

**Université HASSAN II de Casablanca
Ecole National Supérieure d'Arts et Métiers**

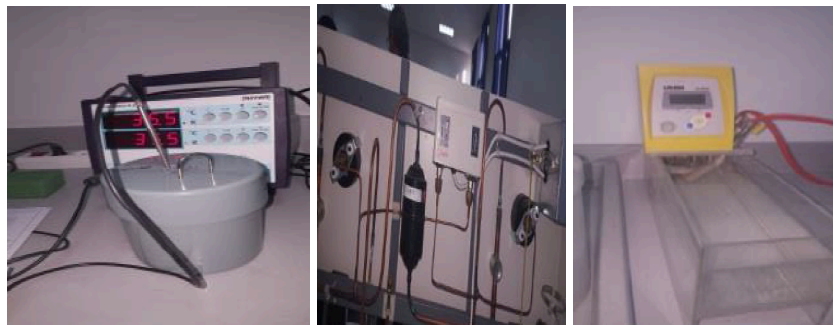


COMPTE RENDU DES TPS DE THERMODYNAMIQUE

**Sous la supervision du professeur :
GUEMIMI CHAFIK**

Réalisé par :

Nachit Elmehdi
Saidi Alaoui Amine
Mardi Younes
Sedki Mohamed



Sommaire

☐ Introduction	
générale	3
☐ TP1 : Equation d'état d'un gaz parfait	
.....	4
☐ TP2 : Calorimétrie : étude de capacités calorifiques	
.....	15
☐ TP3 : Mesure de pression	
.....	25
☐ TP4 : Etude d'une pompe à	
chaleur.....	31
☐ Conclusion	
générale	4
0	

Introduction

On peut définir **la thermodynamique** de deux façons simples : la science de la chaleur et des machines thermiques ou la science des grands systèmes en équilibre.

La première définition est aussi la première dans l'histoire. La seconde est venue ensuite, grâce aux travaux pionniers de **Ludwig Boltzmann**.

Avec la physique statistique, dont elle est désormais une partie, la thermodynamique est l'une des grandes théories sur lesquelles se fonde la compréhension actuelle de la matière.

La thermodynamique s'intéresse en tant que discipline à l'étude de la relation établie entre la chaleur et le travail (énergie), ainsi elle repose sur deux lois fondamentales qui lient de nombreuses propriétés de la matière à la chaleur nécessaire à sa transformation d'un état à autre.

Elle s'agit d'une science expérimentale qui a pris son essor à partir du laboratoire européen, et qui vise à prouver la validité des formules appliquées et utilisées en physique.

A cet égard, nous avons assisté à une succession de 3 séances de travaux pratiques proposées par Mr **Guemimi** dans le but de vérifier quelques lois et étudier le principe d'une machine thermique.

TP1 : Equation d'état d'un gaz parfait

Buts de la manipulation :

- Suivre la variation de la pression d'un gaz parfait en fonction du volume à température constante.
- Suivre la variation du volume d'un gaz parfait en fonction de la température à pression constante.
- Suivre la variation de la pression d'un gaz parfait en fonction de la température à volume constant.
- Calcul des coefficients de dilatation (α), de compression (β), de compressibilité (χ) et la constante universelle des gaz.

Introduction :

La transformation d'un système, d'un **état d'équilibre initiale 1** vers un **état d'équilibre final 2**, s'accompagne de la **modification** d'une ou plusieurs

variables d'état due aux échanges d'énergie avec le milieu extérieur .On distingue plusieurs types de transformations :

- Transformation isotherme : transformation qui s'effectue à température constante $T_2 = T_1$ (**Loi de Boyle- Mariotte**)
- Transformation isobare : transformation qui s'effectue à pression constante $P_2 = P_1$ (**Loi de Gay Lussac**)
- Transformation isochore : transformation qui s'effectue à volume constant $V_2 = V_1$ (**Loi de Charles**)
- Transformation adiabatique : transformation qui s'effectue sans échange de chaleur avec le milieu extérieur.

Un **gaz parfait** est un gaz réel pris à basse pression donc le volume des molécules ainsi que leurs interactions deviennent négligeables.

L'équation d'état des gaz parfaits est donnée par : **$PV = n.R.T$**

où :

P : Pression du gaz (pascal, atm, cmHg) ; $1 \text{ atm} = 1.0123 \cdot 10^5 \text{ pascal} = 76 \text{ cmHg}$

V : Volume occupé par le gaz (m^3 , litre).

n : Nombre de mole de gaz (moles).

T : Température absolue (K) ; $T(\text{K}) = \theta (^\circ\text{C}) + 273.15$.

R : Constante des gaz parfaits = $0.082 \text{ L.atm/mol K} = 8.314 \text{ J/mol K} = 1.987 \text{ cal/mol K}$.

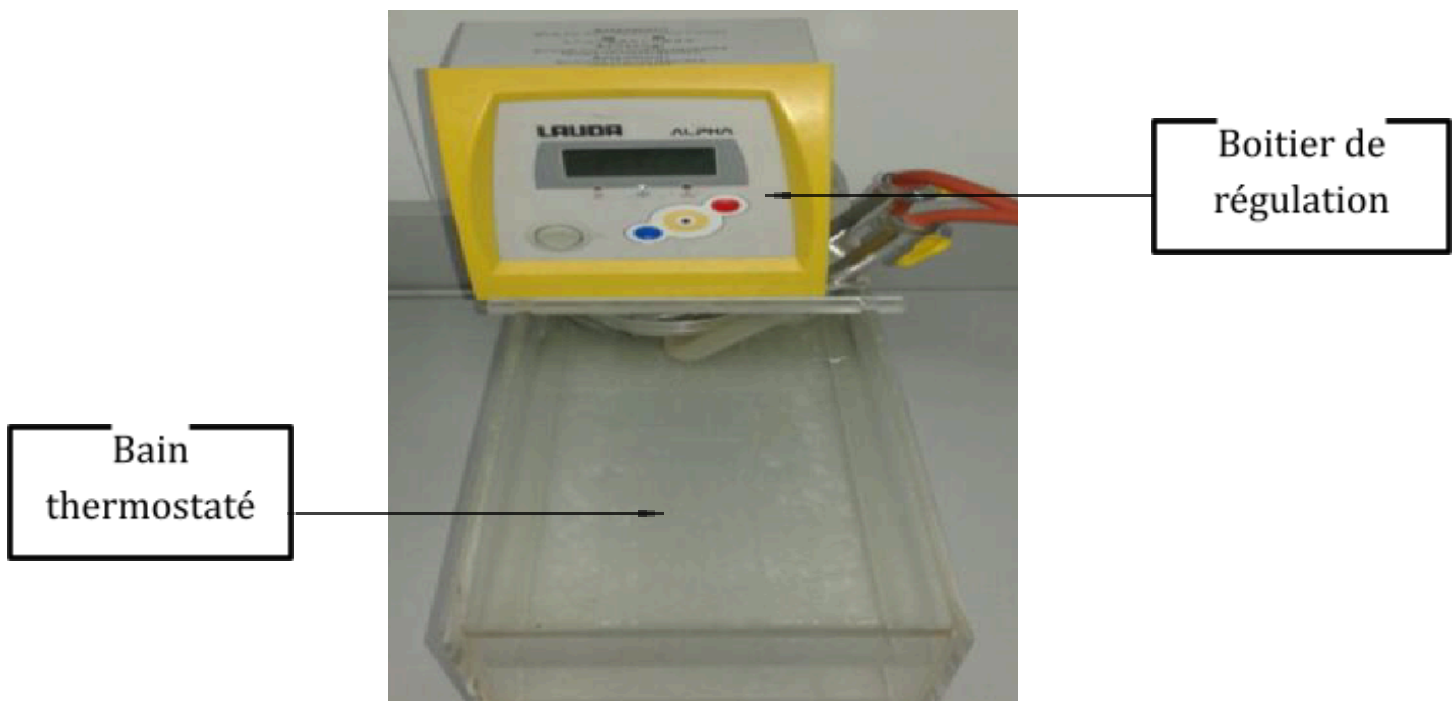
On définit pour l'équation d'état $PV = n RT$, les coefficients suivants :

