

جامعة أبو بكر بلقايد

UNIVERSITÉ DE TLEMCEN



FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

**Premier cycle d'étude universitaire : L2**

**TRAVAUX PRATIQUES**

**DE**

**PHYSIQUE**



**THERMODYNAMIQUE**

*Année Universitaire 2019/2020*

### Quelques conseils pour le bon déroulement des TP

- Une séance de TP se déroule pendant trois heures durant laquelle les étudiants sont tenus à respecter scrupuleusement les directives de leurs enseignants (attention à l'eau bouillante et à la tension du secteur 220 V~).
- Les TPs sont exécutés par binôme. Chaque étudiant doit contribuer entièrement avec vigilance aux différentes manipulations.
- Au début de chaque TP l'étudiant est interrogé par ses enseignants au sujet de la manipulation qu'il a normalement au préalable préparée avec soin.
- L'étudiant passera un examen final à la fin du semestre où il sera interrogé au sujet d'une ou deux manipulations au moins pratiquement et théoriquement. On pourra même lui demander de manipuler durant cet examen.
- La note finale du module TP sera la moyenne de cet examen important et les notes des comptes rendus des quatre manipulations qu'il aurait menés lors du semestre.
- Les comptes rendus sont rendus sur place ; le logiciel « Origine » pour tracer les courbes obtenues expérimentalement est disponible avec une imprimante et des feuilles blanches.
- Le port des blouses est obligatoire.
- Se laver les mains à la fin de chaque séance est fortement conseillé (savon et serviette sont disponibles).
- Ne jamais boire l'eau du robinet.
- L'enseignant répond à toutes les questions posées par l'étudiant dans la mesure du possible.
- Le matériel doit être rangé et la paillasse bien nettoyée à la fin de chaque séance (ça fait partie intégrante de la manipulation ; une séance de TP à pour but aussi d'apprendre à l'étudiant les bonnes habitudes !).

Matériels essentiel utilisé dans le Laboratoire de Thermodynamique

1. Le calorimètre

Il existe plusieurs types de calorimètres, les plus simple est une enceinte adiabatique isolé de l'extérieur pour essentiellement éviter au maximum les échanges thermiques avec le milieu extérieur



2. Le thermomètre

Il existe plusieurs types de thermomètres, citons ceux qui existent dans notre Laboratoire.

a- Le thermomètre à dilatation de liquides (alcool ou mercure).



Thermomètre à mercure



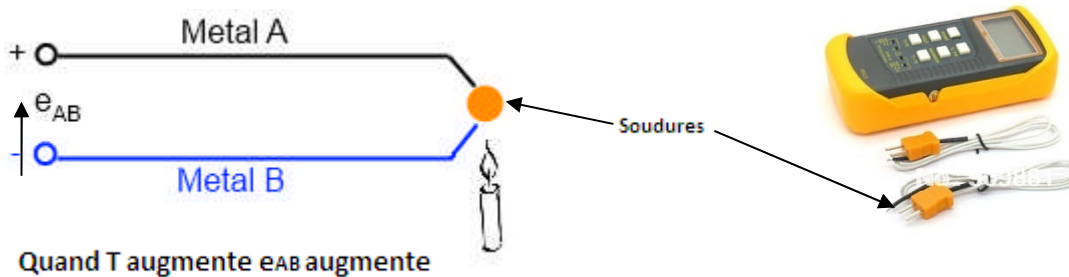
Thermomètres à Alcool



Thermomètre médical à mercure

(Attention à la casse !!)

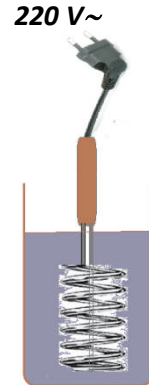
b- **Thermomètres à thermocouple** : ils sont constitués de deux métaux de natures différentes soudés entre eux à une extrémité ; les deux bornes restantes délivrent une différence de potentiel continue fonction de la température de la soudure.



### 3- Résistance plongeante (ou chauffante) :

C'est une simple résistance qui chauffe par effet joule qu'on branche directement au secteur 220V~.

**Attention : Cette résistance ne sera branchée que lorsqu'elle est complètement immergée dans l'eau.**



### 4- Plaque chauffante :

Il existe plusieurs types dans le commerce, certaines sont munie d'un dispositif pour agiter le contenu par exemple d'un bécher rempli de liquide. On ne confondra pas l'agitateur magnétique et le barreau magnétique.

Bouton pour faire varier

La vitesse d'agitation



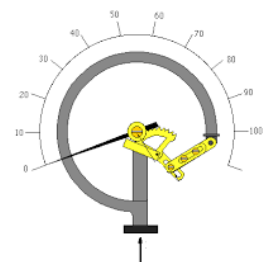
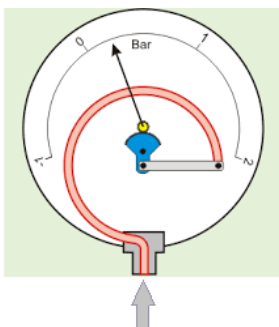
Bouton pour faire varier

la température de chauffe

**Plaque chauffante + Agitateur**

### 5- Manomètre de Bourdon :

Il existe plusieurs types de manomètres pour la mesure de pression. Notre Laboratoire renferme un manomètre de Bourdon dont le principe est simple : la pression à mesurer est appliquée à une tubulure courbée dont une extrémité est libre de se mouvoir suite à la déformation qu'elle subit de la part de cette pression.



## *L'équilibre thermique, la clef pour l'obtention de bons résultats expérimentaux*

- *Lorsque deux corps de températures différentes entrent en contact, ils échangent de l'énergie thermique de sorte à ce que leurs températures respectives s'égalisent. En physique statistique et en thermodynamique, l'**équilibre thermique** représente la situation où la température au sein d'un système est uniforme.*
- *La plus part des mesures de température se font à l'équilibre thermique, il faut donc attendre cet équilibre car il se fait dans le temps. En plongeant un thermomètre dans un calorimètre pour prendre la température d'équilibre d'un mélange d'eau froide et chaude, on doit impérativement attendre que l'équilibre se produise entre les différentes parties en présence, l'eau chaude, l'eau froide et le réservoir du thermomètre.*
- *On doit obligatoirement agiter le liquide pendant la prise de sa température. Le mieux serait d'agiter continuellement le liquide pour uniformiser sa température ceci permettra de faire remonter les molécules froides vers le haut et faire descendre les molécules chaudes vers le bas.*

## ***Loi de Boyle-Mariotte***

### **I- But de la Manipulation :**

- Vérification de la loi de Boyle-Mariotte pour l'air à température constante et pour une masse de gaz donnée.
- Détermination du coefficient de compressibilité  $\chi_T$  de l'air.

### **II- Principe :**

L'état d'un gaz est défini par trois variables : la pression  $P$ , le volume  $V$  et la température  $T$ . Ces quantités ne sont pas indépendantes ; la relation qui existe entre elles est dite *équation d'état*. Elle est de la forme

$$f(P, V, T) = 0$$

Pour un gaz parfait cette loi prend la forme :

$$PV - nRT = 0 \quad \text{ou} \quad PV = nRT$$

$n$  : nombre de moles de gaz

$R$  ; constante de gaz parfait  $R = 8.32 \text{ J/}^\circ\text{K.mole}$ .

Pour un gaz réel obéissant à l'équation de Van Der Waals, l'équation s'écrit :

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = nRT$$

où  $a$  et  $b$  sont deux constantes.

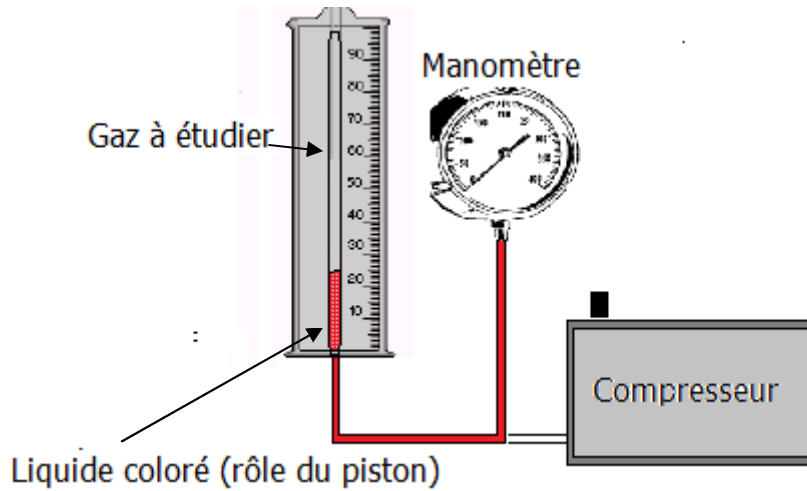
En fixant l'une des trois variables qui est la température  $T$  (transformation isotherme), l'étude de la variation de la pression en fonction du volume conduit à définir le coefficient de compressibilité isotherme :

$$\chi_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

### **III- Manipulation :**

- 1- Brancher le compresseur au manomètre permettant la mesure de la pression de l'air contenu dans le tube (voir fig1)

- 2- Mettre en marche le compresseur. A l'aide de la vis(I), régler la pression du compresseur.
- 3- Pour différentes pressions, relever les différents volumes d'air correspondants.



