans l'espace (air) un

ton musical et ses octaves est 1:2 ; le rapport des fréquences d'oscillation est également de 1:2, ce qui est compatible avec l'hypothèse d'équivalence entre la source dans l'air et la fréquence du mouvement de l'air.

L'analogie avec les vagues d'eau a été renforcée par la croyance que le mouvement de l'air associé aux sons musicaux est oscillatoire et par l'observation que le son se propage à une vitesse finie.

Un autre problème connu était que le son "se plie" dans les coins, suggérant une diffraction, un phénomène souvent observé dans les vagues d'eau. Aussi, l'expérience classique de Robert Boyle (1640) sur le rayonnement du son à l'aide d'un réveil inséré dans un récipient en verre partiellement vide, assure que l'air est nécessaire à la production et à la propagation du son.

Un point de vue particulier sur l'onde était tenu par Gassendi (contemporain de Marsenne et de Galilée) qui soutenait que le son est dû à une "tempête d'atomes" émise par le corps qui émet le son, la vitesse du son est la vitesse des atomes et la fréquence représente le nombre d'atomes émis par unité de temps.

Le conflit apparent entre les théories des rayons et des ondes a joué un rôle important dans l'histoire de la science sœur, l'optique, mais la théorie du son s'est développée dès le début comme une théorie des ondes. Lorsque les concepts de rayons ont été utilisés pour expliquer les phénomènes acoustiques, comme Reynolds et Rayleigh l'ont fait au XIXe siècle, ils ont été considérés comme des approximations mathématiques de la théorie des ondes. L'incorporation réussie de l'optique géométrique dans la théorie des ondes a démontré que des modèles approximatifs et viables du phénomène des ondes pouvaient être expérimentés en termes de concepts de rayons. (Cette reconnaissance a fortement influencé les développements du XXe siècle en matière d'acoustique architecturale, d'acoustique sous-marine et de contrôle du bruit.)

La théorie mathématique de la propagation du son présentée dans l'ouvrage d'Isaac Newton (1642 - 1727) intitulé "Principia" (1686) comprenait une interprétation mathématique du son sous forme d'impulsions de pression transmises par les particules de fluide *environnantes*. Les diagrammes de la figure 2 montrent la divergence des fronts d'onde après leur passage à travers une fente. L'analyse mathématique était limitée aux ondes de fréquence constante car elle nécessitait un certain nombre de dispositifs, de circuits et d'approximations pouvant influencer la variabilité de la fréquence. Une avancée substantielle dans le développement d'une théorie viable de la propagation du son

être basé sur des concepts mathématiques et physiques a été produit au XVIIIe siècle par Euler (1707 - 1783), Lagrange (1736 - 1813) et d'Alembert (1717 - 1783) lorsque la théorie des champs a commencé à recevoir une structure mathématique définie ; les théories modernes peuvent être considérées comme des améliorations de la théorie développée par Euler et ses contemporains.

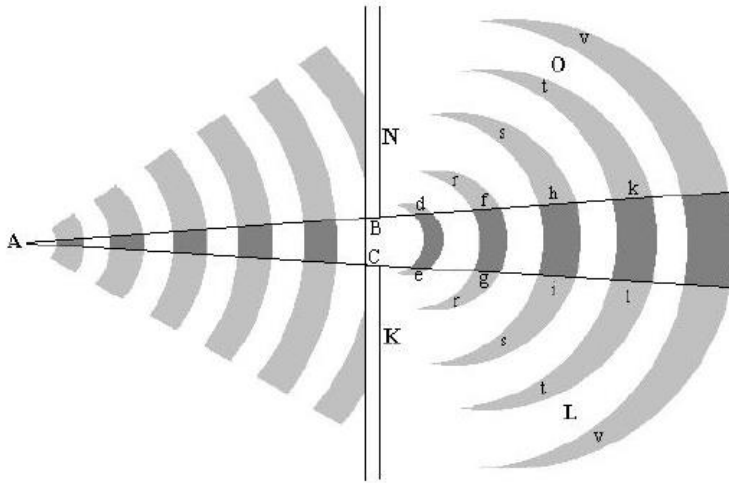


Figure 2. Qualités sonores

Les qualités sonores désignent les types d'effets subjectifs correspondant aux caractéristiques grandeurs de l'onde incidente.

Le son a les qualités suivantes :

- **la hauteur** correspondant à *la fréquence* ;
- **la force** correspondant à *l'intensité* ;
- **le timbre** correspondant au *contenu harmonique* d'un son composé.

## 2.1 *Hauteur du son*

Cette qualité sonore a été étudiée pour la première fois par Galileo Galilei et représente la qualité de la sensation auditive déterminée par la fréquence. En raison de cette qualité, deux ou plusieurs sons de même intensité peuvent être différenciés par une échelle subjective afin qu'ils puissent apparaître à l'organe auditif plus haut (aigu) ou plus profond (grave), c'est-à-dire des sons aigus aux sons graves ; correspondant toutefois à une échelle objective de fréquences, se traduit par des fréquences hautes (élevées) et basses (basses), respectivement. Dans ce cas, deux sons sont considérés comme ayant des hauteurs égales s'ils ont la même fréquence.

En raison de la dépendance en fréquence de la hauteur, les trois types de sons peuvent être définis :

- infrason (1Hz - 16Hz);
- sons (16Hz - 16KHz) et ultrasons (16KHz - 200MHz) ;
- hypersons (> 200 MHz).

Théoriquement, cette dépendance fréquentielle conduit à appliquer l'expression de la fréquence d'une source acoustique et dans le cas de cette qualité sonore, être de la forme :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

où **m** est la masse de la source oscillante qui stocke l'énergie cinétique et **k** est la constante d'élasticité de l'élément de liaison qui stocke l'énergie potentielle.

Ainsi, la production d'un son plus élevé entraîne une fréquence plus élevée du processus d'onde.

Un corps solide (matériau) possède une série de fréquences d'oscillation propres, dont l'une que nous pouvons considérer comme fondamentale, qui détermine la hauteur du son et correspond à un son pur.

L'organe auditif humain peut apprécier si deux sons sont de la même hauteur même s'ils sont produits par des instruments et des intensités différentes. La correspondance causale entre la fréquence et la hauteur est stable, de sorte qu'à la même hauteur, c'est-à-dire le même son que la sensation. Cette propriété de fidélité de l'organe auditif humain à la fréquence a rendu possible l'existence de la gamme musicale et même de la musique.

Ainsi, la hauteur du son reflète la sensibilité de l'organe auditif humain aux variations de fréquence ; avec des sons purs, il y a une différence de 0,2% dans la gamme de fréquences 400Hz □ □ 4000Hz qui se manifeste sous la forme d'un changement de hauteur. En dehors de la gamme de



fréquence considérée, la sensibilité diminue avec la variation de fréquence. Cette sensibilité dépendante de la fréquence implique certaines restrictions sur l'étalonnage et le réglage de la fréquence des radios, des instruments de musique ou électroniques. La réception de la hauteur sonore se fait de manière logarithmique, et la différence de hauteur selon la fréquence est déterminée selon le rapport de fréquence. Selon l'échelle des hauteurs, cette fréquence entre les hauteurs de deux tons de fréquences différentes s'appelle un *intervalle*, et en musique, un *intervalle musical*.

Expérimentalement, la hauteur du son est déterminée par différentes méthodes, parmi lesquelles on citera *la méthode d'enregistrement* et *la méthode de battement*.

**Mode d'inscription**. L'oscillogramme du son dont on veut ainsi la hauteur est enregistré nous déterminons et sur la même bande l'oscillogramme d'un pendule qui bat la seconde est également enregistré. De cette façon, le nombre de périodes par seconde du son recherché peut être déterminé sur le graphique.

**La méthode de battre**. Le phénomène de "battement" est connu, expliqué dans le chapitre "Oscillations". La fréquence de battement **fb** est égale à la différence des fréquences des deux sons comparés, c'est-à-dire  $f_b = f_2 - f_1$

où le son de fréquence  $f_1$  est connu, celui de fréquence  $f_2$  doit être déterminé et la fréquence des battements  $f_b$  est déterminée auditivement.

## 2.2 **Intensité (volume) du son**

L'intensité sonore en un point du champ sonore est définie comme la quantité d'énergie sonore qui traverse l'unité de surface plane située en ce point et orientée perpendiculairement à la direction de propagation du son dans l'unité de temps.

L'expression de l'intensité **I** est : 
$$I = 2\pi^2 f^2 A^2 \rho v$$

pour une surface unitaire, étant proportionnel au carré de la fréquence et de l'amplitude locales qui caractérisent le système oscillant (source) et à deux grandeurs qui caractérisent le milieu de propagation, à savoir la densité  $\rho$  et la vitesse du son  $v$ .

L'intensité sonore est une grandeur physique objective ayant une dimension physique

$$[I] = \frac{[F] \cdot [L]}{[L]^2 \cdot [T]}$$

et comme unité de mesure :

$$I_{SI} = \frac{W}{m^2}$$

c'est-à-dire qu'il représente une puissance relative à la surface.

Pour définir la pression acoustique, on considère un milieu élastique continu pour la propagation du son.

Si le phénomène ondulatoire dans ce milieu est nul (il n'y a pas de son) alors la pression locale n'est donnée que par la pression statique **pst** ; si des ondes acoustiques longitudinales (sonores) se propagent à travers le milieu élastique, alors en un point du milieu la pression totale **pt** oscillera harmoniquement et le phénomène ondulatoire apparaît. Dans ce cas, la pression dynamique **pdin** , qui ne serait due qu'à l'effet de houle, a pour expression :  $pdin = pt - pst$

et en fonction de la distance de propagation  $x$  et de la longueur d'onde  $\lambda$  du son, on obtient la relation :

$$P_{din} = P_{max} \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (3)$$

pour une période  $T$  des oscillations à un instant  $t$  donné et où  $p$

$$P_{max} = \frac{2\pi A E_{ac}}{\lambda}$$

L'expression (3) ci-dessus représente la pression acoustique momentanée à une certaine distance  $x$  de la source d'ondes acoustiques longitudinales et qui agit sur l'organe auditif (tympan) à l'origine de la sensation *auditive* .

En fonction de la pression acoustique maximale ( $p_{max}$ ), l'intensité acoustique a pour expression :

$$I = \frac{P_{max}^2}{2\rho v} \quad (4)$$

et en fonction de la vitesse maximale des particules de matériau qui composent le milieu élastique  $v_{max}$ , on a la relation :

$$I = \frac{1}{2} v_{\max}^2 \rho v \quad (5)$$

Ces relations sont importantes en pratique, car elles permettent de déterminer l'intensité acoustique à partir de mesures de pression acoustique ou de vitesse de particules de matériau. Faire le rapport

$$\frac{P_{\max}}{v_{\max}} = \rho v \quad (6)$$

on obtient une loi acoustiquement analogue à la loi d'Ohm en électricité, si l'on considère que la pression acoustique maximale correspond à la tension électrique, et la vitesse correspond à l'intensité du courant ; apparaît donc une impédance, mais acoustique, de la forme :

$$Z = \rho v \quad (7)$$

qui représente l' *impédance acoustique spécifique* du milieu élastique de propagation .

### 2.3 *Timbre sonore*

Le timbre a différentes définitions, mais elles font toutes référence au contenu spectral du son composite. Ainsi, selon STAS 1957-66, le timbre est une caractéristique de la sensation auditive qui permet de distinguer différents sons composés ayant la même fréquence fondamentale et intensité mais des compositions spectrales différentes et selon STAS 1957-74, le timbre représente la qualité des sons composés d'intensités sensiblement égales à pourraient être différenciées selon leur composition spectrale. De ces définitions, il s'ensuit que le timbre est une caractéristique structurelle unique d'un son qui permet l'identification et le suivi d'une certaine source à partir d'un groupe de sources sonores.

L'explication objective de cette qualité sonore, le timbre, peut être obtenue en étudiant la classification des sons selon le résultat de leur analyse harmonique ou indirectement selon la sensation auditive qu'il produit.