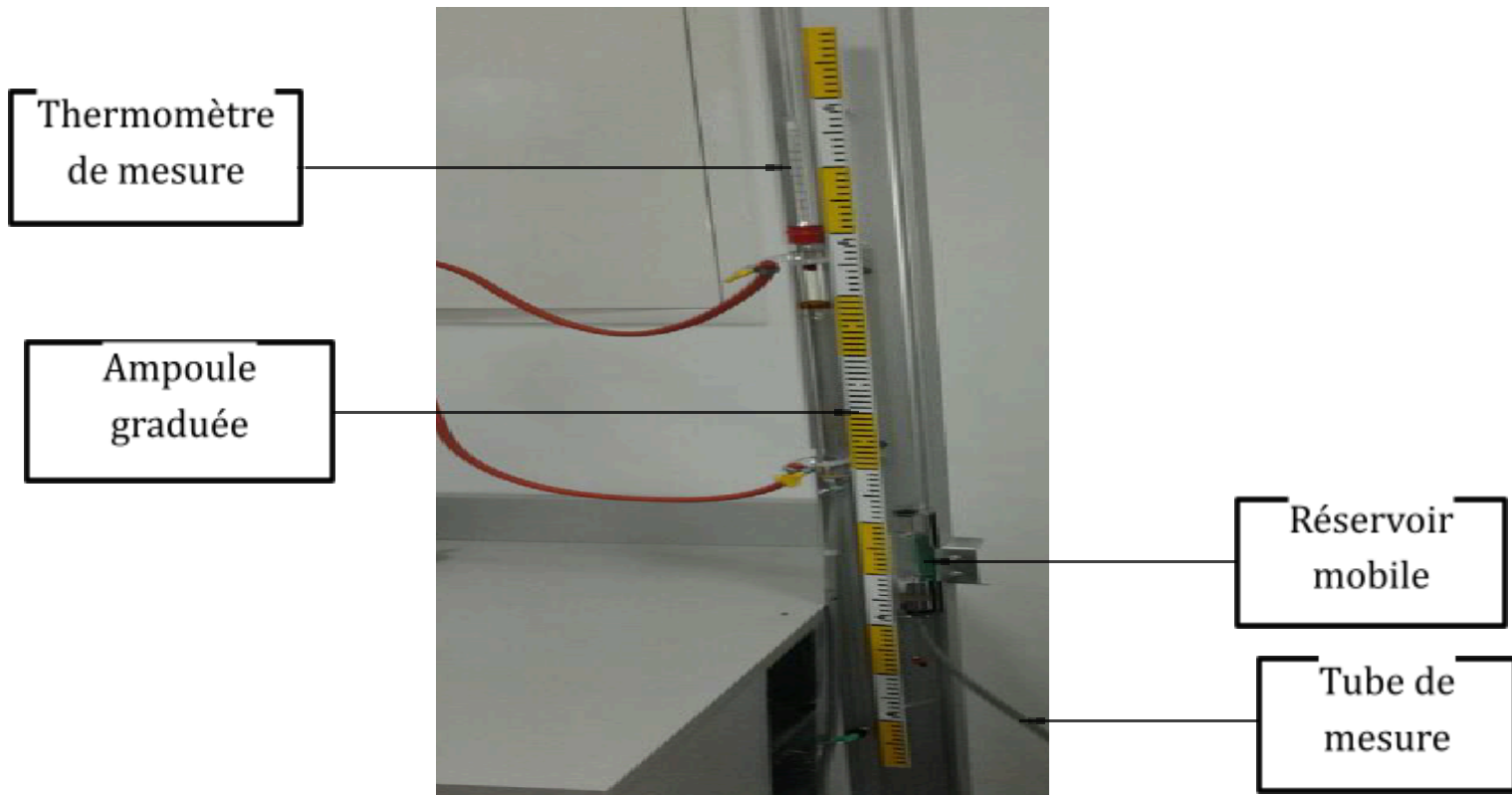
- Coefficient de dilatation volumique à pression constante α .

- Coefficient de compression à volume constant β .
- Coefficient de compressibilité χ (k_t).

$$\kappa_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \quad \alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad \beta = \frac{1}{P} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

Le matériel utilisé :





Manipulation :

1. Protocole expérimental :

- ✓ On fixe la pression P du gaz à étudier à 1 atm.
- ✓ On varie la température T et on note à chaque variation la longueur l et la différence de hauteur Δh efficace de la colonne de mercure.
- ✓ On calcule le volume et la pression à chaque variation de température.

2. Expression littérale du volume du gaz :

On fixe la pression du gaz contenu dans le tube à la pression atmosphérique et on calcule le volume V d'après la relation : $V = S \cdot l + V_r$.

Avec :

S : la surface du base du tube qui vaut $\pi \times d^2 / 4$.

l : La longueur de la colonne d'air.
Vr : le volume du segment du tube de mesure marqué en marron.

Donc :

V

3. Expression littérale de la pression du gaz :

D'après le principe fondamental de l'hydrostatique :

$$\Delta P = \rho g \Delta H$$
$$\implies P = \rho g \Delta H + P_a$$

Avec :
Pa : la pression atmosphérique
ρ: la masse volumique qui est 13.6 g/cm3
Donc :

P

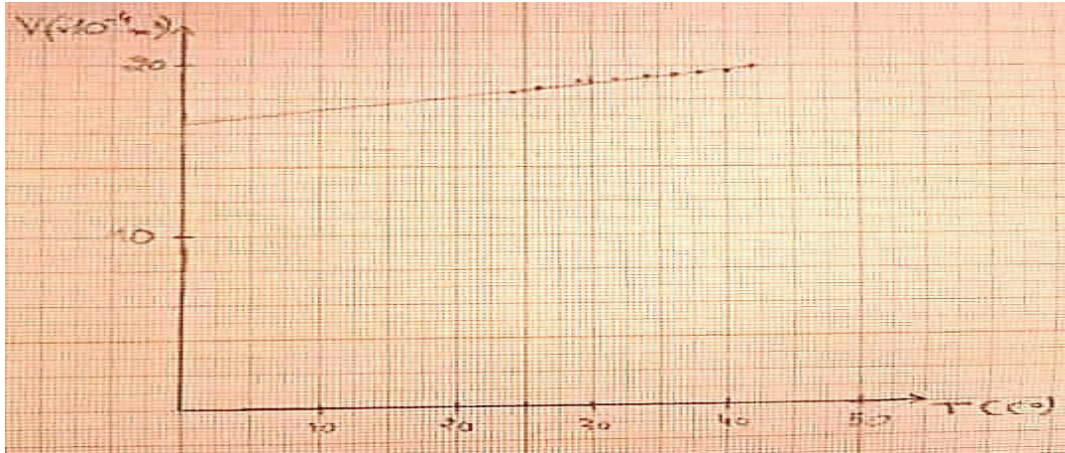
4. Exploitation des résultats :

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

T (°C)	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
L (mm)	17.1	17.4	17.7	17.7	17.9	18	18.1	18.3	18.4	18.6	18.7	18.8	18.9	19	19.1	19.2	19.3	19.5	19.6
ΔH Hg	1	1.7	3	3.5	3.7	4.6	5.3	5.8	6	6.2	7.1	7.9	8.1	8.3	8.6	9.2	9.8	11	11.1
V (ml)	18.4	18.7	19	19	19.2	19.38	19.4	19.6	19.7	20	20.1	20.2	20.3	20.4	20.5	20.6	20.7	20.9	21
P(KPa)	102.63	103.56	105.3	106	106.2	107.43	108.37	109.03	109.30	109.57	110.77	111.83	112.10	112.37	112.77	113.57	114.37	116.6	116.1
ΔT	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ΔV	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
ΔP	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43	101.43

Q1. Tracé de la courbe représentative du volume en fonction de la température $V=f_p(T)$ à pression atmosphérique :





Nature de la courbe :

On constate que la courbe est une **droite affine** qui s'écrit sous la forme de $V=AT+V_0$ avec graphiquement : $V_0= 16.9 \text{ ml}$ et $A= P_m$.

Conclusion :

D'après la nature de la courbe, on conclut qu'à pression constante, le volume occupé par une quantité de gaz parfait augmente avec la température et que le quotient V/T reste constant, ce qui vérifie la **loi de Gay-Lussac**.

Q2. Calcul de la pente moyenne P_m de la courbe et son incertitude ΔP :

Calcul de la pente moyenne P_m :

On a :
$$P_m = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{(18.4-19) \times 10^{-6}}{(24+273.15-28-273.15)} = 1.5 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ K}^{-1}$$

Pour l'incertitude on utilise le tableau, on a les incertitudes de T et V donc :

$$\Delta P_m = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1.11 \times 10^{-6}}{0.1+273.15} = 4.06 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ K}^{-1}$$

Q3. Déduction du volume V_0 et du coefficient de dilatation thermique α :

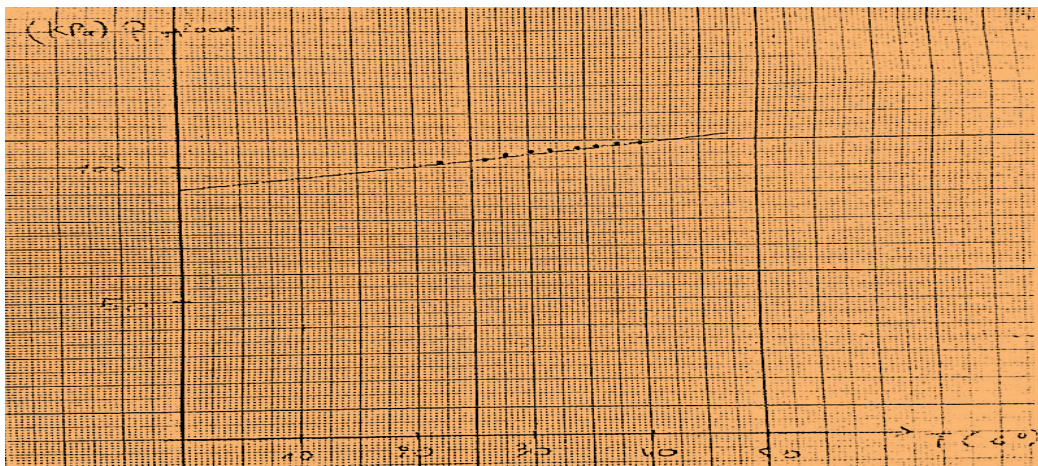
En exportant la courbe vers la température 0°C , nous trouvons le volume $V_0=16.9\text{ml}$.

Pour calculer le coefficient α on a la formule $\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right)$ à pression constante.

On a : $V=P_m T+V_0$ donc $\alpha = \frac{\partial P_m T}{V_0 \partial T}$ et alors on peut conclure que

$$\alpha = \frac{P_m}{V_0} = 9.09 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Q4. Tracé de la courbe représentative de la pression en fonction de la température $P=f_v(T)$ à volume constant :



Nature de la courbe :

On constate que la courbe est une **droite affine** qui s'écrit sous la forme de $P = AT+P_0$ avec graphiquement : $P_0 = 99.5 \text{ KPa}$ et $A=P_m$

Conclusion :

D'après la nature de la courbe, on conclut qu'à volume constant, la pression d'un gaz parfait augmente avec la température et que le quotient **P/T** reste constant, ce qui vérifie la **loi de Charles**.