- Dresser le tableau de mesure suivant :

P(kN/m <sup>2</sup> )									
V (cm <sup>3</sup> )									
1/V(cm <sup>-3</sup> )									
PV (kN.cm)									

- Estimer les incertitudes de mesure.
- Tracer la courbe  $P = f(V)$
- Tracer  $P = f(1/V)$ .
- Choisir une portion de la courbe  $P = f(V)$  (la plus linéaire possible) et déterminer le coefficient de compressibilité isotherme  $\chi_T$  par la relation :

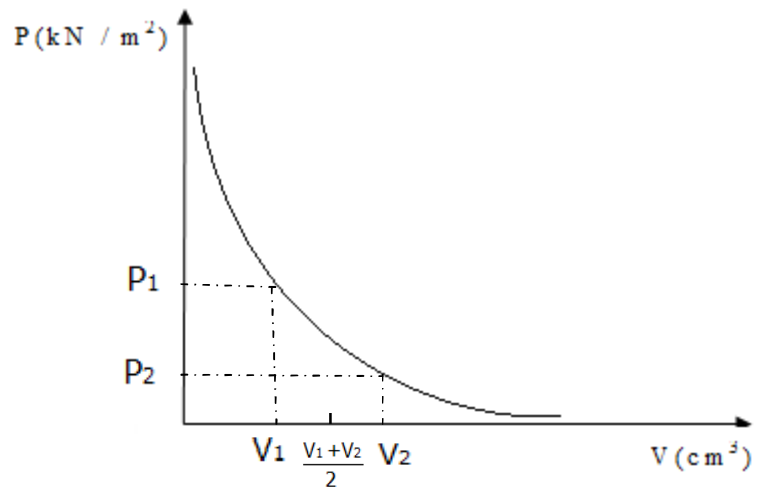
$$\chi_T \approx -\frac{1}{V} \left( \frac{\Delta V}{\Delta P} \right)_T$$

avec  $\Delta V = V_2 - V_1$  et  $\Delta P = P_2 - P_1$

Pour déterminer pratiquement  $\chi_T$  on approximera la valeur de V à celle de :

$$V_{moy} = V_1 + (V_2 - V_1)/2$$

- Faire un calcul d'erreurs et comparer la valeur de  $\chi_T$  trouvée à celle donnée par la littérature.





## Mesure du rapport $\gamma$ des chaleurs massiques d'un gaz par la méthode de Clément-Desormes

### I- But de la manipulation :

Mesurer le rapport  $\gamma = C_p/C_v$  d'un gaz considéré comme parfait.  $C_p$  étant la chaleur massique à pression constante,  $C_v$  la chaleur massique à volume constant.

### II. Principe :

On fait subir au gaz contenu dans une enceinte  $R$  trois transformations thermodynamiques mettant en jeu :

- Sa pression  $P$  (mesurée en hauteur de liquide au manomètre).
- Son volume  $V$  (défini par le volume offert au gaz à l'intérieur du système).
- Sa température absolue  $T$  (échelle des températures thermodynamique).

Le gaz est initialement au repos. L'état initial sera défini par :

$$\text{ETAT ZERO} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_0 = H \text{ (pression atmosphérique)} \\ V_0 = V \\ T_0 = T_a \text{ (température ambiante)} \end{array} \right.$$

On crée une surpression  $h$  du gaz en introduisant du gaz supplémentaire par l'intermédiaire d'une pompe ou compresseur. Si on attend suffisamment pour que l'équilibre thermique s'établisse (compression considérée comme isotherme), le gaz se trouve maintenant à l'état 1 défini par :

$$\text{ETAT 1} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_1 = H + h \quad (P_1 < P_0) \\ V_1 < V_0 \text{ (compression du gaz à l'intérieur de } R) \\ T_1 = T_0 = T_a \end{array} \right.$$

On détend complètement le gaz par ouverture de la soupape s (on veillera à relâcher la soupape dès que  $h_1 = 0$ ).

Cette détente sera considérée comme adiabatique et réversible de sorte que l'état 2 est défini par les relations équivalentes :

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad (2) \text{ transformation adiabatique}$$

$$(P_1/P_2)^{\gamma-1/\gamma} = T_1/T_2 \quad (3)$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad (4)$$

Ces relations montrent que l'état 2 est tel que :

$$\underline{\text{ETAT 2}} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_2 = H \quad (h_2 = 0 \text{ et } P_2 < P_1) \\ V_2 > V_1 \quad (\text{détente du gaz dans } R) \\ T_2 < T_1 \quad (T_2 < T_a) \end{array} \right.$$

La conséquence de cette détente est donc un refroidissement du gaz.

Après la détente on attend que l'équilibre thermique se rétablisse. Cette transformation s'effectue à volume constant (robinet verrouillé).

La relation (1) des gaz parfaits donne :

$$P_3/P_2 = T_3/T_2 \quad (5)$$

Le réchauffement du gaz conduit à l'état (3) du système :

$$\text{ETAT 3} \quad V_3 = V_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} P_3 = H + h_3 \quad (P_3 > P_2) \\ \text{(nombre inchangé de molécules)} \\ T_3 > T_2 \quad (T_3 = T_a) \end{array} \right.$$

**Calcul de  $\gamma$  :**

Compte tenu des conditions de l'expérience les relations (3) et (5) s'écrivent :

$$\left( \frac{H + h_1}{H} \right)^{\gamma-1/\gamma} = \frac{T_a}{T_2} \quad \frac{T_a}{T_2} = \frac{(H + h_a)}{H}$$

d'où:

$$1 + \frac{h_a}{H} = \left( 1 + \frac{h_1}{H} \right)^{\gamma-1/\gamma}$$

$$\ln\left(1 + \frac{h_a}{H}\right) = \gamma - \frac{1}{\gamma} \ln\left(1 + \frac{h_1}{H}\right)$$

Pour que la détente adiabatique puisse être considérée comme réversible, il faut que les suppressions  $h_1$  et  $h_3$  soient faibles par rapport à  $H$ . Les quantités  $h_3/H$  et  $h_1$  sont alors petites devant 1 et l'on peut utiliser la relation approchée :

$$\ln(1+\varepsilon) \sim \varepsilon$$

On a alors :  $h_3 = (1 - \frac{1}{\gamma})h_1$  d'où  $\frac{1}{\gamma} = 1 - \frac{h_3}{h_1}$

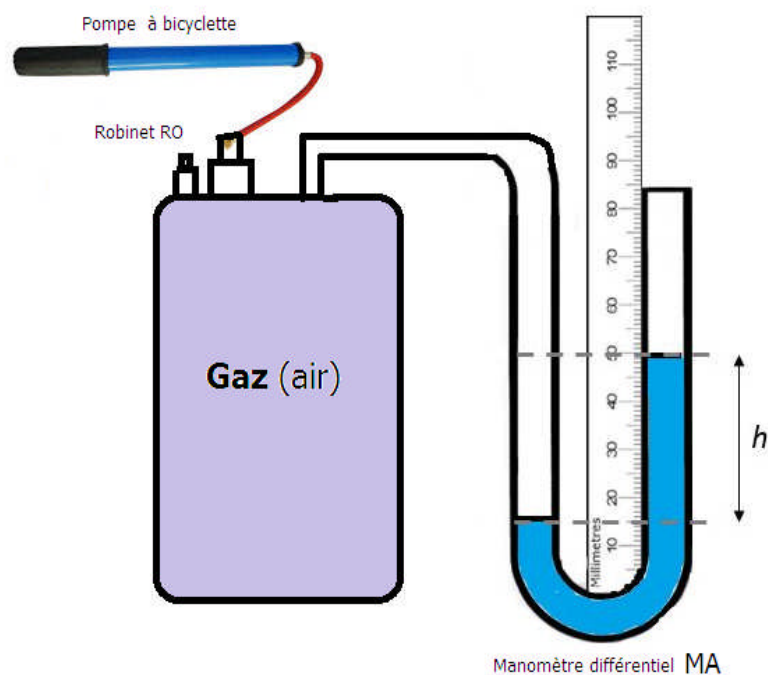
Et d'où :

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_3}$$

### III. Manipulation :

Le gaz étudié est l'air, l'appareil utilisé (fig. 1) comporte :

- un réservoir *R*.
- un manomètre *MA*.
- un robinet *RO* permettant de mettre en communication la pression dans le réservoir *R*.
- une pompe à bicyclette permettant d'augmenter la pression dans le réservoir *R*.
- une soupape à gros débit assurant une détente rapide.



Opérations à exécuter lors de la manipulation :

1. Ouvrir le robinet  $RO$  de manière à établir dans le récipient la pression atmosphérique.
2. Pomper lentement, attendre quelques instants ( $10mn$ ) pour que l'ensemble puisse être à la température ambiante  $T_0$ . Mesurer alors la dénivellation  $h_1$  dans les branches du manomètre  $MA$ .
3. appuyer sur la soupape pendant un temps très court, le relâcher dès que la pression ait atteint la valeur atmosphérique, la détente a lieu avec un refroidissement de l'air de l'enceinte.
4. après avoir relâché la soupape attendre quelques instants ( $5 mn$ ) pour que l'air contenu dans le réservoir  $R$  soit à la température ambiante, lire à ce moment la dénivellation  $h_3$ .

Finalement le processus nécessaire à l'estimation d'une valeur de  $h_3$  est terminé.

Opérer ainsi pour différentes valeurs de  $h_1$  tout en mesurant ensuite  $h_3$ .

5. Dresser un tableau de mesure où figurent  $h_1$ ,  $h_3$ ,  $\gamma$  et  $\Delta\gamma$ .
6. Comparer vos résultats à ceux de la littérature.

## ANNEXE



La **capacité thermique massique** (symbole  $c$  ou  $s$ ), anciennement appelée **chaleur massique** ou **chaleur spécifique**<sup>1</sup>, est déterminée par la quantité d'**énergie** à apporter par échange thermique pour élever d'un kelvin la **température** de l'unité de masse d'une substance. C'est donc une grandeur **intensive** égale à la **capacité thermique** rapportée à la masse du corps étudié. L'unité du **Système international** est alors le **joule par kilogramme-kelvin** ( $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ). La détermination des valeurs des capacités thermiques des substances relève de la **calorimétrie**. Suivant le type de **transformation thermodynamique**, on considère soit l'**énergie interne massique**, soit l'**enthalpie massique**. Si on note  $U$  l'énergie interne,  $H$  l'enthalpie et  $m$  la masse d'un corps on a donc les capacités thermiques massiques :

- $c_V = \frac{1}{m} \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$  à volume constant : ;
- $c_p = \frac{1}{m} \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$  à pression constante : .