Ainsi, il peut être défini comme suit :

a) *le son pur* (tonalité) caractérisé par une seule fréquence et amplitude et qui correspond l'oscillation du corps matériel le plus simple (source). Dans la représentation graphique allongement-temps, le son pur est une sinusoïde et dans la représentation intensité-fréquence, le son pur est une ligne verticale tirée vers la fréquence respective (Fig. 3)

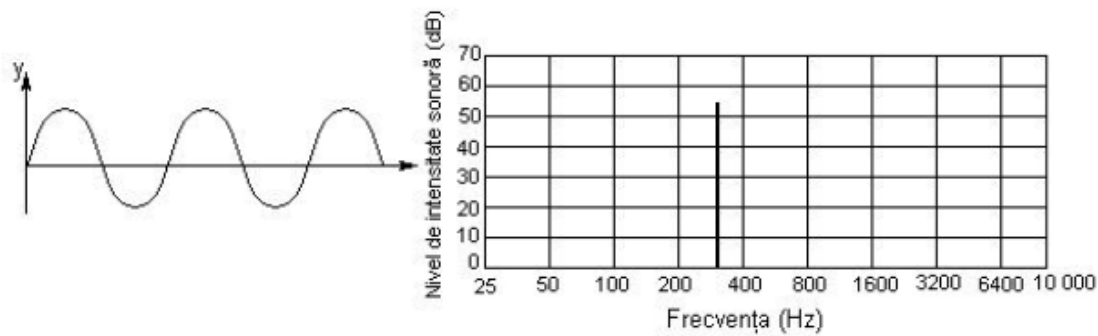


figure 3

Dans la nature, les sons purs peuvent être obtenus très rarement ; le plus souvent ils peuvent être obtenus en laboratoire avec

à l'aide de générateurs de sons et utilisés dans les mesures acoustiques et l'audiométrie ;

b) **le son musical** - est produit par l'oscillation périodique d'un certain corps. Ce son est composé d'un son fondamental pur suivi d'un certain nombre d'harmoniques qui représentent un multiple du son fondamental. Ainsi, le son musical est un son complexe composé d'une fondamentale et de plusieurs harmoniques obtenus à partir d'un corps matériel d'une certaine forme géométrique (instruments de musique). Grâce au timbre, une note de musique produite par un instrument de musique peut être distinguée de la même note produite par un autre instrument (violon et flûte).

c) **le bruit** - c'est un son extrêmement complexe, composé de composants très nombreux mais distribués de manière chaotique sur la bande de fréquence. L'oscillogramme d'un bruit ne présente pas de périodicité et ses composantes sont non harmoniques. En tant qu'effet physiologique, le bruit produit une sensation auditive désagréable.

En conclusion, ces trois qualités de son, hauteur, intensité, timbre ne se définissent qu'en présence de l'organe auditif humain. Des études expérimentales ont mis en évidence le fait qu'il existe également des influences secondaires entre l'intensité et la fréquence, entre la hauteur et l'intensité, et que le timbre est influencé par l'intensité et la fréquence.

### 3 Introduction à l'acoustique physiologique

La production et la propagation d'ondes élastiques à partir d'une source ainsi que leur réception sous forme de sons représentent un processus continu, lié, indissoluble. Toutes ces informations reçues sont prises en temps réel par le cerveau humain qui crée également la sensation sonore. Ainsi, pour qu'une onde élastique (grandeur objective) se transforme en sensation sonore (grandeur subjective), des conditions de fréquence et de sensibilité doivent être remplies.

#### 3.1 L'organe auditif humain

L'organe auditif humain (l'oreille) est un organe spécialisé qui analyse les excitations, les trie et les classe selon la fréquence, donnant la sensation de hauteur, selon l'intensité, donnant la sensation de volume et selon la composition spectrale donnant la sensation de timbre. C'est pourquoi l'oreille humaine est aussi un spectroscopie ou un analyseur sensoriel sélectif car, par un processus d'analyse et de synthèse de stimuli externes (ondes élastiques), elle crée la sensation sonore.

Simplement, l'oreille est un organe auditif intermédiaire qui transforme les ondes élastiques en sensation sonore. La figure 4 explique le fait que l'excitation (élément objectif) représentée par l'intensité sonore  $I_s$ , qui correspond à une certaine pression acoustique, se transforme à travers l'oreille, U, en un élément subjectif (perception) représenté par l'intensité auditive  $I_a$ .

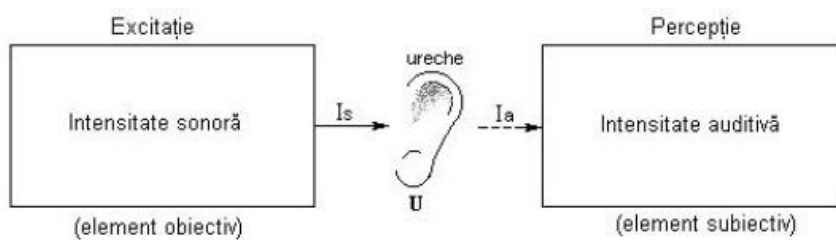


Figure 4. Représentation schématique entre excitation et perception

En tant que système psychophysique de réception et de traitement du son, l'organe auditif humain, l'oreille, comprend trois régions principales :

- oreille externe - Ue,
- oreille moyenne - Euh,
- oreille interne - Ui

régions qui sont le siège de processus physiques qui justifient leur forme et leurs dimensions.

## LIMITES D'AUDIBILITÉ

L'oreille humaine peut percevoir des sons si les ondes élastiques se situent dans certaines limites de fréquence, d'intensité et de durée.

*Limites de fréquence.* L'organe auditif humain a une plage d'audibilité de 16Hz (20Hz) - 16KHz (20KHz) car cela dépend en grande partie de l'individu; avec l'âge, la limite supérieure commence à diminuer.

*Limites d'intensité.* Celles-ci dépendent principalement de la fréquence mais aussi de l'individu. Pour une certaine fréquence il existe une limite inférieure d'intensité sonore, mais aussi une limite supérieure lorsque les sons produisent une sensation douloureuse et nocive. La sensibilité la plus élevée de l'oreille humaine concerne les sons normaux (sons de fréquence 1000 Hz), car la différence entre les limites supérieure et inférieure est maximale. Pour ces sons normaux, l'amplitude de la pression acoustique sur le tympan est  $p_{\min} = 2,84 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$  et l'intensité sonore minimale  $I_{\min} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ . Dans l'air, l'amplitude des oscillations de l'air pour une onde plane est  $A_{\min} = 0,123 \text{ \AA}$  pour la fréquence de 1000Hz et une densité de l'air de  $1,29 \text{ Kg/m}^3$ .

Cette limite inférieure  $I_{\min} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  représente **le seuil d'audibilité** qui est la valeur minimale de pression acoustique ou d'intensité sonore que l'oreille humaine reçoit encore sous forme sonore. Selon la fréquence, le seuil d'audibilité a la valeur minimale (sensibilité maximale) dans la plage 1000Hz à 3000Hz, qui est pratiquement une valeur constante. Des mesures récentes ont montré que la sensibilité de l'oreille humaine est maximale autour de la fréquence de 2500Hz et aux fréquences voisines le seuil d'audibilité augmente considérablement.

Statistiquement, nous pouvons montrer qu'à  $f = 50 \text{ Hz}$ , PA (seuil d'audibilité) augmente de  $5 \cdot 10^5$  fois et à  $f = 20 \text{ Hz}$  PA augmente 108 fois par rapport à la valeur minimale. De plus, la sensibilité de l'oreille humaine diminue 104 fois par rapport à la valeur maximale, pour  $f = 100 \text{ Hz}$  et à  $f = 400 \text{ Hz}$  elle ne diminue que 10 fois.

**Le seuil supérieur d'audibilité** est défini comme la valeur maximale de la pression ou

Intensités sonores  $I_{\max}$  correspondant à un son normal ( $f = 1000 \text{ Hz}$ );

c'est-à-dire  $p_{\max} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}^2$  à nouveau

$I_{\max} = 10^{-2} \text{ W/m}^2$ .

A des valeurs plus élevées, la personne ressent une pression forte et désagréable sur le tympan qui se transforme en douleur (seuil de la douleur). Le rapport entre les valeurs d'intensité sonore pour les deux seuils supérieur et inférieur est :

$$\frac{I_{s_{\max}}}{I_{s_{\min}}} = \frac{10^2}{10^{-12}} = 10^{14}$$

et celle des pressions est :

$$\frac{p_{\max}}{p_{\min}} = \frac{2 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^{-5}} = 10^7$$

ce qui montre que le champ d'intensité auditive est très large. Les courbes qui délimitent les deux seuils d'audibilité (supérieur et inférieur) en fonction de la fréquence sont représentées sur la figure 5, qui délimite **la surface** (domaine) **d'audibilité** à l'intérieur de celles-ci . La taille de cette surface (domaine) est un indicateur de la capacité auditive d'une personne (la surface diminue chez les personnes malentendantes).

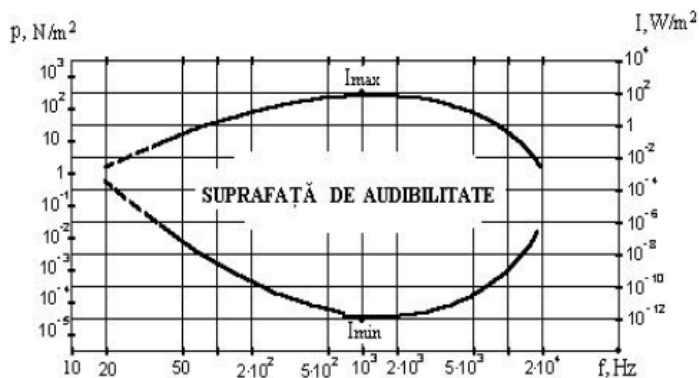


Figure 5. Représentation schématique du domaine d'audibilité

### *Limites de durée*

Pour que le son soit entendu, l'oscillation qui produit les ondes élastiques doit avoir une certaine durée minimale. Celle-ci est estimée à 60ms, ce qui signifie pour un son normal ( $f=1000\text{Hz}$ ) une persistance sur le tympan de 60 périodes. L'oreille humaine peut percevoir des différences de durée entre deux sons allant jusqu'à 10 ms. Si les ondes élastiques incidentes ont une durée plus courte alors celle-ci il est interprété par l'oreille comme un clic aux caractéristiques indéfinies.

## LOI DE WEBER ET FECHNER

Cette loi représente un lien entre l'intensité sonore  $I_s$  (élément objectif) et l'intensité auditive  $I_a$  (élément subjectif). Weber et Fechner ont montré que la variation de l'intensité auditive  $I_a$  est proportionnelle à la variation relative de l'intensité sonore  $I_s$  et a la relation :

$$dI_a = k \frac{dI_s}{I_s} \quad (8)$$

En intégrant la relation ci-dessus, on obtient :  $I_a = k \ln I_s + C$

Pour déterminer la valeur de la constante  $C$ , écrivez la relation de l'intensité sonore correspondant au seuil inférieur d'audibilité ( $I_{smin}$ ), soit :  $I_{a0} = k \ln I_{smin} + C$

mais, comme  $I_{a0} = 0$ , la valeur de la constante d'intégration  $C$  se trouve sous la forme :  $C = -k \ln I_{smin}$

En entrant la valeur de la constante  $C$  dans la relation initiale, on obtient :

$$I_a = k \ln I_s - k \ln I_{smin} = k \ln \frac{I_s}{I_{smin}} \quad (9)$$

qui représente la loi de Weber - Fechner, qui est une loi logarithmique propre au système de mesure de l'intensité sonore.