Q5. Calcul de la pente moyenne P_m de la courbe et son incertitude ΔP :

On a:
$$P_m = \frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{(102.63 - 105.3) \times 10^3}{(24 + 273.15 - 28 - 273.15)} = 667.5 \text{ Pa K}^{-1}$$

Pour l'incertitude on utilise le tableau, on a les incertitudes de T et V donc :

$$\Delta P_m = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{101.43 \times 10^3}{0.1 + 273.15} = 371.19 \text{ Pa K}^{-1}$$

Q6. Déduction de la pression P_0 et du coefficient de compression β Calcul du coefficient de compressibilité :

En exportant la courbe vers la température 0°C , nous trouvons le volume **$P_0 = 90.2 \text{ KPa}$** .

Pour calculer le coefficient β on a la formule $\beta = \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)$ à volume constant.

On procède de la même manière donc $\beta = \frac{P_m}{P_0}$

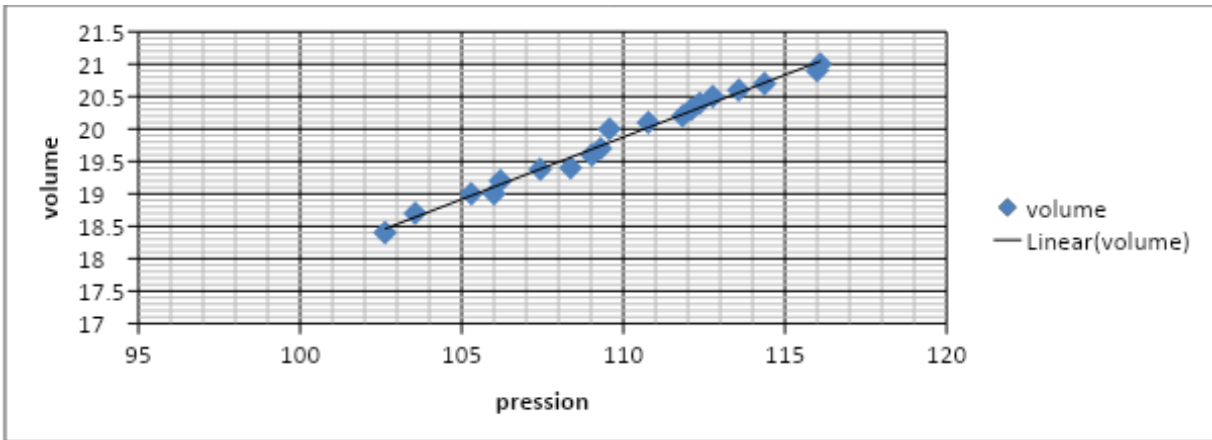
Avec : $P_m = 15.65 \text{ Pa.K}^{-1}$ et $P_0 = 90.2 \text{ KPa}$.

Donc :
$$\beta = \frac{15.65}{90.2 \times 10^3} = 1.73 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

Pour le coefficient de compressibilité on a la formule : $\chi_T = \beta \cdot P_0$

$$\chi_T = 1.73 \times 10^{-4} \times 9.0910 \cdot 10^5 \times 90.2 = 1.41 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2} \text{ Pa}$$

Q7. Tracé de la courbe représentative du volume en fonction de la pression $V=f(P)$:



La courbe ci-dessus est une fonction linéaire donc on peut dire que V est **DIRECTEMENT** proportionnel à P . C'est à dire que $V = aP$ avec a est le coefficient directeur de la courbe qui est constant. En d'autre terme on peut dire que le rapport $\frac{V}{P} = cte$.

1. Protocole expérimental :

- ✓ On fixe la température T du gaz à $30^{\circ}C$.
- ✓ On varie la longueur l et on note à chaque variation la hauteur h' .
- ✓ On calcule la pression P selon la relation $P=P'+P_{atm}$ avec $P'=\rho gh'$.

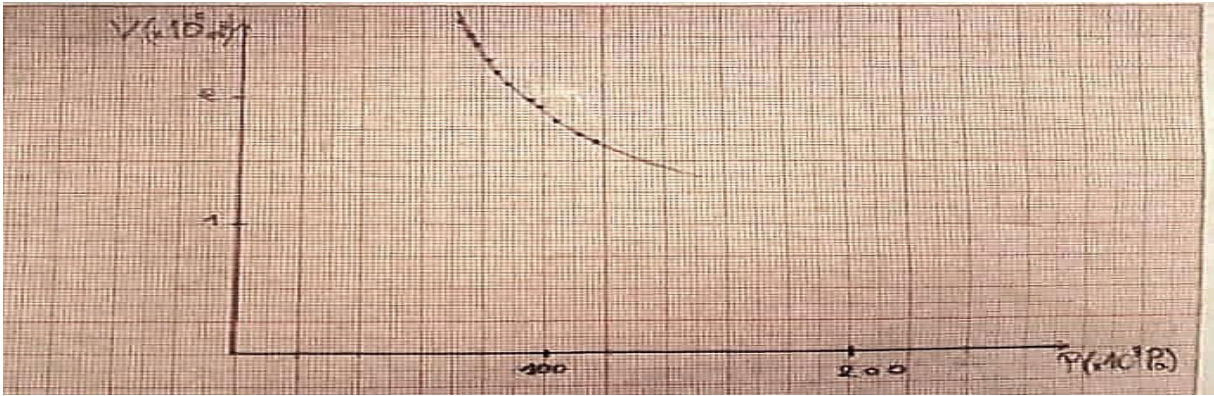
2. Exploitation des résultats :

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

H (cm)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

h' (cm)	12.8	7.7	2.4	-1.9	-5.3	-9.7	-12	-14.7	-17.1	-19.9	-21.9
P' (cm Hg)	12.8	7.7	2.4	1.9	5.3	9.7	12	14.7	17.1	19.9	21.9
$P=P'+P_{atm}$ kPa	88.7	83.6	78.3	73.5	70.5	66.2	63.9	61.2	58.8	56.4	54.2
$V \times (10^{-5})$	1.63	1.73	1.83	1.93	2.04	2.14	2.24	2.34	2.44	2.55	2.65
ΔP (cm Hg)	77	77	77	75	75	75	75	75	75	75	75

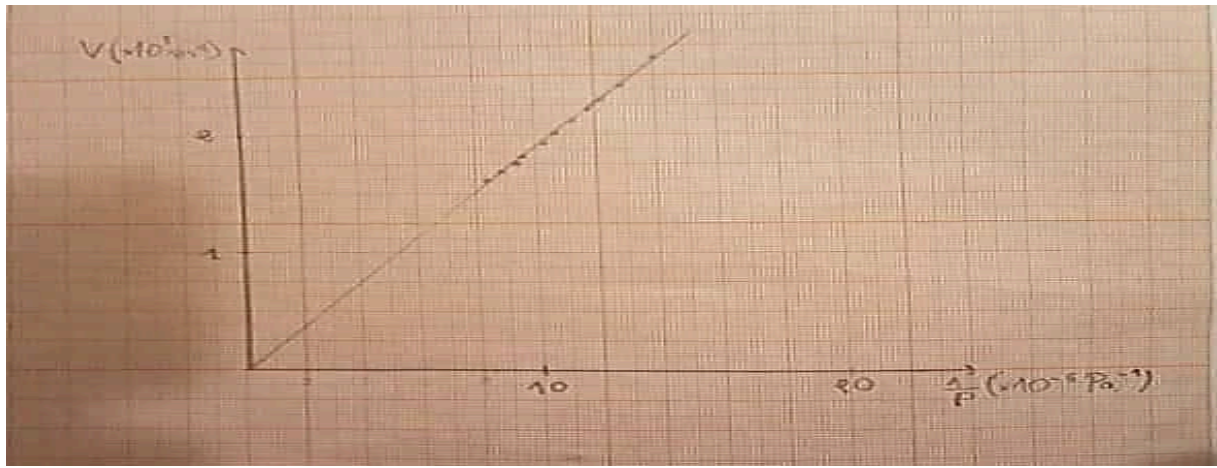
Q1. Tracé de la courbe représentative de la pression en fonction du volume $V= f (P)$:



Conclusion :

On constate que la courbe plane représentée est une hyperbole , on remarque aussi que la pression et le volume évoluent dans un sens opposé tel que **le volume augmente et la pression diminue** mais **le produit P.V** reste toujours constant, ce qui vérifie la loi de **Boyle-Mariotte**.

Q2. Tracé de la courbe représentative $V= f (1/P)$:



Conclusion :

La courbe ci-dessus est clairement une fonction linéaire donc nous pouvons en conclure que P est inversement proportionnel à V .

C'est à dire que $V = \frac{a}{P}$ avec a est le coefficient directeur de la courbe.

En d'autres termes on peut dire que **$PV = \text{Cte}$ à température constante**, ce que vérifie **la loi de Boyle Mariotte**.

Les résultats de ces mesures très précieuses ont montré que la Loi de Boyle-Mariotte n'est varié qu'à des pressions relativement basses, et le produit PV en fonction de la pression diverge faiblement de la valeur cste au fur et à mesure que la pression augmente pour que ces divergences prennent des valeurs importantes à des pressions supérieures à la pression atmosphérique normale.