La différence entre la chaleur spécifique à pression constante  $c_p$  et la chaleur spécifique à volume constant  $c_v$  est liée au travail qui doit être fourni pour dilater le corps en présence d'une pression externe. Si elle est souvent négligeable pour les phases condensées réputées peu compressibles et

peu dilatables (liquides ou solides) la différence entre  $c_p$  et  $c_v$  est importante pour les gaz.

La [capacité thermique volumique](#) exprimée en [Joule par mètre cube-kelvin](#) est égale à la capacité thermique massique multipliée par la [masse volumique](#).

Cas des gaz parfaits :

D'après la [théorie cinétique des gaz](#), l'énergie interne d'une mole de [gaz](#) parfait monoatomique est égale à  $(3/2)RT$ , et plus élevée pour les gaz dont les molécules sont polyatomiques ; par exemple,  $(5/2)RT$  pour un gaz diatomique. Le calcul théorique n'est plus possible pour les molécules complexes.

La capacité massique à volume constant est ainsi de :

- $C_V = \frac{3R}{2M}$  pour un gaz parfait monoatomique ;
- $C_V = \frac{5R}{2M}$  pour un gaz parfait diatomique, lorsque sa température  $T$  vérifie

$$T_{\text{rotation}} < T < T_{\text{vibration}}$$

En effet si  $T < T_{\text{rotation}}$  on aura  $C_V = \frac{3R}{2M}$  (comportement sera celui d'un gaz monoatomique),  
 et si  $T > T_{\text{vibration}}$  on aura  $C_V = \frac{5R}{2M}$  pour un gaz diatomique.

La capacité massique à pression constante d'un gaz parfait peut être déterminée à partir de la capacité massique à volume constant, puisque l'[équation des gaz parfaits](#) exprime que :

$$pv = \frac{RT}{M}, \text{ et donc : } \frac{\partial(pv)}{\partial T} = \frac{R}{M}$$

$p$  étant la pression,  $v$  le *volume massique*,  $R$  la [constante molaire des gaz](#), et  $M$  la [masse molaire](#) du gaz considéré.

La différence théorique entre ces deux valeurs donne alors la [relation de Mayer](#) :

$$C_p - C_V = T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_{V,N} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_{p,N}$$

où  $p$ ,  $V$ ,  $N$  et  $T$  sont respectivement la [pression](#), le [volume](#), le nombre de particules et la [température](#) du système considéré ;

soit :

$$C_p - C_V = \left( \frac{\partial(u + pv)}{\partial T} \right)_p - \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_V = \frac{R}{M}$$

avec  $u$  (l'énergie interne) ne dépendant que de la température.

Le rapport des deux capacités d'un gaz est important en [thermodynamique](#) ; il est noté [gamma](#) :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Sa valeur dépend de la nature du gaz considéré ; pour un gaz parfait, la valeur théorique de  $\gamma$  est :

- $\gamma = 5/3 = 1,67$  pour un gaz monoatomique ( $1/(\gamma-1)=3/2=1,5$ ) ;
- $\gamma = 7/5 = 1,4$  pour un gaz diatomique ( $1/(\gamma-1)=5/2=2,5$ ).

**Capacité thermique massique de gaz à pression constante, sous atmosphère normale**

<b>Gaz</b>	<b>Masse molaire (kg/mol)</b>	<b>Température (°C)</b>	<b>capacité massique <math>c_p</math> J/(kg·K)</b>	<b><math>1/\gamma-1</math></b>
<u>Air</u>	$29 \times 10^{-3}$	0-100	1004	2,48
<u>Argon</u>	$39,948 \times 10^{-3}$	15	520	1,54
<u>Diazote</u>	$28,013 \times 10^{-3}$	0-200	1025	2,46
<u>Dioxyde de carbone</u>	$44,01 \times 10^{-3}$	20	650	3,44
<u>Hélium</u>	$4,003 \times 10^{-3}$	18	3160	1,52
<u>Dihydrogène</u>	$2,016 \times 10^{-3}$	16	10140	2,46
<u>Dioxygène</u>	$31,999 \times 10^{-3}$	13-207	920	2,50
<u>Vapeur d'eau</u>	$18,015 \times 10^{-3}$	100	2010	3.65

D'une manière générale pour les gaz parfaits, on a les capacités thermiques

molaires  $[J/(mol \cdot K)]$  suivantes :  $C_{Vm} = \frac{R}{\gamma - 1}$  et  $C_{Pm} = \frac{R\gamma}{\gamma - 1}$

## ***Dilatation linéaire des solides***

### ***I- But de la manipulation :***

Déterminer le coefficient de dilatation  $\alpha$  de quelques métaux tels que le Fer, l'Aluminium, le laiton, l'acier, etc...

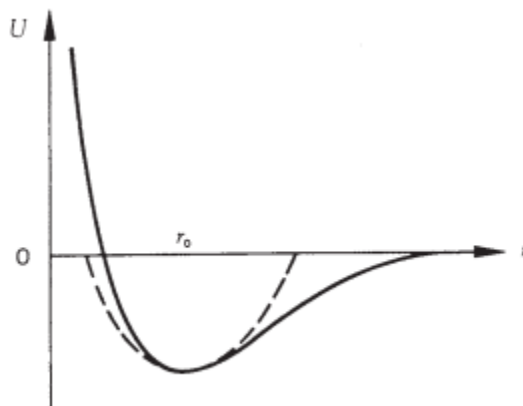
### ***II- Principe :***

La dilatation linéaire de tubes de différentes nature sont déterminées en fonction de la température en les chauffant à l'aide d'un courant d'eau chaude les traversant continuellement pour atteindre une température d'équilibre  $T_e$ . La dilatation  $\Delta l = f(T_e)$  du tube est relevée à l'aide d'un micromètre.

### ***III- Théorie et exploitation :***

Une augmentation de la température  $T$  a pour effet de provoquer dans le corps solide une augmentation de l'amplitude d'oscillation des atomes dans le réseau moléculaire. La courbe de potentiel (*fig.1*) pour les forces de liaison correspond uniquement en première approximation à la parabole d'un oscillateur harmonique.

En général cette courbe est plus plate pour les grands écartements des atomes que pour les petits. Pour une grande amplitude d'oscillation, le point moyen d'amplitude, se déplace pour cette raison vers les plus grands écartements de l'atome. La distance moyenne entre les atomes devient plus grande et par là également le volume total  $V$  (à pression constante  $P$ ).



*Fig.1 : courbe de potentiel en fonction de l'écartement des atomes r.*



$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dT} \right)_p \quad (1)$$

s'appelle le coefficient de dilatation cubique. Si on considère seulement une seule dimension, on obtient le coefficient de dilatation linéaire :

$$\alpha_1 = \frac{1}{l} \left( \frac{dl}{dT} \right)_p \quad (2)$$

$l$  étant la longueur totale du corps.

Comme les modifications de la longueur :  $\Delta l = l - l_0$  sont petites par rapport à la longueur initiale  $l_0$ , on peut écrire :

$$\alpha_1 = \frac{\Delta l}{l_0} \frac{1}{\Delta T} \quad (3)$$

et par conséquent :

$$l = l_0 [1 + \alpha_1 (T - T_0)] \quad (4)$$

$T_0$  étant la température initiale.

#### **IV- Manipulation :**

1/ Réaliser le montage de la figure 3.

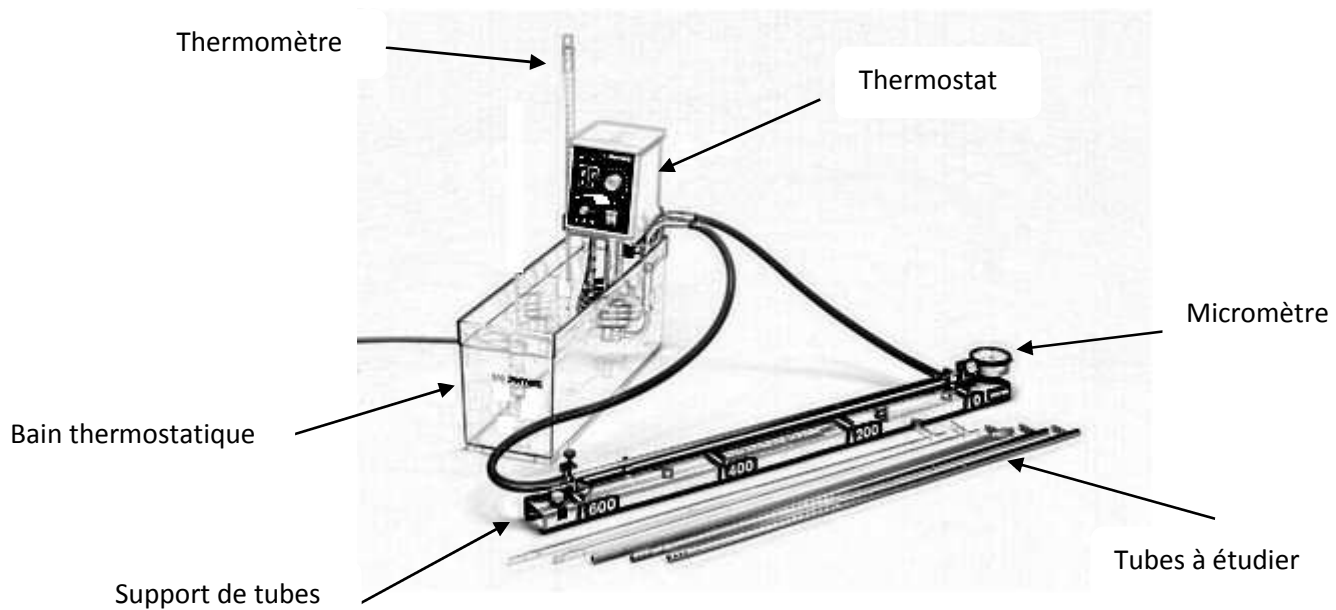


Figure3 : réalisation du montage

Le tuyau de jonction sur le thermostat de circulation est détaché et à la place on raccorde le dilatomètre sur le circuit d'eau. Les tuyaux d'alimentation et d'évacuation en caoutchouc doivent être éloignés du dilatomètre pour éviter un échauffement du châssis de celui-ci.

