

**Département de Physique**

# **TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE**

**\* \* \* \* \***

**SVTU**  
**Semestre 1**

**Responsable : A. CHERKAOUI**

**Année universitaire : 2021 – 2022**

# TABLE DES MATIERES

<b>GENERALITES .....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

## **THERMODYNAMIQUE**

<b>1 – CALORIMETRIE.....</b>	<b>13</b>
------------------------------	-----------

<b>2 – PRESSION DE VAPEUR .....</b>	<b>19</b>
-------------------------------------	-----------

## **OPTIQUE**

<b>3 – REFLEXION ET REFRACTION.....</b>	<b>23</b>
---	-----------

<b>4 – LENTILLES MINCES .....</b>	<b>29</b>
-----------------------------------	-----------

<b>LEXIQUE .....</b>	<b>33</b>
----------------------	-----------

# GENERALITES

## I - OBJECTIF DES TRAVAUX PRATIQUES

La physique est la science qui détermine les lois auxquelles obéissent les phénomènes de la nature ; elle étudie aussi les propriétés de la matière. Elle a été développée grâce à la méthode expérimentale, qui consiste à vérifier toutes les lois physiques par des expériences reproductibles.

L'enseignement universitaire est formé en général de trois parties essentielles, à savoir le **cours**, les travaux dirigés (**TD**) et les travaux pratiques (**TP**).

Le cours est la partie fondamentale qui explique théoriquement certains phénomènes physiques.

Les travaux dirigés permettent de comprendre certaines théories vues dans le cours à l'aide d'exercices et de problèmes.

Les travaux pratiques permettent d'illustrer par des expériences, certains phénomènes physiques vus dans le cours.

L'étude expérimentale d'un phénomène physique nécessite un appareillage scientifique, qui permet de réaliser des montages et de faire des mesures. Ces dernières nous permettent de vérifier la validité de certaines théories et de déterminer certaines grandeurs physiques.

## II - INCERTITUDES SUR LES MESURES

L'appareillage ainsi que les méthodes utilisées n'étant pas parfaits, les grandeurs physiques (masse, temps, ...) sont toujours déterminées de manière approchée. Ainsi, toute mesure est entachée d'une certaine incertitude due aux imperfections de l'instrument utilisé et des erreurs faites par l'opérateur.

### 1- Types d'incertitudes

Il y a plusieurs types d'incertitudes :

#### a- Incertitude systématique

**Incertitude systématique** = la plus petite grandeur, qu'on peut mesurer avec un instrument.

Elle provient de la limite de la mesure permise par l'instrument utilisé.

#### Exemples :

- 1- L'incertitude systématique provenant de la mesure d'une longueur  $\ell$ , par une règle graduée en millimètres est **1 mm**, car la plus petite longueur qu'on peut mesurer avec cette règle est 1 mm. Dans ce cas :

$$(\Delta \ell)_{\text{systématique}} = \mathbf{1 \text{ mm}}. (\Delta \text{ représente ici le symbole de l'incertitude}).$$

- 2- Une balance digitale (numérique) qui permet des mesures avec un chiffre après la virgule (**m = 12,4 g** par exemple), a une incertitude systématique  $(\Delta m)_{\text{systématique}} = \mathbf{0,1 \text{ g}}$ .

### **b- Incertitude accidentelle**

Cette incertitude est due à l'opérateur, lorsqu'il fait **n** mesures ( $g_1, g_2, \dots, g_n$ ) d'une grandeur physique **G** dans les mêmes conditions. Pour la calculer, on prend la valeur moyenne :

$$g_{\text{moyen}} = \frac{1}{n} (g_1 + g_2 + \dots + g_n) \quad n \geq 2$$

L'incertitude accidentelle est la valeur la plus grande entre les écarts  $|g_{\text{moyen}} - g_i|$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) :

$$(\Delta g)_{\text{accidentelle}} = \sup \{ |g_{\text{moyen}} - g_1|, |g_{\text{moyen}} - g_2|, \dots, |g_{\text{moyen}} - g_n| \}$$

Cette incertitude provient par exemple :

- des erreurs de parallaxe (l'œil de l'opérateur n'est pas perpendiculaire au plan de la lecture),
- du mauvais choix du calibre de l'appareil (voltmètre, ampèremètre, ...),
- de la finesse du spot d'un oscilloscope mal réglée.

### **c- Incertitude absolue**

L'incertitude absolue  $\Delta g$  est la somme des deux incertitudes précédentes :

$$\Delta g = (\Delta g)_{\text{systématique}} + (\Delta g)_{\text{accidentelle}}$$

C'est une quantité **toujours positive** et de **même unité que G**. La valeur exacte **g** sera donc comprise entre :  $g_{\text{moyen}} - \Delta g$  et  $g_{\text{moyen}} + \Delta g$  :  $g_{\text{moyen}} - \Delta g \leq g \leq g_{\text{moyen}} + \Delta g$ .

**NB : ♣**  $\Delta g$  est toujours très inférieure à **g** ( $\Delta g \ll g$ ).

♣  $\Delta g$  est toujours positive ( $\Delta g \geq 0$ ).

♣  $\Delta g = (\Delta g)_{\text{systématique}}$  lorsqu'on fait une seule mesure.

#### **Exemple :**

On veut mesurer la longueur  $\ell$  d'un fil à l'aide d'une règle graduée en millimètres. L'incertitude systématique dans ce cas est :  $(\Delta \ell)_{\text{systématique}} = 1 \text{ mm} = 0,1 \text{ cm}$ .

Pour déterminer l'incertitude accidentelle, on fait cinq mesures successives ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) de la longueur  $\ell$ . On trouve alors les valeurs suivantes :

$$\ell_1 = 13 \text{ cm} ; \ell_2 = 13,4 \text{ cm} ; \ell_3 = 13,6 \text{ cm} ; \ell_4 = 13,5 \text{ cm} \text{ et } \ell_5 = 13 \text{ cm}.$$

La valeur moyenne de  $\ell$  est :  $\ell_{\text{moyen}} = 13,3 \text{ cm}$ .

Les écarts en valeur absolue  $|\ell_{\text{moyen}} - \ell_i|$  (avec  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) par rapport à la moyenne sont : **0,3 cm ; 0,1 cm ; 0,3 cm ; 0,2 cm et 0,3 cm.**

Le plus grand écart ( $\sup |\ell_{\text{moyen}} - \ell_i|$ ) est égal à **0,3 cm**. Il correspond à l'incertitude accidentelle  $(\Delta \ell)_{\text{accidentelle}}$ .

L'incertitude absolue  $\Delta \ell$  est :

$$\Delta \ell = (\Delta \ell)_{\text{systématique}} + (\Delta \ell)_{\text{accidentelle}} = 0,1 \text{ cm} + 0,3 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$$

Le résultat final sera écrit sous la forme :  $\ell = (13,3 \pm 0,4) \text{ cm}$ .

La valeur réelle de  $\ell$  (inconnue), se trouve dans l'intervalle  $[(13,3 - 0,4) \text{ cm} ; (13,3 + 0,4) \text{ cm}]$ , c'est-à-dire dans l'intervalle **[12,9 cm ; 13,7 cm]**, ou encore :  **$12,9 \text{ cm} \leq \ell_{\text{réelle}} \leq 13,7 \text{ cm}$** .

### Remarques :

- Si dans une série de mesures, une valeur est trop écartée de la moyenne, elle doit être refaite.
- Le résultat d'une mesure **g** doit être toujours accompagné de son incertitude absolue  $\Delta g$  et de son unité exprimée, en général, dans le système international [S.I].

$$G = (g \pm \Delta g) \text{ unité}$$

- Il faut donner la valeur de l'incertitude absolue avec un seul chiffre significatif.

### Exemple :

Le calcul de l'indice **n** d'un milieu donne le résultat suivant : **n = (1, 335 ± 0,052)**.

Ce résultat doit être arrondi ; on a alors : **n = (1,34 ± 0,05)**.

### d- Incertitude relative

On appelle incertitude relative (ou précision) sur **G**, la quantité  $\frac{\Delta g}{g_{\text{moyen}}}$ . Elle est positive, sans unité et souvent exprimée en pourcentage (%). Elle renseigne mieux que l'incertitude absolue sur le degré d'exactitude d'une mesure. Une mesure est d'autant plus précise que son incertitude relative est faible.

### Exemple:

$$m_1 = (200 \pm 10) \text{ g et } m_2 = (10 \pm 1) \text{ g.}$$

$$\frac{\Delta m_1}{m_1} = \frac{10}{200} = 0,05 = \frac{5}{100} = 5\% \text{ et } \frac{\Delta m_2}{m_2} = \frac{1}{10} = 0,1 = \frac{10}{100} = 10\%$$

Bien que  $\Delta m_1 > \Delta m_2$ , la précision sur **m<sub>1</sub>** (5%) est meilleure que celle sur **m<sub>2</sub>** (10%).

## **2- Calcul d'incertitudes**

En général, la détermination d'une grandeur **G** s'effectue par la mesure d'autres grandeurs physiques intermédiaires **X, Y, Z, ...** La grandeur **G** est alors définie par sa valeur **g** telle que **g = f(x, y, z, ...)**.

Connaissant les incertitudes  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \dots$  des mesures **x, y, z, ...**, on détermine alors l'incertitude absolue  $\Delta g$  en fonction de  $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \dots$  en faisant un calcul d'incertitudes.

Pour faire ce calcul, on suit les étapes suivantes :

- On calcul séparément les dérivées partielles  $\frac{\partial g}{\partial x}, \frac{\partial g}{\partial y}, \frac{\partial g}{\partial z}, \dots$  puis on détermine la différentielle **dg** :

$$dg = \frac{\partial g}{\partial x} dx + \frac{\partial g}{\partial y} dy + \frac{\partial g}{\partial z} dz + \dots$$

- On fait la majoration physique pour calculer  $\Delta g$  (**d** est remplacé par  $\Delta$  et les coefficients de **dx, dy, ...** sont pris en valeur absolue).

$$\Delta g = \left| \frac{\partial g}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial g}{\partial y} \right| \Delta y + \left| \frac{\partial g}{\partial z} \right| \Delta z + \dots$$

**Exemple 1 :**

$$g = -3xy + \frac{2x}{t} + \frac{1}{4z} + 5z^2$$

**1<sup>ère</sup> étape :** calcul des différentielles partielles :

$$\frac{\partial g}{\partial x} = -3y + \frac{2}{t}, \quad \frac{\partial g}{\partial y} = -3x, \quad \frac{\partial g}{\partial z} = 10z - \frac{1}{4z^2}, \quad \frac{\partial g}{\partial t} = -\frac{2x}{t^2}$$

**2<sup>ème</sup> étape :** calcul de la différentielle totale  $dg$  :

$$dg = (-3y + \frac{2}{t})dx + (-3x)dy + (10z - \frac{1}{4z^2})dz + (-\frac{2x}{t^2})dt$$

**3<sup>ème</sup> étape :** majoration physique :

$$\Delta g = \left| -3y + \frac{2}{t} \right| \Delta x + \left| -3x \right| \Delta y + \left| 10z - \frac{1}{4z^2} \right| \Delta z + \left| -\frac{2x}{t^2} \right| \Delta t$$

Lorsque l'expression de  $g$  comporte des produits et des quotients, on peut simplifier les calculs en utilisant la "méthode des logarithmes", comme dans l'exemple suivant :

**Exemple 2 :** 
$$g(x, y) = \frac{2x^2(y-1)}{x-4y}$$

$$\ln g = \ln(2x^2) + \ln(y-1) - \ln(x-4y) \Rightarrow d(\ln g) = d(\ln(2x^2)) + d(\ln(y-1)) - d(\ln(x-4y))$$

D'où : 
$$\frac{dg}{g} = \frac{d(2x^2)}{2x^2} + \frac{d(y-1)}{y-1} - \frac{d(x-4y)}{x-4y} = \frac{2dx}{x} + \frac{dy}{y-1} - \frac{dx}{x-4y} + \frac{4dy}{x-4y}$$

Arrivé à ce stade, on doit regrouper les termes qui ont le même élément différentiel ( $dx$  ou  $dy$ ) :

$$\frac{dg}{g} = \left( \frac{2}{x} - \frac{1}{x-4y} \right) dx + \left( \frac{1}{y-1} + \frac{4}{x-4y} \right) dy = \frac{1}{(x-4y)} \left( \left( \frac{x-8y}{x} \right) dx + \left( \frac{x-4}{y-1} \right) dy \right)$$

On passe ensuite aux incertitudes, en faisant la majoration physique et en remplaçant " $d$ " par " $\Delta$ " :

$$\Delta g = \frac{g}{|x-4y|} \left( \left| \frac{x-8y}{x} \right| \Delta x + \left| \frac{x-4}{y-1} \right| \Delta y \right)$$

### III - COMPARAISON DES VALEURS ET DES METHODES

Soient  $g_1$  et  $g_2$  deux valeurs d'une même grandeur  $G$ , obtenues par deux méthodes de mesure différentes, avec les incertitudes absolues  $\Delta g_1$  et  $\Delta g_2$ . Pour faire une comparaison, il y a deux façons :

1 - **Comparaison de deux valeurs** en utilisant le **théorème de comparaison** : avant de dire que  $g_1$  est égale environ à  $g_2$ , on doit appliquer le théorème suivant :

si  $|g_1 - g_2| \leq \Delta g_1 + \Delta g_2$ , alors la différence entre les valeurs  $g_1$  et  $g_2$  n'a pas de signification physique.

Dans ce cas, nous avons  $g_1 \approx g_2$  ; on peut dire alors que les intervalles  $[g_1 - \Delta g_1, g_1 + \Delta g_1]$  et  $[g_2 - \Delta g_2, g_2 + \Delta g_2]$  ont une intersection non vide.

**NB : Pour comparer deux valeurs, il faut toujours utiliser le théorème de comparaison.**

2 - **Comparaison de deux méthodes** : si  $\frac{\Delta g_1}{g_1} < \frac{\Delta g_2}{g_2}$ , alors la première méthode de

mesure qui donne  $g_1$  est plus précise que celle qui donne  $g_2$ .

**Exemple :** dans une expérience, la méthode d'association en série donne la valeur d'une résistance  $R_s = (150 \pm 1) \Omega$ , alors que l'association en parallèle donne  $R_p = (148 \pm 2) \Omega$ . On a  $\Delta R_s / R_s = 0,007$  et  $\Delta R_p / R_p = 0,014$  ; la première méthode est donc la plus précise.

## IV- REPRESENTATION GRAPHIQUE

### 1- Rappels théoriques

La représentation graphique de la fonction  $y = f(x) = ax + b$  est une droite.

Considérons deux points  $A_1(x_1, y_1)$  et  $A_2(x_2, y_2)$  de la droite **D** (figure 1). On appelle pente de cette droite, le rapport  $p = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$  ; on montre que  $p = a$ .

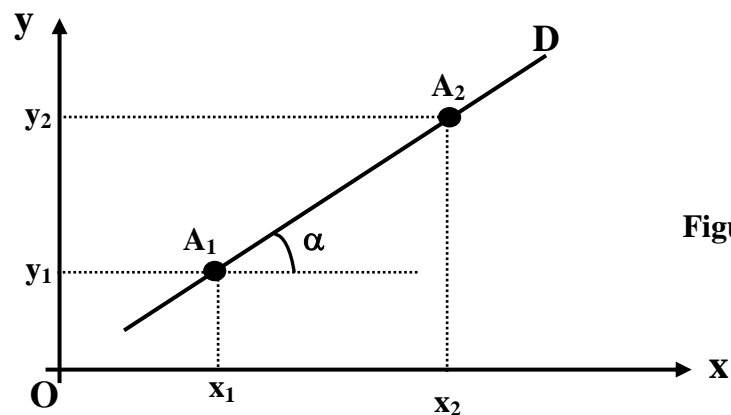


Figure 1

En mathématiques, quand le repère  $xOy$  est orthonormé, la pente  $p = \tan \alpha$  est un nombre sans unité.