Q3. Calcul de la constante universelle du gaz :

Calcul de a :

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta \frac{1}{P}} = \frac{1.73 - 2.04}{8.96 - 10.6} \times 10 \text{ m}^3 \text{ Pa}$$

Donc : **$a = 1.44 \text{ m}^3 \text{ Pa}$**

Nous savons que : $PV=nRT$ et $a=PV =nRT$

Alors : $R = \frac{a}{nT}$

Avec : $T = 29^{\circ}\text{C} + 273.15 \text{ K} = 302.15 \text{ K}$ et $n = 5.73 \times 10^{-4} \text{ mol}$

A.N: $R = \frac{1.44}{5.73 \times 302.15} \times 10^4 = 8.317 \text{ m}^3\text{Pa K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \approx R$

Donc on a arrivé à un résultat qui vérifie la valeur de R ; la constante universelle du gaz.

Conclusion :

On conclut donc qu'un gaz parfait est un gaz qui vérifie les trois lois précédentes.

TP2 : Calorimétrie

Étude de capacités calorifiques

Buts de la manipulation :

- Déterminer la capacité calorifique du calorimètre.
- Déterminer la capacité calorifique spécifique de l'aluminium, du fer et du lait.

Introduction :

La calorimétrie qui fait partie de la thermodynamique est une discipline purement expérimentale (mesure des quantités de chaleur).

Elle repose sur le principe de l'égalité des échanges de chaleur : lorsque deux corps n'échangent que de la chaleur, la quantité de chaleur gagnée par l'un est égale à celle perdue par l'autre (en valeur absolue).

La **capacité thermique** (ou **capacité calorifique**) d'un corps est une grandeur permettant de quantifier la possibilité qu'a un corps d'absorber ou restituer de l'énergie par échange thermique au cours d'une transformation pendant laquelle sa température varie.

C'est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température d'un kelvin. Elle s'exprime en joule par kelvin (**J/K**).

C'est une grandeur extensive : plus la quantité de matière est importante plus la capacité thermique est grande.

Toutes choses étant égales par ailleurs, plus la capacité thermique d'un corps est grande, plus grande sera la quantité d'énergie échangée au cours d'une transformation s'accompagnant d'une variation de la température de ce corps.

La **capacité thermique massique**, anciennement appelée **chaleur massique** ou **chaleur spécifique**, reflète la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme thermique, pour une masse donnée, quand sa température augmente.

Une grande capacité thermique signifiera qu'une grande quantité d'énergie peut être stockée moyennant une augmentation relativement faible de la température.

Le matériel utilisé :



Thermomètre
numérique

Sonde de température

Vase extérieur



Aluminium

Laiton

Acier

Description du calorimètre :

Un **calorimètre** est une enceinte quasi-adiabatique (voir schéma ci-dessous d'un calorimètre dit de **Berthelot**), c'est à dire que l'échange de chaleur entre le calorimètre et le milieu extérieur est nul.

Par l'intermédiaire de mesures de température, un calorimètre permet de chiffrer les transferts thermiques qui ont lieu entre les corps enfermés dans l'enceinte.

Il comprend :

- Un vase intérieur en aluminium brillanté
- Un vase extérieur en aluminium pouvant contenir le vase intérieur
- Entre les 2 parois, on a de l'air sous très faible pression
- Un couvercle avec des ouvertures pour le thermomètre ou la sonde de température et l'agitateur.

Le calorimètre et ses accessoires participent au bilan thermique, il est donc nécessaire d'en évaluer la capacité thermique.

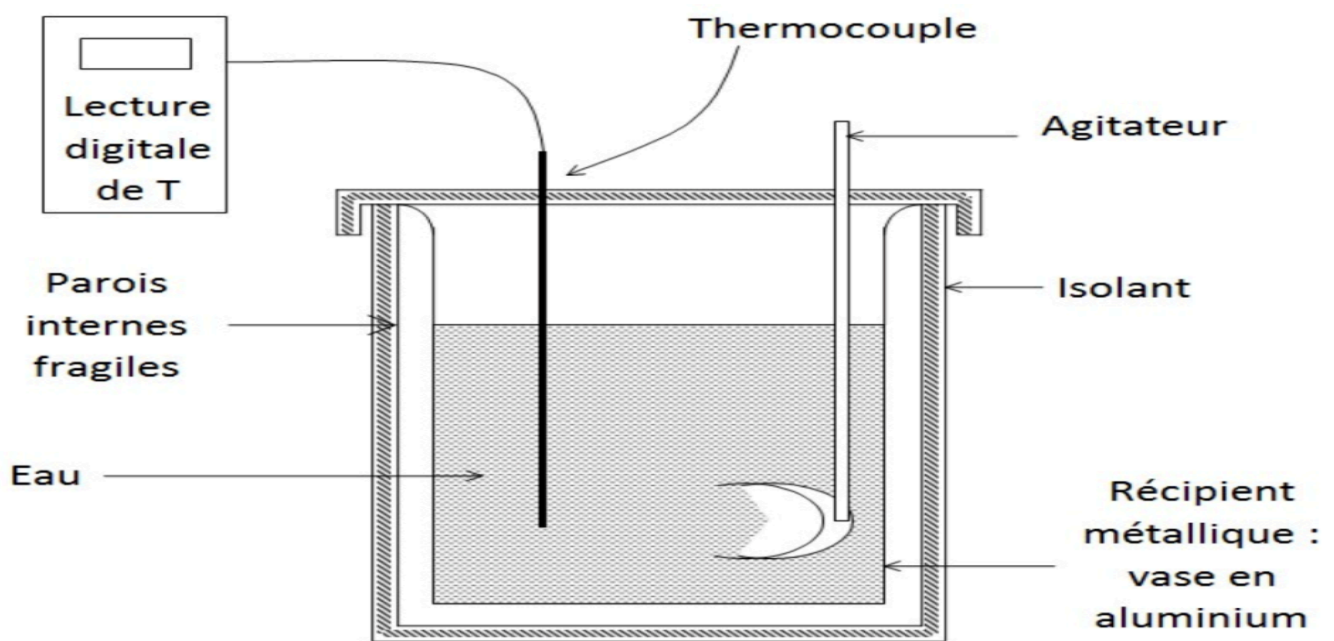


Figure 1: Calorimètre de Berthelot

Manipulation :

I. Détermination de la capacité calorifique du calorimètre :

1. Protocole expérimental :

- ✓ Nous avons introduit dans le calorimètre une masse **m'=101g** d'eau à la température ambiante.
- ✓ Nous avons noté la température d'équilibre (eau-calorimètre) : **Ti=18,1°C.**
- ✓ Nous avons ajouté une autre masse **m=200g** d'eau tiède a la température : **To=38,5°C.**
- ✓ Nous avons agité légèrement le mélange pour l'homogénéiser et faciliter les échanges thermiques.
- ✓ Nous avons relevé la température dans le calorimètre à plusieurs reprises pendant 10 minutes.

2. Exploitation des résultats :

Les résultats obtenus sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

t (min)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	10	11
Θ (°C)	20	30.7	30.5	30.3	30.3	30.2	30.2	30.2	30.1	30.1	30.1	30	30	29.8	29.8

On constate que la température finale Tf est : **Tf =29.8 °C.**

3. Détermination de l'expression littérale de μ :

- Soit Q1 la quantité de chaleur cédée par l'eau chaude : **Q1=m Ce (Tf-To)**
- Soit Q2 la quantité de chaleur reçu par le calorimètre et l'eau de masse m' : **Q2= (m'+μ) Ce (Tf-Ti)**
- Le calorimètre est isolé, donc : $\Sigma Q=0 \implies Q1+Q2=0$
 $\implies m Ce (Tf-To) + (m'+\mu) Ce (Tf-Ti)=0$
 $\implies \mu =- m \frac{Tf - T0}{Tf - Ti} - m'$

Application numérique: On a : Tf=29,8°C ; m=200g ; m'=101g ; To=38,5°C ; Ti=18,1°C.
Donc: **μ1=4, 772. 10⁻² kg=47.72g**

4. Vérification de la valeur de μ :

La détermination de μ est importante, donc il en faut une valeur assez sur.



Nous avons donc refait l'expérience, en introduisant dans le calorimètre une masse **m'=100g** d'eau à la température ambiante.

La température d'équilibre (eau-calorimètre) dans ce cas est : **Ti=17.8°C**.

Nous avons ajouté une autre masse **m=201g** d'eau tiède a la température : **To=48.7°C**.

En suivant le même procédé expérimental, nous avons obtenu les résultats suivants :

t (min)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	10	11
Θ (°C)	30.2	36.8	36.6	36.4	36.4	36.3	36.3	36.3	36.2	36.31	36.1	36	35.9	35.7	35.6

On remarque que la température finale dans ce cas est : **Tf =35.6 °C**.

Or on a déjà montré que : $\mu = - m \frac{T_f - T_0}{T_f - T_i} - m'$

Application numérique: On a : **Tf=35.6°C ; m=201g ; m'=100g ; To=48,7°C ;**
Ti=17.8°C

Donc: $\mu_2=5.087.10^{-2}Kg=50.87g$

On déduit donc que : $\mu = (\mu_1+\mu_2) / 2 \implies \mu=4.793.10^{-2}kg=47.93g$.

5. La capacité calorifique du calorimètre Ccal :

On sait que : **Ccal=μ * Ce**

Application numérique: On a : $\mu=4.285.10^{-2}kg$; $C_e=4180J/K/KG$.