Après la fixation du tube étudié et la mise en fonction de la pompe du bain thermostatique pendant quelques minutes, l'échelle graduée du comparateur est placée sur zéro et la dilatation est mesurée en fonction de la température.

Le temps de variation de la température étant très court suivant ce mode d'opération, il en résulte que la température du châssis reste constante. Un relevé de deux valeurs est par conséquent suffisant.

La dilatation est mesurée pour trois longueurs différentes du tube. Pour ce faire, le tube doit être fixé à différents endroits [ 600 , 400 et 200].

2/ Pour différents tubes choisis, dresser un tableau de mesures où figurent les différentes températures  $T$  du tube et les dilatations  $\Delta l$  ( en microns ) correspondantes.

3/ Tracer les courbes représentant  $\Delta l = f(T)$

Commenter la courbe et en déduire le coefficient de dilatation linéaire de tube étudié.

4/ Faire un calcul d'erreur.

5/ Pour différentes longueurs du tubes  $L$  [ 600 , 400 et 200], faire varier la température de  $T$  à  $T + 5^{\circ}\text{C}$  et noter la variation de la longueur correspondante  $\Delta l$ .

6/ Tracer alors la variation  $\Delta l = f(L)$

Commenter la courbe.

**V- Conclusion :** Décrire quelques phénomènes mettant en œuvre le phénomène de dilatation des solides.

# Dilatation volumique des liquides

## I -But de la manipulation :

Détermination expérimentale des coefficients moyens de dilatation de plusieurs liquides : eau, alcool, huile de table, huile de freins de voitures, etc....

## II -Principe :

Le Coefficient de dilatation volumique moyen d'un liquide entre les températures  $\theta_0$  et  $\theta_1$  ramené à l'unité de volume à la température  $\theta_0$  est défini par :

$$\alpha = \frac{1}{\theta_0 - \theta} \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (1)$$

où  $V$  et  $V_0$  sont les volumes aux températures  $\theta_0$  et  $\theta$ .

Un ballon en verre  $B$  rempli par le liquide étudié est fermé par un bouchon traverse un tube de verre assez étroit (tube capillaire), est plongé dans un thermostat. Le niveau du liquide baisse d'abord dans le tube, puis remonte rapidement pour se stabiliser au dessus du niveau primitif.

La contraction apparente du début est due à la dilatation du ballon lui-même qui précède celle du liquide, car le ballon est le premier chauffé par l'eau. La dilatation du liquide qui se produit ensuite est plus grande que celle du ballon .On a :

$$\text{Dilatation vraie} = \text{dilatation lue} + \text{dilatation du verre.}$$

A la température  $\theta_0$  le liquide se trouve au niveau  $h_0$  (figure 1). Si on chauffe le ballon à la température  $\theta_1$  ( $\theta_1 > \theta_0$ ) le niveau du liquide monte pour atteindre une hauteur  $h_1$ .

La mesure de ces hauteurs  $h_0$  et  $h_1$  permet de déterminer le coefficient moyen de dilatation du liquide entre les températures  $\theta_0$  et  $\theta_1$

$$\alpha = (1/\theta_0 - \theta_1). (h_1-h_0/h_0) \quad (2)$$

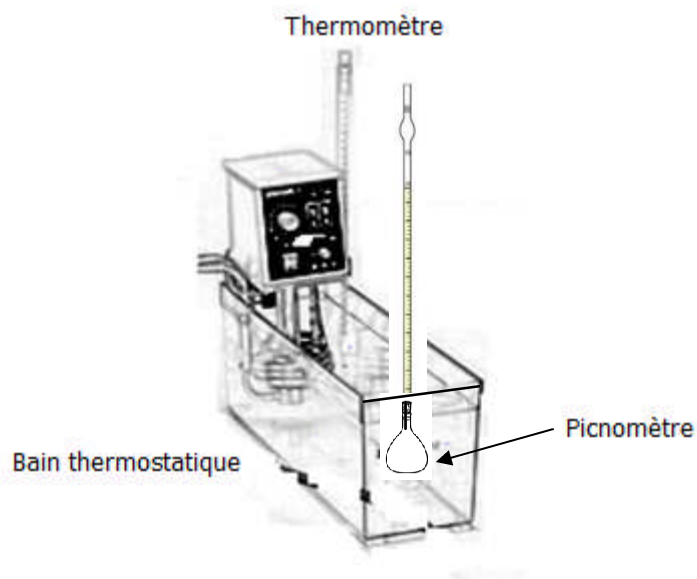
**Remarque :** Si le tube est une pipette on se contente de lire tout simplement les volumes  $V_0$  et  $V$  correspondant aux températures  $\theta$  et  $\theta_0$ .

### **III Question théoriques :**

- 1- Dédire la relation (2) à partir de (1).
- 2- Donner les coefficients de quelques corps (solides, liquides et gaz). Comparer ces coefficients.
- 3- Citer quelques applications de dilatation des liquides, des solides ainsi que celles des gaz.
- 4- Evoquer l'anomalie concernant la dilatation de l'eau.

### **IV- manipulation :**

- Remplir le pycnomètre avec le liquide étudié jusqu'à quelques graduations lisible sur le tube surmontant le pycnomètre (qui n'est autre qu'une pipette graduée en ml).



- Plonger le pycnomètre dans le thermostat dont la température est inférieure à  $4^{\circ}\text{C}$ .
- Pour différentes températures allant jusqu'à  $60^{\circ}\text{C}$ , relever les niveaux du liquide et tracer la courbe  $h = f(\theta)$  ( ou  $V = f(\theta)$  ).
- Exprimer les incertitudes  $\Delta\theta$  sur les températures lues ainsi que les niveaux  $\Delta h$  ( $\Delta V$ )
- Faire un calcul d'erreurs.
- Déterminer la valeur de  $\alpha$  obtenue à l'aide de la courbe  $h = f(\theta)$ , la comparer à la valeur moyenne donnée par le calcul.
- Comparer vos résultats à ceux de la littérature.
- Comparer les coefficients de dilatation des liquides étudiés. Discuter.
- Quelle remarque faites-vous en ce qui concerne le comportement de l'eau vis-à-vis de la température ? Discuter.

**V- Conclusion.**

## *Capacité calorifique des métaux*

### **I- But de la manipulation :**

On se propose de déterminer la capacité calorifique de certains métaux tels que le plomb, le fer, le zinc, etc...

### **II- Principe :**

L'ensemble des quatre éprouvettes formant l'échantillon de métal étudié est chauffé à la température de l'ébullition de l'eau dans un récipient, puis plongé dans le calorimètre contenant de l'eau à une température plus basse ( $< 50^\circ\text{C}$ ). La température est relevée en fonction du temps jusqu'à l'équilibre.

Il est évident de procéder au préalable à la détermination de la valeur en eau du calorimètre utilisé.

### **III- Etude théorique :**

La capacité calorifique d'une matière est définie par le rapport de la quantité de chaleur  $\partial Q$  absorbée et de la variation de la température correspondante  $\partial T$  :

$$C = \frac{\partial Q}{\partial T} \quad (1)$$

Elle est proportionnelle à la masse à réchauffer et ainsi :  $c = \frac{C}{m}$  s'appelle la chaleur spécifique de la matière.

La quantité de chaleur absorbée  $\partial Q$  dépend des conditions existantes pendant le processus de réchauffage et on distingue en particulier la capacité calorifique  $C_V$  à volume constant et  $C_P$  à pression constante.

Suivant le premier principe de la thermodynamique :

$$\partial Q = dU + PdV \quad (2)$$

U étant l'énergie interne.  $C_p$  est toujours plus grand que  $C_v$  pour des corps solides, la variation de volume est très petite, de sorte que l'on peut écrire :  $C_p = C_v$ .

$C_v$  peut être calculée suivant la relation (1) à partir de la variation de l'énergie interne :

$$C_v = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_v \quad (3)$$

L'énergie interne  $U$  dans un corps solide est obtenue principalement par l'excitation thermique des vibrations du réseau suivant la théorie de Debye qui tient compte de ces vibrations jusqu'à une fréquence limite  $\nu_D$ , on obtient pour la capacité calorifique :

$$C_v(T) = 3Nk \left( \frac{T}{\theta} \right)^3 3 \int_0^{\theta/T} \frac{z^4 e^z dz}{(e^z - 1)^2} = 3NkD \left( \frac{T}{\theta} \right) \quad (4)$$

Où  $z = h\nu/kT$  et  $\theta = h\nu_D/k$  ( température de Debye )

$h$  : **constante de Plank.**

$N$  : nombre d'atomes dans le volume considéré.

$k$  : constante de Boltzmann.