La loi de Weber - Fechner montre que **si l'intensité sonore augmente en progression géométrique, alors l'intensité auditive augmente en progression arithmétique.**

## Niveaux acoustiques

### *Niveau d'intensité sonore*

Des expériences en électroacoustique ont permis d'établir un lien quantitatif entre l'intensité de l'excitation objective et l'intensité de l'excitation subjective. Ainsi, *le niveau d'intensité sonore  $N_s$*  a été défini comme l'intensité sonore liée au seuil inférieur d'audibilité ( $I_{smin}$ ). Mais, comme l'expression de ce rapport présente des nombres très grands, jusqu'à  $10^{14}$ , il a été convenu de remplacer l'échelle linéaire par une échelle logarithmique, de sorte que la relation pour le niveau d'intensité sonore soit :



$$N_s = 10 \log \frac{I_s}{I_{s_{\min}}} \quad \text{(dix)}$$

où l'on rappelle que  $I_{s_{\min}}$  représente l'intensité sonore minimale (le seuil inférieur d'audibilité) et a pour valeur  $I_{s_{\min}} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  pour une fréquence de 1000Hz. L'unité de mesure du niveau d'intensité sonore est *la cloche* (B), d'après Graham Bell, l'inventeur du téléphone. Le Bel étant considéré comme une unité de mesure trop grande, une autre unité est utilisée qui est le dixième du Bel, soit le déciBel (dB) qui représente la différence de niveau minimale perceptible par l'oreille. Dans ce cas, le niveau d'intensité sonore a pour expression :

$$N_s = 10 \log \frac{I_s}{I_{s_{\min}}} \approx 20 \log \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \text{ (dB)} \quad \text{(11)}$$

Le niveau d'intensité sonore correspondant au seuil de sensation douloureuse est de :

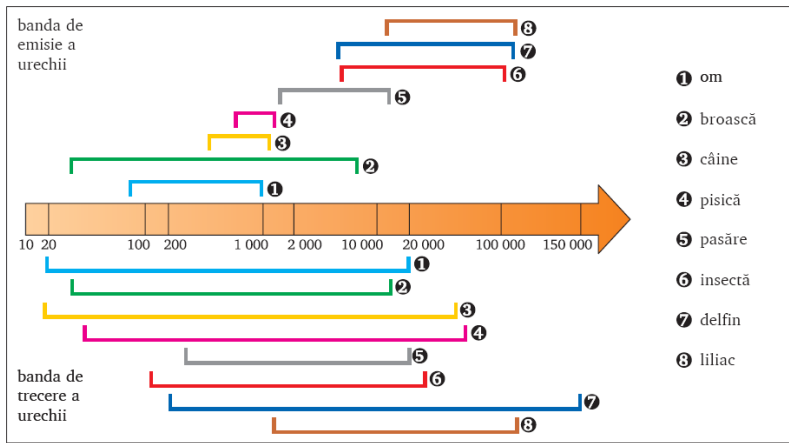
$$N_s = 10 \log \frac{I_{s_{\max}}}{I_{s_{\min}}} = 10 \log 10^{14} = 140 \text{ dB} \quad \text{(12)}$$

### ***Le niveau d'intensité auditive***

Puisque l'intensité de la sensation auditive dépend de l'intensité sonore et de la fréquence du son, le *niveau d'intensité auditive*  $N_a$  d'un son est défini comme le niveau d'intensité sonore d'un son normal ( $f = 1000 \text{ Hz}$ ) qui produit la même intensité de sensation comme le son considéré. Ce niveau d'intensité auditive a la relation :

$$N_a = 10 \log \frac{I_{sn}}{I_{s_{\min}}} \approx 20 \log \frac{(P_{\max})_n}{P_{\min}} \quad \text{(13)}$$

où  $I_{sn}$  et  $(p_{\max})_n$  représentent l'intensité sonore et respectivement l'amplitude de pression sonore d'un son normal de 1000Hz. L'unité de mesure est le *phon*. Un phon correspond approximativement au pouvoir de résolution de l'oreille par rapport à l'intensité du son. L'intensité du son exprimée en phons est égale au niveau d'intensité sonore exprimé en décibels du son normal de 1000Hz qui produit la même intensité de la sensation auditive.



**Figure : les bandes passantes de l'oreille humaine et de certaines espèces animales.**

### DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Un instrument de mesure de l'intensité sonore est utilisé dans le montage, qui enregistre l'intensité sonore de seconde en seconde

### ÉTAPES DU TRAVAIL

Les déterminations d'intensité sonore seront enregistrées et les données seront traitées Intensité sonore (dB) en fonction du temps (s)

Les cartes obtenues pour chaque inscription seront présentées

Non crt.	I (dB)	T(s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Les valeurs des intensités maximales et minimales et les valeurs moyennes relevées seront déterminées.

Les données seront prises toutes les 10 secondes avec l'appareil et représentées graphiquement :  $I=I(t)$   
Avec l'appareil numérique d'enregistrement de l'intensité du son, des enregistrements automatiques se font de seconde en seconde. Les données sont traitées sous Excel et les graphiques  $I=I(t)$  sont obtenus.

# DETERMINATION DE L'INDICE DE REFRACTION DE MILIEUX TRANSPARENTS SOLIDES ET LIQUIDES A L'AIDE DU MICROSCOPE

## INTRODUCTION

Du point de vue du fonctionnement, le microscope s'apparente à une loupe dans le sens où l'image finale d'un objet est virtuelle et grossie, la seule différence significative entre le fonctionnement d'un microscope et d'une loupe est que dans le cas de le microscope l'image est inversée par rapport à l'orientation réelle de l'objet (par opposition à la loupe).

La figure 1 représente la lentille L dans la position de la lentille d'objectif la plus proche de l'objet. Pour que l'image de l'objet (source  $S_1$ ) créée par le microscope soit nette dans le champ de vision du microscope, l'objet (source  $S_1$ ) doit être situé à une distance  $x_1$  déterminée par les caractéristiques du objectif. Si une lame plane parallèle (milieu d'indice de réfraction «  $n$  » supérieur à celui du milieu) d'épaisseur «  $d$  » est interposée entre l'objet et l'objectif, la netteté de l'image est compromise. Pour obtenir à nouveau une image claire, la distance entre l'objectif et la lentille d'objectif doit être modifiée (réduite de "  $\Delta x$  "), c'est-à-dire que l'objet du point  $S_1$  doit être amené au point  $S_2$ . Le déplacement «  $\Delta x$  » imposé à l'objet, pour restituer l'image nette, dépend de l'épaisseur «  $d$  » de la lame plan-parallèle et de son indice de réfraction «  $n$  ». En déterminant le déplacement "  $\Delta x$  " et en ayant l'épaisseur "  $d$  ", l'indice de réfraction de la plaque peut être calculé. La méthode est connue sous le nom de « *méthode de Chaulnes* » (Michel-Ferdinand d'Albert d'Ailly, duc de Chaulnes, 1712 – 1777 ; la méthode a été proposée et décrite en 1768).

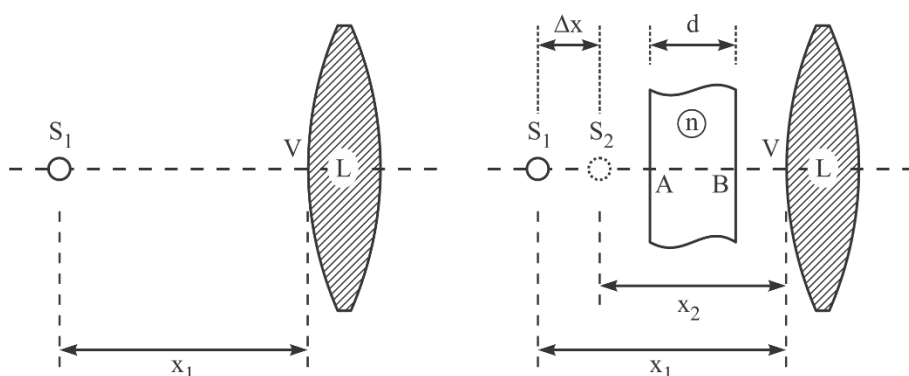


Figure 1 . \_ L'influence d'une plaque plane parallèle positionnée entre l'objet et l'objectif

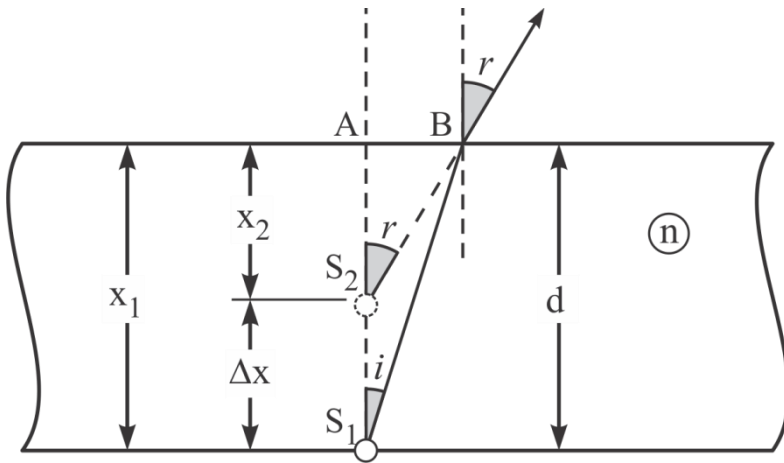


Figure 2 . \_ Le déplacement apparent de l'image d'un objet dû à une couche de milieu réfringent

La figure 2 illustre la relation entre la distance objet-lentille ("d") pour une image nette en l'absence et en présence d'un milieu homogène, de forme plan-parallèle, d'épaisseur "d" et d'indice de réfraction "n". Si en l'absence de la plaque l'image d'un objet situé au point « x<sub>1</sub> » est claire, alors, en présence de la plaque plan-parallèle, l'objet doit être déplacé vers la position « x<sub>2</sub> », avec « Δx » plus près de l'objectif, pour obtenir à nouveau une image nette. A l'aide de la vis micrométrique du microscope, le déplacement "x" peut être mesuré Δ.

La longueur du segment "AB" peut être exprimée à partir du triangle rectangle "ABS<sub>1</sub>" : AB = d • tg i (1)

et du triangle rectangle "ABS<sub>2</sub>" : AB = (d - Δx) • tg r (2)

En divisant, membre par membre, les deux relations, il en résulte :

$$\frac{\text{tgr}}{\text{tgi}} = \frac{d}{d - \Delta x} \quad (3)$$

Si l'observation du rayon émergent est effectuée près de la direction S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>A, les angles « i » et « r » sont petits ; dans ce cas l'approximation est acceptée : tg r ≈ sin r et tg i ≈ sin i .

$$\frac{\text{tgr}}{\text{tgi}} = \frac{d}{d - \Delta x} \approx \frac{\sin r}{\sin i} = n \quad (4)$$

L'indice de réfraction "n" s'exprime à partir de la relation (4) :

$$n = \frac{d}{d - \Delta x} \quad (5)$$

## ÉTAPES DE TRAVAIL

### I. CALIBRAGE DE LA VIS MICROMÉTRIQUE DU MICROSCOPE

Pour mesurer la variation de la distance ("D") entre l'objectif et la table d'échantillon du microscope, la vis micrométrique située sur le côté droit du microscope est actionnée. La roue de la vis micrométrique est divisée en 200 parties (Figure 3).

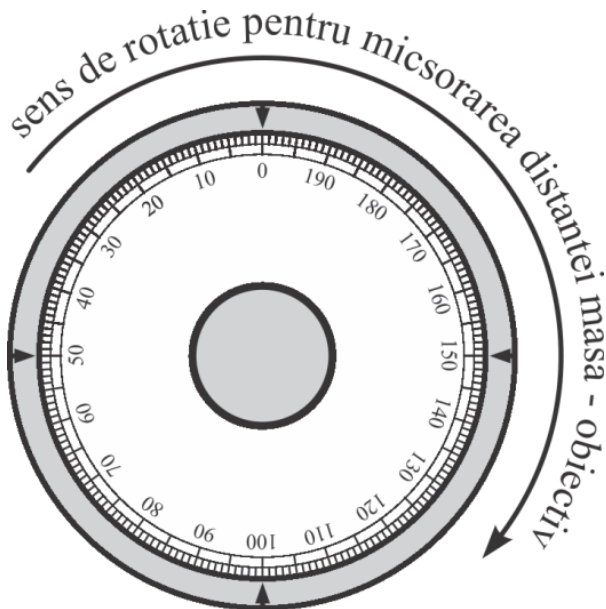


Figure 3 . \_ Représentation schématique du disque divisé en 200 parties de la vis micrométrique

Afin de pouvoir corréler l'évolution de la distance "D" avec la mesure de la rotation du disque fendu, un corps d'épaisseur connue (10 mm) muni d'un fil fin "MN" est placé sur la table du microscope, Figure 4. La première fois que le corps est placé sur la table du microscope comme ceci de sorte que le fil "MN" soit dans la partie supérieure du corps. Faites tourner le disque divisé jusqu'à ce qu'une image claire de l'objet soit obtenue dans le champ visuel. La position du disque fendu est notée.