En physique, les grandeurs **X** et **Y** ont des unités. Par conséquent la pente  $p = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

a aussi une unité ; on a donc :

$p \neq \tan \alpha$

### 2- Traçage d'une courbe

Chaque grandeur **X** (ou **Y**) est mesurée avec une certaine incertitude. Les résultats de mesure  $x \pm \Delta x$  et  $y \pm \Delta y$  sont en général regroupés dans un tableau :

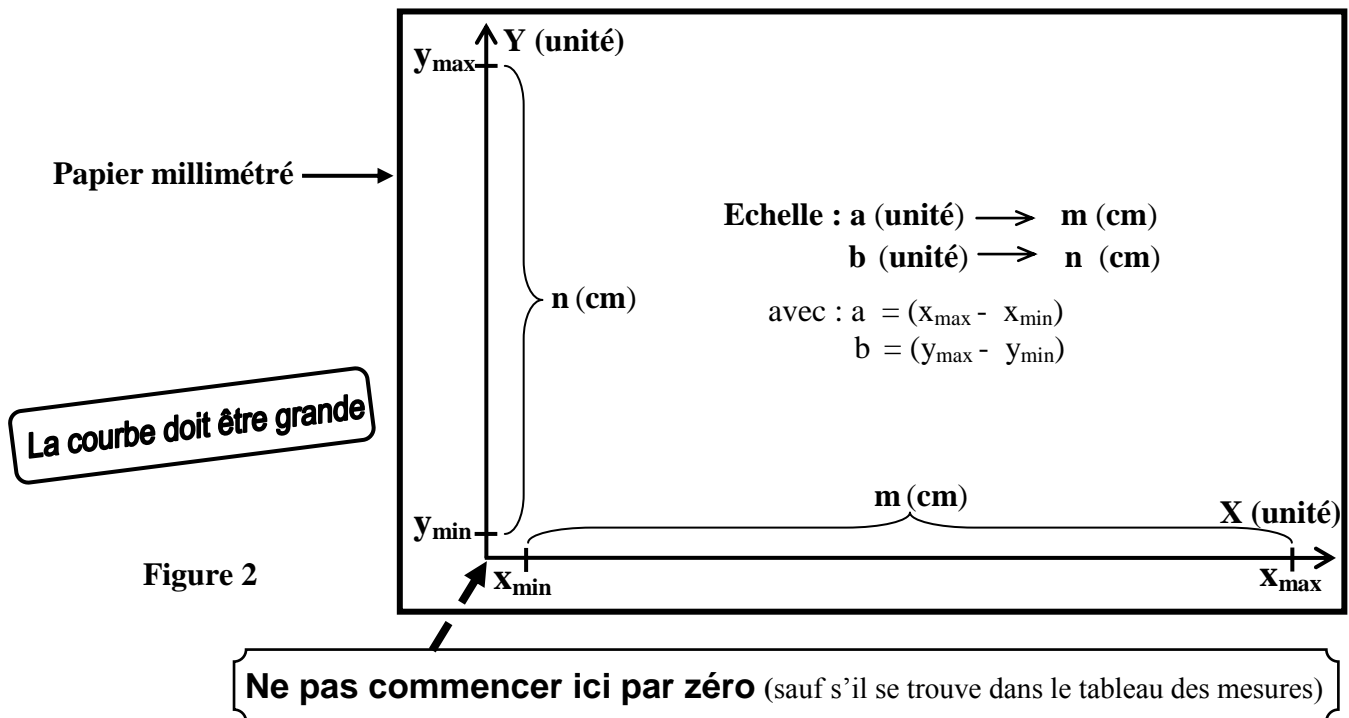
	<b>X</b>	$\Delta X$	<b>Y</b>	$\Delta Y$
<b>A<sub>1</sub></b>	<b>x<sub>1</sub></b>	$\Delta x_1$	<b>y<sub>1</sub></b>	$\Delta y_1$
<b>A<sub>2</sub></b>	<b>x<sub>2</sub></b>	$\Delta x_2$	<b>y<sub>2</sub></b>	$\Delta y_2$
<b>A<sub>3</sub></b>	<b>x<sub>3</sub></b>	$\Delta x_3$	<b>y<sub>3</sub></b>	$\Delta y_3$
...	...	...	...	...

**Pour tracer la courbe  $Y = f(X)$ , on procède de la façon suivante :**

- a- On commence par tracer les axes des abscisses **X** et des ordonnées **Y** sur les bords d'un papier millimétré ; les unités de **X** et de **Y** doivent être indiquées (figure 2).
- b- On choisit les échelles des axes de façon que la courbe occupe le maximum de surface du papier millimétré (la pente d'une droite obtenue à partir de ce graphe sera alors la plus précise). L'erreur commise généralement par les étudiants, est de commencer les graduations des axes par zéro, ce qui donne une petite courbe. Alors que pour avoir une grande courbe, les valeurs maximales et minimales de **X** et **Y** doivent être placées le plus près des bords du papier millimétré.

Pour déterminer l'échelle de l'axe horizontal, on mesure sur le papier millimétré la distance **m** (en centimètres), entre le minimum ( $x_{\min}$ ) et le maximum ( $x_{\max}$ ) de **X**. La différence ( $x_{\max} - x_{\min}$ ) = **a** (unité) correspond alors à **m** centimètres. On obtient ainsi : **a** (unité)  $\longrightarrow$  **m** (cm).

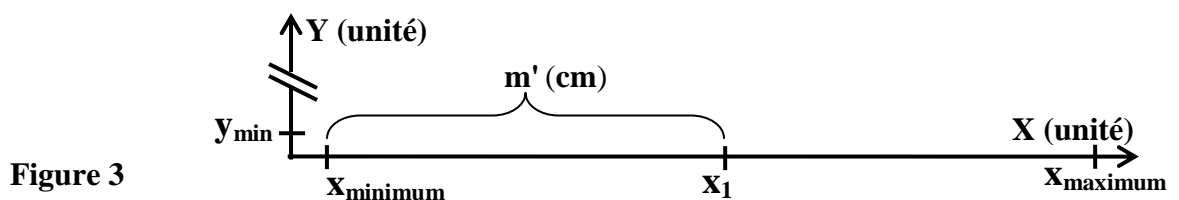
Pour déterminer l'échelle verticale, on procède de la même façon. On note **n**, la distance mesurée en centimètres sur le papier millimétré, entre  $y_{\min}$  et  $y_{\max}$  ; on pose ensuite ( $y_{\max} - y_{\min}$ ) = **b** (unité) et on a : **b** (unité)  $\longrightarrow$  **n** (cm).



Cette échelle servira à placer les autres points expérimentaux  $A_i (x_i, y_i)$  sur le graphe. Soit par exemple  $x_1$  (avec  $x_{\min} < x_1 < x_{\max}$ ), l'abscisse d'un point  $A_1 (x_1, y_1)$ . Pour placer  $x_1$  sur l'axe horizontal, on doit déterminer la distance **m'** (en cm) entre  $x_{\min}$  et  $x_1$  (figure 3). On utilise alors la règle de trois suivante :

$$a = (x_{\max} - x_{\min}) \text{ (unité)} \longrightarrow m \text{ (cm)}$$

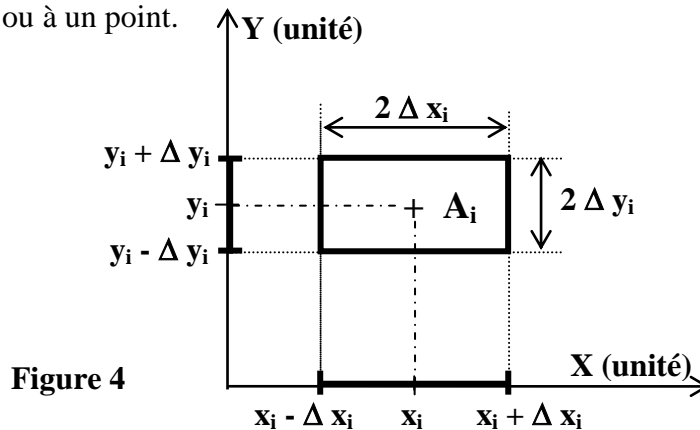
$$(x_1 - x_{\min}) \text{ (unité)} \longrightarrow m' \text{ (cm)} ; \text{ d'où : } m' = \frac{m}{a} (x_1 - x_{\min})$$





- c- On place sur la courbe les points expérimentaux  $A_i(x_i, y_i)$  en les marquant avec des croix. Lorsque la courbe n'est pas une droite, on joint ces points par des traits sans tenir compte des incertitudes.
- d- Lorsque la courbe est une droite, on tient compte des incertitudes. La mesure exacte alors de chaque point  $A_i(x_i, y_i)$  se trouve dans l'intervalle  $[x_i - \Delta x_i, x_i + \Delta x_i]$  pour l'axe des abscisses, et  $[y_i - \Delta y_i, y_i + \Delta y_i]$  pour l'axe des ordonnées. Ce qui se traduit sur le graphe par un segment horizontal de longueur  $2 \Delta x_i$  centré en  $x_i$  et par un segment vertical de longueur  $2 \Delta y_i$  centré en  $y_i$  (figure 4). Ceci permet de tracer un rectangle d'incertitude de cotés  $2 \Delta x_i$  et  $2 \Delta y_i$ , centré en  $A_i(x_i, y_i)$ . Ce rectangle contient l'ensemble des points dont les coordonnées  $x$  et  $y$  se trouvent dans les intervalles  $[x_i - \Delta x_i, x_i + \Delta x_i]$  et  $[y_i - \Delta y_i, y_i + \Delta y_i]$  ; ils vérifient tous les relations :  
 $x_i - \Delta x_i \leq x \leq x_i + \Delta x_i$  et  $y_i - \Delta y_i \leq y \leq y_i + \Delta y_i$ .

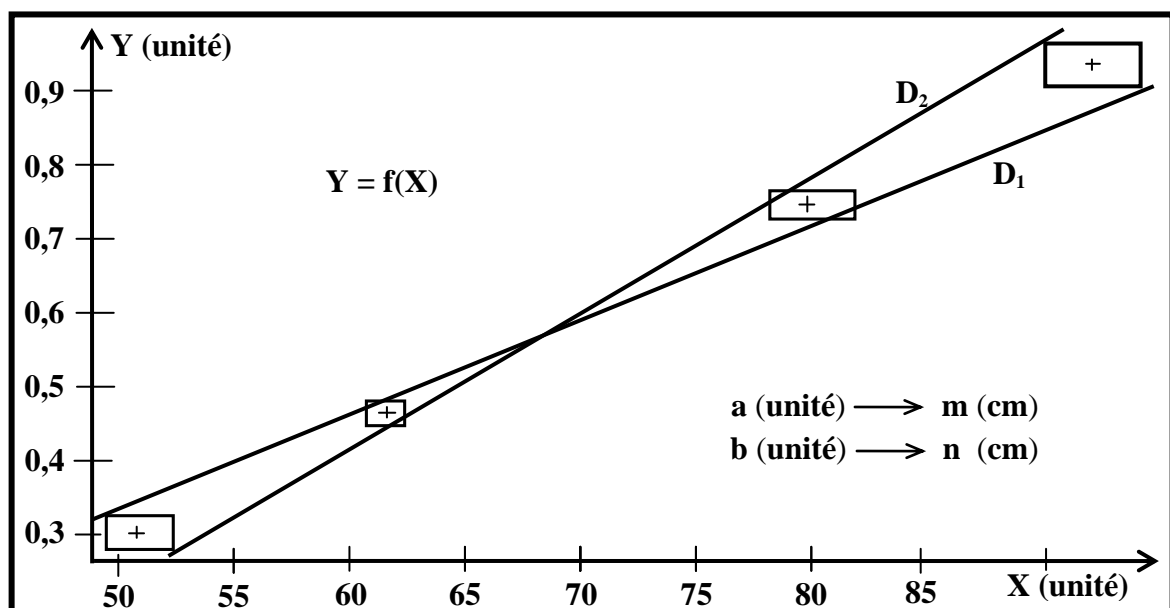
**Remarque** : si l'échelle ne permet pas de tracer un rectangle, ce dernier est réduit à un segment ou à un point.



- Autour de chaque point expérimental on trace un rectangle d'incertitude.
- e- On trace ensuite deux droites limites  $D_1$  et  $D_2$  ayant respectivement la pente minimale  $p_1$  et la pente maximale  $p_2$ .  $D_1$  et  $D_2$  doivent passer par le maximum de rectangles d'incertitudes (exemple figure 5). Ceci permet de calculer la pente moyenne  $p_{\text{moyenne}}$  et son incertitude  $\Delta p_{\text{moyenne}}$  comme suit :

$$p_{\text{moyenne}} = \frac{p_1 + p_2}{2} \quad \text{et} \quad \Delta p_{\text{moyenne}} = \frac{|p_1 - p_2|}{2}$$

- f- L'échelle ainsi que le titre de la courbe doivent être indiqués sur le papier millimétré. On ne porte sur les axes que les graduations principales (de dix en dix ou de un en un, etc.).



## V- MANIPULATION ET COMPTE-RENDU

Chaque séance de travaux pratiques est prévue pour faire une manipulation en relation avec une partie du cours de Physique. Chaque manipulation doit être bien préparée chez soi ; l'étudiant peut aussi passer dans la salle de T.P. avant sa séance pour voir l'appareillage. La séance de T.P. doit être entièrement consacrée à la réalisation des montages, aux mesures, au traçage des courbes et aux interprétations.

La manipulation est divisée essentiellement en trois parties :

- **But** : c'est l'objectif qu'il faut atteindre avec des moyens pratiques et qui doit être pris en considération tout au long de la manipulation.
- **Partie théorique** : elle comprend un résumé de la théorie ainsi que les lois du phénomène étudié. Les questions théoriques (calcul d'incertitudes, ...) doivent être traitées avant de venir à la salle des T. P.
- **Partie pratique** : elle concerne les mesures à faire dans la salle de TP ainsi que leur exploitation.

A la fin de chaque séance, le binôme (ou trinôme) doit remettre un compte-rendu (double feuille format papier ministre : voir figure 6), qui regroupe tous les résultats de la manipulation faite. Sur la première page doit figurer les noms des 2 ou 3 étudiants, la filière (SMIA ou SVTU), le groupe de TP ( $A_{11}$ ,  $A_{12}$ , ...,  $B_{72}$ ) et la date ; ceci doit éventuellement figurer sur les feuilles intercalaires et les papiers millimétrés. Laisser une marge (d'environ 3 cm) à gauche de **chaque page**. Ecrire le titre et le but de la manipulation. **La présentation du compte-rendu est prise en considération lors de la correction.**

Nom : ..... Filière : .....  
..... Groupe : .....  
..... Date : .....

3 cm

Titre de la manipulation

- **But**

- **Partie pratique**

1 -


Double feuille  
Format papier ministre

Figure 6

## VI - ORGANISATION DES TP

### 1- Organisation

Changement de filière : tout étudiant ayant fait un changement de filière (et dont le nom ne figure pas sur les listes affichées au bloc de TP de physique de S1 et S2), doit contacter immédiatement le responsable de TP. Il doit apporter une photocopie de son attestation d'inscription.

Annulation de dispense : les étudiants redoublants ayant une note de TP supérieure ou égale à 10/20 sont dispensés. Ceux dont la moyenne est comprise entre 10 et 11/20, peuvent refaire les TP après avoir déposé une demande auprès du responsable (il faut remplir un imprimé).

Nouvel inscrit : tout étudiant nouvellement inscrit (et dont le nom ne figure pas sur les listes affichées au bloc de TP de physique de S1 et S2), doit contacter immédiatement le responsable de TP. Il doit apporter une photocopie de son attestation d'inscription.

#### Absence

- La présence aux travaux pratiques est obligatoire.
- Toute absence non justifiée est sanctionnée par une note égale à zéro. **La justification doit être écrite et comporter un cachet.**
- L'absence non justifiée à deux séances de TP ne permet pas la validation du module de physique.

#### Coefficient des TP

- La note finale de TP est composée d'un contrôle individuel (30 %) et de la moyenne des comptes rendus (70 %). Le coefficient des TP est 1/4 ; celui de l'examen écrit est 3/4.

Réclamations : les notes de TP de physique sont affichées à la fin du semestre. Au cas où il y'a des erreurs, l'étudiant peut faire une réclamation auprès des responsables dans les 48 heures qui suivent l'affichage.

### 2- Recommandations générales

- Chaque binôme (ou trinôme) doit avoir la dernière version du polycopié, du papier millimétré, une calculatrice, une règle, un crayon, une gomme, etc.

- Dans la salle des travaux pratiques les étudiants doivent d'abord prendre toutes les mesures, puis tracer les courbes et faire des calculs détaillés. Les étudiants de chaque binôme (ou trinôme) doivent répartir les tâches entre eux.

- **Ne jamais alimenter un montage** (branchement de la prise du générateur) ou **allumer un générateur** : c'est l'enseignant qui s'en occupe après vérification du montage. Autrement c'est l'étudiant qui sera responsable de la détérioration éventuelle du matériel.

- Pendant la séance de T. P., il ne faut pas changer le matériel d'une paillasse à l'autre (fils de connexion, voltmètre, ...) et toute détérioration du matériel doit être signalée.