$D(T/\theta)$  s'appelle la **fonction de Debye.**

Pour de grand  $T/\theta$  la limite supérieure d'intégration est trop petite ; la fonction à intégrer peut-être développée en série et on obtient la loi de **Dulong et Petit** :

$$C_v = 3 N k \quad (5)$$

On obtient par là la capacité calorifique molaire :

$$C_m = 3 N_L k = 3 R = 24.94 \text{ J/}^\circ\text{K} \quad (6)$$

$N_L$  : **nombre** de Loschmidt.

$R$  : constante des gaz parfait.

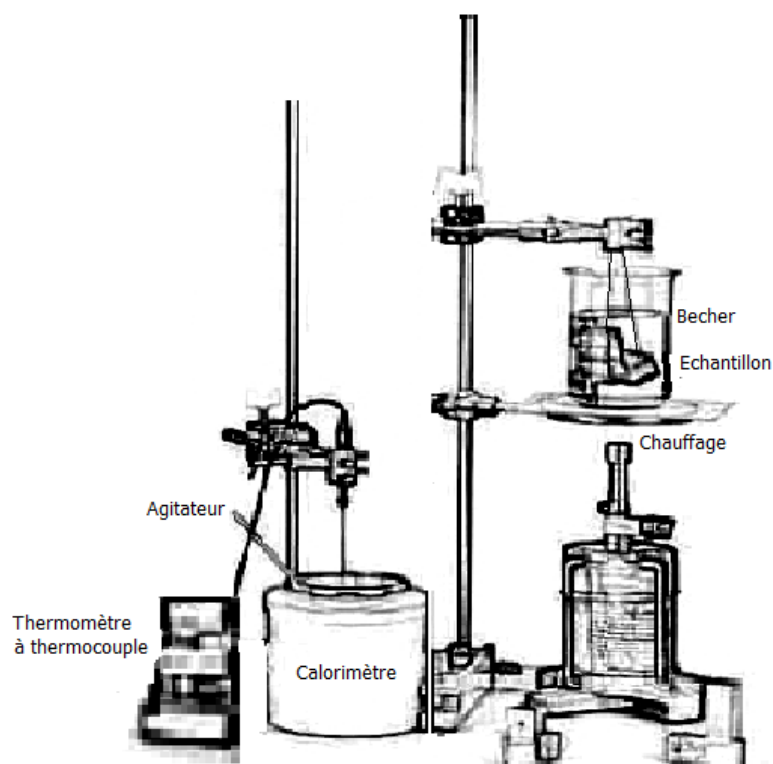
Pour le cas de notre analyse, la capacité calorifique est considérée constante dans l'intervalle des températures envisagées.

#### **IV- Manipulation :**

##### 1/ Description du dispositif de mesure :

On dispose d'un récipient rempli d'eau à la température d'ébullition, qui servira à chauffer l'échantillon. Le calorimètre (vase Dewar) rempli d'eau nous servira à déterminer la capacité calorifique du métal considéré.





## 2/ Mode opératoire :

### a-Détermination de la valeur en eau du calorimètre :

- Noter la masse  $m_k$  du calorimètre vide.
- Remplir le calorimètre avec de l'eau à la température ambiante et relever la température d'équilibre  $T_f$  du tableau  $T = f(t)$ .
- Diminuer à moitié la quantité d'eau du calorimètre et noter donc la masse totale  $m_1$ .
- Verser l'eau chaude ( $\sim 50^\circ\text{C}$ ) du récipient jusqu'à remplir le calorimètre et relever rapidement  $T = f(t)$  dans un tableau pendant environ 5mn, jusqu'à la température d'équilibre (premier palier de  $T = f(t)$  et de 30 en 30 secondes.
- Noter la masse totale  $m_2$ .

**NB** : En cas d'incident (mesure omise...) refaire l'expérience par le même procédé sans oublier d'agiter continuellement.

### b-Détermination de la capacité calorifique des métaux :

- Noter la masse  $m_x$  de l'échantillon considéré (4 éprouvettes).

- Chauffer l'échantillon, suspendu à un support dans un récipient à la température d'ébullition de l'eau  $T_{eb}$  pendant 10mn.
- Préparer de l'eau froide à une température  $T < T_a$  dans le calorimètre et noter la masse totale  $m_1$ .
- Plonger l'échantillon rapidement en le suspendant au support, dans le calorimètre. Noter dans l'immédiat la température de 15 en 15 secondes jusqu'à obtenir le premier palier de valeurs de  $T = f(t)$ .
- Refaire la même expérience pour les autres échantillons.
- Comparer les capacités de ces métaux en évoquant leurs propriétés physiques.

**V- Conclusion :**

## Mesure de l'équivalent mécanique de la calorie

### Méthode mécanique

#### I- But de la manipulation :

Mesurer l'équivalent mécanique de la calorie par une méthode mécanique.

#### II- Principe :

##### 1/ Généralités :

La thermodynamique traite des échanges entre les diverses formes d'énergie, des états et des propriétés de la matière, des transformations d'état et des phénomènes de transport. Les deux notions souvent évoquées dans cette discipline sont le travail  $W$  exprimé en *Joule* et la chaleur  $Q$  en *calorie*. Ces deux entités peuvent se convertir l'une dans l'autre. En effet, Joule est connu pour être un « expérimentateur de génie », ayant conçu de nombreux appareils afin de produire de la chaleur. Le plus célèbre est celui qui permet d'établir la relation entre travail et chaleur par un dispositif muni d'une roue à palette, mis en rotation par la chute de masse (fig.1). Les palettes sont placées dans un calorimètre rempli d'eau. En comparant le travail effectué par la chute des deux masses avec l'énergie thermique fournie à l'eau, Joule établit que : « 4,186 Joule = 1 calorie. C'est-à-dire qu'il faut apporter 4,18 J pour élever de 1 °C, un gramme d'eau.

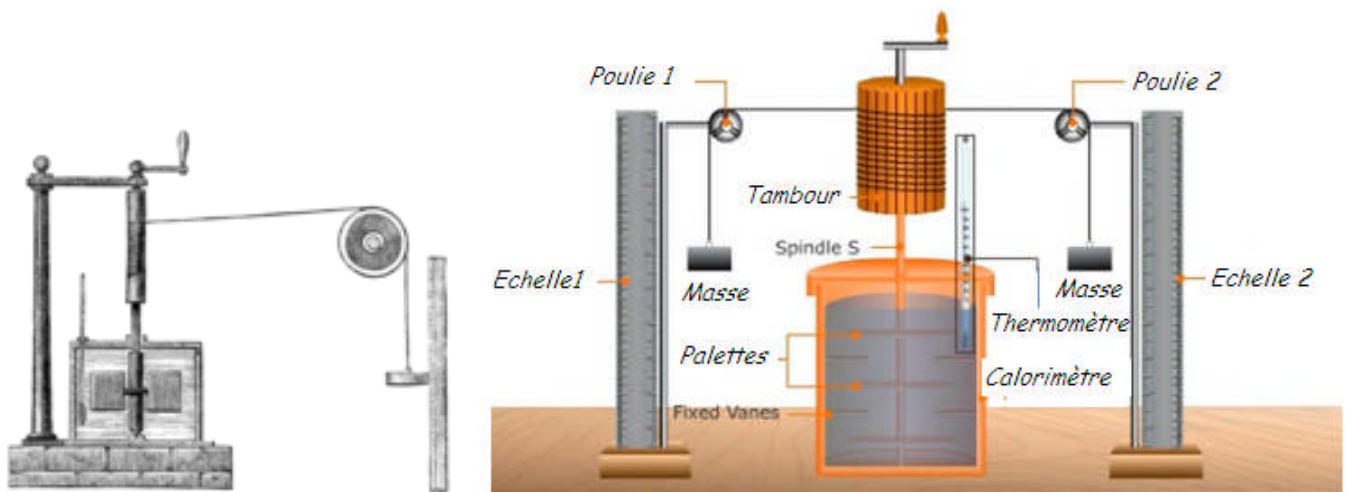


Figure1 : Dispositif de Joule permettant de déterminer l'équivalent Joule-calorie

En effet l'équivalent en mécanique de la calorie peut être évalué en mesurant le travail et la quantité de chaleur reçue par le système. C'est le premier principe de la thermodynamique qui établit la relation entre le travail  $W$  et la chaleur échangés  $Q$  par un système, il stipule que la variation de l'énergie interne d'un système décrivant un cycle est nul, soit :

$$\Delta U = W + J.Q = 0 \quad (1)$$

$J$  étant l'équivalent mécanique de la calorie si  $W$  est exprimé en joules et  $Q$  en calories. Pour déterminer  $J$  expérimentalement, il suffit d'exprimer la chaleur massique  $c_0$  de l'eau en unité mécanique ; on est donc ramené à des mesures calorimétriques.

L'état initial est défini par le calorimètre à la température  $T_0$ . Durant le cycle le système étudié reçoit le travail  $W$ , la température atteinte est alors  $T_1$ , il revient ensuite à son état initial à la température  $T_0$  en libérant la quantité de chaleur  $Q$  au milieu extérieur.

$$Q = - \mu.c_0 (T_1 - T_0) \quad (2)$$

$\mu$  étant l'équivalent en eau du système (calorimètre + eau).

L'équivalent mécanique de la calorie sera donné par :

$$J = - \frac{W}{Q} = \frac{W}{\mu.c_0(T_1 - T_0)} \quad (3)$$

On peut transformer un travail mécanique en chaleur, en utilisant un dispositif analogue à celui de la *figure1*.

Le calorimètre est un cylindre creux en cuivre pouvant être mis en rotation autour de son axe horizontal. Un ruban est enroulé autour du calorimètre. Une extrémité de ce ruban est fixée au bâti de l'appareil, l'autre extrémité supporte une masse  $M$ .