L'objet de la figure 4 est inversé de sorte que le fil "MN" se retrouve en bas. Ainsi, la distance objet-lentille a été modifiée avec l'épaisseur de l'objet (10 mm). Faites tourner le disque fendu de la vis micrométrique pour obtenir à nouveau une image claire. Le nombre de divisions entre les deux positions du disque divisé est noté. Si entre les deux observations le disque a tourné avec "N" tours complets et avec encore "n" divisions, alors  $(200 \cdot N + n)$  divisions correspondent au changement de 10 mm de la distance entre la table d'échantillon et l'objectif. Cela signifie qu'une division sur le disque divisé correspond à un déplacement " $\delta$ " exprimé en millimètres par la relation (6).

$$\delta = \frac{10}{200 \cdot N + n} \text{ (mm)} \quad (6)$$

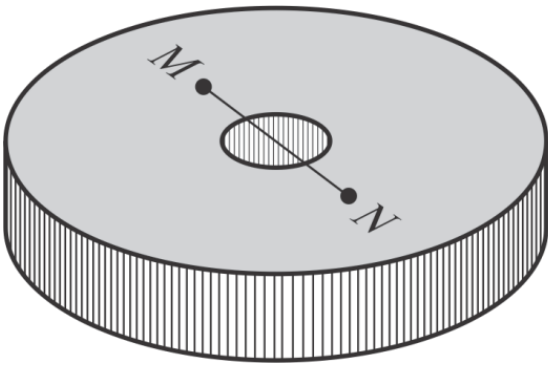
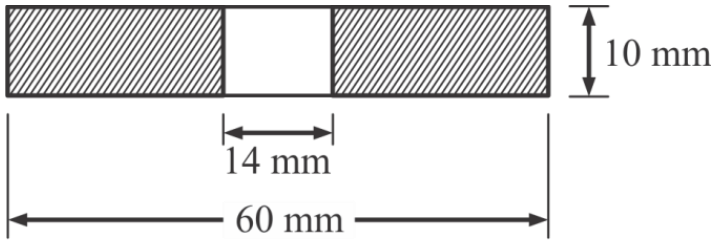


Figure 4 . \_ Disque pour calibrer la vis micrométrique du microscope

## II. DETERMINATION DE L'INDICE DE REFRACTION D'UNE PLAQUE DE VERRE PLANE PARALLELE

Pour des raisons de commodité concernant les lectures des divisions du disque divisé de la vis micrométrique, les opérations sont effectuées dans l'ordre suivant :

- 1) Mesurez l'épaisseur de la plaque de verre, "d". Sur une des faces de la plaque est marqué un signe "S<sub>1</sub>". Placer la plaque de verre étudiée sur la table du microscope avec le signe "S<sub>1</sub>" sur la face inférieure. Actionner la vis micrométrique jusqu'à l'obtention de l'image virtuelle nette « S<sub>2</sub> » du signe « S<sub>1</sub> » (Figure 5-a). Dans cette situation, la distance réelle entre le signe « S<sub>1</sub> » et l'objectif du microscope est « x<sub>1</sub> ». La distance entre l'image apparente « S<sub>2</sub> » et l'objectif du microscope est « x<sub>2</sub> ».
- 2) Tourner la plaque de verre de manière à ce que le repère « S<sub>1</sub> » atteigne la surface supérieure de la plaque de verre. La distance réelle entre le signe "S<sub>1</sub>" et l'objectif du microscope devient "x<sub>1</sub>'". L'image du signe « S<sub>1</sub> » est maintenant floue (Figure 5-b).
- 3) Tourner la vis micrométrique pour augmenter la distance entre le repère « S<sub>1</sub> » et l'objectif du microscope. Pour la distance réelle « x<sub>2</sub> » entre le signe « S<sub>1</sub> » et l'objectif du microscope, l'image nette du signe « s<sub>1</sub> » est à nouveau obtenue (Figure 5-c).
- 4) Lire la différence entre les divisions du disque réparties entre les configurations 1) et 2) et en appliquant la relation (6) calculer le déplacement "D" de la table d'échantillon du microscope.

On peut voir sur la figure 5-c que le déplacement "D" de la table du microscope est

ré = ré - Δx ; à partir d'ici : Δx = d - D (7)

- 5) L'indice de réfraction "n" est calculé sur la base de la relation (5) :

$$n = \frac{d}{d - \Delta x} = \frac{d}{d - (d - D)} = \frac{d}{D} \quad (8)$$

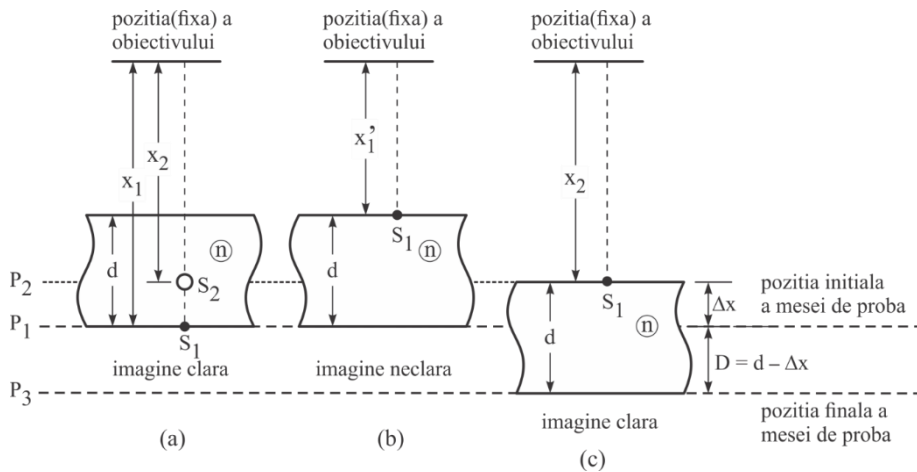


Figure 5 . \_ Séquence d'opérations pour déterminer l'indice de réfraction d'une plaque de verre plane parallèle

### III. DÉTERMINATION DE L'INDICE DE RÉFRACTION D'UN LIQUIDE   L'AIDE DU MICROSCOPE

L'indice de réfraction des liquides peut également être déterminé avec la *méthode de Chaulnes*. A cet effet, un récipient en verre d'épaisseur interne  $d = 1$  cm peut être utilisé, accessoire connu pour les mesures spectrophotométriques (Figure 6-a). Le réservoir peut être fermé hermétiquement à l'aide d'un bouchon en téflon.

Les étapes de détermination sont les suivantes :

- 1) Remplir le récipient avec le liquide étudié (ayant l'indice de réfraction "n") et le fermer avec le bouchon en Téflon (Figure 6-b). Il est important que le liquide enfermé dans le réservoir ne contienne pas de bulles d'air.
- 2) Créer une marque sur l'une des faces extérieures de la cuvette et placer la cuvette, en position couch e, sur la platine échantillon du microscope (Figure 6-c).  
image virtuelle claire  $S_2$  du signe  $S_1$  apparaît dans le champ visuel de l'observateur. Noter la position du disque gradué de la vis micrométrique.
- 4) Videz la cuve, lavez et séchez. La cuvette vide est placée sur la platine du microscope. Dans le champ de vision de l'observateur, l'image est floue.
- 5) Tourner le disque gradué de la vis micrométrique, dans le sens indiqué sur la Figure 3, jusqu'à ce que l'image dans le champ visuel de l'observateur devienne nette (Figure 7-b). Notez le nombre



complet de rotations "D" et le nombre de divisions "y" avec lesquelles le disque gradué a été tourné.

6) Le déplacement " $\Delta x$ " est, cette fois, égal au déplacement "D" de la table d'échantillons :

$$\Delta x = D = 200 \cdot K + y \quad (9)$$

Pour calculer l'indice de réfraction "n" du liquide dans le réservoir dû au déplacement " $\Delta x$ ", une analyse plus générale du système d'un point de vue optique est nécessaire.

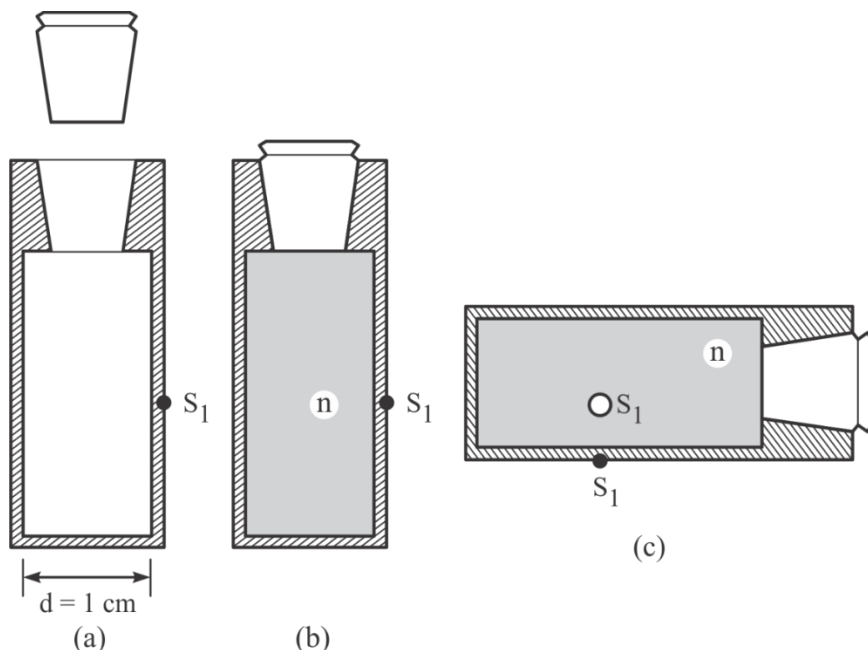


Figure 6 . \_ Récipient en quartz utilisé pour déterminer l'indice de réfraction des liquides

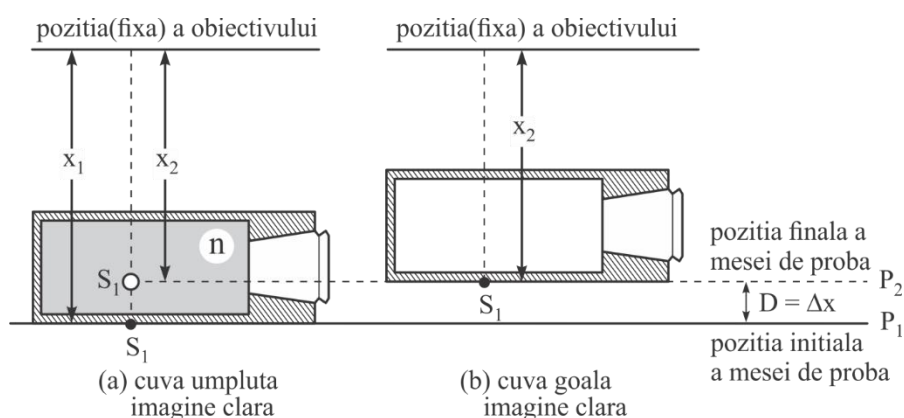


Figure 7 . \_ Détermination de l'indice de réfraction d'un liquide

La figure 8 représente le trajet d'un rayon lumineux partant de la source "S" (l'objet réel) et traversant trois surfaces de séparation (les surfaces des segments "AB", "CD" et "EF"). En traversant chaque surface, la lumière subit une réfraction. Le système modélise les deux parois de verre de la

cuve avec l'épaisseur «  $d_1$  » et «  $d_2$  » ainsi qu'avec l'indice de réfraction «  $n_1$  » et «  $n_2$  ». Aussi, la figure 8 modélise l'environnement dans l'espace entre les deux parois de verre (épaisseur "d" et indice de réfraction "n"). L'indice de réfraction de l'air " $n_o$ " est considéré égal à 1.