- Laisser les paillasses propres et ne pas écrire dessus.

- Avant de partir : \* ranger le matériel et les tabourets ;

\* vider l'eau du calorimètre et débrancher les fils de connexion ;

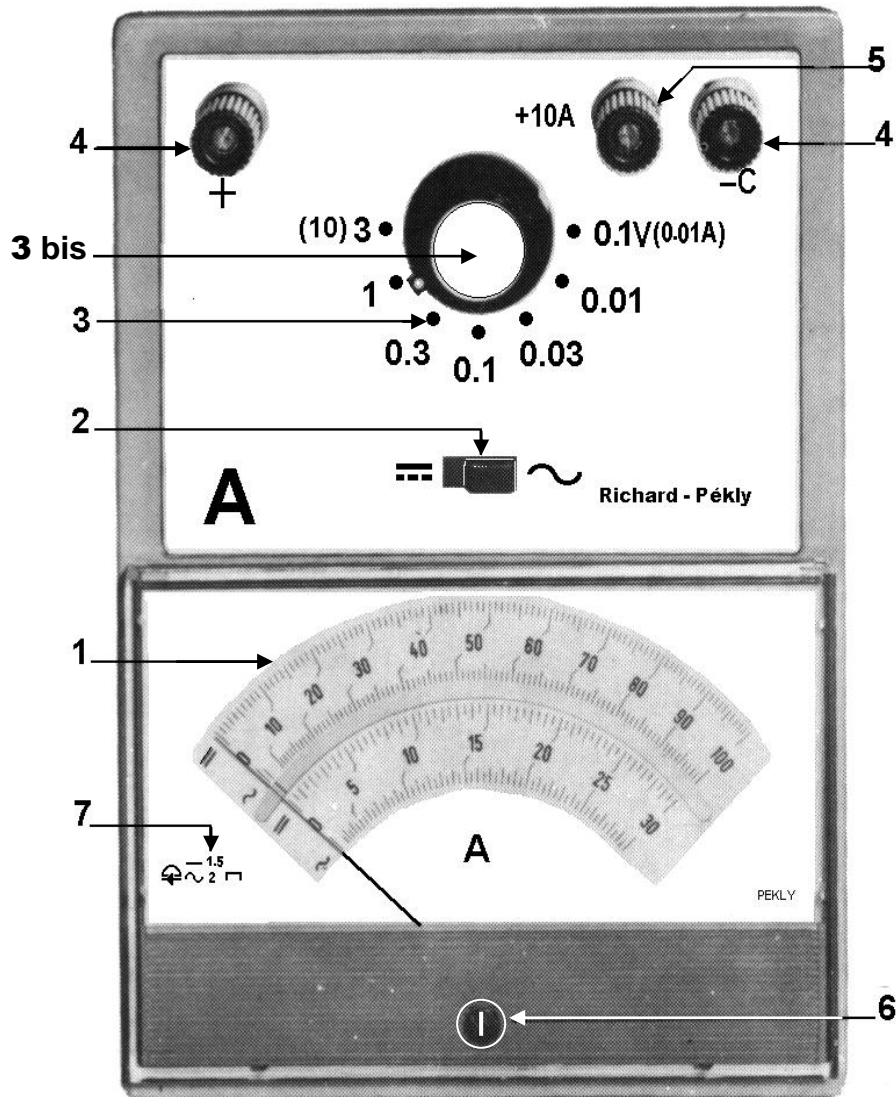
\* éteindre les appareils électriques.

## VII - UTILISATION DE L'AMPEREMETRE ET DU VOLTMETRE

L'ampèremètre et le voltmètre sont des appareils qui permettent de mesurer respectivement un courant et une tension. Ce sont des appareils à cadre mobile où se déplace une aiguille sur un cadran gradué (figure 7).

## 1- Schéma de l'ampèremètre

Les différentes parties d'un ampèremètre sont présentées ci-dessous :



### Figure 7

- 1 :** Cadran comportant **l'échelle** et **l'aiguille** (sur cet appareil il y a 4 échelles : **30** et **100** divisions pour le courant continu ( $\text{---}$ ) et la même chose pour le courant alternatif ( $\text{~}$ )).
- 2 :** Sélecteur pour choisir la **nature du courant** à mesurer (**continu** ou **alternatif**).
- 3 :** **Calibre** (de **3** à **0,01** Ampères), sélectionné par le commutateur **3 bis**.
- 4 :** **Bornes de connexion**. La borne **4** notée **C** est commune ; elle doit être toujours connectée.
- 5 :** **Borne** correspondant au calibre "**+ 10 A**", utilisée lorsque le courant à mesurer est supérieur à **3A**. Dans ce cas, le commutateur **3 bis** doit être devant le calibre **(10)3**.
- 6 :** **Vis** pour ajuster l'aiguille au zéro.
- 7 :** **Classe** de l'appareil : elle a pour valeur **1,5** en continu et **2** en alternatif sur cet appareil.

L'Ampèremètre se branche en série aux bornes du circuit étudié alors que le voltmètre se branche en parallèle.

Le calibre **C** est la valeur maximale que peut mesurer un appareil. Son unité est celle de la grandeur mesurée.

## 2- Comment mesurer une grandeur électrique **G** (**U** ou **I**)

La mesure **g** d'une grandeur électrique **G** (une tension ou une intensité de courant), se fait de la façon suivante :

- On commence par choisir le calibre le plus grand (calibre **10 A** pour l'ampèremètre) afin d'éviter la détérioration de l'appareil. Cette étape nous permet d'avoir aussi l'ordre de grandeur de la mesure **g**.

- On cherche le calibre qui permet d'obtenir la plus grande déviation de l'aiguille, sans dépasser le maximum de l'échelle. On lit ensuite **N** : le **nombre de divisions** lues sur l'échelle choisie, indiqué par la position de l'aiguille sur le cadran.

- La valeur d'une tension **U** par exemple s'exprime par la relation suivante :

$$U = \frac{\text{Calibre} \times N}{\text{Echelle}} \quad \text{avec une incertitude} \quad \Delta U = \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100}$$

(La classe d'un voltmètre est un nombre sans unité ; elle est spécifique à chaque appareil).

**Exemple** (figure 8) : pour une tension alternative, on a : **Calibre = 10 V**, **Echelle 30 (∞)**, **N = 12** graduations ; on a alors : **U = 4 V**.

On retrouve le même résultat en utilisant l'échelle 100 alternatif.

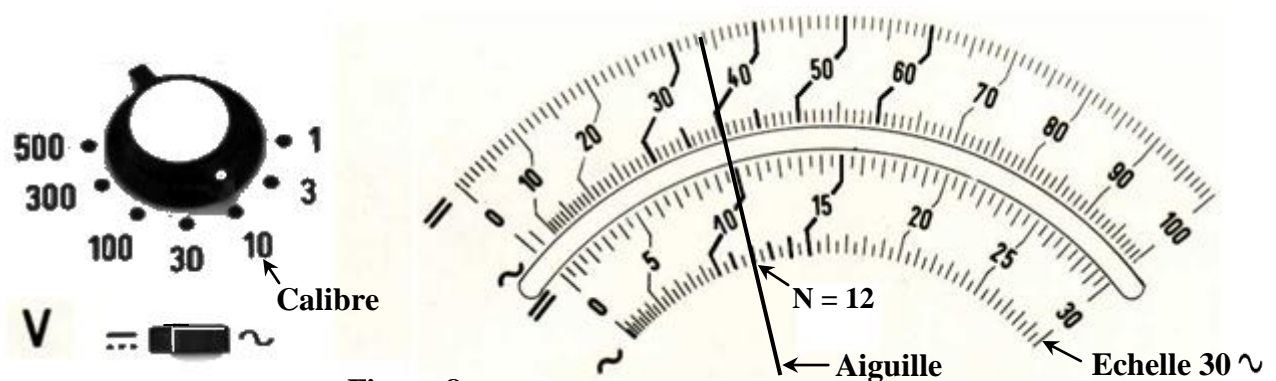


Figure 8

**NB :** Les mêmes formules sont valables pour le courant **I**, lu sur un ampèremètre. Il suffit de remplacer **U** par **I**.

### Remarques :

- Avant toute mesure, il est nécessaire de vérifier si l'aiguille est confondue avec le zéro de l'échelle, puis sélectionner le plus grand calibre.

- Le cadran est muni généralement d'un miroir ; pour relever une mesure, il faut se positionner de telle manière que l'aiguille et son image sur le miroir soient confondues, afin d'éviter les erreurs de parallaxe.

- Pour minimiser l'incertitude  $\Delta U$  (ou  $\Delta I$ ), on cherche toujours le calibre qui donne le maximum de déviation de l'aiguille du voltmètre (ou de l'ampèremètre), sans que celle-ci sort de l'échelle.

## VIII - UNITES DU SYSTEME INTERNATIONAL (SI)

### 1- Les unités de base du système SI

Grandeur	Unité	Symbole	Dimension
Longueur	mètre	<b>m</b>	L
Masse	kilogramme	<b>kg</b>	M
Temps	seconde	<b>s</b>	T
Intensité de courant	ampère	<b>A</b>	I
Température	kelvin	<b>K</b>	$\Theta$
Intensité lumineuse	candela	<b>cd</b>	J
Quantité de matière	mole	<b>mol</b>	d

### 2- Les unités supplémentaires

Grandeur	Unité	Symbole	Dimension
Angle	radian	<b>rad</b>	$\theta$
Angle solide	stéradian	<b>sr</b>	$\Omega$

### 3- Quelques unités dérivées ayant reçu un nom " spécifique "

Grandeur	Unité	Symbole	Dimension	« Correspondance »
Activité radioactive	becquerel	<b>Bq</b>	1/T	$s^{-1} = \text{Bq}$
Charge électrique	coulomb	<b>C</b>	$Q = IT$	$A.s = C$
Energie, travail	joule	<b>J</b>	$ML^2/T^2$	$kg.m^2.s^{-2} = J$
Force	newton	<b>N</b>	$ML/T^2$	$kg.m.s^{-2} = N$
Fréquence	hertz	<b>Hz</b>	1/T	$s^{-1} = \text{Hz}$
Pression	pascal	<b>Pa</b>	$M/LT^2$	$kg.m^{-1}.s^{-2} = \text{Pa}$
Puissance	watt	<b>W</b>	$P = ML^2/T^3$	$kg.m^2.s^{-3} = W$
Résistance électrique	ohm	<b><math>\Omega</math></b>	$P/I^2 = U/I$	$kg.m^2.s^{-3}.A^{-2} = \Omega$
Tension électrique	volt	<b>V</b>	$U = P/I$	$kg.m^2.s^{-3}.A^{-1} = V$

### 4- Autres unités dérivées

Grandeur	Unité	Symbole	Dimension
Accélération	mètre par seconde carrée	<b><math>m.s^{-2}</math></b>	$L/T^2$
Accélération angulaire	radian par seconde carrée	<b><math>rad.s^{-2}</math></b>	$\theta/T^2$
Masse volumique	kilogramme par mètre cube	<b><math>kg.m^{-3}</math></b>	$M/L^3$
Raideur	newton par mètre	<b><math>N.m^{-1}</math></b>	$ML^2/T^2$
Vitesse	mètre par seconde	<b><math>m.s^{-1}</math></b>	$L/T$
Vitesse angulaire	radian par seconde	<b><math>rad.s^{-1}</math></b>	$\theta/T$

# CALORIMETRIE

## I- BUT

Le but de cette manipulation consiste à déterminer **J**, le coefficient reliant le joule et la calorie par la méthode électrique.

## II- PARTIE THEORIQUE

La calorimétrie consiste à déterminer expérimentalement des quantités de chaleur.

La chaleur (une forme d'énergie) est une grandeur physique qui n'est pas directement mesurable ; c'est pourquoi il est nécessaire de mesurer son effet sur un autre corps.

Cet effet peut :

- servir à augmenter ou diminuer la température d'un corps sans modifier son état physique ; cela correspond à la notion de chaleur spécifique ;

ou bien

- servir à un changement d'état physique d'un corps sans modifier sa température ; cela correspond à la notion de chaleur latente.

La chaleur spécifique d'un corps est la quantité de chaleur nécessaire à l'unité de masse de ce corps pour élever sa température d'un degré. Alors que la chaleur latente est la chaleur nécessaire pour effectuer un changement d'état physique (vaporisation, fusion, etc.) d'une unité de masse d'un corps à température constante.

La chaleur spécifique et la chaleur latente, ainsi que d'autres grandeurs thermiques, peuvent être mesurées à l'aide d'un appareil appelé calorimètre. Le calorimètre est constitué d'un vase, appelé vase calorimétrique, isolé thermiquement du milieu extérieur.

J. P. JOULE (1818-1889) a montré que la chaleur et le travail sont deux modes de transfert d'énergie (premier principe de la thermodynamique). On peut envisager plusieurs modes de transfert de la chaleur :

- \* Tout corps porté à une température émet un rayonnement thermique sous forme d'ondes électromagnétiques. Il s'agit du transfert de chaleur par rayonnement.
- \* Lorsque deux corps **A** et **B** baignent dans un fluide (exemple l'air), ce fluide se réchauffe au contact du corps chaud, il se refroidit au contact du corps froid auquel il transmet de la chaleur. Il s'agit du transfert de chaleur par convection.
- \* Si deux points d'un même corps sont à des températures différentes, la température varie alors de façon continue jusqu'à ce que tous les points du même corps soient à la même température. Il s'agit du transfert de chaleur par conduction.

### 1- Forme différentielle de la chaleur

Lors d'une transformation élémentaire, la quantité de chaleur échangée entre un système et le milieu extérieur (voir cours) s'écrit dans le diagramme (**P,T**) :

$$\delta Q = C_p dT + h dP \quad (1)$$

avec **C<sub>p</sub>** la capacité calorifique à pression constante et **h** un coefficient calorimétrique.

Lorsque la transformation s'effectue à pression constante, ce qui sera le cas lors de cette manipulation, la relation (1) devient :

$$\delta Q = C_p dT \quad (2)$$

On définit aussi la chaleur massique  $c_p$  qui correspond à la capacité calorifique par unité de masse. On a alors  $C_p = mc_p$  où  $m$  est la masse du corps considéré.

On peut écrire la relation (2) sous la forme :

$$\delta Q = mc_p dT \quad (3)$$

## 2- Méthode électrique

La méthode électrique consiste à chauffer l'eau par effet Joule. Le passage d'un courant électrique d'intensité  $I$  (A) dans une résistance sous une tension  $U(V)$ , plongée dans une masse  $m(g)$  d'eau pendant un temps  $t$  (s), va élever la température de l'eau de  $T_i$  (°C) à  $T_f$  (°C).

L'énergie apportée par effet Joule est :

$$W = U I t \quad (\text{en joules})$$

Si l'on suppose que les échanges thermiques s'effectuent sans perte, la chaleur reçue par la masse d'eau  $m$  est obtenue à partir de la relation (3) :

$$Q_m = mc_p (T_f - T_i) \quad (\text{en calories})$$

En réalité, il faut tenir compte de l'énergie absorbée par les parois du calorimètre. Cette perte d'énergie est équivalente à celle absorbée par une masse d'eau  $\mu$  (valeur en eau du calorimètre).

$$Q_\mu = \mu c_p (T_f - T_i)$$

La chaleur totale reçue par l'eau et le calorimètre est :

$$Q = Q_m + Q_\mu = (m + \mu) c_p (T_f - T_i)$$

Le coefficient  $J$  reliant la quantité de chaleur  $Q$  exprimée en calories au travail  $W$  exprimé en Joules s'obtient par le rapport :

$$J = \frac{W}{Q} = \frac{U I t}{(m + \mu) c_p (T_f - T_i)}$$

avec  $c_p = (1 \pm 0,1) \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  et  $\mu$  sera donnée en salle de TP.