Donc : **Ccal=199.8J/K**

6. Comparaison de Ccal avec mce et m'ce :

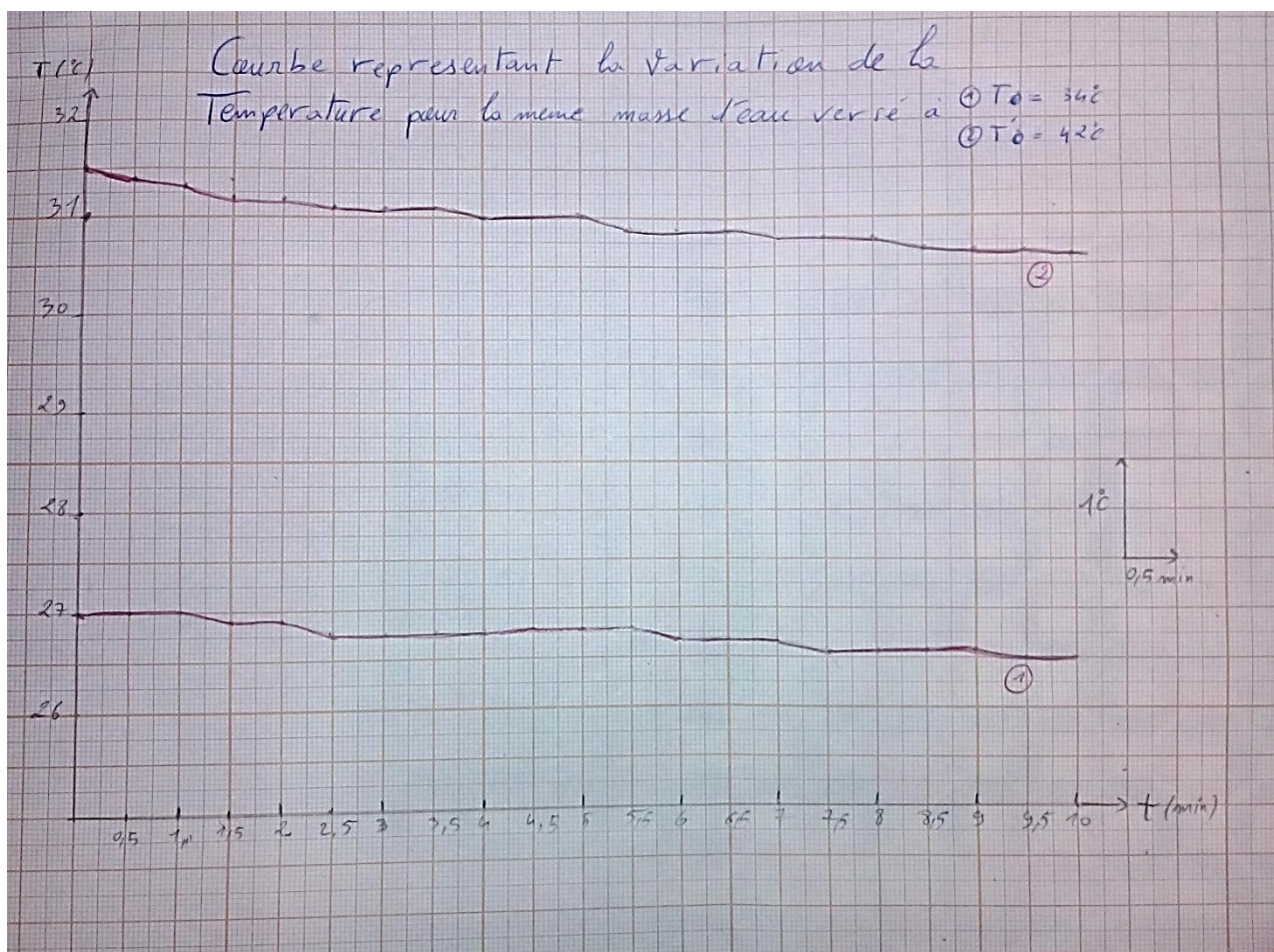
On a : $m * C_e =836J/K$.

Et : $m' \cdot C_e = 418 \text{ J/K}$.

On constate donc que : $C_{cal} < m' \cdot C_e < m \cdot C_e$.

La capacité thermique du calorimètre est négligeable devant ces deux produits. On peut donc négliger la capacité calorifique du calorimètre devant celle des corps que l'on y introduit.

7. Tracé de la courbe de variation de la température en fonction du temps $\Theta = f(t)$:



8. Le facteur qui limite la précision sur la mesure de la capacité thermique C :

Le facteur qui limite la précision sur la mesure de la capacité thermique est la précision des masses d'eau prélevées ainsi que la précision de lecture de la température sur le thermomètre.

II. Détermination de la capacité calorifique de quelques métaux :

1. Protocole expérimental :

- ✓ Nous avons mis un morceau de métal (acier, laiton, aluminium) de masse M dans l'eau bouillante de la casserole (durant 10 minutes) pour le porter à la température **T0=100°C**.
- ✓ Nous avons ajouté une masse **m=200 g environ** d'eau froide dans le calorimètre.
- ✓ Nous avons noté la température **Ti** de l'eau dans chaque cas.
- ✓ Nous avons introduit le morceau de métal dans l'eau du calorimètre et fermé le couvercle.
- ✓ Nous avons agité légèrement le mélange pour l'homogénéiser.
- ✓ Nous avons relevé la température dans le calorimètre à plusieurs reprises pendant 8 minutes.

2. Exploitation des résultats :

a/Pour l'acier:

On prend : M=180g ; m =200g ; Ti= 17.8°C.

Les valeurs obtenues sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

T (min)	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8
θm (C°)	20.4	20.9	21.6	22	22.5	22.9	23.1	23.3	23.6	23.7	23.9	24.1	24.1

On constate donc qu'à l'équilibre thermique : **Tf = 24.1 °C**.

Détermination de la chaleur massique de l’acier :

- Soit Q1 la quantité de chaleur apportée par l’acier : **Q1=M c’ (Tf-To).**
- Soit Q2 la quantité de chaleur reçue par le colorimètre et l’eau :
Q2= (m+μ) ce (Tf-Ti).
- On sait que le système est isolé, donc : Q1+Q2=0

$$\implies M c' (Tf-To) + (m+ \mu) ce (Tf-Ti)=0$$
$$\implies c' = \frac{-(m+\mu)ce(Tf-Ti)}{M(Tf-T0)}$$

Application numérique: On a : m=200 g ; M=180g ; Ti= 17.8°C ; Tf = 24.1 °C ; T0=100°C
Donc : **C’= 477.69J/K/Kg.**

b/Pour le Laiton:

On prend : M=180g ; m=201g ; Ti= 17.5°C

Les résultats obtenus sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

T (min)	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8
θm (C°)	18.8	20.3	20.8	21.2	21.5	21.7	21.8	2	22.1	22.2	22.3	22.4	22.5

On constate donc qu’à l’équilibre thermique : **Tf = 22.5 °C.**

Détermination de la chaleur massique du Laiton :

En utilisant la même relation obtenue précédemment :

$$c' = \frac{-(m+\mu)ce(Tf-Ti)}{M(Tf-T0)}$$

Application numérique: On a : m=201 g ; M=180g ; Ti= 17.5°C ; Tf = 22.5 °C ; T0=100°C

Donc : $C' = 372.79 \text{ J/K/Kg}$.

c/Pour le l'Aluminium:

On prend : $M=180\text{g}$; $m=205\text{g}$; $T_i= 17.8^\circ\text{C}$

Les valeurs obtenues sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

T (min)	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8
θ_m ($^\circ\text{C}$)	29.3	30.1	29.7	29.5	29.3	29.2	29.1	29	28.9	28.9	28.8	28.7	28.7

On constate donc qu'à l'équilibre thermique : $T_f = 28.7^\circ\text{C}$.

Détermination de la chaleur massique de l'aluminium :

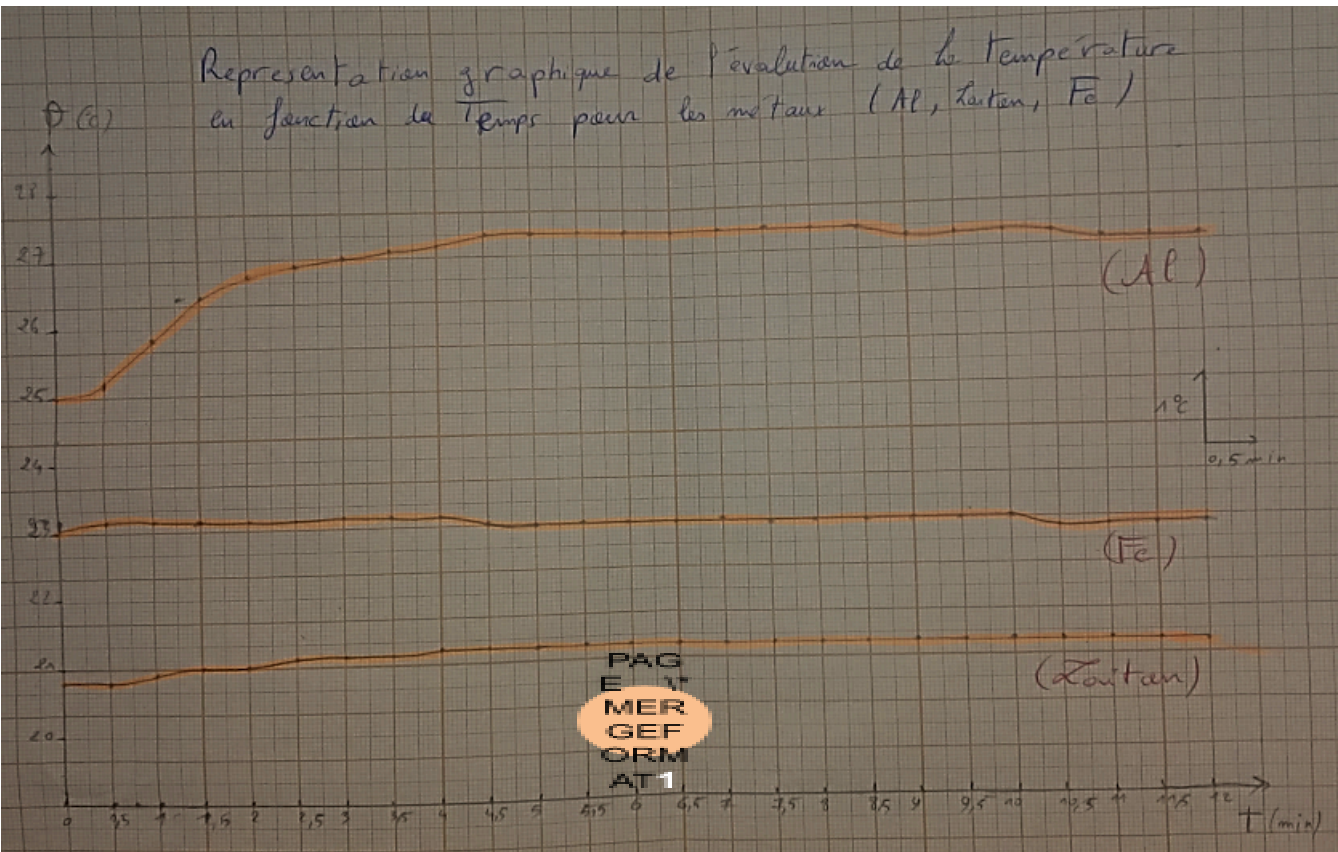
En utilisant la même relation obtenue précédemment :