Suite au croisement des couches et à la réfraction multiple de la lumière, l'observateur (lentille de microscope) voit l'image virtuelle «  $S_2$  » de l'objet réel «  $S_1$  » déplacée de la distance «  $\Delta x$  ».

Ensuite, on vise à exprimer la distance «  $\Delta x$  » en fonction des épaisseurs «  $d_1$  », «  $d$  », «  $d_2$  », indices de réfraction «  $n_1$  », "n", " $n_2$ ", " $n_o$ " et les angles " $i_1$ ", " $i_2$ ", " $r_1$ ", " $r_2$ ".

A partir du triangle "ABS<sub>1</sub>", la longueur du segment "AB" est exprimée, à partir du triangle "BCD" la longueur du segment "CD" est exprimée, et à partir du triangle "DEF" la longueur du segment "EF" s'exprime :

$$AB = d_1 \cdot \operatorname{tg} i_1 \quad ; \quad CD = d \cdot \operatorname{tg} r_1 \quad ; \quad EF = d_2 \cdot \operatorname{tg} i_2 \text{ (dix)}$$

La distance "p" est la somme des longueurs des segments "AB", "CD" et "EF":

$$p = AB + CD + FE \text{ (11)}$$

$$D'autre part, p = "q" \cdot \operatorname{tg} r_2 \text{ (12)}$$

Des faits (11) et (11) il résulte :

$$p = d_1 \cdot \operatorname{tg} i_1 + d \cdot \operatorname{tg} r_1 + d_2 \cdot \operatorname{tg} i_2 \text{ (13)}$$

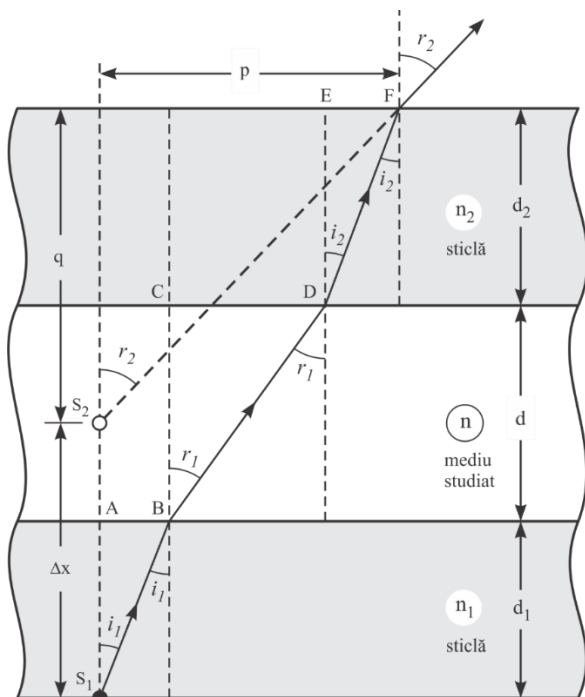


Figure 8 . \_ Génération de l'image virtuelle «  $S_2$  » de l'objet «  $S_1$  » en tant que résultat de la réfraction consécutive de la lumière sur trois surfaces séparatrices

Si la direction d'observation est très proche de la direction de la droite "S<sub>1</sub>A", alors tous les angles "i<sub>1</sub>", "r<sub>1</sub>", "i<sub>2</sub>" et "r<sub>2</sub>" tendent vers zéro et il peut être supposé que :

$$AB \approx d_1 \cdot \sin i_1 \quad ; \quad CD \approx d \cdot \sin r_1 \quad ; \quad EF \approx d_2 \cdot \sin i_2 \quad (14)$$

En acceptant cette approximation, les relations (12) et (13) deviennent :

$$p \approx q \cdot \sin r_2 \quad \text{et} \quad p = d_1 \cdot \sin i_1 + d \cdot \sin r_1 + d_2 \cdot \sin i_2 \quad (15)$$

En appliquant tour à tour la *relation de Willebrord Snel van Roijen*, liée à la réfraction, aux surfaces "AB", "CD" et "EF", il en résulte :

$$\left\{ \begin{array}{l} n_1 \cdot \sin i_1 = n \cdot \sin r_1 \\ n \cdot \sin r_1 = n_2 \cdot \sin i_2 \\ n_2 \cdot \sin i_2 = n_o \cdot \sin r_2 \end{array} \right\} \Rightarrow n_1 \cdot \sin i_1 = n_o \cdot \sin r_2 \quad (16)$$

Des relations (6) il résulte :

$$\sin i_1 = \frac{n_o}{n_1} \cdot \sin r_2 \quad ; \quad \sin r_1 = \frac{n_o}{n} \cdot \sin r_2 \quad ; \quad \sin i_2 = \frac{n_o}{n_2} \cdot \sin r_2 \quad (17)$$

En substituant les relations (17) aux relations (15), on obtient :

$$p \approx q \cdot \sin r_2 \quad ; \quad p \approx n_o \cdot \sin r_2 \cdot \left( \frac{d_1}{n_1} + \frac{d}{n} + \frac{d_2}{n_2} \right) \quad (18)$$

Des deux relations (8) il résulte :

$$p \approx n_o \cdot \left( \frac{d_1}{n_1} + \frac{d}{n} + \frac{d_2}{n_2} \right) \quad (19)$$

Puisque  $\Delta x = d_1 + d + d_2 - q$ , on obtient :

$$\Delta x \approx d_1 + d + d_2 - n_o \cdot \left( \frac{d_1}{n_1} + \frac{d}{n} + \frac{d_2}{n_2} \right) \quad (20)$$

et après réarrangement de la relation (2), l'expression du déplacement " $\Delta x$ " donne :

$$\Delta x \approx d_1 \cdot \left( 1 - \frac{n_o}{n_1} \right) + d \cdot \left( 1 - \frac{n_o}{n} \right) + d_2 \cdot \left( 1 - \frac{n_o}{n_2} \right) \quad (21)$$

En spécifiant la relation (21) pour les conditions de l'expérience :

$$n_1 = n_2 = n_{\text{bouteille}} \quad ; \quad r_1 = r_2 = r_{\text{verre}} \quad ; \quad n_o = n_{\text{air}} = 1$$

la relation générale (21) est simplifiée.

Pour le cas où le récipient est rempli de l'échantillon liquide (indice de réfraction "n"), la relation (21) se réduit à la forme (22).

$$\Delta x_{filled} \approx 2 \cdot d_{glass} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_{glass}}\right) + d \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (22)$$

Pour le cas où la cuvette est vide ( $n_{air} = 1$ ), il s'ensuit :

$$\Delta x_{empty} \approx 2 \cdot d_{glass} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_{glass}}\right) \quad (2.3)$$

Modification de la position de l'image virtuelle « S<sub>2</sub> » (« ΔΔx ») pour la mesure effectuée avec une cuvette remplie et une cuvette vide ,

$$\Delta \Delta x = d \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (24)$$

où "d" est l'épaisseur de l'espace entre les deux parois de verre (pour la cuvette utilisée dans l'expérience d = 1cm). En expliquant par la relation (24) l'indice de réfraction du liquide contenu dans la cuvette , on obtient :

$$n = \frac{d}{d - \Delta \Delta x} \quad (25)$$

c'est-à-dire une relation de forme similaire à la première égalité dans l'expression (8). On note qu'il n'est pas nécessaire de connaître l'épaisseur des parois de verre (d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub>).

Si dans le système représenté à la figure 8, les épaisseurs « d » et « d<sub>2</sub> » tendent vers zéro, alors la situation créée correspond à celle représentée à la figure 2. Dans ce cas, la relation générale (21) prend la forme particulière

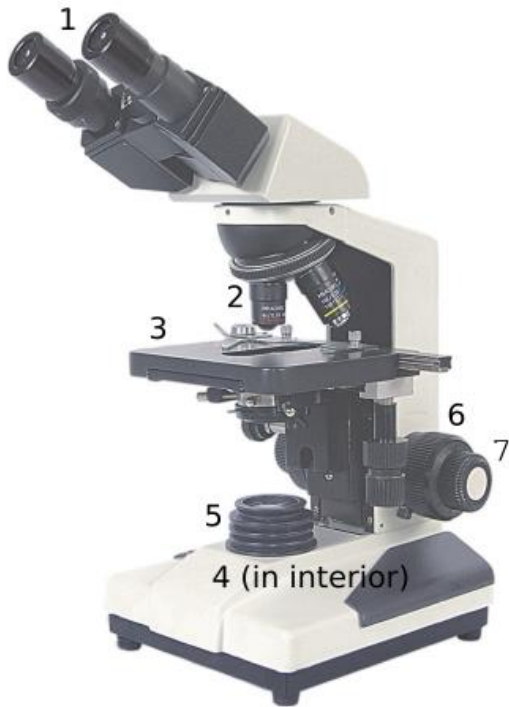
$$\Delta x \approx d_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{n_1}\right) \quad (26)$$

et à partir de là, l'indice de réfraction de la plaque de verre ("n<sub>1</sub>") est exprimé

$$n_1 = \frac{d_1}{d_1 - \Delta x} \quad (27)$$

par une relation similaire à (5).

## DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL



clarifier l'image

**Oculaire** (1) – contient les lentilles

oculaire; valeurs de grossissement typiques : 5x, 10x et 2x

**Objectif** (2) ; valeurs typiques de grossissements : 4x, 5x, 10x, 20x, 40x, 50x et 100x ; interchangeable

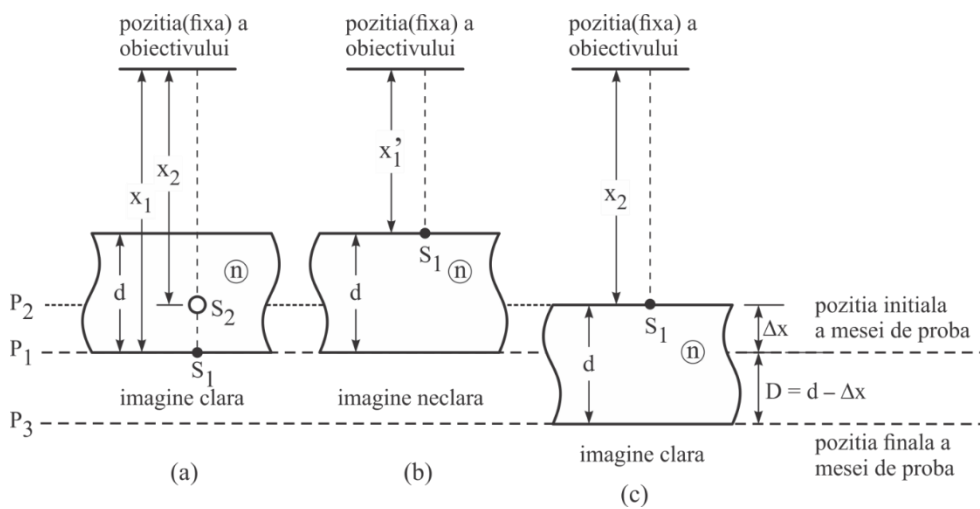
**Tableau** (3) – prend en charge le test de examen