Une correction sur le terme  $(T_f - T_i)$  peut être faite. Pour cela, il faut tracer la courbe expérimentale  $T = f(t)$ , qui va permettre de tenir compte des pertes calorifiques (voir figure 6). Si on considère que le chauffage se fait instantanément à l'instant moyen  $(t' + t'')/2$ , alors la variation de température considérée est déterminée graphiquement :

$$(T_f - T_i)_{\text{corrigée}} = (T_{C'} - T_{B'})$$

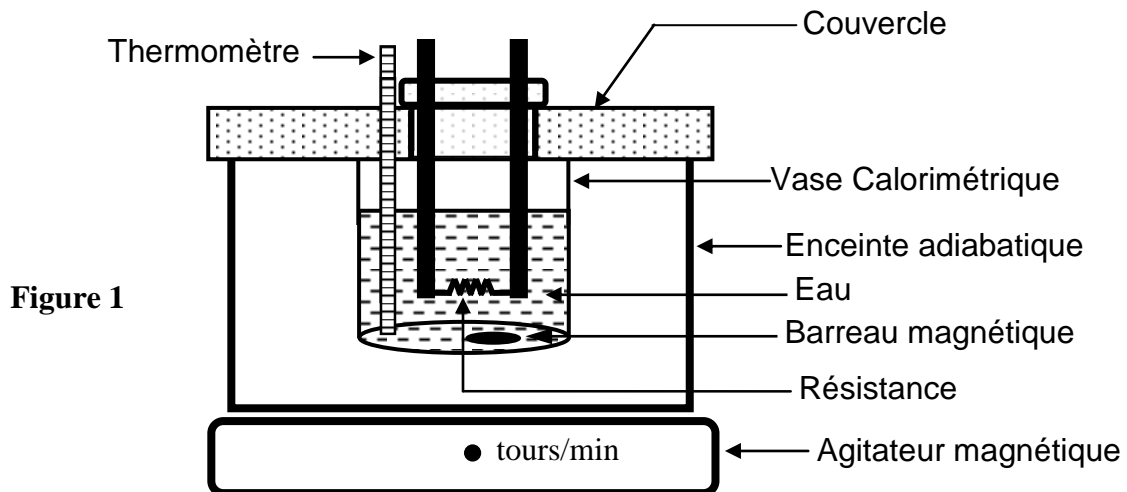
**Remarques :** l'état d'équilibre de notre système est défini comme suit :

- Equilibre thermique : la température est homogène dans tout le système (d'où l'intérêt d'utiliser un agitateur magnétique).
- Equilibre mécanique : au niveau de la surface de l'eau, il y a un équilibre mécanique puisque les deux forces de pression sont égales ; ce qui nous permet de considérer que la transformation se fait à pression constante.

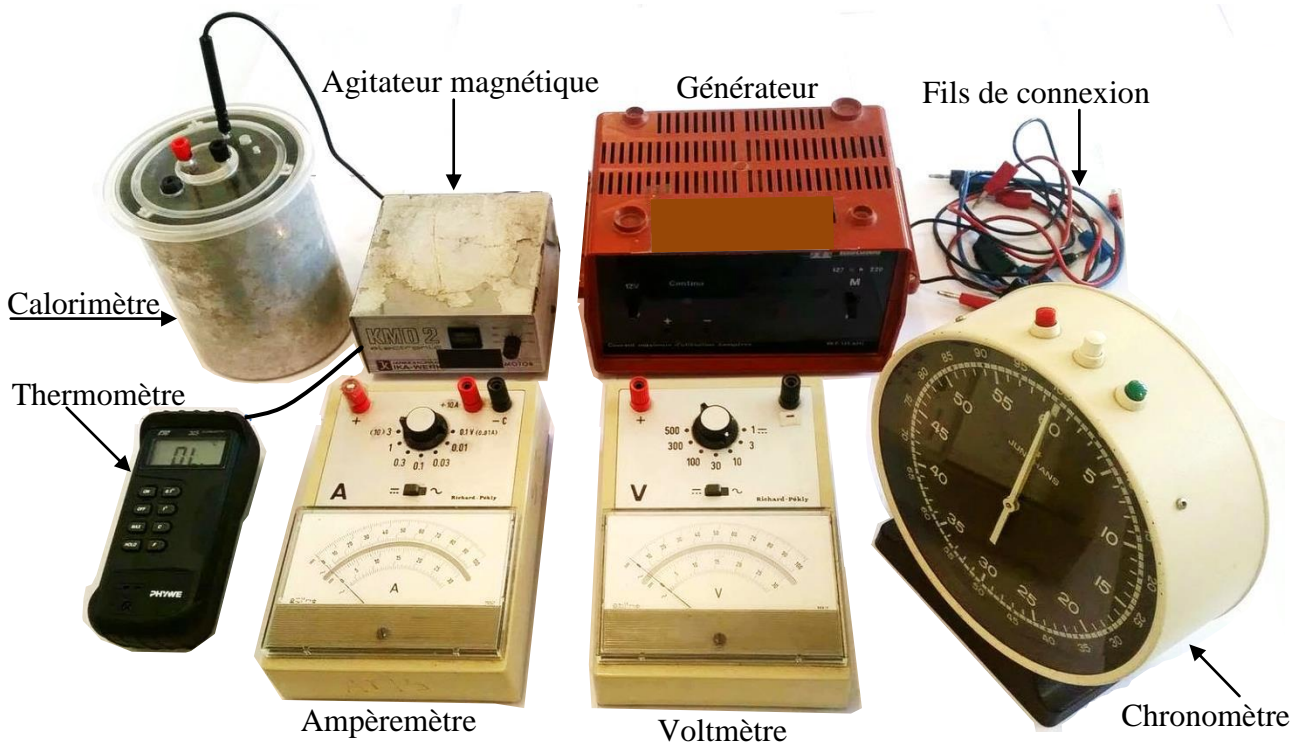


### III- MATERIEL

Le calorimètre utilisé dans cette manipulation est celui de **BERTHELOT**. Il est essentiellement constitué de deux récipients cylindriques en aluminium, l'un contenant de l'eau, l'autre étant vide. Ces récipients constituent une enceinte adiabatique (pas d'échange de chaleur avec l'extérieur). Le grand récipient contient uniquement le petit récipient (vase calorimétrique). Ce dernier contient l'eau, le barreau magnétique et les accessoires (figure 1).



Le calorimètre est fermé par un couvercle percé de trous permettant le passage d'un thermomètre et d'une résistance électrique chauffante. Le dispositif expérimental comporte en plus un générateur, un agitateur magnétique, un thermomètre, un chronomètre, des fils de connexion, un ampèremètre, un voltmètre et un chronomètre (figure 2).

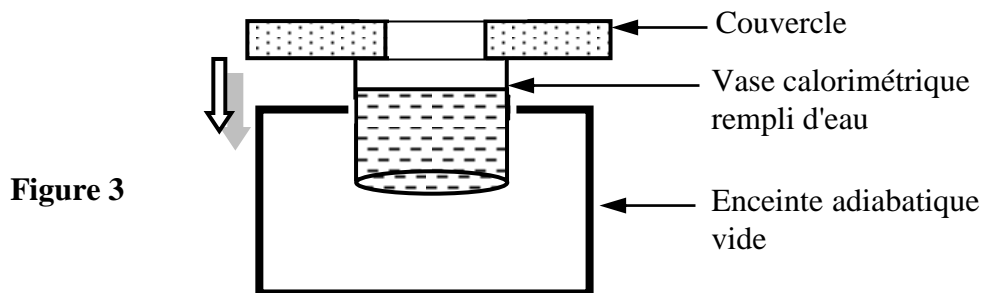


**Figure 2 : Dispositif expérimental de la manipulation**

## IV- PARTIE PRATIQUE

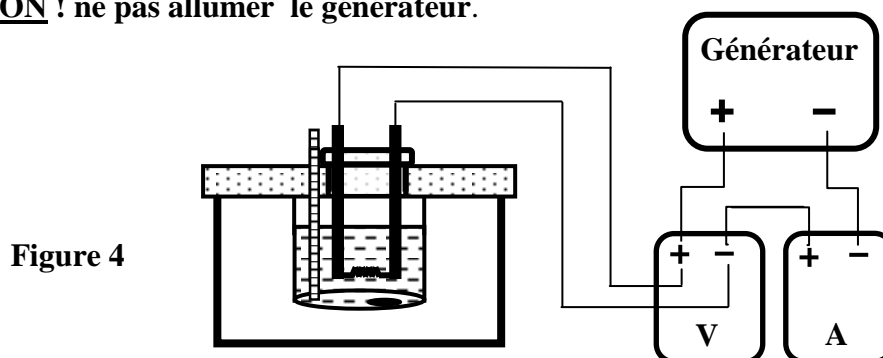
La manipulation consiste à déterminer le coefficient  $J$  qui relie la chaleur au travail, en étudiant l'évolution de la température  $T$  d'une masse  $m$  d'eau en fonction du temps  $t$ . Pour cela, suivre les étapes suivantes :

- Retirer le vase calorimétrique de l'enceinte adiabatique.
- Enlever le couvercle du vase.
- **Peser avec précision**, le vase calorimétrique vide, à l'aide de la balance. Noter sa masse.
- Ajouter dans ce vase une masse  $m$  d'eau froide (la valeur de  $m$  vous sera donnée dans la salle).
- Fixer le couvercle au vase calorimétrique rempli d'eau, puis mettre l'ensemble dans l'enceinte adiabatique vide (figure 3).



- Placer la résistance et le thermomètre dans le vase calorimétrique rempli d'eau.
- Réaliser le montage de la figure 4 et le faire vérifier par votre enseignant.

**ATTENTION ! ne pas allumer le générateur.**



- **Mettre** en marche l'agitateur magnétique qui fait tourner le barreau magnétique. La vitesse de rotation de ce dernier doit être faible. L'agitateur magnétique doit rester en marche au cours de toute la manipulation pour réaliser l'équilibre thermique.
- **Mettre** en marche le chronomètre; il ne doit être arrêté qu'à la fin de l'expérience.
- **Laisser** l'interrupteur du générateur ouvert. Relever la température de l'eau à **0** minute et **1** minute, sans arrêter le chronomètre (Tableau 1).
- **A la 2<sup>ème</sup>** minute (aiguille blanche du chronomètre devant la graduation 2 : figure 5), relever  $T$  et allumer le générateur.
- **Mesurer** la tension  $U$  et le courant  $I$  à l'aide du voltmètre et de l'ampèremètre.
- **Relever** la température toutes les minutes jusqu'à la **9<sup>ème</sup>** minute (Tableau 2).
- **A la 10<sup>ème</sup>** minute, relever  $T$  et éteindre le générateur : le temps de chauffage dans cet exemple est 8 mn. Continuer à relever la température jusqu'à la **14<sup>ème</sup>** minute (Tableau 3).
- **Arrêter** le chronomètre et l'agitateur magnétique.

- Remarques :**
- \* Les mesures de **T** sont prises au **début** de chaque minute.
  - \* Les valeurs de **t** sont données ici à titre d'exemple ; elles peuvent être changées par votre enseignant.
  - \* Donner le détail des calculs.

**Travail à faire sur le compte rendu :**

1- Remplir les tableaux suivants :

**Tableau 1 :** Eau froide + Agitation + Générateur éteint

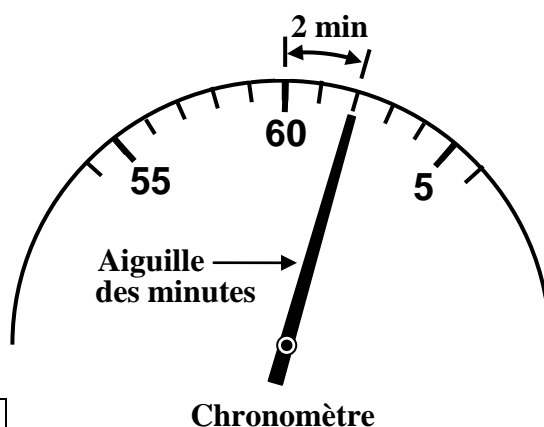
t(min)	0	1
T(°C)		

**Tableau 2 :** Eau + Agitation + Générateur allumé

t(min)	2	3	4	5	6	7	8	9
T(°C)								

**Tableau 3 :** Eau chaude + Agitation + Générateur éteint

t(min)	10	11	12	13	14
T(°C)					



**Figure 5**

2- Tracer la courbe **T = f(t)** sur un papier millimétré (voir figure 6, page suivante).

3- Remplir le tableau ci-dessous (**t** est le temps de chauffage) :

U(V)	$\Delta U(V)$	I(A)	$\Delta I(A)$	m(g)	$\Delta m(g)$	t(s)	$\Delta t(s)$	$T_{B'}(^{\circ}C)$	$\Delta T_{B'}(^{\circ}C)$	$T_{C'}(^{\circ}C)$	$\Delta T_{C'}(^{\circ}C)$

**N.B. :** Pour la mesure de la tension **U** et du courant **I** ainsi que leurs incertitudes, voir le paragraphe " **UTILISATION DE L'AMPEREMETRE ET DU VOLTMETRE** " à la **page 10**. Le calibre de l'ampèremètre est **10 A**.

4- Donner la valeur numérique de **J ± ΔJ** sachant que :

$$J = \frac{U I t}{(m + \mu) c_p (T_{C'} - T_{B'})}$$

$$\Delta J = J \left( \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta c_p}{c_p} + \frac{\Delta m + \Delta \mu}{m + \mu} + \frac{\Delta T_{C'} + \Delta T_{B'}}{|T_{C'} - T_{B'}|} \right)$$

5- Comparer cette valeur de **J**, avec celle déterminée à partir d'un calorimètre plus sophistiqué que celui de Berthelot (**4,18 ± 0,01 J/cal**). Conclure.

Sur la figure 6, on peut observer l'évolution de la température  $T$  d'une masse  $m$  d'eau en fonction du temps  $t$  ainsi que les corrections apportées.

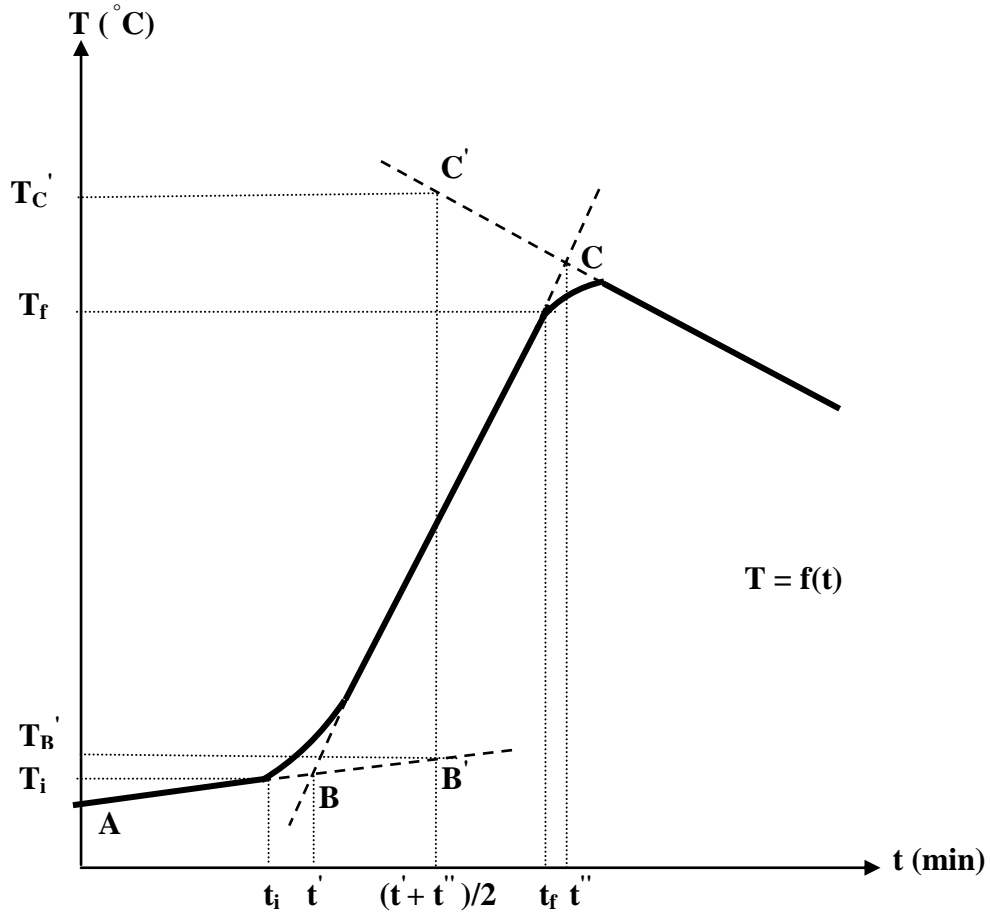


Figure 6

**AB** : eau froide.

$t_i$  : branchement de la résistance chauffante (interrupteur fermé).

$t'$  : début des échanges calorimétriques correspondant à l'intersection des segments **AB** et **BC**.

$t_f$  : arrêt de la résistance chauffante (interrupteur ouvert).

$t''$  : fin des échanges calorimétriques.

# PRESSIION DE VAPEUR D'EAU

## A HAUTE TEMPERATURE

### I- BUT

Le but de la manipulation est la mesure de la pression de vapeur d'eau en fonction de la température. A partir de ces valeurs, on détermine  $L_V$ , la chaleur latente molaire de vaporisation de l'eau.