$$C' = \frac{-(m+\mu)ce(T_f-T_i)}{M(T_f-T_0)}$$

Application numérique: On a : $m=205 \text{ g}$; $M=180\text{g}$; $T_i= 17.8^\circ\text{C}$; $T_f= 28.7^\circ\text{C}$; $T_0=100^\circ\text{C}$

Donc : $C' = 897.55 \text{ J/K/Kg}$.

7. Tracé de la représentation graphique de l'évolution de la température en fonction du temps pour tous les métaux :



8. Comparaison des valeurs trouvées avec les valeurs théoriques :

Métal	Valeur trouvée (J/K/Kg)	Valeur théorique (J/K/Kg)	Comparaison
Acier	477.69	444	On remarque que les valeurs trouvées des chaleurs massiques des métaux sont sensiblement égales aux valeurs théoriques
Laiton	372.79	377	
Aluminium	897.55	897	

9. Conclusion :

En tenant compte aux incertitudes, on peut constater que les valeurs expérimentales sont proches aux valeurs théoriques. Ainsi la capacité calorique est différente d'un métal à un autre.

Conclusion :

En guise de conclusion, le but de ce deuxième TP est bien accompli. Nous avons tout d'abord approfondit nos connaissances sur la calorimétrie, Ensuite nous avons effectué les réglages nécessaires avant de commencer les expériences. Ces expériences ont été très enrichissantes car elles nous ont permis de manipuler un dispositif que nous connaissions qu'au niveau théorique. De plus nous avons pu suivre en temps réel l'évolution des températures dans le calorimètre. Par la suite nous avons découvert la capacité calorifique du calorimètre et les chaleurs massiques des métaux que nous avons pu comparer

avec les valeurs théoriques.

Ce projet est donc très intéressant et enrichissant.

TP3 : Mesure de pression

Buts de la manipulation :

- Vérifier l'exactitude de mesure d'un manomètre type **Bourdon**, en comparant les lectures de l'appareil avec les valeurs réelles des pressions provoquées par un piston.

Introduction :

Un manomètre est un appareil destiné à mesurer la différence de pression entre un gaz contenu dans une enceinte fermée et la pression atmosphérique.

Il s'agit donc d'un appareil de mesure relative.

Divers types de manomètres sont disponibles, l'un parmi ces appareils les plus utilisés est le manomètre type **Bourdon**.

Le matériel utilisé :

L'appareil est composé d'un manomètre de Bourdon équipé d'un grand cadran et d'un système d'étalonnage utilisant la technique des poids morts.

Description du manomètre de Bourdon :

Le manomètre à étalonner est du type de Bourdon, le plus répandu en pratique.

Le mécanisme de l'appareil est parfaitement visible à travers le cadran transparent, (**figure 1**).

Un tube manométrique à paroi mince de section ovale forme un arc de cercle de 270 degrés. Le tube est fixé rigidement à l'extrémité, où la pression est admise dans le tube et est libre de bouger à l'autre extrémité qui est obstruée.

Quand la pression est admise dans le tube manométrique, ce dernier a tendance à se redresser. Le mouvement de l'extrémité libre est transmis à un mécanisme qui entraîne une aiguille devant une échelle graduée. Le déplacement de l'aiguille est proportionnel à la pression appliquée. La sensibilité du manomètre est fonction du matériau et des dimensions du tube de Bourdon ; des manomètres avec une très large sélection de gammes de pression sont disponibles dans le commerce.

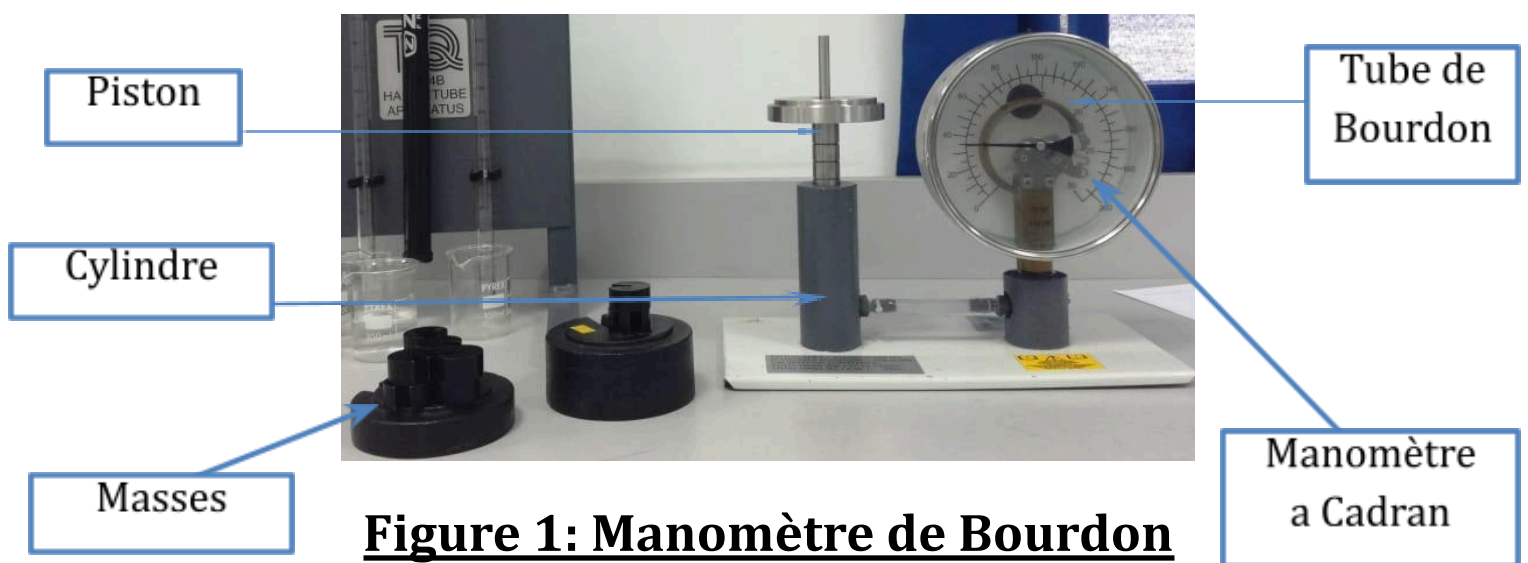


Figure 1: Manomètre de Bourdon

Manipulation :

I. Protocole expérimental :

La **figure 1** donne le schéma de principe de la balance manométrique d'étalonnage, composée d'un piston cylindrique guidé dans un cylindre étanche.

Le piston peut être chargé de masses marquées pour produire la pression désirée.

La pression est transmise par le fluide au manomètre à étalonner par un tuyau souple et transparent.

Pour remplir le cylindre de la balance manométrique, il suffit de démonter le piston et de verser de l'eau jusqu'au trou du trop-plein.

Pour purger les bulles d'air prises dans le tube transparent, il suffit de pencher l'appareil et de tapoter le tube.

Après cette opération de remplissage, on remonte le piston en vérifiant qu'il peut se mouvoir dans le cylindre.

On peut maintenant placer des masses jusqu' à obtenir un maximum de **4.5 Kg**, en effectuant des relevés de valeurs de masse et de pression au fur et à mesure qu'on ajoute chaque masse. On charge toujours les masses progressivement et délicatement, et on fait l'attention à ne les laissez pas tomber sur la plate-forme. Pour prévenir le collage du piston, on le fait tourner doucement à chaque fois qu'une masse est ajoutée. Après avoir atteint la masse totale, on fait la manipulation dans l'ordre inverse en relevant les valeurs au fur et à mesure que les masses sont retirées.