Un travail  $W$  est développé en faisant tourner la manivelle pour vaincre les forces de frottement exercées par le ruban. Après un nombre  $n$  de tours, ce travail est fourni au système (calorimètre + eau) ; il vaut :

$$W = 2.\pi.n.M.g.R \quad (4)$$

Les frottements entre le ruban et le calorimètre provoquant une élévation de température du calorimètre et d'une quantité d'eau placée à l'intérieur de celui-ci. La quantité de chaleur reçue par le système est donc :

$$Q = - (m.c_0 + m'c') (T_1 - T_0) \quad (5)$$

avec :

$m$  : la masse d'eau introduite dans le calorimètre.

$m'$  : la masse du calorimètre + celle du ruban.

$c_0$  : la chaleur massique de l'eau.

$c'$  : la chaleur massique du ruban.

$\Delta T = T_1 - T_0$  : la variation de température.

### **3/ Questions théoriques :**

- 1- Donner un énoncé du premier principe de la thermodynamique.
- 2- Donner une définition de la calorie.
- 3- Est ce que la somme  $W + Q$  s'annule seulement dans le cas où le système décrit un cycle de transformations ?
- 4- Pourquoi on est sensé connaître la masse en eau d'un calorimètre ?
- 5- Pouvez vous proposer une autre méthode pour évaluer l'équivalent en eau du calorimètre ?

### **III- Manipulation :**

Le dispositif de la *figure2* comprend une manivelle, un calorimètre en cuivre et un ruban qui sera enroulée autour du calorimètre.



**Figure 2**

Avant de commencer la manipulation il faut déterminer la masse du calorimètre vide (en le pesant) ensuite remplir le calorimètre avec une quantité d'eau à une température légèrement inférieure à celle de l'ambiante (environ 2°C).

Essayer le calorimètre et le fixer sur l'axe du moteur.

Enrouler le ruban autour du calorimètre ; le ruban doit être plat et non torsadé ; sur l'une des extrémités, une masse  $M$  sera accrochée, l'autre sera fixée à un piton solidaire du dispositif.

Avant de faire tourner la manivelle, il faut mesurer la température initiale du calorimètre et remettre le compte tours du moteur à zéro.

Relever la température du calorimètre et noter le nombre de tours.

A la fin peser la masse d'eau que contient le calorimètre.

- Effectuer plusieurs mesures.
- Calculer les incertitudes (absolues et relatives) sur la valeur de  $J$ .
- Comparer les résultats trouvés avec ceux de l'expérience concernant la méthode électrique, quelle est à votre avis la méthode la plus précise ?

## Mesure de l'équivalent mécanique de la calorie

### Méthode électrique

#### I- But de la manipulation :

Mesurer l'équivalent mécanique de la calorie par une méthode électrique.

#### II- Principe :

##### 1/ Généralités :

La thermodynamique traite des échanges entre les diverses formes d'énergie, des états et des propriétés de la matière, des transformations d'état et des phénomènes de transport. Les deux notions souvent évoquées dans cette discipline sont le travail  $W$  exprimé en *Joule* et la chaleur  $Q$  en *calorie*. Ces deux entités peuvent se convertir l'une dans l'autre.

En effet, Joule est connu pour être un « expérimentateur de génie », ayant conçu de nombreux appareils afin de produire de la chaleur. Le plus célèbre est celui qui permet d'établir la relation entre travail et chaleur par un dispositif muni d'une roue à palette, mis en rotation par la chute de masse (fig.1). Les palettes sont placées dans un calorimètre rempli d'eau. En comparant le travail effectué par la chute des deux masses avec l'énergie thermique fournie à l'eau, Joule établit que : « 4,186 Joule = 1 calorie. C'est-à-dire qu'il faut apporter 4,18 J pour élever de 1 °C, un gramme d'eau.

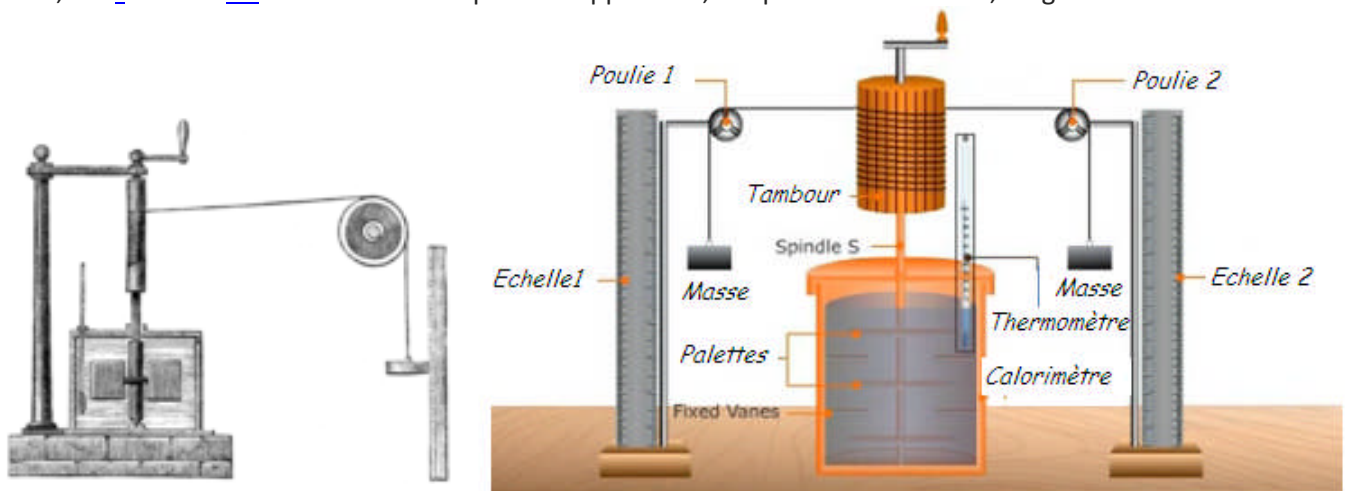


Figure1 : Dispositif de Joule permettant de déterminer l'équivalent Joule-calorie

En effet l'équivalent en mécanique de la calorie peut être évalué en mesurant le travail et la quantité de chaleur reçue par le système. C'est le premier principe de la thermodynamique qui établit la

relation entre le travail  $W$  et la chaleur échangés  $Q$  par un système, il stipule que la variation de l'énergie interne d'un système décrivant un cycle est nul, soit :

$$\Delta U = W + J.Q = 0 \quad (1)$$

$J$  étant l'équivalent mécanique de la calorie si  $W$  est exprimé en joules et  $Q$  en calories

Pour déterminer  $J$  expérimentalement, il suffit d'exprimer la chaleur massique  $c_0$  de l'eau en unité mécanique ; on est donc ramené à des mesures calorimétriques.

L'état initial est défini par le calorimètre à la température  $T_0$ . Durant le cycle le système étudié reçoit le travail  $W$ , la température atteinte est alors  $T_1$ , il revient ensuite à son état initial à la température  $T_0$  en libérant la quantité de chaleur  $Q$  au milieu extérieur.

$$Q = - \mu.c_0 (T_1 - T_0) \quad (2)$$

$\mu$  étant l'équivalent en eau du système (calorimètre + eau).

L'équivalent mécanique de la calorie sera donné par :

$$J = - \frac{W}{Q} = \frac{W}{\mu.c_0(T_1 - T_0)} \quad (3)$$

En faisant passer un courant  $I$  dans une résistance, on chauffe une quantité d'eau par effet Joule. Le travail électrique ainsi donné au système (eau+calorimètre) sous forme d'énergie calorifique permet d'élever la température de l'eau ainsi que celle du calorimètre.

$$W = U.I.t \quad (4)$$



Avec

$U$  : la tension aux bornes de la résistance  $R$ .

$I$  : l'intensité du courant qui circule dans  $R$ .

$t$  : le temps de passage de  $I$  dans  $R$ .

La quantité de chaleur est liée à la variation de la température par la relation :

$$Q = - (m + \mu) c_0 (T_1 - T_0) \quad (5)$$

d'où :

$$J = \frac{U I t}{c_0 (m + \mu) (T_1 - T_0)} \quad (6)$$

Avec :

$M$  : la masse d'eau introduite dans le calorimètre.

$\mu$  : l'équivalent en eau du calorimètre et ses accessoires.

$\Delta T = T_1 - T_0$  la variation de la température.

Pour déterminer l'équivalent en eau du calorimètre, on fait une expérience préliminaire en versant une masse  $m_2$  d'eau chaude (à une température  $T_2$ ) dans un calorimètre initialement en équilibre thermique avec une masse  $m_1$  d'eau à une température  $T_1$  (inférieur à la température ambiante). La mesure de la température  $T_f$  d'équilibre final permet de calculer  $\mu$  à partir de l'équation calorimétrique :

$$c_0 (m_1 + \mu) (T_f - T_2) + c_0 m_2 (T_f - T_2) = 0 \quad (7)$$

### **3/ Questions théoriques :**

1- Donner un énoncé du premier principe de la thermodynamique.

2- Donner une définition de la calorie.

3- Est ce que la somme  $W + Q$  s'annule seulement dans le cas où le système décrit un cycle de transformations ?

4- Pourquoi on est sensé connaître la masse en eau d'un calorimètre ?

5- Pouvez vous proposer une autre méthode pour évaluer l'équivalent en eau du calorimètre ?

### III- Manipulation :

Réaliser le montage de la *figure 3*.

Après avoir déterminé l'équivalent en eau du calorimètre utilisé, ensuite on fait passer un courant électrique dans une résistance  $R$  plongée dans le calorimètre qui contient une masse d'eau  $m$  à la température  $T_0$ .

Pour des valeurs fixées de  $U$  et  $I$  (la tension et l'intensité du courant), on relèvera les températures toutes les deux minutes. La température sera mesurée avec un thermomètre de précision au moins de  $0.5^\circ\text{C}$ .