### II- PARTIE THEORIQUE

Dans une chambre bien fermée et sous pression, on chauffe de l'eau. Pendant cette opération, il se produit une vaporisation d'eau telle que la pression dans la chambre correspond à la pression de la vapeur saturante à la température présente. Cette pression est aussi la pression d'équilibre entre la phase liquide et la phase vapeur. En faisant varier la température (en chauffant ou en refroidissant), on peut mesurer la pression de vapeur en fonction de la température, ce qui nous permet de déterminer la chaleur latente de vaporisation à différentes températures.

L'énergie thermique nécessaire à la vaporisation d'une mole de liquide d'un corps pur est la chaleur latente molaire de vaporisation  $L_V$ . A une température donnée  $t$  en  $^{\circ}\text{C}$  (ou  $T$  en degré Kelvin  $K$ , avec  $T = 273 + t$ ), correspond une pression de vapeur déterminée  $P$ , pour laquelle la phase liquide et la phase gazeuse se trouvent en équilibre. Sur la courbe limitant les deux phases (figure 1), on peut appliquer l'équation différentielle de Clausius-Clapyeron :

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L_V}{T(V_V - V_{Li})} \quad (1)$$

$V_V$  et  $V_{Li}$  sont, respectivement, le volume molaire de la vapeur et du liquide.

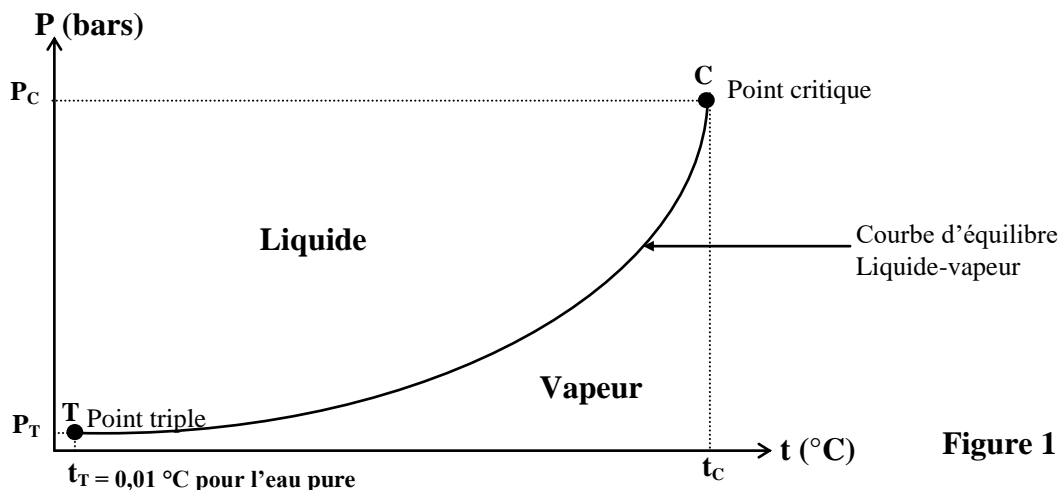


Figure 1

Dans le cas de l'eau pure :

Point critique ( $P_C = 221,2$  bars ;  $t_C = 374,2^{\circ}\text{C}$ )

Point triple ( $P_T = 6,1 \cdot 10^{-3}$  bar ;  $t_T = 0,01^{\circ}\text{C}$ )

Pour les faibles pressions de vapeur ( $P \ll P_C$ ), on a  $V_{Li} \ll V_v$ , donc  $V_v - V_{Li} \approx V_v$ , et la vapeur se comporte approximativement comme un gaz parfait ; on a alors :

$$V_v = \frac{RT}{P} \text{ avec } R = (8,314 \pm 0,001) \text{ J/K.mol, constante des gaz parfaits.}$$

On obtient ainsi à partir de la relation (1) :

$$\frac{dP}{P} = \frac{L_v}{R} \frac{dT}{T^2} \quad (2)$$

En supposant  $L_v$  constante, on obtient par intégration l'équation suivante de Van't-Hoff :

$$\ln P = -\frac{L_v}{RT} + \text{constante} \quad (3)$$

On a ainsi une fonction approximativement linéaire entre  $\ln P$  et  $1/T$ .

### III- MATERIEL

Le montage est effectué suivant la figure 2 ci-dessous :

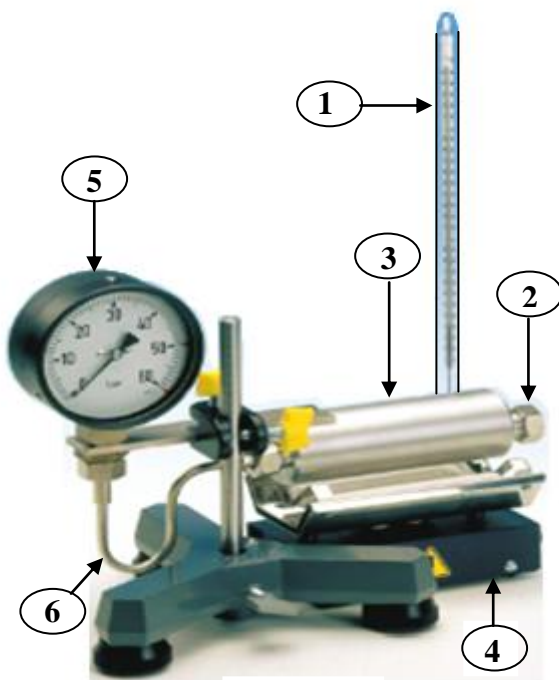


Figure 2

- 1 : Thermomètre
- 2 : Port de remplissage de l'eau
- 3 : Chambre à haute pression
- 4 : Appareil de chauffage électrique
- 5 : Manomètre
- 6 : Tube en U reliant la chambre à haute pression au manomètre

La chambre à haute pression est un cylindre creux d'une capacité de **15 ml**. Il est rempli complètement d'eau distillée ; aucune bulle d'air ne reste dans le tube en U de raccordement au manomètre. L'ensemble " chambre à haute pression + manomètre " est fixé à l'aide d'un étrier de serrage ; on le met ensuite au dessus de l'appareil de chauffage électrique. Le thermomètre qui mesure la température  $t$  de l'eau est introduit dans un trou, situé sur la face supérieure de la chambre à haute pression.

**Attention** : pendant le chauffage, il ne faut pas toucher **l'appareil**, car il devient **très chaud**.

## IV- PARTIE PRATIQUE

- Demander à votre enseignant de mettre le thermomètre dans le trou de la chambre à haute pression.
- Allumer l'appareil de chauffage électrique.
- Il faut attendre un certain temps, jusqu'à ce que l'eau à l'intérieur de la chambre commence à s'évaporer : la pression **P** commence alors à augmenter.
- Lorsque la pression **P** atteint **12 bars**, il faut **éteindre** immédiatement l'appareil de chauffage.
- **La température ne doit jamais atteindre 250 °C**, sinon le thermomètre va se détériorer.
- Relever les pressions et les températures correspondantes en lisant leurs valeurs sur le manomètre et sur le thermomètre. Reporter ces valeurs sur le tableau ci-dessous (les valeurs de **P** vous seront données par votre enseignant).

Pression <b>P</b> (bars)						
Température <b>t</b> (°C)	[Zone réservée pour le tracé du graphique]					

- 1) a- Représenter graphiquement **P = f(t)** sur un papier millimétré, en indiquant la zone de la phase liquide et la zone de la phase vapeur.
- b- A partir de cette courbe, déterminer la température d'ébullition de l'eau sous une pression de **9 bars**. Remplir le tableau ci-dessous puis conclure.

<b>P (bars)</b>	<b>Température d'ébullition de l'eau (°C)</b>
<b>1,01325</b>	
<b>9</b>	

Dans les conditions normales, l'eau devient vapeur sous une pression **P = 1 atmosphère** (**1 atmosphère** correspond à **1,01325 bars**).

- 2) En prenant deux valeurs de **P** (**P<sub>1</sub>**, **P<sub>2</sub>**) et **T** (**T<sub>1</sub>**, **T<sub>2</sub>**), on obtient la relation :

$$L_v = \frac{R}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)} \ln \frac{P_2}{P_1} . \text{ L'incertitude sur } L_v \text{ est : } \Delta L_v = L_v \left( \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta T_1}{T_1} \right) + R T_1 \frac{\Delta P_1}{P_1} .$$

A partir de ces deux expressions, déterminer la valeur de la chaleur latente molaire de vaporisation de l'eau **L<sub>v</sub>**, puis son incertitude **Δ L<sub>v</sub>** en Joule/mol.

**Remarques :** \* Faire attention à la différence entre **T** et **t**.

\* Donner le détail des calculs sur le compte rendu.

- 3) Quel est le type de système thermodynamique étudié dans cette manipulation ? Justifier votre réponse.

# REFLEXION ET REFRACTION DE LA LUMIERE

## I- BUT

Le but de la manipulation est l'étude de la réflexion et de la réfraction de rayons lumineux, ainsi que la vérification des lois relatives à ces deux phénomènes.

## II- PARTIE THEORIQUE

### 1- Lois de Descartes pour la réflexion et la réfraction

Considérons deux milieux homogènes **1** et **2**, d'indices respectifs **n** et **n'** (figure 1). La surface de séparation des deux milieux est appelée **dioptre** (ou miroir si cette surface est réfléchissante).

Soit un rayon lumineux qui arrive en un point **M** situé sur la surface de séparation des deux milieux ; ce rayon est appelé **rayon incident**. Soit **N**, la normale en **M** à la surface de séparation. L'angle **i** entre le rayon incident et la normale **N** est appelé angle d'incidence.

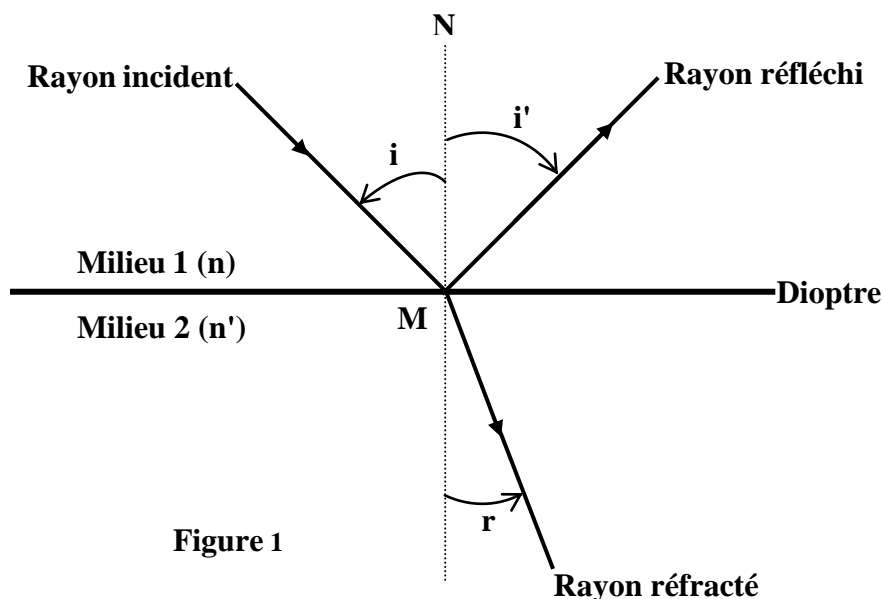
Si on envoie un rayon lumineux sur un miroir, celui-ci est réfléchi et obéit aux deux lois de la réflexion suivantes :

- les rayons incident et réfléchi sont dans le plan d'incidence (**milieu 1**).
- l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion **i = i'**.

Si maintenant le rayon lumineux rencontre un dioptre qui sépare les deux milieux, la lumière qui traverse le **milieu 2** est déviée (réfractée). Les lois de la réfraction correspondantes sont :

- le rayon réfracté est dans le plan de réfraction (**milieu 2**).
- l'angle d'incidence **i** et l'angle de réfraction **r** sont liés par la relation suivante :

$$n \sin(i) = n' \sin(r) \quad (1)$$





## 2- Déviation de la lumière par un prisme

Soit un prisme d'indice  $n'$  et d'angle au sommet  $A$ , éclairé à l'aide d'une source lumineuse. La figure 2 montre le trajet du rayon lumineux qui traverse un prisme en subissant une double réfraction. D'après les lois de la réfraction on a :

$$n \sin(i) = n' \sin(r) \quad (2) \quad \text{et} \quad n' \sin(r') = n \sin(i') \quad (3)$$

Le rayon lumineux incident est dévié de son trajet initial d'un angle  $D$  tel que :

$$D = i + i' - A \quad \text{avec} \quad A = r + r'$$

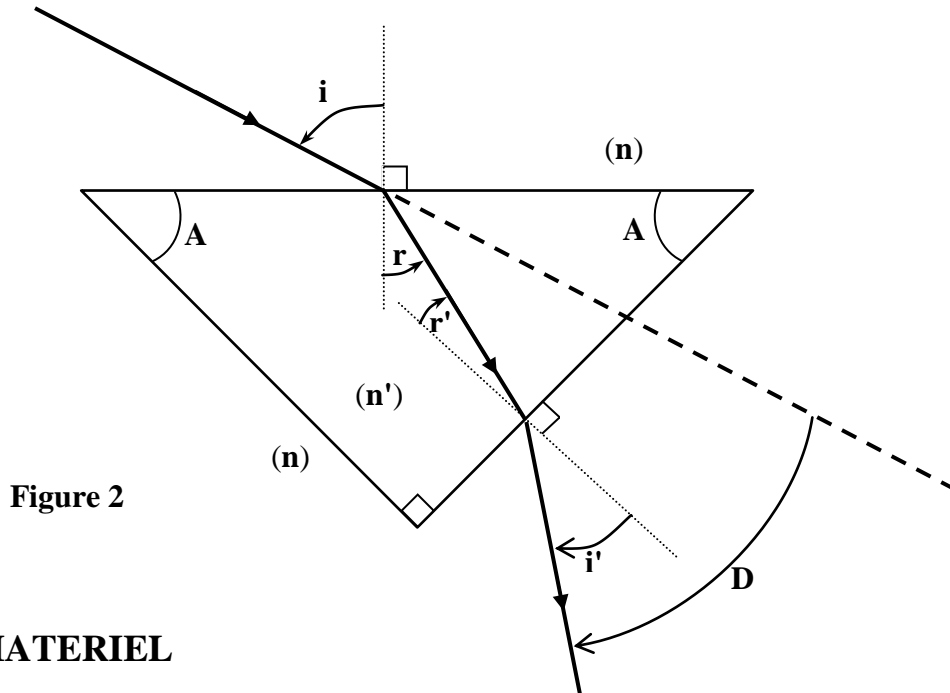


Figure 2

## III- MATERIEL

Le dispositif expérimental de cette manipulation (figure 3) comprend :

- Une alimentation, ainsi qu'une boîte contenant une source lumineuse halogène.
- Un disque optique gradué en degrés.
- Des modèles de corps : un miroir, un demi-disque en plexiglas, une cuve et un prisme en plexiglas.

### Alimentation

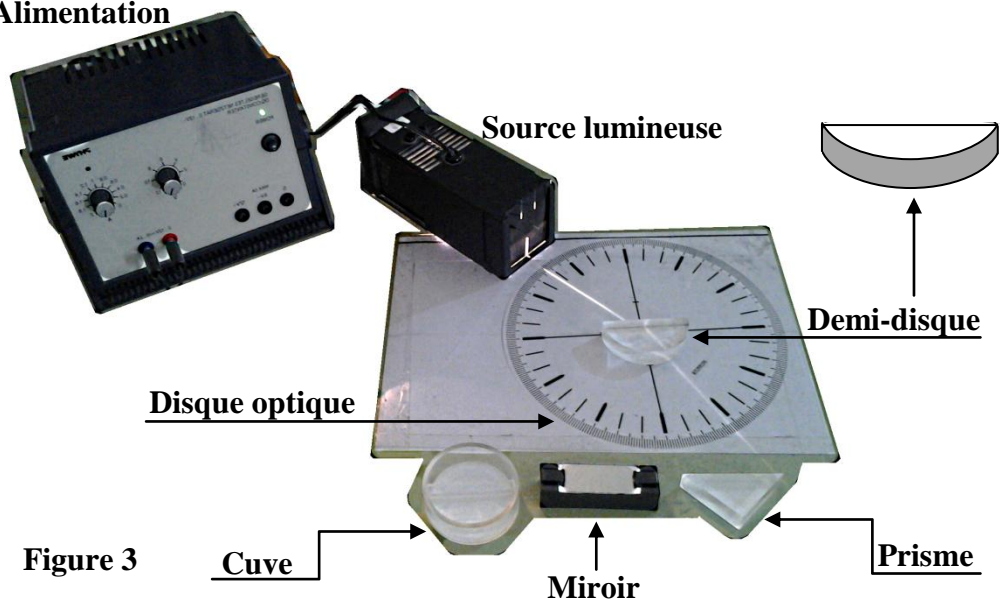


Figure 3

## IV- PARTIE PRATIQUE

- Apporter un papier calque.
- Les valeurs des angles d'incidences  $i$  seront données dans la salle.
- Pour faire des comparaisons, utiliser le théorème de comparaison.
- Donner le détail des calculs.