II. Exploitation des résultats :

La pression hydrostatique réelle (P) dans le système due à une mase M en Kg (en incluant le poids du piston) qui s'applique au piston est donnée par :

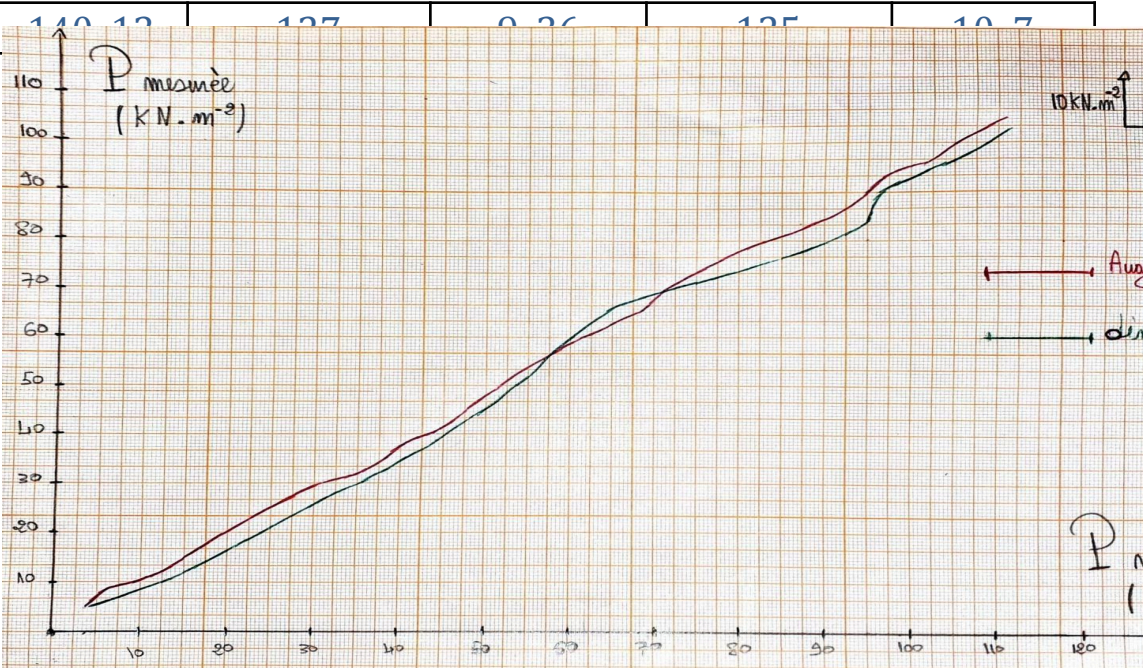
$$P = \frac{M \cdot 9.81}{A} 10^{-3} \text{ KN/m}^2$$

A : la surface du piston (**donnée : A= 0.315 m²**).

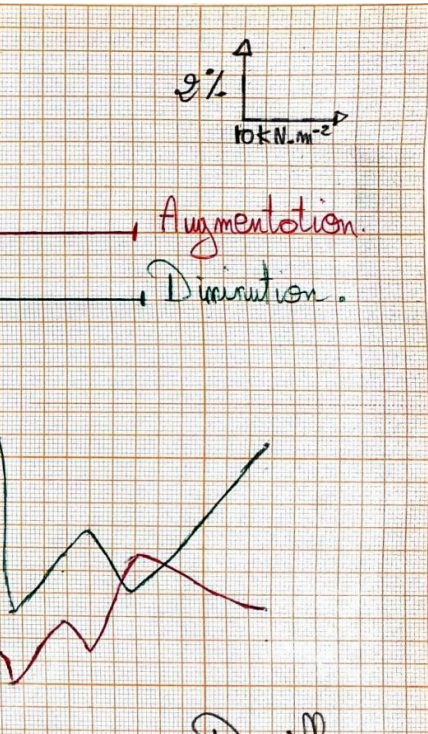
Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous ;

			Augmentation de la pression		Diminution de la pression	
Masse ajoutée au piston (Kg)	Masse totale sur le piston M (Kg)	Pression réelle (KN/m²)	Mesure sur le manomètre (KN/m²)	Erreur de mesure (%) (KN/m²)	Mesure sur le manomètre (KN/m²)	Erreur de mesure (%) (KN/m²)
0.1	0.1	3,114	5	60,5	5	60,5
0.1	0.2	6,228	7,5	20	6	3,6
0.1	0.3	9,342	10	7	8	14
0.1	0.4	12,456	12	3,6	10	19
0.1	0.5	15,57	15	3,6	12	23
0.5	1	31,14	30	3,6	27	13
0.1	1.1	34,254	31	9,4	30	12,4
0.1	1.2	37,368	35	6,3	32	12,4
0.1	1.3	40,482	37	8,88	35	13,5
0.1	1.4	43,596	40	8,88	39	10,5
0.1	1.5	46,71	43,5	6,87	41	12,2
0.5	2	62,28	60	3,66	61	20,5
0.1	2.1	65,394	63	3,66	67	2,28
0.1	2.2	68,508	66	3,66	68	0,7
0.1	2.3	71,622	70	2,66	70	2,26
0.1	2.4	74,736	72	3,66	71	5
0.1	2.5	77,85	75	3,66	72	7,5
0.5	3	95,42	90	5,58	84	11,9
0.1	3.1	96,534	92	4,7	90	6,76
0.1	3.2	99,648	94	5,6	92	7,67
0.1	3.3	102,762	96	6,58	94	8,52
0.1	3.4	105,876	100	5,54	96	9,32
0.1	3.5	108,99	102	8,24	101	7,33
0.5	4	124,56	116	6,87	110	11,6
0.1	4.1	127,674	118	7,57	114	10,7
0.1	4.2	130,788	121	7,48	118	9,77
0.1	4.3	133,902	124	7,39	120	10,3
0.1	4.4	137,016	126	8,03	123	10,2

1. Tracé du graphique représentatif de la pression lue sur le manomètre en fonction de la pression réelle (cas



d'augmentation et de diminution de la pression):



2. Tracé du graphique représentatif de l'erreur du manomètre en fonction de la pression réelle (cas d'augmentation et diminution):

3. Erreurs qui peuvent normalement être attendues dans un manomètre à cadran:

Les erreurs attendues des manomètres de ce type sont les erreurs systématiques reliées à la pression du manomètre et celles de mesure aléatoires.

4. Définition du phénomène d'hystérésis :

L'hystérésis : est la propriété d'un système dont l'évolution ne suit pas le même chemin selon qu'une cause extérieure augmente ou diminue.

En thermodynamique, dans un phénomène **REVERSIBLE**, comme notre cas de mesure de pression, on appelle **hystérésis** le fait que le système ne réagisse pas de la même manière quand il passe d'un état d'équilibre 1 à un autre état d'équilibre 2 « augmentation » que de l'état 2 à 1 « diminution ».

Conclusion :

On déduit qu'il y a une différence de pression lors de la charge et la décharge des masses sur le piston, cette variation de pression est provoquée par l'erreur d'hystérésis.

TP4 : Etude d'une pompe à chaleur



Buts de la manipulation :

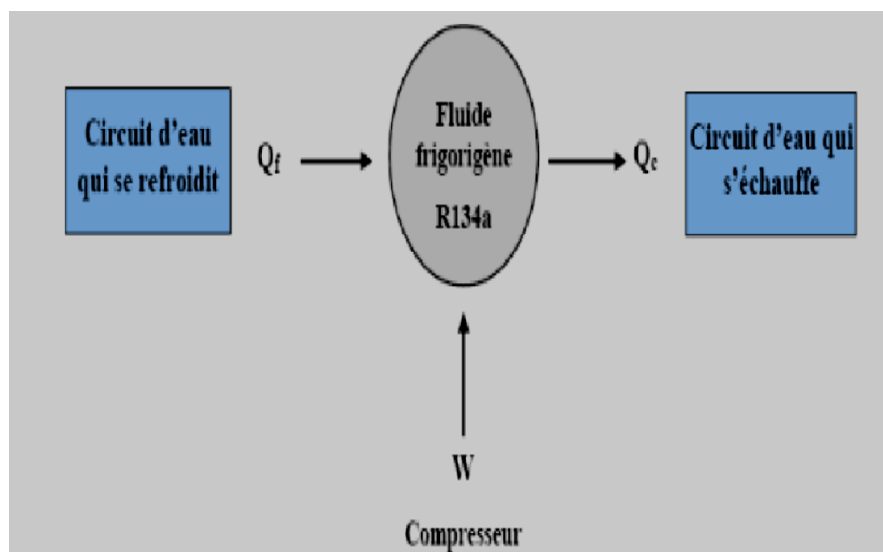
Etude de l'efficacité de la pompe à chaleur à travers :

- La mesure de la pression et la température dans le circuit et dans les réservoirs d'eau dans le condensateur et le vaporisateur.
- Le calcul de l'énergie prélevée et libérée ainsi que l'efficacité volumétrique du compresseur.

Introduction :

Une machine thermique est un mécanisme qui fait subir à un fluide des transformations cycliques. Au cours de ces transformations, le fluide échange avec l'extérieur de l'énergie sous forme de travail avec des sources froides et de l'énergie sous forme de chaleur avec des sources chaudes.

La pompe à chaleur est un système thermodynamique comprenant 2 sources de chaleur (chaude et froide) entre lesquelles un fluide caloporteur (le R134A dans notre cas) subit un cycle de transformations, provoquant un transfert de chaleur entre les deux sources.