**Source lumineuse** (4) – située sous la table

**Condenseur** (5) – système de lentilles et diaphragmes qui contrôle la quantité de lumière en focalisant la lumière

**Macrovisa** (6) et **microvisa** (7) utilisés pour

## TRAITEMENT EXPÉRIMENTAL DES DONNÉES



$$x' = x - d + dx$$

$$x' = x + d(n - 1)$$

$$x' - x = \Delta x = d(n - 1)$$

$$n = 1 + \frac{\Delta x}{d}$$

$$n = 1 + \frac{\Delta x}{d}$$

$$\Delta x = 200K + y$$

**K** - le nombre de rotations complètes

**y** - le nombre de divisions

**d** = 1 cm – le côté de la cuvette où le liquide est introduit

# 1. DETERMINATION DE L'INDICE DE REFRACTION DANS DES MILIEUX SOLIDES TRANSPARENTS

## PROCÉDURE POUR LE TRAVAIL PRATIQUE - ÉTAPES

1. Calibrer le microscope
2. Le facteur de conversion du microscope peut être déterminé en superposant l'image formée par le microscope oculaire et le microscope objectif.
3. Une plaque transparente d'indice de réfraction  $n$  et d'épaisseur  $d$  est placée sur la table du microscope. La valeur de  $d$  est déterminée et inscrite dans le tableau des valeurs.
4. Une image est créée sur la surface de la plaque
5. Lire la valeur  $\Delta x = 200 K + y$  au microscope,
6. où  $K$  est le nombre de rotations complètes et  $y$  le nombre de divisions
7. Les données sont saisies dans le tableau
8. Les calculs sont effectués pour l'indice de réfraction  $n$  avec la formule suivante :

$$n = 1 + \frac{\Delta x}{d}$$

$$\Delta x = 200K + y$$

**K - le nombre de rotations complètes à nouveau**

**y - le nombre de divisions**

**d = 10 mm**

**Tableau 1** : détermination de l'indice de réfraction  $n$  pour différentes lames de dimensions  $d$

Non.	d (mm)	K (roue)	Y (div)	$\Delta x$ ( $\mu\text{m}$ )	n
1					
2					
3					
4					
5					

**Tracer le graph  $n=n(d)$**

## **2. DÉTERMINATION DE L'INDICE DE RÉFRACTION DES *MILIEUX LIQUIDE TRANSPARENT***

### **2.2 VARIATION DE L'INDICE RÉFRACTAIRE AVEC LA CONCENTRATION**

#### **ETAPES DU TRAVAIL**

1. Calibrer le microscope
2. Le facteur de conversion du microscope peut être déterminé en superposant l'image formée par le microscope oculaire et le microscope objectif.
3. Une plaque transparente d'indice de réfraction  $n$  et d'épaisseur  $d$  est placée sur la table du microscope. La valeur de  $d = 1$  cm est connue et inscrite dans le tableau des valeurs.
4. Une image est créée sur la surface de la plaque
5. Lire la valeur  $\Delta x = 200 K + y$  au microscope,
6. où  $K$  est le nombre de rotations complètes et  $y$  est le nombre de divisions,  $d = 1$  cm – le côté du réservoir où le liquide est introduit
7. Les données sont saisies dans le tableau
8. Les calculs sont effectués pour l'indice de réfraction  $n$  avec la formule suivante :

$$n = 1 + \frac{\Delta x}{d}$$

$$\Delta x = 200K + y$$

**K - le nombre de rotations complètes à nouveau**

**y - le nombre de divisions**

**d = 1 cm – le côté du réservoir où le liquide est introduit**



**TABLEAU 2** : détermination de l'indice de réfraction  $n$  pour la solution d'éthylène glycol de différentes concentrations

<b>C(%)</b>	<b>K (roue)</b>	<b>Y (div)</b>	<b><math>\Delta x</math> ( <math>\mu\text{m}</math> )</b>	<b>n</b>
100				
90				
80				
70				
60				
50				
40				
30				
20				
dix				

**Tracer le graph  $n=n(c)$**

### 2.3 . VARIATION DE L'INDICE DE RÉFRACTION AVEC LA DENSITÉ

#### ETAPES DU TRAVAIL

1. Calibrer le microscope
2. Le facteur de conversion du microscope peut être déterminé en superposant l'image formée par le microscope oculaire et le microscope objectif.
3. Une plaque transparente d'indice de réfraction  $n$  et d'épaisseur  $d$  est placée sur la table du microscope. La valeur de  $d$  est connue et inscrite dans le tableau des valeurs.
4. Une image est créée sur la surface de la plaque
5. valeur est lue  $\Delta x$  au microscope.
6. Les données sont saisies dans le tableau
7. Les calculs sont effectués pour l'indice de réfraction  $n$  avec la formule suivante :

$$n = 1 + \frac{\Delta x}{d}$$

$$\Delta x = 200K + y$$

**K - le nombre de rotations complètes à nouveau**

**y - le nombre de divisions**

**d = 1 cm – le côté du réservoir où le liquide est introduit**

**TABLEAU 2 : Détermination de l'indice de réfraction pour des solvants de densités différentes**

N° ert	Substance	$\rho$ (kg/ m <sup>3</sup> )	K (tourner)	y (div)	$\Delta x = 200 K + y$ ( $\mu\text{m}$ )	n
1	Eau ( H <sub>2</sub> O )	1000				
2	alcool isopropylique	786				
3	alcool éthylique (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O )	789				
4	méthanol (CH <sub>4</sub> O)	1015				
5	aniline (C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> H)	1010				
6	acide acétique C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	1050				
7	DMSO	1100				
8	éthylène glycol C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1110				
9	glycérine	1260				

**Tracer le graph  $n=n(\rho)$**

# DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR FOCALE DES LENTILLES PAR LA MÉTHODE DE BESSEL

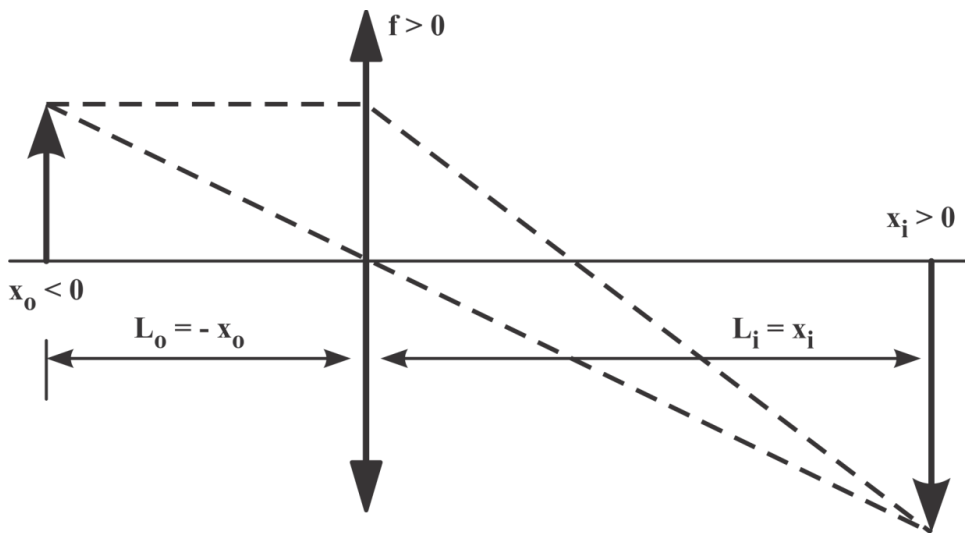
## INTRODUCTION

Le comportement optique des lentilles minces (dont l'épaisseur est bien inférieure au diamètre) peut être caractérisé par la valeur de la distance focale "f". Si elle est limitée aux rayons incidents proches de l'axe optique principal (rayons paraxiaux), alors on peut admettre que la distance focale (la distance entre le centre optique de la lentille et le point où le rayon émergent coupe l'axe optique principal) ne dépend pas de la distance entre le rayon émergent et l'axe optique principal de la lentille.

Le comportement optique d'une lentille est réalisé par sa capacité à créer l'image d'un objet. Si l'image se forme à l'intersection des rayons émergents réels, alors l'image est "réelle". Si l'image créée par la lentille se forme à l'intersection de l'extension des rayons émergents réels, alors l'image est « virtuelle ». Seule une image réelle peut être projetée sur un écran.

Dans le cas d'un objet réel, la distance à laquelle l'image se forme, ainsi que la nature de l'image (réelle ou virtuelle) dépend de la distance focale de l'objectif.

L'emplacement de l'objet et de l'image par rapport à l'objectif est indiqué par les "coordonnées" de l'objet et de l'image par rapport à un système de référence qui a, comme l'un des axes de coordonnées (axe "x"), l'axe optique principal de la lentille. La direction positive de l'axe "x" est déterminée par la direction du rayon lumineux partant de l'objet réel. L'origine de l'axe "x" est choisie au centre optique de la lentille. La figure 1 illustre le signe des coordonnées «  $x_o$  » et «  $x_i$  » de l'objet et de l'image respectifs.



**Fig. 1 Convention de signe concernant les coordonnées objet et image dans le cas d'une lentille convergente**

La distance focale d'une lentille convergente est considérée comme positive, tandis que la distance focale d'une lentille divergente est négative. Dans l'exemple illustré à la figure 1, la coordonnée " $x_o$ " de l'objet est négative ( $x_o < 0$ ), et celle du lieu où se forme l'image réelle, " $x_i$ ", est positive ( $x_i > 0$ ). Si l'on se réfère aux « distances » lentille-objet («  $L_o$  ») et lentille-image («  $L_i$  »), ces quantités sont définies comme positives, donc  $L_o = -x_o$  tandis que  $L_i = x_i$ . (il est important de distinguer les notions de "coordonnée" et de "distance").

Pour une position de la lentille, pour laquelle l'image nette d'un objet (situé à la coordonnée " $x_o$ ") se forme sur un écran (situé à la coordonnée " $x_i$ "), la relation des points conjugués (1) est respectée .

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} - \frac{1}{x_o} \quad (1)$$

Si la distance entre l'objet et l'écran (où se forme l'image de l'objet) est " $D$ ", cela peut être exprimé par la relation (2).

$$D = L_o + L_i = (-x_o) + x_i \quad (3)$$

«  $x_o$  » et «  $x_i$  » peut s'exprimer comme suit :

$$x_i \cdot (-x_o) = D \cdot f \quad (4)$$

Les relations (3) et (4) expriment respectivement la somme et le produit de deux grandeurs («  $-x_o$  » et «  $x_i$  ») en fonction de la distance «  $D$  » et de la distance focale «  $f$  ». Il est possible d'écrire

une équation du second degré par rapport à l'inconnue « x », qui a, pour racines, précisément les quantités « - x<sub>o</sub> » et « x<sub>i</sub> » :

$$x^2 - D \cdot x + D \cdot f = 0 \quad (5)$$

Si une certaine relation est observée entre les quantités « D » et « f » (relation (8)), alors l'équation du second degré a deux racines distinctes, « x<sub>A</sub> » et « x<sub>B</sub> » :

$$x_A = \frac{D + \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f}}{2} \quad (6)$$