### 1- Vérification des lois de Descartes

#### a- Lois de Descartes pour la réflexion

Placer le miroir entre les points **E** et **F** du disque optique. Le **plan** du **miroir** doit être **vertical** (voir figure 4). Déplacer la source lumineuse, jusqu'à ce que l'angle d'incidence entre la normale **N** et le faisceau lumineux soit égal à l'angle  $i$ , donné par votre enseignant. Mesurer l'angle de réflexion  $i'$ .

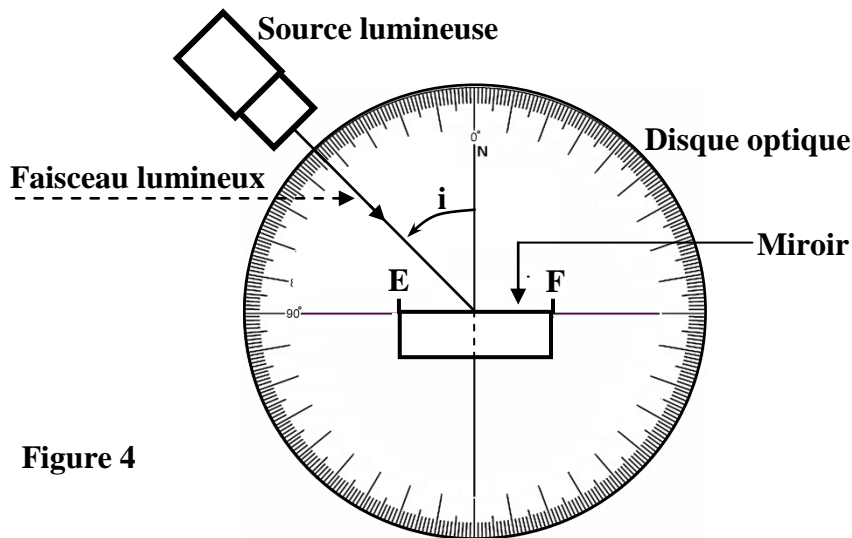


Figure 4

Remplir le tableau suivant :

$i (^{\circ})$	$\Delta i (^{\circ})$	$i' (^{\circ})$	$\Delta i' (^{\circ})$

- Comparer les angles d'incidence  $i$  et de réflexion  $i'$ .
- La loi de Descartes est-elle vérifiée ? Justifier votre réponse.

#### b- Lois de Descartes pour la réfraction

Remplacer le miroir par le demi-disque en plexiglas. Sa face opaque (de couleur blanche), doit être en bas, et son côté plan, en face de la source lumineuse (figure 5).

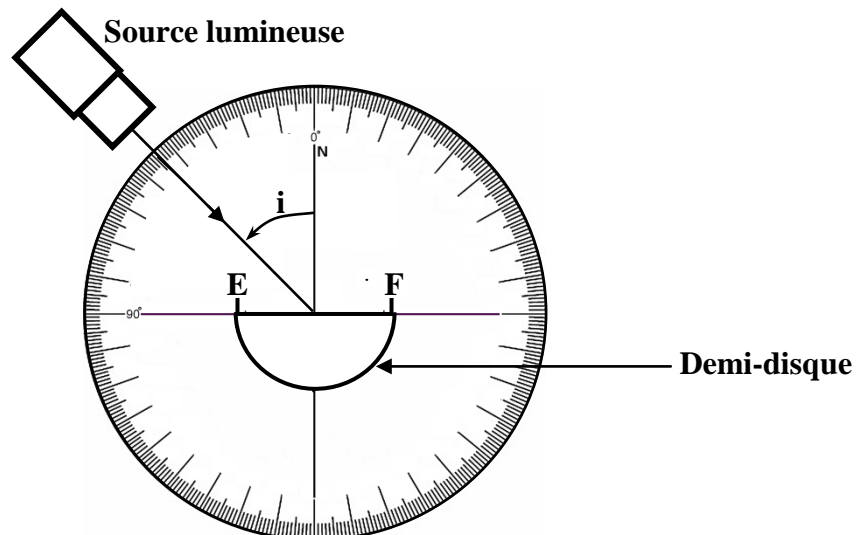


Figure 5

A l'aide de la source lumineuse, prendre un angle d'incidence  $i$ . Remplir le tableau ci-dessous :

**Remarque** : pour calculer la valeur de  $\Delta[\sin(i)/\sin(r)]$ , exprimer  $\Delta i$  et  $\Delta r$  en radians.

$i$ (°)	$\Delta i$ (rad)	$r$ (°)	$\Delta r$ (rad)	$\sin(i)/\sin(r)$	$\Delta[\sin(i)/\sin(r)]$

- Dédurre du tableau ci-dessus l'indice  $n'_{\text{expérimental}}$  du plexiglas et son incertitude

$\Delta n'_{\text{expérimental}}$ . On donne :  $\Delta \left( \frac{\sin i}{\sin r} \right) = \left| \frac{\sin i}{\sin r} \right| \left( \left| \frac{\Delta i}{\sin i} \right| + \left| \frac{\Delta r}{\sin r} \right| \right)$  (on suppose que  $n = 1$ ).

- Sachant que la valeur de l'indice du plexiglas est  $n' = (1,51 \pm 0,01)$ , comparer cette dernière avec celle trouvée expérimentalement. Conclure.
- Pour quelle raison n'y a-t-il plus de déviation du faisceau lumineux dans l'air, lorsqu'il traverse le dioptre circulaire séparant le demi-disque et l'air ?

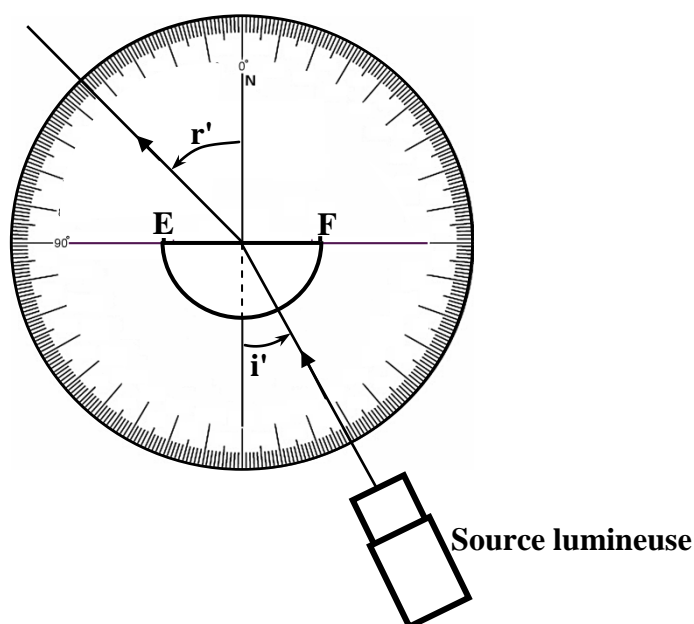
## 2- Principe du retour inverse de la lumière

Garder le montage précédent, et mettre la source lumineuse du côté circulaire du demi-disque (figure 6). Choisir un angle d'incidence  $i'$  égal à la valeur de  $r$  du tableau précédent (1-b). Remplir le tableau ci-dessous :

$i'$ (°)	$\Delta i'$ (°)	$r'$ (°)	$\Delta r'$ (°)

- Comparer la valeur de  $r'$  à celle de  $i$  (tableau du 1-b).
- Commenter vos résultats et conclure.

Figure 6



### 3- Passage de la lumière de l'air dans l'eau

Remplacer le demi-disque en plexiglas par la cuve circulaire remplie à moitié d'eau. Le côté plan de la partie remplie d'eau de la cuve, doit être en face de la source lumineuse (figure 7).

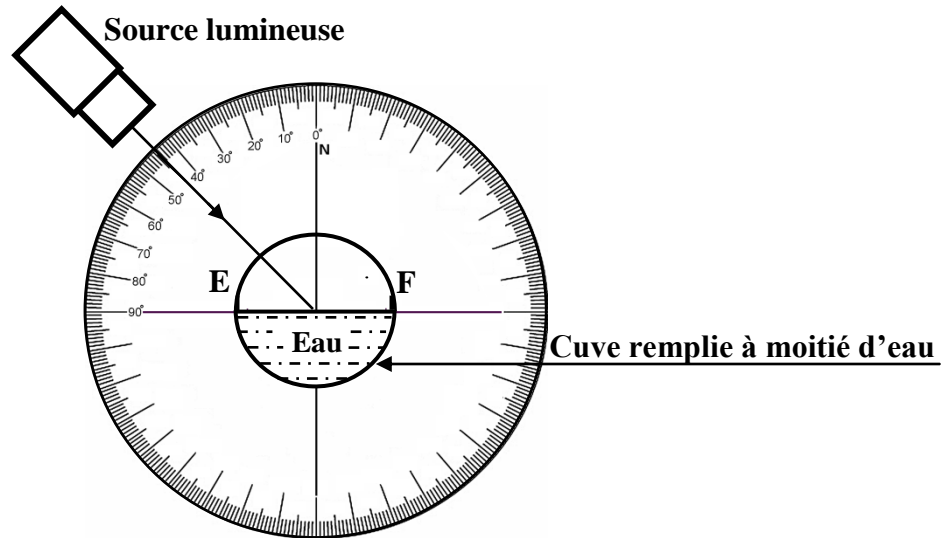


Figure 7

Remplir le tableau suivant :

$i$ (°)	$\Delta i$ (rad)	$r$ (°)	$\Delta r$ (rad)	$\sin(i)/\sin(r)$	$\Delta[\sin(i)/\sin(r)]$

- Dédire du tableau ci-dessus l'indice  $n'$ <sub>expérimental</sub> de l'eau et son incertitude  $\Delta n'$ <sub>expérimental</sub>.
- Sachant que la valeur de l'indice de l'eau est  $n' = (1,33 \pm 0,01)$ , comparer cette dernière avec celle trouvée expérimentalement. Conclure.

### 4- Déviation de la lumière par un prisme

Il s'agit dans cette partie de déterminer la déviation  $D$  d'un rayon lumineux, traversant un prisme après avoir subi une double réfraction. Pour cela, il faut :

- Mettre un papier calque sur le disque optique.
- Tracer les deux axes perpendiculaires du disque optique (figure 8).
- Mettre le prisme sur le papier calque, entre les points  $E$  et  $F$  du disque optique.
- Tracer au crayon le contour de ce prisme.

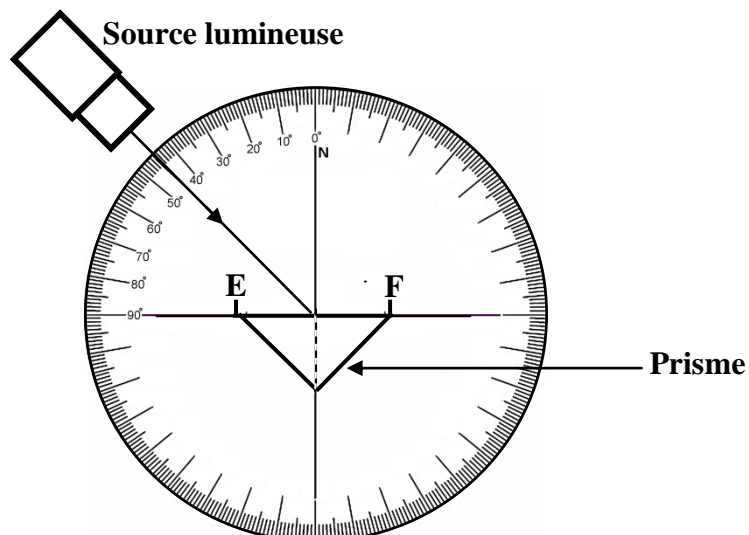


Figure 8

- Prendre un angle d'incidence  $i$ .
- Tracer sur le papier calque **le trajet réel** du faisceau lumineux traversant le prisme (voir l'exemple de la figure 2).
- Remettre le papier calque avec le compte-rendu.
- Remplir le tableau suivant :

$i$ (°)	$\Delta i$ (°)	$r$ (°)	$\Delta r$ (°)	$i'$ (°)	$\Delta i'$ (°)	$r'$ (°)	$\Delta r'$ (°)	$D_{ex}$ (°)	$\Delta D_{ex}$ (°)	$D_{th}$ (°)	$\Delta D_{th}$ (°)

( $D_{ex} = D_{\text{expérimental}}$  et  $D_{th} = D_{\text{théorique}}$ ).

- Comparer les deux valeurs de la déviation  $D$  du rayon lumineux.

# LENTILLES MINCES

## I- BUT

Le but de cette manipulation est la détermination de la distance focale d'une lentille mince convergente, ainsi que l'étude de deux instruments optiques simples : le projecteur de diapositives et le microscope.

## II- PARTIE THEORIQUE

Une lentille est un milieu transparent limité par deux faces sphériques de rayons de courbures  $R_1$  et  $R_2$  (figure 1) ;  $e$  est l'épaisseur de la lentille. Lorsque  $e$  est très petite devant  $R_1$ ,  $R_2$  et  $|R_1 - R_2|$ , la lentille est dite mince.

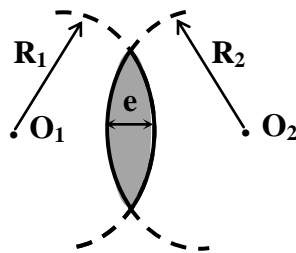


Figure 1

On distingue deux types de lentilles minces :

- \* les lentilles convergentes qui transforment un faisceau de lumière parallèle en un faisceau convergent,
- \* les lentilles divergentes qui transforment un faisceau de lumière parallèle en un faisceau divergent.

Considérons un objet lumineux réel  $AB$ , placé avant une lentille convergente  $L$  (figure 2). La droite orientée  $\Delta$ , d'origine  $O$  et qui est perpendiculaire à  $AB$  et à  $L$ , est appelée axe optique de la lentille.  $O$  est le centre optique de  $L$ ,  $F$  son foyer objet et  $F'$  son foyer image. La mesure algébrique  $\overline{OF'}$  (notée  $f'$ ) est appelée distance focale de la lentille. L'image  $A'B'$  de l'objet  $AB$  est projetée sur un écran. Sa construction se fait à partir de deux des trois rayons lumineux particuliers, partants tous de  $B$  et aboutissant à  $B'$ .

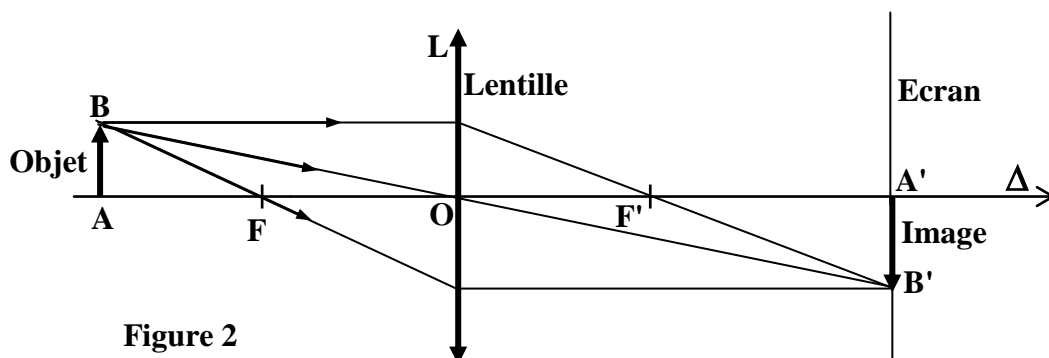


Figure 2

## 1- Focométrie

La focométrie consiste à déterminer expérimentalement la distance focale d'une lentille optique. Pour la lentille convergente  $L_1$  étudiée ici, on utilisera la méthode des points conjugués.

La position  $A'$  de l'image est donnée par la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \quad (1)$$

$\overline{OA'}$ ,  $\overline{OA}$  et  $\overline{OF'}$  sont des valeurs algébriques pouvant être positives ou négatives. Pour une lentille convergente, la distance focale  $\overline{OF'}$  est positive, alors que pour une lentille divergente elle est négative. La mesure algébrique des distances lentille-objet ( $\overline{OA}$ ) et lentille-image ( $\overline{OA'}$ ) permettent donc la détermination de  $\overline{OF'} = f'$ .