On aura soin d'agiter continuellement l'eau du calorimètre pour que la température soit uniforme entre les différents points du liquide.

La température  $T$  devra varier d'environ  $5^\circ\text{C}$  de part et d'autre de la température ambiante  $T_0$  que l'on notera. On n'oubliera donc de refroidir l'eau du calorimètre au début de la manipulation jusqu'à une température de  $5^\circ\text{C}$  au dessous de la température ambiante.

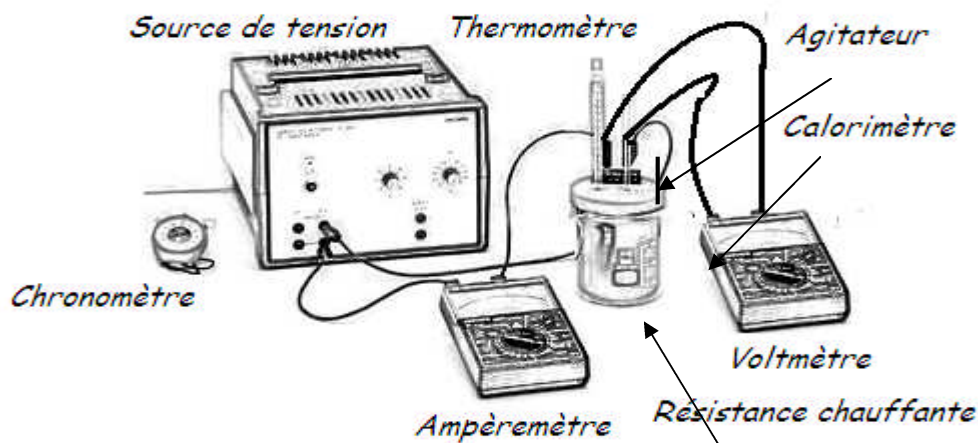


Figure3 : Circuit électrique

On ne commencera à tracer les variations de la température en fonction du temps :  $T = f(t)$  qu'après avoir établi le régime de chauffage depuis deux minutes environs. De cette courbe on déduira l'équivalent mécanique de la calorie.

Calculer l'incertitude sur la valeur de  $J$  et en déduire la précision de cette mesure.

### ***Etude des thermistances***

#### ***I- But de la manipulation :***

Etudier deux thermistances, l'une à coefficient de température négatif (*C.T.N*), l'autre à coefficient de température positif (*C.T.P*).

#### ***II- Principe :***

##### *Généralités :*

Les thermistances sont fabriquées à partir de perles en matériau semi-conducteur préparées à partir d'oxydes des métaux ferreux tels que le chrome, le cobalt, le fer, le manganèse et le nickel. Normalement, les thermistances ont un coefficient de température négatif, c'est-à-dire que la résistance diminue à mesure que la température augmente. Cependant, d'autres formes de thermomètres dopés sont maintenant disponibles (à un coût plus élevé) qui présente un coefficient de température positive. La thermistance est un capteur non linéaire. Cependant, les principaux avantages des thermistances sont leur coût relativement faible et leur petite taille. Cet avantage de taille signifie que la constante de temps des thermistances fonctionnant dans les gaines est faible.

D'autre part la réduction de la taille diminue également sa capacité de dissipation thermique et provoque ainsi un effet d'auto chauffage plus grand. En conséquence, les thermistances doivent être actionnées à des niveaux de courant généralement inférieurs à ceux des thermomètres à résistance, de sorte que la sensibilité de mesure est moindre.

La résistance d'une thermistance s'exprime par la relation :

$$R(T) = R_0 \exp B(1/T - 1/T_0) \quad (1)$$

Où  $T$  est la température absolue en °K.

$R_0$  est la résistance à la température absolue  $T_0$ , en général  $T_0 = 298^\circ\text{K}$  soit  $25^\circ\text{C}$ .

$B$  est un paramètre de sensibilité en température caractéristique du matériau constituant la thermistance.

Il existe deux sortes de thermistances ; Les unes dites *CTN* soit à coefficient de température négatif. Les autres *CTP* ont un coefficient de température positif.

On rappelle que le coefficient de température est donnée par :

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

$\alpha_R$  est aussi appelé sensibilité thermique de la thermistance.

Les thermistances ont une sensibilité thermique généralement 10 fois supérieur à celle des résistances métalliques.

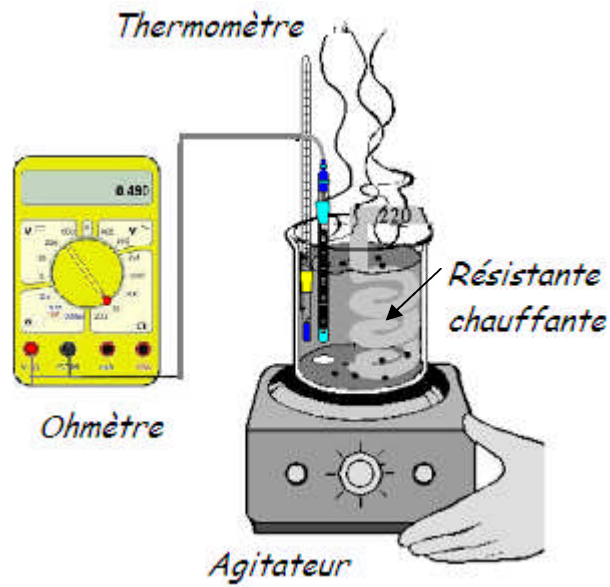
### ***III- Manipulation :***

#### ***III.1. Etude de la thermistance CTN :***

On plonge la thermistance dans de l'eau que l'on chauffe à l'aide d'un réchaud électrique. Un thermomètre permet de relever la température de la thermistance. Les bornes de celle-ci étant reliées à un ohmmètre qui permet d'afficher la valeur de la thermistance pour chaque valeur de la température considérée.

N'oubliez pas d'agiter continuellement l'eau pour uniformiser sa température.

1. Porter la thermistance à différentes températures entre  $0^{\circ}\text{C}$  et  $100^{\circ}\text{C}$  et relever pour chaque valeur de la température, la valeur de la résistance à l'aide de l'ohmmètre. Dresser un tableau de mesure où figurent  $T$  en ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T$  en Kelvin et  $R$  en ohm ( $\Omega$ ).
2. Tracer la courbe  $R = f(T)$ ,  $T$  sera portée en Kelvin ( $K$ ).
3. Quelle est l'allure de la courbe ?
4. En utilisant la relation (1) et les résultats des mesures, calculer la constantes  $B$ .
5. Exprimer  $\alpha_R$  en fonction de  $B$  et  $T$ . Compléter le tableau de mesures.
6. Tracer la courbe  $\alpha_R = f(T)$  pour les valeurs de  $T$  précédentes.



### ***III.2. Etude de la thermistance CTP :***

Refaire le même travail pour la CTN.

### ***IV. Conclusion***

1. Comparer les coefficients de température pour la CTN et la CTP.
2. Comparer les deux thermistances en discutant leurs domaines d'application.

## ***Effet thermoélectrique***

### ***Etude d'un Thermocouple***

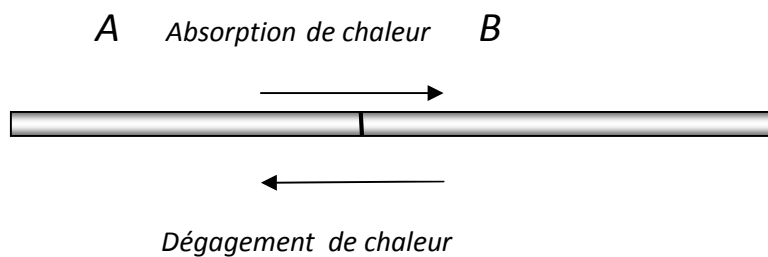
#### **I- But de manipulation :**

- 1- Etalonnage d'un thermocouple.
- 2- Application au repérage des températures.

#### **II- Principe :**

##### **1- Effet Peltier :**

On considère un contact entre deux conducteurs A et B, un courant  $I$  traverse ce contact ; on observe alors selon le sens de passage du courant, un dégagement ou une absorption de chaleur. C'est l'effet de Peltier, qui est un effet additif à l'effet Joule.



La puissance dégagée sous forme de chaleur lors du passage du courant à travers un contact entre deux conducteurs A et B est donc donnée par :

$$P = R \cdot I^2 \pm e \cdot I$$

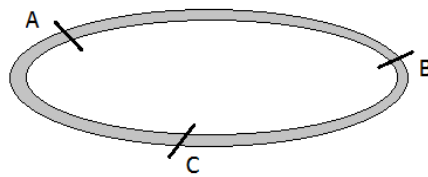
La différence de potentiel entre deux points A et B de ces deux conducteurs est égale à :

$$V_A - V_B = R \cdot I \pm e$$

La *d.d.p*  $V$  joue le rôle d'une force électromotrice, et s'appelle *force électromotrice Peltier*. C'est une caractéristique des deux métaux  $A$  et  $B$  en présence. Elle dépend de la température du contact. Elle est du signe  $+$  ou  $-$  selon le sens du contact de  $A$  vers  $B$

ou de  $B$  vers  $A$ .

Cette *d.d.p* obéit à la loi des chaînes métalliques : dans un circuit métallique quelconque fermé dont tous les points sont maintenus à la même température, la somme des effets Peltier est nulle ; cette loi permet de ne pas tenir compte de l'effet Peltier dans la loi Kirchhoff :



$$\sum e = \sum r.i$$

Soit

$$V_{AC} + V_{CB} + V_{BA} = 0$$

Il faut donc éviter dans les circuits les échauffements, et surtout les différences de température.