$$x_B = \frac{D - \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f}}{2}$$

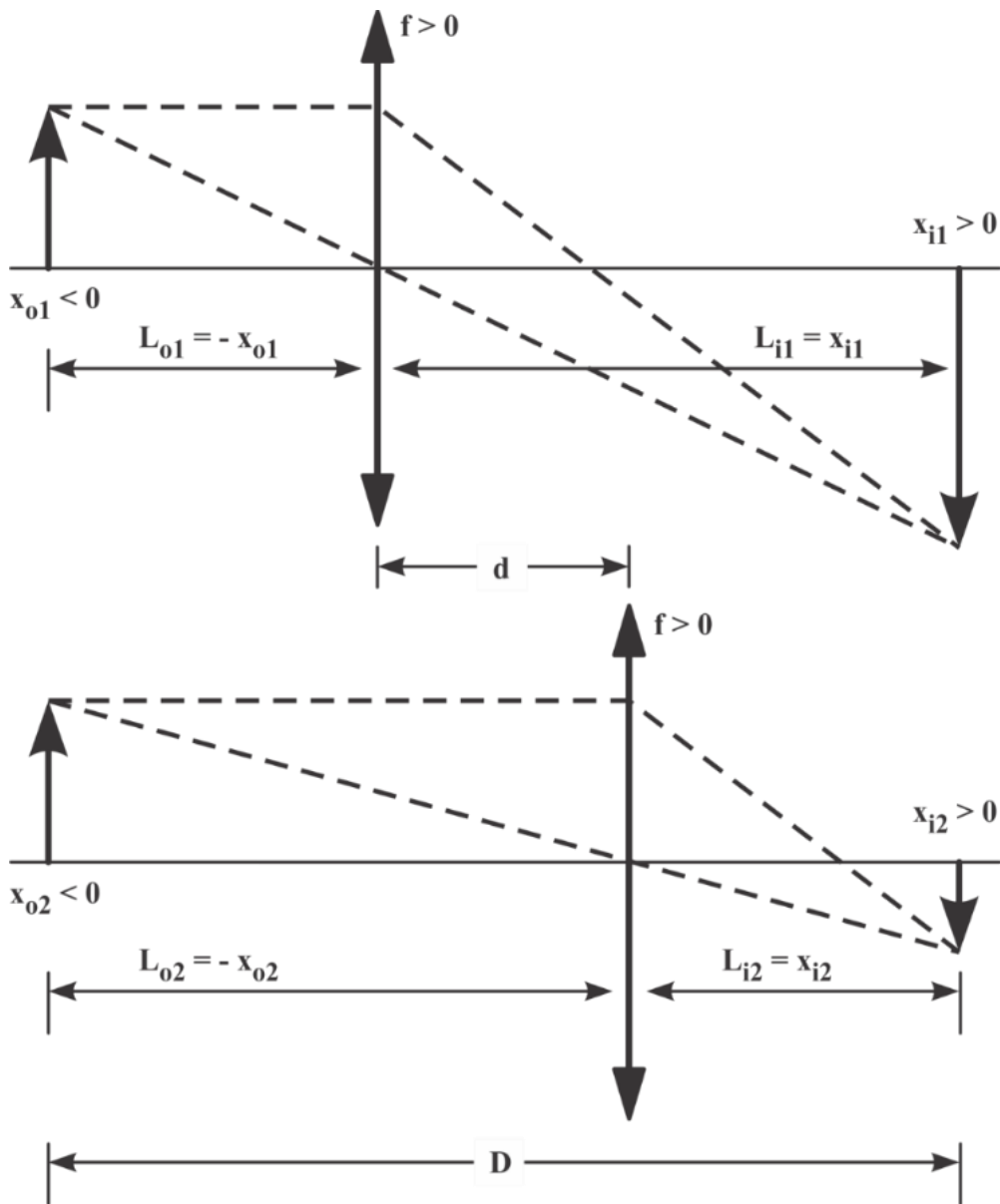
La condition pour que les racines (6) soient réelles et disjointes est que le discriminant soit positif, donc  $\sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f} > 0$  (7)

La relation (7) est équivalente à la relation (8)

$$D > 4 \cdot f \quad (8)$$

qui exprime la condition qu'il existe deux positions différentes de la lentille pour lesquelles une image claire de l'objet est formée à la distance "D" de l'objet.

De nombreuses méthodes sont connues pour déterminer expérimentalement la distance focale d'une lentille. Une méthode ingénieuse est connue sous le nom de « *méthode de Bessel* ». Pour comprendre l'essence de cette méthode, considérons un ensemble optique constitué d'une lentille mince convergente, d'un objet réel et de l'image réelle de l'objet projetée sur un écran. Si la distance objet-écran est maintenue constante, on peut trouver deux positions de la lentille, entre l'objet et l'écran, pour lesquelles l'image nette de l'objet se forme sur l'écran (Figure 2). Dans l'une des positions de l'objectif, l'image agrandie de l'objet est formée sur l'écran (Figure 2-A), et dans l'autre position de l'objectif, l'image réelle réduite de l'objet est obtenue (Figure 2-B). La coordonnée de l'objet dans le premier cas est "x<sub>o1</sub>" (x<sub>o1</sub> < 0), et celle de l'image est "x<sub>i1</sub>" (x<sub>i1</sub> > 0). La coordonnée de l'objet dans le second cas est "x<sub>o2</sub>" (x<sub>o2</sub> < 0), et celle de l'image est "x<sub>i2</sub>" (x<sub>i2</sub> > 0). Dans le premier cas, la distance lentille-objet est L<sub>o1</sub> = - x<sub>o</sub>, et la distance lentille-image est L<sub>i1</sub> = x<sub>i1</sub>. Pour la deuxième position de la lentille (Figure 2-B) nous avons L<sub>o2</sub> = - x<sub>o2</sub> et L<sub>i2</sub> = x<sub>i2</sub>.



**Fig. 2 Méthode de Bessel pour déterminer la distance focale d'un objectif**

Les coordonnées de l'emplacement de l'objet et de l'image pour les deux positions de la lentille, auxquelles l'image claire de l'objet est obtenue, sont :

$$\begin{aligned}
 -x_{o1} &= \frac{D - \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f}}{2} & ; & & -x_{o2} &= \frac{D + \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f}}{2} \\
 x_{i1} &= \frac{D + \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f}}{2} & ; & & x_{i2} &= \frac{D - \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f}}{2}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

La distance "d" entre les positions de la lentille pour laquelle l'image réelle et claire de l'objet est obtenue, est (Figure 2) :

$$d = D - L_{o1} - L_{i2} = D - (-x_{o1}) - x_{i2} \text{ (dix)}$$

En substituant dans la relation (1) les expressions trouvées pour les coordonnées «  $x_{o1}$  », «  $x_{i1}$  », «  $x_{o2}$  » et «  $x_{i2}$  », on obtient :

$$d = D - \frac{D - \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f}}{2} - \frac{D - \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f}}{2} \text{ (11)}$$

d'où il résulte, pour la distance "d":

$$d = \sqrt{D^2 - 4 \cdot D \cdot f} \text{ (12)}$$

La distance focale de l'objectif s'explique par la relation (12) :

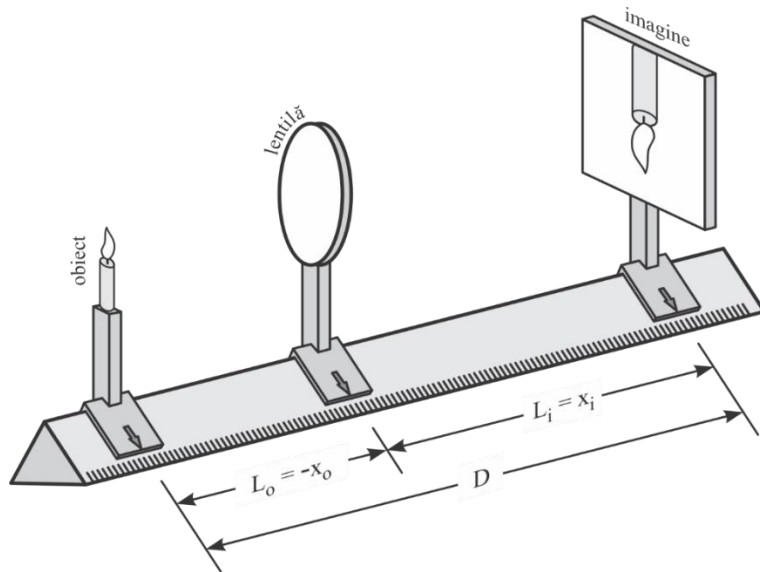
$$f = \frac{D^2 - d^2}{4 \cdot D} \text{ (13)}$$

Pratiquement, la distance entre les deux positions de la lentille pour laquelle l'image nette de l'objet est formée est déterminée et la distance focale est calculée avec la relation (13).



## ÉTAPES DE TRAVAIL

La figure 3 représente une configuration pour effectuer des mesures.



**Fig. 3 Le groupe optique de détermination de la distance focale**

Cinq déterminations sont effectuées, chacune avec une valeur différente de la distance "D" et - implicitement - aboutissant à d'autres valeurs "d". Pour chaque couple de valeurs "D" et "d", la distance focale est calculée avec la relation (13). La moyenne des valeurs "f" et l'écart type des valeurs individuelles autour de la valeur moyenne sont déterminés.

Les données vont dans un tableau selon le modèle suivant.

**Tableau 1 Résultats**

Non.	D (mm)	L <sub>o1</sub> (mm)	L <sub>i1</sub> (mm)	L <sub>o2</sub> (mm)	L <sub>i3</sub> (mm)	d (mm)	f (mm)
1							
2							
3							
4							
5							

# BIBLIOGRAPHIE

1. \*\*\*, *Farmacopeea Romana , editia a X-a*, Editura Medicala Bucuresti , 2012
2. \*\*\*, *Physics Compendium, Scientific and Encyclopedic Ed., Bucharest, 1988.*
3. Aczel O., M. Erdei, *Guide to practical works on mechanics and acoustics* , Timisoara University Press, 1987.
4. Adrianna Dzidek and Anna Piotrowska. The Use of Cryotherapy in Cosmetology and the Influence of Cryogenic Temperatures on Selected Skin Parameters—A Review of the Literature. *Cosmetics* 2022, 9, 100. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9050100>
5. Agner T, *Susceptibility of atopic dermatitis patients to irritant dermatitis caused by sodium lauryl sulphate*". *Acta Derm. Venereol.* , (1991), 71 (4): 296–300
6. Akinin, A., Paul, A., Wang, J., Buccino, A., Cauwenberghs, G. (2020). Biopotential Measurements and Electrodes. In: He, B. (eds) *Neural Engineering*. Springer, Cham.
7. Anati, DA (1999). "The salinity of hypersaline brines: concepts and misconceptions". *International J. Salt Lake. Res.* 8 : 55–70. [doi:10.1007/bf02442137](https://doi.org/10.1007/bf02442137).
8. Atekwanaa, Eliot A.; Atekwanaa, Estella A.; Roweb, Rebecca S.; Werkema Jr., D. Dale; Legalld, Franklyn D , "The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon" (PDF) . *Journal of Applied Geophysics. Elsevier.* . (2004), 56 (4): 281–294.
9. Birau O., D.Andru Vangheli, *Molecular Physics and heat – practical works* , Timisoara University Press, 1985
10. Britannica Educational Publishing 2012 , p. 94, p. 95.
11. Bureau international des poids et mesures 2020
12. Civera David, « *Les transistors-lasers et la loi de Kirchhoff* » [ archive ], tom's HARDWARE, 06.02.2015.
13. Civera David, « *Les transistors-lasers et la loi de Kirchhoff* », TOM'S HARDWARE, 06 .02.2015.
14. Cretu T., *Fizică - Teorie si Probleme*, Ed. Tehnica Bucuresti, 1991.
15. Cretu T., *Fizica Generala*, Editura Tehnica Bucuresti, 1984
16. Dahl, E. (1956). "Ecological salinity boundaries in poikilohaline waters". *Oikos.* 7 (1): 1–21. [doi:10.2307/3564981](https://doi.org/10.2307/3564981).
17. Daniel Garcia-Martinez, Maria Fabiola Leyva-Mendivil, Amit Gefen, Georges Limbert. Chapter 17 - Biomechanical aspects of skin aging—the risk of skin breakdown under shear loading increases with age. Editor(s): Amit Gefen, *Innovations and Emerging Technologies in Wound Care*, Academic Press, 2020, Pages 309-335, ISBN 9780128150283. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815028-3.00017-1>
18. DeZuane, John , *Handbook of Drinking Water Quality (2nd ed.)*. (1997). *John Wiley and Sons.*
19. Duane Knudson, *Fundamentals of Biomechanics*, third edition, Editura Springer Nature Switzerland AG, iunie 2021.
20. Eilers, JM; Sullivan, TJ; Hurley, KC The most dilute lake in the world? . *Hydrobiology.* (1990). 199 : 1–6.
21. Ganea C., *Curs de Biofizica pentru studentii de la Medicina Generala*, Universitatea Carol Davila Bucuresti, 2011.
22. Gibney E. How many yottabytes in a quettabyte? Extreme numbers get new names. *Nature News.* 18 Nov 2022.
23. Greiner, Walter; Neise, Ludwig; Stöcker Horst , 1997, *Thermodynamics and Statistical Mechanics* , 2nd printing ed.. Springer. p. 9.