## 2- Projecteur de diapositives

A partir d'un objet  $AB$  petit et d'une lentille mince convergente, on peut obtenir sur un écran une image  $A'B'$  plus grande : c'est le principe du projecteur de diapositives. On définit alors le grandissement  $\gamma$  par la relation :  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ . C'est une grandeur algébrique : elle est positive lorsque l'objet et son image ont le même sens, négative dans le cas contraire. A partir du schéma de la figure 2, on peut montrer que :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad (2)$$

## 3- Microscope

Le microscope est un instrument optique qui permet l'observation et la mesure des dimensions d'objets très petits. Le modèle étudié dans cette manipulation est composé de deux lentilles convergentes de même axe optique (figure 3). La première lentille, appelée objectif, donne d'un objet  $AB$  une image réelle  $A_1B_1$  renversée. La deuxième lentille, appelée oculaire, sert pour l'observation de  $A_1B_1$ . Elle en donne une image virtuelle  $A_2B_2$  visible à l'œil nu mais ne pouvant être projetée sur un écran. En définitive, le microscope donne d'un objet réel  $AB$ , une image virtuelle  $A_2B_2$  renversée et agrandie. Le grandissement total  $\gamma_T$  de ce microscope est :

$$\gamma_T = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{AB}} \quad (3)$$

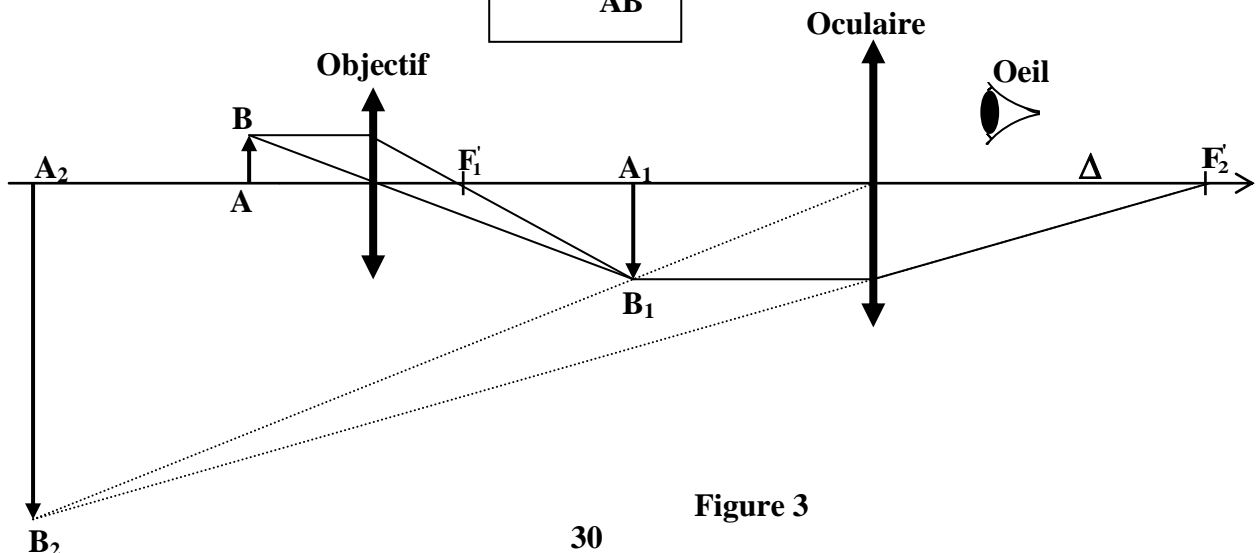


Figure 3

### III- MATERIEL

Le dispositif expérimental (figure 4) est composé d'une alimentation (1) reliée à une source lumineuse (2) par des fils de connexion. Sur un banc optique (3) coulissent des cavaliers (4), qui portent des objets, des lentilles (5) et un écran (6). Sur chaque cavalier, il y a un repère (trait blanc) : il sert à mettre l'objet, la lentille ou l'écran devant une graduation précise de la règle du banc optique.

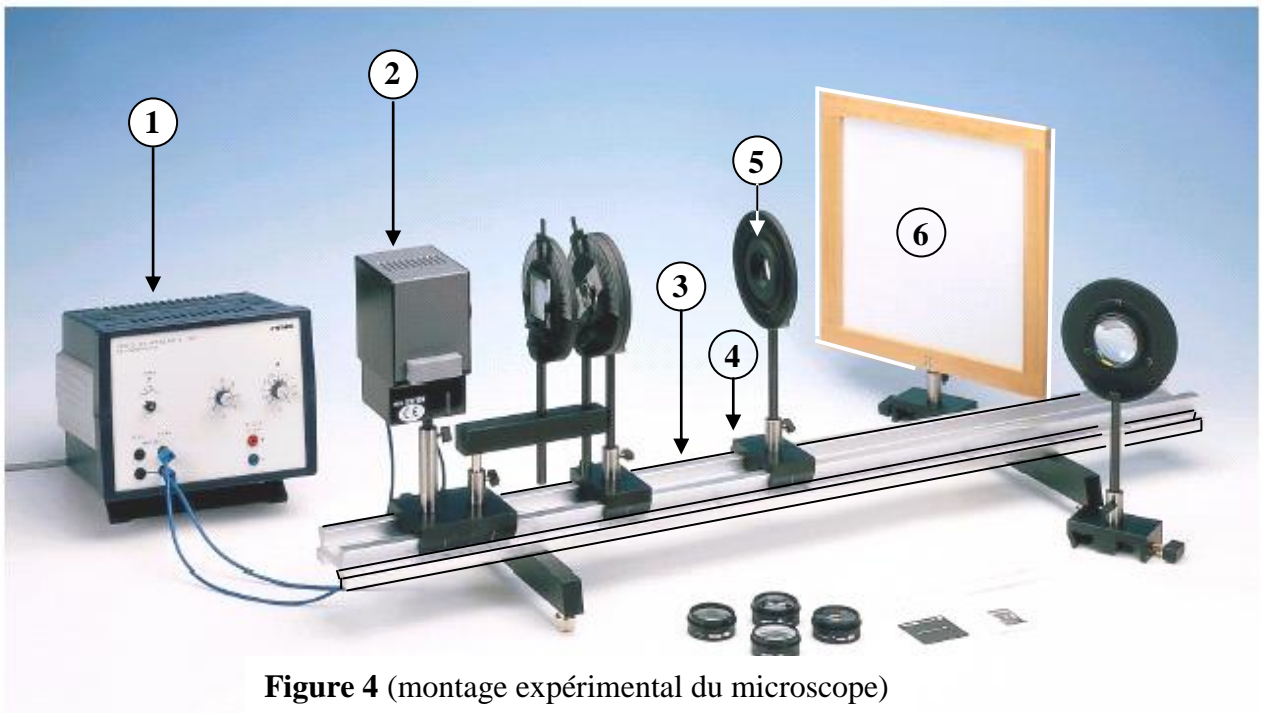


Figure 4 (montage expérimental du microscope)

### IV- PARTIE PRATIQUE

**Attention !** - Ne jamais toucher les surfaces des lentilles avec les doigts.

- Ne pas chercher à les nettoyer pour ne pas détériorer les surfaces traitées.

- Donner le détail des calculs.

Un exemple d'un montage expérimental est montré sur la figure 4. Immédiatement devant la source lumineuse, on met un condenseur double (deux lentilles accolées) pour avoir un faisceau de lumière presque parallèle. **Ne pas le déplacer durant toute la manipulation.**

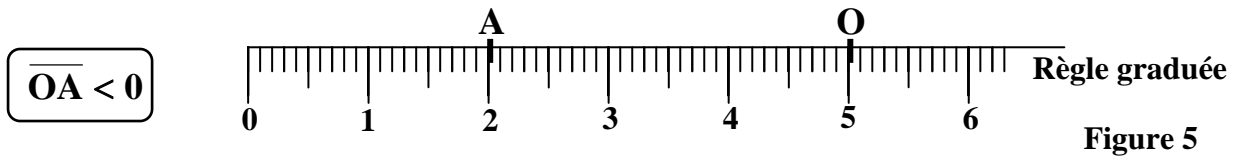


## 1- Focométrie

L'objet dans cette partie est, par exemple, une flèche gravée sur une plaque en plastique. Cette plaque doit être fixée sur un porte objet, lui-même placé dans un cavalier, devant le condenseur. L'image de l'objet est projetée avec netteté sur un écran à l'aide d'une lentille. Les mesures algébriques et les distances sont mesurées à l'aide d'une règle graduée fixée sur le banc optique. Ces mesures peuvent être négatives (figure 5).

**Exemple :** si le point **A** se trouve devant la graduation **2 cm** de la règle et **O** devant la graduation **5 cm**,

alors :  $\overline{OA} = x(A) - x(O) = 2 - 5 = -3 \text{ cm}$



Pour déterminer la distance focale  $\overline{OF'} = f'$  de la lentille  $L_1$ , utiliser la relation (1). Il faut faire 3 mesures de  $\overline{OA}$  et  $\overline{OA'}$ , puis prendre la moyenne. L'incertitude sur  $f'$  est donnée par la relation :

$$\Delta f' = \frac{1}{(\overline{OA} - \overline{OA'})^2} \left( \overline{OA'}^2 \cdot \Delta \overline{OA} + \overline{OA}^2 \cdot \Delta \overline{OA'} \right)$$

➡ Pour faire cette partie (voir figure 2), suivre dans l'ordre les étapes suivantes :

- Placer l'objet (la flèche), la lentille  $L_1$  et l'écran (avec leurs cavaliers) sur le banc optique.
- Mettre le repère du cavalier de l'objet **AB** (la flèche) devant une graduation de la règle et celui de la lentille  $L_1$  devant une autre graduation. **Les valeurs de ces graduations vous seront données dans la salle de TP. On a  $L_1$  et **AB** qui sont fixes** dans cette partie.
- Déplacer l'écran jusqu'à obtenir une image nette. Noter sa position **A'** en **cm**, sur la règle graduée. Déterminer  $\overline{OA'}$ .
- Déplacer l'écran de part et d'autre de cette position et chercher à nouveau l'image nette.
- Refaire une troisième fois la même chose puis remplir le tableau ci-dessous :

	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Moyenne	$\Delta_{\text{sys}}$	$\Delta_{\text{acc}}$	$\Delta(\text{cm})$	$f'(\text{cm})$	$\Delta f'(\text{cm})$
$\overline{OA}(\text{cm})$									
$\overline{OA'}(\text{cm})$									

( $\Delta_{\text{sys}}$  = incertitude systématique sur la mesure de  $\overline{OA}$  ou  $\overline{OA'}$ ,  $\Delta_{\text{acc}}$  = incertitude accidentelle)

⚡ ➡ Attention au signe des mesures algébriques  $\overline{OA}$  et  $\overline{OA'}$ .

## 2- Projecteur de diapositives

L'instrument optique simple étudié ici est le projecteur de diapositives. Il faut déterminer son

grandissement  $\gamma$  avec l'incertitude : 
$$\Delta\gamma = |\gamma| \left( \frac{\Delta \overline{OA}}{|\overline{OA}|} + \frac{\Delta \overline{OA'}}{|\overline{OA'}|} \right).$$

La diapositive à agrandir est la photo, sur un support en plastique transparent, d'un empereur romain (nommé Maximilien).

➡ Pour faire cette partie, suivre dans l'ordre les étapes suivantes :

- Placer la diapositive sur le porte objet, puis mettre le repère du cavalier devant une graduation de la règle.
- Mettre le repère du cavalier de l'écran devant une autre graduation.
- Déplacer entre l'objet et l'écran, la lentille  $L_1$ , jusqu'à obtenir une image nette sur l'écran. Noter alors la position  $O$  de son centre en **cm**.
- Refaire trois fois la même opération.
- A partir de la relation (2), calculer le grandissement  $\gamma$  et son incertitude.
- Remplir le tableau ci-dessous :

	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Moyenne	$\Delta_{sys}$	$\Delta_{acc}$	$\Delta(\text{cm})$	$\gamma$	$\Delta\gamma$
$\overline{OA}$ (cm)									
$\overline{OA'}$ (cm)									

( $\Delta_{sys}$  = incertitude systématique sur la mesure de  $\overline{OA}$  ou  $\overline{OA'}$ ,  $\Delta_{acc}$  = incertitude accidentelle)

- De combien de fois environ la photo a-t-elle été agrandie ?

## 3- Microscope

Le deuxième instrument optique simple étudié ici est le microscope. L'objet dans ce cas est une "puce de chien", collée sur une lame de verre rectangulaire transparente. Le montage du microscope étudié ici est représenté sur la figure 4. Avec une lentille  $L_2$  de courte distance focale ( $f'_2 = 2 \text{ cm}$ ), on forme une image agrandie du petit objet. L'image réelle intermédiaire ainsi formée est observée à travers une lentille  $L_3$  ( $f'_3 = 5 \text{ cm}$ ). Connaissant le grandissement total du microscope, on peut déterminer la largeur de la patte de la "puce".

➡ Pour faire cette partie, suivre dans l'ordre les étapes suivantes :

- Laisser le condenseur double accolé à la source lumineuse.
- Enlever du banc optique la lentille  $L_1$  et le porte objet, ainsi que l'écran, car l'image dans le cas d'un microscope est observée à travers l'oculaire et non sur l'écran (figure 3).
- Mettre le bras orientable (tige comportant deux trous et deux vis : figure 6) sur un cavalier. Le repère du cavalier sera placé devant une graduation de la règle du banc optique.
- Placer avec précautions le verre dépoli (un morceau de verre non transparent) sur un porte objet.
- Placer de la même manière l'objet (puce de chien) sur un autre porte objet.
- Sur le bras orientable placer de gauche à droite le verre dépoli puis l'objet.

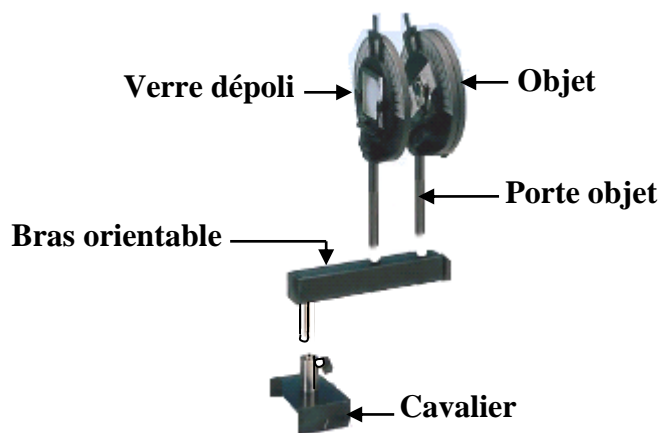


Figure 6

- Mettre la lentille  $L_2$  (l'objectif) le plus près possible devant l'objet, de telle façon qu'ils soient accolés. On obtient ainsi une image réelle agrandie de l'objet.
- Placer la lentille  $L_3$  (l'oculaire) devant  $L_2$ . Regarder l'image de l'objet **à travers**  $L_3$  (figure 3), puis **déplacer**  $L_3$  jusqu'à voir une image nette. Faire un dessin approximatif de la puce de chien observée, sur **le compte rendu**.
- La largeur de la patte vue à travers l'oculaire ( $L_3$ ) est  $P = (1,5 \pm 0,2) \text{ mm}$  environ. A partir de l'expression (3), déterminer la largeur réelle  $p$  en millimètre de la patte de la puce de chien ainsi que son incertitude  $\Delta p$ , sachant que  $\gamma_T = (-15) \pm 0,5$ .