### **2-Effet Thomson:**

Soit un conducteur constitué par un même métal mais dont les extrémités  $C$  et  $D$  sont à des températures différentes.



Si  $T_1 < T_2$ , on observe une *d.d.P*  $e = V_C - V_D > 0$ . Les électrons dans le conducteur migrent vers la partie la plus froide (de  $D$  vers  $C$ ). C'est ***l'effet Thomson***.

Ce phénomène est dû à l'apparition d'un champ électrique interne  $E$  dont on admettra qu'il est de la forme :

$$\vec{E}_M = h(T) \cdot \vec{\nabla}(T) \quad \text{au point } M \text{ de } CD$$

$$V_C - V_D = \int_{C \rightarrow D} E_M dx = \int_{T_1}^{T_2} h(T) \cdot d(T).$$

Le coefficient  $h(T)$  représente le coefficient de *f.e.m* Thomson, il dépend de la température et de la nature du métal.

La *d.d.p* Thomson ne produit aucun courant dans un circuit fermé d'un même métal soumis à des différences de températures.

En effet :

$$\int_{T_1}^{T_2} h(T) \cdot d(T) + \int_{T_2}^{T_1} h(T) \cdot d(T) = 0$$

### **3- Effet thermoélectriques :**

On a vu dans les deux premiers points que l'on n'obtenait aucune *f.e.m* dans un circuit :

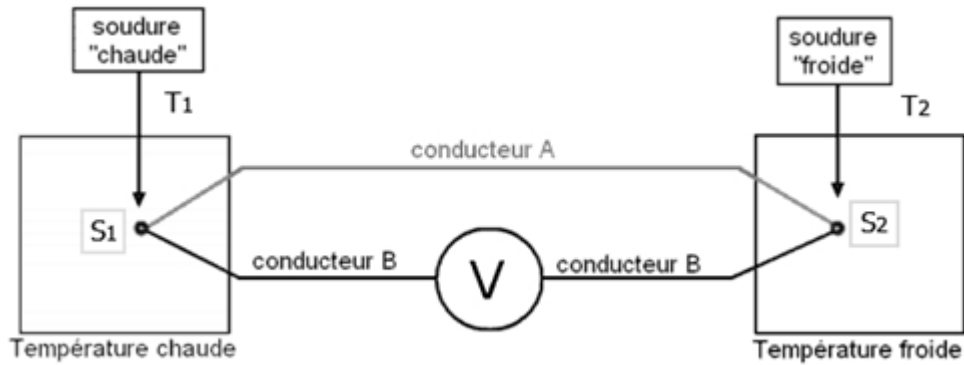
- hétérogène, formé de métaux différents, mais maintenus en tous points à la même température.
- formé d'un même métal soumis à des différences de température.

Mais lorsque les deux effets Peltier et Thomson coexistent dans un même circuit, la *f.e.m* totale n'est pas nulle. Ceci est réalisé dans un **thermocouple**.

Un thermocouple est constitué de deux conducteurs *A* et *B* de nature différentes, soudés en  $S_1$  et  $S_2$ . Les soudures  $S_1$  et  $S_2$  sont portées à des températures différentes  $T_1$  et  $T_2$ .

Soient  $v_1$  et  $v_2$  les *f.e.m* Peltier pour un contact *AB* respectivement aux températures  $T_1$  et  $T_2$ ;  $h(T)$  et  $h'(T)$  les *f.e.m* Thomson pour *A* et *B*.





La *f.e.m* total est de la forme :

$$e_{12} = v_1 - v_2 + \int_{T_1}^{T_2} (h - h') dT$$

C'est une fonction des températures des soudures, elle est de l'ordre de quelques microvolts par degrés.

#### 4- Etude expérimentale du thermocouple :

On maintient l'une des soudures à la température fixe  $T_0$ . La *fem*  $e$  est fonction de la température de l'autre soudure.

On intercale dans le circuit un millivoltmètre de grande résistance interne  $R$ .

Si  $r$  est la résistance du thermocouple,

$$E = (r + R) I$$

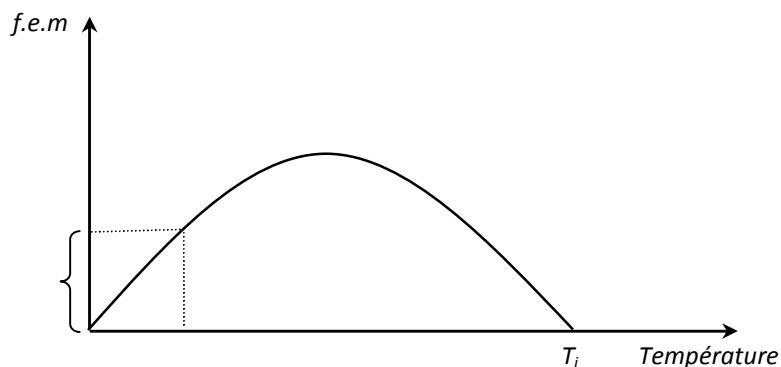
Si  $V$  est la tension aux bornes du millivoltmètre.

$$V = R I = e - r i$$

Or  $R \gg r$  d'où  $I \approx 0$  et pratiquement  $v = e$ .

Il faut veiller à ce que les bornes du millivoltmètre soient à la même température. Pourquoi ?

La courbe  $e = f(T)$  peut être représentée par la courbe suivante sur une grande plage de température.



A faible température, la loi est pratiquement linéaire; ensuite on observe un maximum à partir duquel la courbe décroît pour enfin s'annuler quand  $T=T_i$  ( $T_i$  est la température d'inversion).

Les thermocouples sont utilisés dans l'industrie pour mesurer de très hautes températures (dans les fours par exemple).

Avec un galvanomètre très sensible utilisé comme millivoltmètre, on peut déceler entre les deux soudures des différences de températures très faibles (de l'ordre des  $\mu V$ ).

### **III- Manipulation :**

Le thermocouple étudié est constitué par :

-Un fil de constantan (alliage de 60% de *Cu* et 40% de *Ni*).

-Un fil de fer.

Un millivoltmètre très sensible *V* est placé dans le circuit pour mesurer la *f.e.m* générée par le thermocouple.

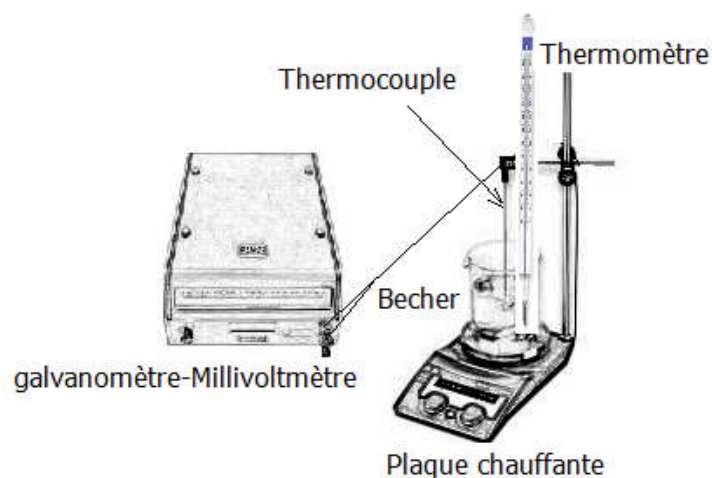
La soudure chaude ( $S_{ch}$ ) est plongée dans l'eau chauffée à l'aide d'un réchaud électrique.

Un thermomètre permet de mesurer la température  $T_{ch}$  de  $S_{ch}$ , N'oubliez pas de brasser l'eau régulièrement avec l'agitateur pour uniformiser la température.

La soudure froide est soit plongée dans un de la glace en équilibre avec de l'eau ( $0^\circ C$ ), soit exposée à l'air libre (à température ambiante) en espérant qu'elle soit constante durant la manipulation.

Pour l'utilisation du galvanomètre: régler le zéro en portant la soudure chaude et froide à une même température (à  $0^\circ C$  ou à température ambiante).

Choisir un calibre permettant de contenir le spot lumineux durant la mesure (calibre  $5mV$ ).



### **1- Etalonnage du thermocouple :**

Vérifier d'abord que si ( $S_{ch}$ ) et  $S_f$  sont mises à l'air libre, la tension mesurée est nulle, sinon régler le zéro à l'aide du bouton "zéro".

Mettre ensuite ( $S_{ch}$ ) dans le Becher rempli d'eau, chauffer doucement et relever les *f.e.m*  $e$  correspondantes à des températures  $T_{ch}$  de 5° en 5°C jusqu'à l'ébullition.

### **2- Application au repérage des températures :**

Le thermocouple ainsi étalonné peut servir à déterminer des températures inconnues, comme par exemple la température de solidification d'un corps.

On plonge un tube à essai contenant de la paraffine dans au bain marie dont la température est voisine de la température d'ébullition de l'eau ( $\sim 100^\circ\text{C}$ ). Une fois la paraffine liquéfiée, on insère le thermocouple dans le tube à essai que l'on plonge immédiatement dans un b cher contenant de l'eau à température ambiante. Noter alors la *f.e.m*  $e$  toutes les 15 secondes pendant 15 minutes environ.

### **3- Compte rendu :**

1- Tracer la courbe  $e = f(T_{ch} - T_f)$ .

Discutez l'allure de la courbe obtenue.

2- En déduire le coefficient thermoélectrique  $\alpha$  à partir de la courbe  $e = f(T_{ch} - T_f)$  et le comparer à celui de la littérature ; en déduire la nature du couple utilisé dans votre manipulation.

3- Peut-on utiliser cette courbe pour le repérage de températures ? Discuter son utilité.

4- Tracer le graphe  $e = f(t)$ .

A quoi correspond le petit « palier » observé ? Déterminer la température de solidification de la paraffine. Calculez la précision de votre mesure.