24. Greiner, Walter; Neise, Ludwig; Stöcker Horst , 1997, *Thermodynamics and Statistical Mechanics*, 2nd printing ed.. Springer. p. 9.
25. Hobbie R.K, Roth B.J. *Intermediate Physics for Medicine and Biology, 5th Edition, Springer International Publishing, 2015, ISBN 978-3-319-12682-11*
26. Holton Gerald James, *Physics, the Human Adventure: From Copernicus to Einstein and Beyond*. Rutgers University Press., 2001, pp. 270
27. Holton Gerald James, *Physics, the Human Adventure: From Copernicus to Einstein and Beyond* . Rutgers University Press., 2001, pp. 270
28. Homemade Saline Nose Drops Archived 2012-11-27 at the Wayback Machine at Food.com
29. Hopes To Hold The Salt, And Instead Break Out Beet Juice And Beer To Keep Roads Clear . www.wbur.org .
30. Hrianca I., I. Muscutariu, N. Ohanovici, M. Prosteanu, I.Pintea, *Guide for practical laboratory works in electricity, magnetism and electrotechnics* , Typografia Univ. from Timisoara, 1985.
31. Hristev A., *Mechanics and Acoustics* , Bucharest Didactic Publishing House, 1984.
32. <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/surgical-and-therapeutic-products/medical-lasers>
33. Ința I. , *Complemenete de fizica vol.II* , Editura Tehnică,București 1985
34. International Bureau of Weights and Measures 2006 , pp. 29-30
35. IOC, SCOR, and IAPSO (2010). *The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO (English). pp. 196 pp.*
36. Irving P. Herman. *Physics of the Human Body, Second Edition, Springer International Publishing, 2016,*
37. Jones, Alonzo . "*Intranasal Xylitol, Recurrent Otitis Media, and Asthma: Report of Three Cases\**". *Nasal xylitol, from Clinical Practice of Alternative Medicine*. Alonzo H. Jones, DO. Archived from the original on May 8, 2014 . Retrieved 7 May 2014 .
38. Kalcic, Maria, Turowski, Mark; Hall, Callie (2010-12-22). *Stennis Space Center Salinity Drifter Project. A Collaborative Project with Hancock High School, Kiln, MS. Stennis Space Center Salinity Drifter Project. NTRS . Retrieved 2011-06-16 .*
39. Karl F. Kuhn, Frank Noschese. *Basic Physics*. Publisher Jossey-Bass, 2020. ISBN 9781119629894
40. Kwan A., J. M. Dudley, E. Lantz, "Who really discovered Snell's law?", *Physics World*, 15 (2002): p.64-84.
41. Kwan A., JM Dudley, E. Lantz, Who really discovered Snell's law?, *Physics World*, 15 (2002): p.64-84.
42. Levine I.N., *Physical Chemistry*, University of Brooklyn: McGraw-Hill.,1978, p12 gives the original definition., p400 – Historical background of Boyle's law relation to Kinetic Theory, p11 notes that deviations occur with high pressures and temperatures, *J. Appl Physiol* 98: 31-39, 2005. Free download at [Jap.physiology.org](http://Jap.physiology.org).
43. Levine IN, *Physical Chemistry*, University of Brooklyn: McGraw-Hill., 1978, p12 gives the original definition., p400 – Historical background of Boyle's law relation to Kinetic Theory, p11 notes that deviations occur with high pressures and temperatures, *J. Appl Physiol* 98: 31-39, 2005.
44. Marincu BN, Neagu M., Neagu A., *Laboratory Works in Biophysics* , second edition, Ed. Eurobit, Timisoara, 2013.
45. Mirela Nicolov, Zoltan Szabadai, Watz Claudia. *Pharmaceutical Physics – Experimental work*, Editura “Victor Babeș” Timișoara, 2023. ISBN 978-606-786-328-4; link e-book:

- <https://www.umft.ro/wp-content/uploads/2023/06/PHARMACEUTICAL-PHYSICS-EXPERIMENTAL-WORK.pdf>
46. Mirela Nicolov, Zoltan Szabadai, Watz Claudia. Pharmaceutical Physics – Part I. Mechanics, Thermodynamics. Molecular physics, Physics of liquids, Phenomena of substance transport and heat transport, Biophysics of the cell, nucleus and biological membranes, synaptic transmission. Editura “Victor Babeș” Timișoara 2023. ISBN 978-606-786-325-3 GENERAL ISBN 978-606-786-326-0 Vol 1; link e-book: <https://www.umft.ro/wp-content/uploads/2023/06/PHARMACEUTICAL-PHYSICS-PART1.pdf>
  47. Mirela Nicolov, Zoltan Szabadai, Watz Claudia. Pharmaceutical Physics – Part II. Electricity, Magnetism, Electromagnetism, Sound and ultrasound, Radioactivity, Lasers, Optics. Editura “Victor Babeș” Timișoara 2023. ISBN 978-606-786-325-3 GENERAL, ISBN 978-606-786-327-7 Vol 2; link e-book: <https://www.umft.ro/wp-content/uploads/2023/06/PHARMACEUTICAL-PHYSICS-PART-2.pdf>
  48. Nagy I., *Indreptar de lucrări practice de biofizică pentru studentii facultății de stomatologie*, lito IMT, 1982.
  49. Nagy I.I., *Curs de Biofizica Medicala*, Ed. EUROBIT, Timisoara, 2001
  50. Nanfang Yu, Patrice Genevet, Mikhail Kats, Francesco Aieta, Jean-Philippe Tetienne, Federico Capasso, Zeno Gaburro, *Light Propagation with Phase Discontinuities: Generalized Laws of Reflection and Refraction*, Science,( 2011), 334, p.333.
  51. Nanfang Yu, Patrice Genevet, Mikhail Kats, Francesco Aieta, Jean-Philippe Tetienne, Federico Capasso, Zeno Gaburro, *Light Propagation with Phase Discontinuities: Generalized Laws of Reflection and Refraction*, Science, (2011), 334, p.333.
  52. Newman Jay. *Physics of the Life Sciences*, Springer International Publishing, 2008, e-ISBN: 978-0-387-77259-2
  53. Nicoara I, A.Lucaci, A. Greuceanu, E. Preda, *Laboratory instructor - optics*, Timisoara University Press, 1990.
  54. Nicolov M, Szabadai Z., *Fizica Farmaceutica – Aplicatii practice*, Ed. V.Babes, 2019., ( e-book:[http://www.umft.ro/data\\_files/documente-atasate-sectioniuni/5628/fizfarma\\_20lab\\_20carte\\_2016092019.pdf](http://www.umft.ro/data_files/documente-atasate-sectioniuni/5628/fizfarma_20lab_20carte_2016092019.pdf))
  55. Nicolov M, Szabadai Z., *Physique Pharmaceutique Travaux Pratiques*, Ed. V.Babes, 2016.,
  56. Nicolov M, Szabadai Z., *Physique Pharmaceutique, Part I: Mécanique, Thermodynamique. Physique Moléculaire, Physique des liquides, Phénomènes des transport de la substance et transport de la chaleur, Biophysique de la cellule, du noyau et des membranes biologiques, Transmission synaptique*, Ed. V.Babes, 2016.
  57. Nicolov M, Szabadai Z., *Physique Pharmaceutique, Part II: Electricité, Magnétisme, Electromagnétisme, Son et ultrason, Radioactivité, Lasers, Optique, Physique atomique et nucléaire*, Ed. V.Babes, 2018.
  58. Nicolov M., *Physics–Experimental Applications*, Ed. Gutemberg, Arad, 2002.
  59. O'Connell OJ, O'Farrell C, Harrison MJ, Eustace JA, Henry MT, Plant BJ (2011). "Nebulized hypertonic saline via positive expiratory pressure versus via jet nebulizer in patients with severe cystic fibrosis". *I breathe Which*. 56 (6): 771–5.
  60. Pawlowicz, R., Key Physical Variables in the Ocean: Temperature, Salinity, and Density. *Nature Education Knowledge*. (2013). 4 (4): 13.
  61. Plăcinteanu I., *Theory of measurement errors and the method of least squares*, Bucharest Technical Publishing House, 1957.

62. Principi T, Komar L , A critical review of "a randomized trial of nebulized 3% hypertonic saline with epinephrine in the treatment of acute bronchiolitis in the emergency department .. *J Popul Ther Clin Pharmacol.* (2011). 18 (2): e273 -4. PMID 21633141 .
63. Prough, DS; Bidani, A (1999). "Hyperchloremic metabolic acidosis is a predictable consequence of intraoperative infusion of 0.9% saline". *Anesthesiology.* 90 (5): 1247–1249.
64. Qige Guo, Qing Pei, Jiying Dong. Advances in the research and application of high-intensity focused electromagnetic technology for fat apoptosis and body shaping. *Chinese Journal of Plastic and Reconstructive Surgery* 4 (2022) 123–125.
65. Radiopharmaceuticals - Current Research for Better Diagnosis and Therapy, Edited by Farid A. Badria, Intechopen, Published June 15th, 2022, DOI:10.5772/intechopen.95709; ISBN978-1-83969-660-2; PRINT ISBN978-1-83969-659-6.
66. Rashed R. "A Pioneer in Anaclastics: Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses", *Isis* 81 (1990): pp. 464–91.
67. Raymond Kemp. *Biological Physics.* States Academic Press, martie 2022.
68. Reeves EP *et al* (2011). " Nebulized hypertonic saline decreases IL-8 in sputum of patients with cystic fibrosis. " *Am J Respir Crit Care Med.* 2011 Jun 1; 183 (11):1517-23.
69. Rrodzinsky, E., Sund Levander, M. (2020). Thermoregulation of the Human Body. In: Grodzinsky, E., Sund Levander, M. (eds) *Understanding Fever and Body Temperature.* Palgrave Macmillan, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-21886-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-21886-7_5).
70. Sardar M. Z. Uddin 1, David E. Komatsu, Thomas Motyka and Stephanie Petterson. Low-Intensity Continuous Ultrasound Therapies—A Systematic Review of Current State-of-the-Art and Future Perspectives. *J. Clin. Med.* 2021, 10, 2698. <https://doi.org/10.3390/jcm10122698>
71. Simon Z., Rotemberg Fl., Gh.I.Mihalas, *Biofizica, Lito IMT, 1989*
72. Szabadai Z., Nicolov M, *Fizica Farmaceutica, Partea I: Mecanica, Termodinamica, Fizica Moleculara, Fizica Lichidelor, Fenomene de Transport, Ed. V.Babes, 2016.*
73. Szabadai Z., Nicolov M, *Fizica Farmaceutica, Partea II: Electricitate, Magnetism, Optică, Fizică atomică, Ed. V.Babes, 2018.*
74. *Total Dissolved Solids (TDS): EPA Method 160.1 (Gravimetric, Dried at 180 deg. C) , Washington, DC: US Environmental Protection Agency (EPA). 1999-11-16.*
75. Venice system (1959). The final resolution of the symposium on the classification of brackish waters. *Archo Oceanogr. Limnol. ,* 11 (suppl): 243–248.
76. Vivian McAlister, Karen EA Burns, Tammy Znajda, and Brian Church. "Hypertonic Saline for Peri-operative Fluid Management" *Cochrane Database of Systematic Reviews.*1 (2010): CD005576 Available at: "Archived copy" . *Archived from the original on 2011-07-06 . Retrieved 2019-04-14 .*
77. West John B. *Robert Boyle's landmark book of 1660 with the first experiments on rarified air , Journal of Applied Physiology, 2005, Vol. 98 no. 1, pp. 31-39.*
78. West John B. *Robert Boyle's landmark book of 1660 with the first experiments on rarified air, Journal of Applied Physiology , 2005 , Vol. 98 no. 1, p. 31- 39 .*