## LEXIQUE

## معجم

Abscisse	أفصول
Absorber	إمتص
Accélération de la pesanteur	تسارع الثقالة
Accessoires	توابع
Actionner	شغل
Agitateur magnétique	محرك مغناطيسي
Aiguille	إبرة
Ajuster	عدل
Alimenter	زود
Allongement	إطالة
Allumer	أشعل
Alternative (tension)	توتر متناوب
Ampèremètre	أمبيرمتر
Amplitude	وسع
Angle	زاوية
Anneau	حلقة
Annuler	أعدم
Appareil	جهاز
Approximation	تقريب
Arbitraire	اعتباطي
Arc de cercle	قوس دائرة
Argent	فضة
Arrêt	توقف
Arrondir (un nombre)	جبر (عددا)
Aspect	مظهر
Association en parallèle	تركيب على التوازي
Association en série	تركيب على التوالي
Axe optique	محور بصري
Balance digitale	ميزان عددي
Banc optique	نضد بصري
Barreau magnétique	قطيب مغناطيسي
Base de projection	قاعدة الإسقاط، أنظمة
Base de temps	قاعدة الزمن
Base locale	قاعدة محلية
Base orthonormée	قاعدة متعامدة
Binôme	زوج
Boite	غلبة
Borne	مربط
Bouton	زر
Branche (d'un circuit)	فرع
Branchement	إيصال
Bras orientable	ذراع قابل للتوجيه
Brillance	لمعان
But	هدف
Cadran	ميناء
Calculer	حسب
Calibre	عيار

Calorie	سعر
Calorimètre	مسعر
Capacité calorifique	سعة حرارية
Caractéristique	مميزة
Cavalier	خيال
Cellule photoélectrique	خلية كهروضوئية
Centre d'inertie	مركز القصور
Centre optique	مركز بصري
Centrer	وضع في المركز
Chaleur latente	حرارة كامنة
Chaleur massique	حرارة كتلية
Chaleur spécifique	حرارة نوعية
Charge	شحنة
Chauffer	سخن
Chiffre significatif	رقم ذو دلالة
Chronomètre	مقياس الوقت، ميقت
Circuit	دائرة
Circulaire	دائري
Classe	صنف
Code	رمز
Coefficient de raideur	معامل الصلابة
Coïncider	تطابق
Commande	تحكم
Commenter	علق
Commutateur central	مبدل مركزي
Comparer	قارن
Composante	مركبة
Composé	مركب
Compression	ضغط
Compte-rendu	تقرير
Concentration	تركيز
Conclure	استنتج
Condensateur	مكثف
Condenseur double	مكثف ضوء مزدوج
Conditions initiales	الشروط الأولية
Conducteur	موصل
Conduction	توصيل
Confirmer	أكد
Confondu	متطابق
Connecter	ربط، لاقى بين
Constante	ثابتة
Constructeur (d'un appareil)	الصانع
Continu (courant)	مستمر (تيار)
Convection (de la chaleur)	حمل (حراري)
Coordonnée	إحداثي
Corps	جسم
Correction	تصحيح

Côté	ضلع
Coulisser	انزلق، تزللق
Courant électrique	تيار كهربائي
Courants fondamentaux	تيارات أساسية
Courbe	منحنى
Court-circuit	دائرة قصيرة
Couvercle	غطاء
Croissant	تزايدى
Cuivre	نحاس
Cuve	خوض، وعاء
Décharge	تفريغ
Déduire	استنتج
Déformation	تشوه
Degré d'exactitude	درجة الضبط
Démarche	منهج
Déphasage	اختلاف (فرق في) الطور
Déplacer	نقل
Dérivée partielle	مشتقة جزئية
Description	وصف
Détérioration	إتلاف
Déterminer	حدد
Déviation	انحراف
Diagramme	مخطط
Diamètre	قطر
Diapositive	صورة شفافة
Différence de potentiel	فرق الجهد
Différentiation	مفاضلة
Différentielle partielle	تفاضل جزئي
Différentielle totale	تفاضل كلي
Digital	رقمي
Dimension géométrique	بُعد هندسي
Dioptré	كاسر
Direction	اتجاه
Dispositif expérimental	عدة (تجهيزة) تجريبية
Disque	قرص
Distance focale	مسافة بؤرية
Distiller	قطر
Division	تدرية
Donnée	مُعطى
Double trace	أثر مزدوج
Droite	مستقيم
Durée	مدة
Dynamique	ديناميكي
Ebullition	غليان
Ecarter	أبعد
Echange thermique	تبادل حراري
Echanger	بادل، تبادل
Echantillon	عينة
Echelle	سلم
Eclairement	إضاءة
Ecran	شاشة
Effet de... sur..	تأثير ... على

Effet Joule	مفعول جول
Electrocinétique	كهربية متحركة
Elément différentiel	عنصر تفاضلي
Eliminer	حذف
Ellipse	إهليلج
En fonction du temps	بدلالة الزمن
Enceinte adiabatique	كنظيمة
Encombrement	زحمة
Energie thermique	طاقة حرارية
Entier relatif	صحيح نسبي
Entrée	مدخل
Epaisseur	سُمْك
Equation différentielle	معادلة تفاضلية
Equation du second ordre	معادلة من الدرجة الثانية
Equilibre mécanique	توازن ميكانيكي
Equilibre thermique	توازن حراري
Equivalence	تكافؤ
Equivalent	مكافئ
Erreur de parallaxe	خطأ اختلاف الموضع
Espace	فضاء
Etape	مرحلة
Etat d'équilibre	حالة التوازن
Etat physique	حالة فيزيائية
Eteindre	أطفأ
Etoile	نجم
Etrier de serrage	ركاب للشد
Evolution de la température	تطور الحرارة
Expérience	تجربة
Explicite	صريح
Expression	صيغة
Extérieur	خارج
Face rugueuse	وجه أحرش
Faisceau	حزمة
Fente	شق
Figure	شكل
Fil de connexion	سلك الربط
Finesse	دقة
Fluide	مائع
Focométrie	قياس بصري
Fonction	دالة
Fonction linéaire	دالة خطية
Force de pression	قوة الضغط
Force électromotrice	قوة كهَر مُحرَكة
Formule de passage	صيغة المرور، وسيطة
Formuler les équations	صاغ المعادلات
Foyer image	البؤرة الصورة
Foyer objet	البؤرة الشيء
Fréquence	تردد
Fréquencemètre	مقياس التردد
Frottement	احتكاك
Fusion	انصهار
Gaz parfait	غاز كامل

Générateur basse fréquence ..... مُولّد ذو تردد منخفض  
 Générateur de courant continu ..... مولد التيار المستمر  
 Géométrie ..... هندسي  
 Graduation principale ..... تدرّج رئيسية  
 Grandissement ..... تكبير  
 Grandeur thermique ..... مقدار حراري  
 Graphe ..... مبيان  
 Halogène ..... هالوجين  
 Homogène ..... متجانس  
 Horizontal ..... أفقي  
 Illustrer ..... وضّح  
 Image réelle ..... صورة حقيقية  
 Image virtuelle ..... صورة وهمية  
 Incertitude absolue ..... ارتياب مطلق  
 Incertitude accidentelle ..... ارتياب عَرَضي  
 Incertitude relative ..... ارتياب نسبي  
 Incertitude systématique ..... ارتياب تصنيفي  
 Incident ..... وارد  
 Indépendant ..... مستقل  
 Indice ..... مُعامل  
 Inextensible (fil) ..... غير قابل للتمدد  
 Instant moyen ..... لحظة متوسطة  
 Instantané ..... لحظي  
 Instrument ..... أداة، جهاز  
 Intégration ..... مُكاملة  
 Intensité ..... شدّة  
 Intermédiaire ..... وسيط  
 Interprétation ..... تفسير  
 Interrupteur ..... قاطع التيار  
 Intersection ..... تقاطع  
 Intervalle ..... مجال، فترة  
 Isolant ..... عازل  
 Isoler thermiquement ..... عزل حراريا  
 Joule ..... جول  
 Lâcher ..... أرخى  
 Lame à faces parallèles ..... صفيحة متوازية الوجهين  
 Lame de verre ..... صفيحة زجاجية  
 Lampe ..... مصباح  
 Lentille convergente ..... عدسة مجمعة  
 Lentille divergente ..... عدسة مفرقة  
 Lentille mince ..... عدسة رقيقة  
 Limite ..... نهاية  
 Linéaire ..... خطي  
 L'œil nu ..... العين المجردة  
 Logarithme ..... لوغاريتم  
 Loi d'Ohm ..... قانون أوم  
 Longueur ..... طول  
 Luminosité ..... إضاءة  
 Maille ..... خَلق  
 Majoration physique ..... إكبار فيزيائي  
 Manipulation ..... مناولَة  
 Manomètre ..... مانومتر

Maquette ..... حامل المكونات الكهربائية  
 Masse ..... كتلة، هيكل كاشف التذبذب  
 Matériel ..... مُعدّات  
 Matière ..... مادة  
 Maximum ..... أقصى  
 Mesure algébrique ..... قياس جبري  
 Méthode des logarithmes ..... منهج (طريقة) اللوغاريتمات  
 Méthode électrique ..... الطريقة الكهربائية  
 Mettre en marche ..... تشغيل  
 Microscope ..... مجهر  
 Milieu extérieur ..... المحيط الخارجي  
 Minimum ..... أدنى  
 Miroir ..... مرآة  
 Mode de transfert d'énergie ..... كيفية انتقال الطاقة  
 Modèle ..... نموذج  
 Module ..... معيار  
 Mole ..... مول  
 Montage amont ..... تركيب عالي  
 Montage aval ..... تركيب سافل  
 Mouvement sinusoïdal ..... حركة جَيِّبِيَّة  
 Moyenne ..... معدل  
 Nature du phénomène ..... طبيعة الظاهرة  
 Négatif ..... سالب  
 Négligeable ..... قابل للإهمال، مهمل  
 Nette ..... واضحة  
 Nœud ..... عُقدة  
 Normale (la) ..... مُنظمي  
 Objectif ..... هدف، نظام شيني  
 Objet réel ..... شيء حقيقي  
 Observer ..... لاحظ  
 Oculaire ..... نظام عيني  
 Onde électromagnétique ..... موجة كهرومغناطيسية  
 Opaque ..... معتم، غير شفاف  
 Opérateur ..... مجرب  
 Opération ..... عملية  
 Optique ..... بصري  
 Ordonnée ..... أُرْ توب  
 Ordre de grandeur ..... رتبة قدر  
 Orienté ..... موجه  
 Origine ..... أصل  
 Orthonormé ..... متعامد ممنظم  
 Oscillateur harmonique ..... مذبذب توافقي  
 Osciller ..... تذبذب  
 Oscilloscope ..... كاشف التذبذب  
 Paillasse ..... مائدة المختبر  
 Papier calque ..... أنسوخ  
 Papier millimétré ..... ورق ميليمتري  
 Parallaxe ..... اختلاف الموضع  
 Parallèle (en) ..... على التوازي  
 Paramètre ..... متغير  
 Paroi ..... جدار  
 Passage ..... مرور

Pâte thermo-conductrice ..... عجّين موصل للحرارة  
 Pendule simple ..... نَوّاس بسيط  
 Pente ..... ميل، منحدر  
 Percer ..... ثقب  
 Période ..... دَوْر  
 Perpendiculaire ..... عمودي، متعامد  
 Pertes calorifiques ..... ضياع سعري (حراري)  
 Pesanteur ..... ثقلية  
 Peser ..... وزن  
 Phase liquide ..... طَوْر سائل  
 Phénomène ..... ظاهرة  
 Pivot ..... جذر وتدي  
 Plan ..... مستوى  
 Plaque en plastique ..... صفيحة من اللدن  
 Plexiglas ..... زجاج الوقاية، بليكسيكلاس  
 Point critique ..... نقطة حرجة  
 Point matériel ..... نقطة مادية  
 Point triple ..... نقطة ثلاثية  
 Points conjugués ..... نقط متوافقة  
 Polaire ..... قُطبي  
 Pôle ..... قطب  
 Polycopié ..... مطبوع  
 Positif ..... موجب  
 Position ..... موضع  
 Potentiel ..... جهد  
 Pourcentage ..... نسبة  
 Pratique ..... تطبيقي  
 Précédent ..... سابق  
 Précision ..... دقة  
 Premier principe de la ..... أول مبادئ الديناميك الحرارية  
 thermodynamique  
 Pression ..... ضغط  
 Principe fondamental de ..... العلاقة الأساسية للديناميك  
 la dynamique  
 Prise (de courant) ..... مأخذ التيار  
 Prisme ..... مَوْشور  
 Produit ..... مادة، جُداء  
 Projecteur de diapositives ..... مسلاط  
 Projection orthogonale ..... إسقاط متعامد (عمودي)  
 Proportionnalité ..... تناسب  
 Propriété ..... خاصية  
 Puce ..... برغوثية  
 Pulsation ..... نبض  
 Pur ..... خالص  
 Quantité de chaleur ..... كمية الحرارة  
 Quotient ..... خارج  
 Raccordement ..... تدريك  
 Raideur (coefficient de) ..... صلابة  
 Rappel ..... ارتداد، تنكير  
 Rapport ..... نسبة  
 Rayon de courbure ..... شعاع الانحناء  
 Rayon lumineux ..... شعاع ضوئي

Rayon vecteur ..... شعاع المتجهة  
 Rayonnement thermique ..... إشعاع حراري  
 Réaction ..... رد الفعل  
 Réalisation du montage ..... إنجاز التركيب  
 Récipient cylindrique ..... إناء أسطواني  
 Rectangle d'incertitude ..... مستطيل الإرتياب  
 Référence ..... مرجع  
 Réflexion ..... انعكاس  
 Réfraction ..... انكسار  
 Régler ..... ضبط  
 Relation de conjugaison ..... علاقة التوافق  
 Relever ..... استخراج  
 Remarque ..... ملاحظة  
 Renversée ..... مقلوبة  
 Repère ..... مَعْلَم، إشارة أو علامة  
 Repérer ..... مَعْلَم  
 Représentation graphique ..... تمثيل مبياني  
 Réseau ..... شبكة  
 Résistance équivalente ..... مقاومة مكافئة  
 Résistance interne ..... مقاومة داخلية  
 Résistivité ..... مُقاومِيّة  
 Résoudre ..... حل  
 Ressort ..... نابض  
 Résultat ..... نتيجة  
 Rhéostat ..... معدلة  
 Rotation ..... دَوْران  
 Saturé ..... مُشبع  
 Schéma ..... تبيانة  
 Second membre ..... طرف ثان  
 Second ordre ..... درجة ثانية  
 Section ..... مَقطع  
 Segment ..... قطعة  
 Sélecteur ..... منتخب  
 Sélectionner ..... انتخب  
 Sens ..... منحي  
 Sensibilité ..... حساسية  
 Séparation ..... تفريق  
 Série (en) ..... على التوالي  
 Signification physique ..... دلالة فيزيائية  
 Sinusoïde ..... مُنحني جيبّي  
 Solution ..... حل  
 Sophistiqué ..... متطور  
 Source lumineuse ..... مَنبَع ضوئي  
 Spot ..... نقطة ضوئية  
 Statique ..... ساكن  
 Successif ..... مُتتالي  
 Support ..... حامل  
 Supposer ..... افترض  
 Surface ..... سطح، مساحة  
 Surface traitée ..... سطح معالج  
 suspendre ..... علّق  
 Symbole ..... رمز

Synchrone	متزامن، متوافق
Système cartésien	مَنْظَم ديكارتي
Système cylindrique	مَنْظَم أسطواناني
Système de coordonnées	نظام الإحداثيات
Système international	النظام الدولي
Système sphérique	نظام كروي
Tableau	جدول
Tangente	مماس
Température	درجة الحرارة
Temps	الوقت، الزمن
Tension alternative	توتر متناوب جَيْبي
sinusoïdale	
Tension du fil	توتر الخيط
Tension efficace	توتر فعال
Terme	حد، مصطلح
Théorème	مُبْرَهَنَة
Théorie	نظرية
Thermodynamique	علم الديناميكا الحرارية
Thermomètre	محرار
Tige	قَضِيب
Total	مجموع، كلي
Tours / min	دورة في الدقيقة
Traçage des courbes	تخطيط المنحنيات
Tracer	خط
Trajectoire	مَسَار
Trajet	مَسِير
Transformation élémentaire	تحول أولي
Translation	إزاحة
Transparent	شفّاف
Travail	شغل

Travaux pratiques	أشغال تطبيقية
Triangle	مثلث
Tube	أنبوب
Type	نوع
Unité	وَحْدَة
Usure	تآكل
Valeur absolue	قيمة مطلقة
Valeur en eau	سعة حرارية
Valeur maximale	قيمة قصوى
Valeurs croissantes	قيم تزايدية
Vapeur	بخار
Vaporisation	تبخير
Variable	متغير
Variation	تَغْيُر
Varier	غَيّر
Vase calorimétrique	إناء مسعري
Vecteur unitaire	متجهة واحدة
Vérification	تحقق
Verre dépoli	زجاج خشن
Vertical	رأسي
Vis	بُرْغِي
Visible	ظاهر، مرئي
Visualisation	معاينة
Vitesse de balayage	سرعة الكَسْح
Vitesse de rotation	سرعة الدوران
Vitesse initiale	سرعة بدئية
Voie	طريق، مسلك
Voltmètre	فولطمتر
Zone	منطقة