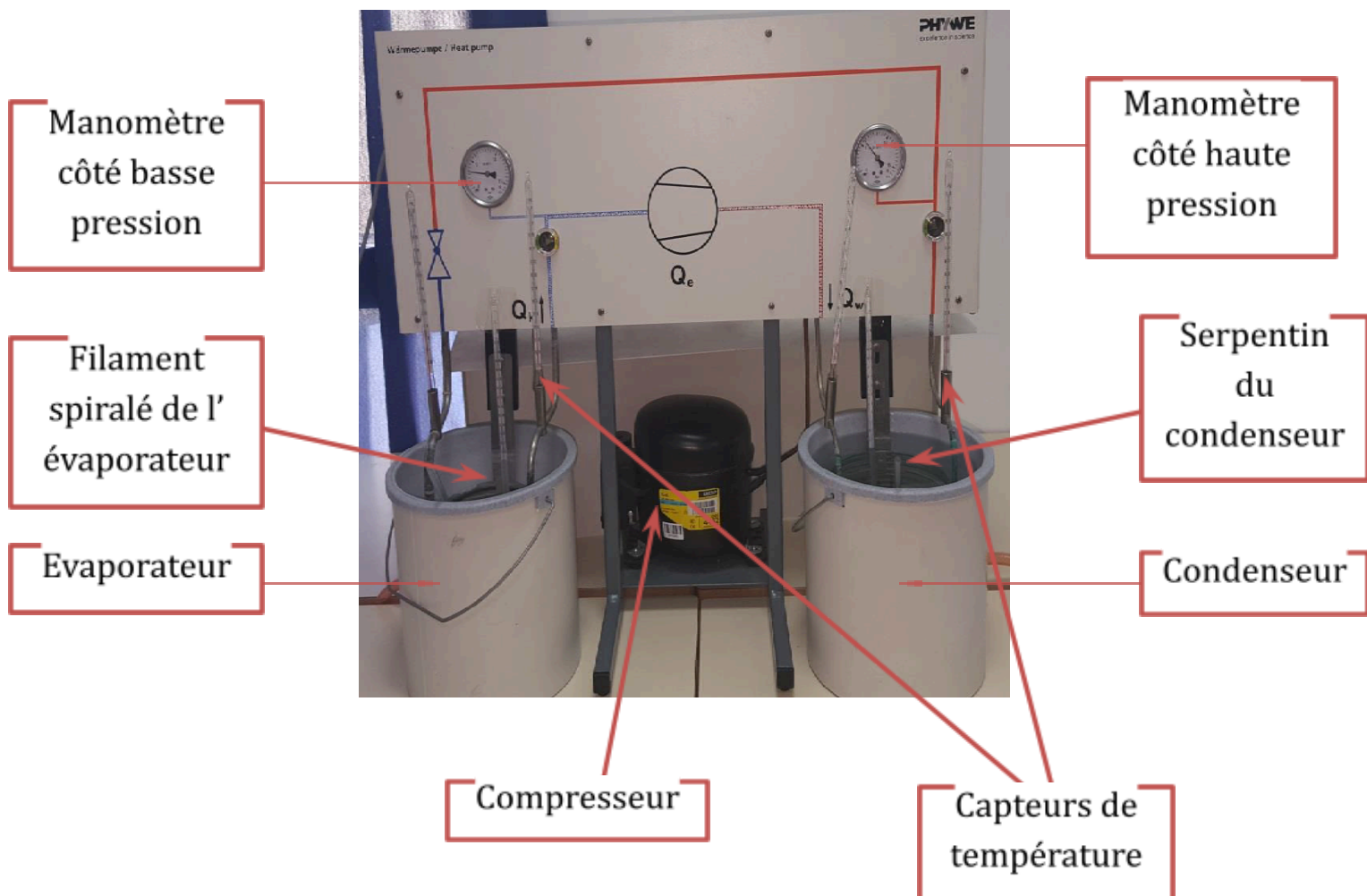


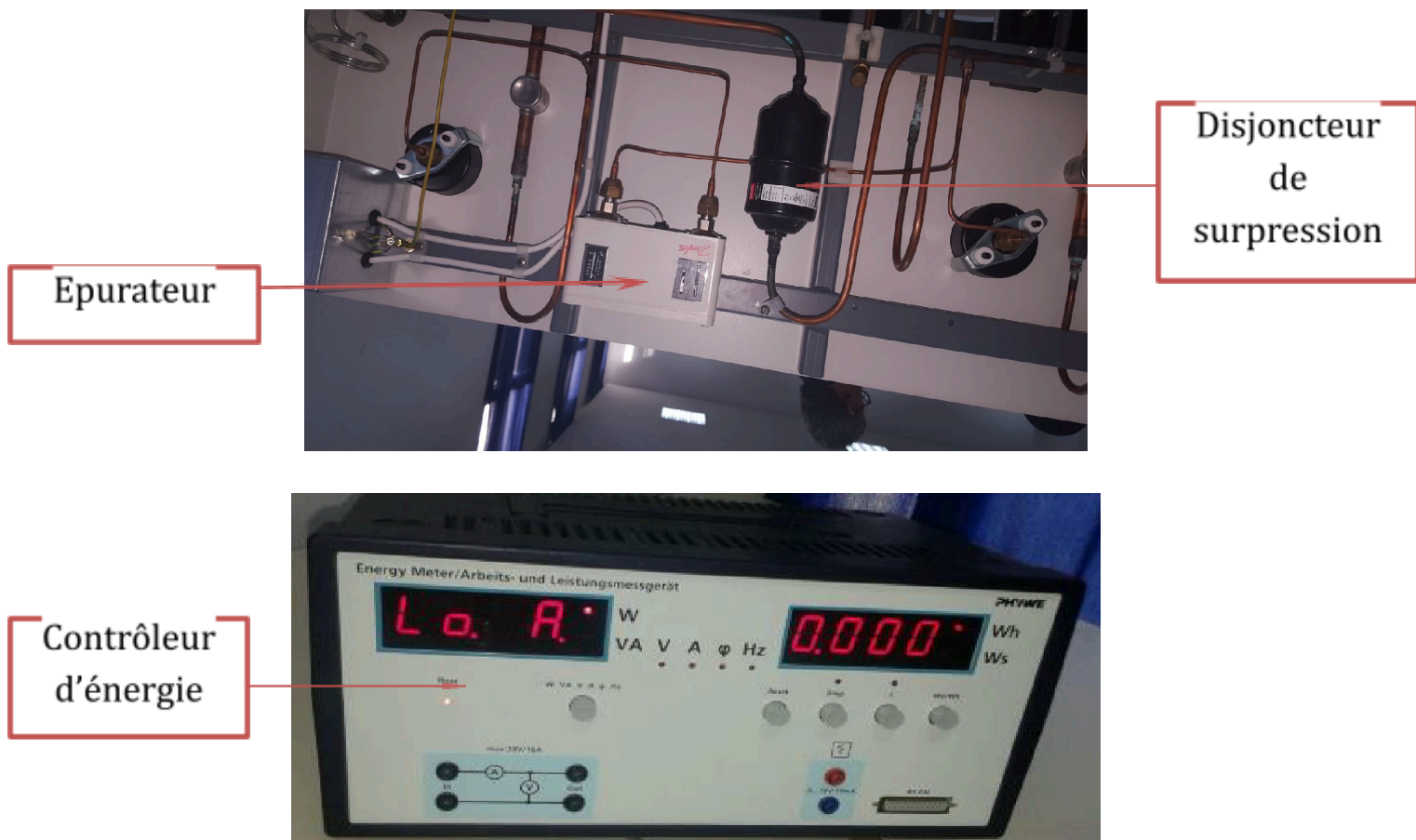
Le matériel utilisé :

La pompe à chaleur (**Figure 1**) sert à illustrer le fonctionnement d'un réfrigérateur ou d'une pompe à chaleur de compression électrique. Elle est constituée d'un compresseur avec un moteur d'entraînement, d'un condenseur, d'une soupape d'expansion et d'un évaporateur.

Les différents stades du cycle de la pompe à chaleur sont :

Les vapeurs de fréon sont comprimées dans un compresseur, ce qui augmente fortement la température du gaz. Dans le condenseur, le fréon se liquéfie, cédant sa chaleur latente à l'eau du réservoir. Le réfrigérant se refroidi considérablement et se condense. Le fluide condensé atteint la soupape d'expansion, où sa pression est réduite par expansion adiabatique. Dans l'évaporateur, le fluide de travail s'évapore totalement par absorption de chaleur. Le fluide évaporé entre dans le compresseur et le cycle recommence.





Composants de la pompe à chaleur

Compresseur : Le compresseur d'une pompe à chaleur ou d'un climatiseur est un dispositif électrique qui sert à comprimer le gaz (fluide frigorigène) qui permet dans un cycle compression/détente de produire un transfert de chaleur d'un côté à l'autre d'un circuit frigorifique dans un cycle dit thermodynamique.

Condenseur : Un condenseur est un appareil dont la fonction principale est de liquéfier (ou condenser, transformation d'un gaz en liquide) de la vapeur sur une surface froide, ou via un échangeur thermique maintenu froid par la circulation d'un fluide réfrigérant

Détendeur : Le détendeur d'un climatiseur ou d'une pompe à chaleur est la partie du circuit dans laquelle le fluide frigorigène va perdre sa pression. Il produit un effet inverse de celui du compresseur.

Epurateur : filtre le fréon liquide des bulles de gaz qu'il contient

Evaporateur : L'évaporateur d'un climatiseur ou d'une pompe à chaleur est la partie du circuit dans laquelle le fluide frigorigène va capter de la chaleur au profit d'un fluide caloporteur ou de l'air dans le cas d'un circuit à détente directe.

Serpentin qui empêche la transmission des vibrations du compresseur à l'ensemble du montage

Pressostat : arrête le compresseur quand la pression cote condenseur dépasse 16 bar.

Capteurs de température au niveau des tuyaux en cuivre du circuit.

Manomètre côté basse pression.

Manomètre côté haute pression.

Manipulation :

I. Protocole expérimental :

On décide de faire des mesures avec la pompe à chaleur fonctionnant pendant 30 minutes.

Pendant ce temps, nous avons relevé, toutes les minutes :

- ✓ La température Θ_F de l'eau de la source froide où se trouve le serpentin « évaporateur ».
- ✓ La température Θ_C de l'eau de la source chaude où se trouve le serpentin « condenseur ».
- ✓ L'énergie électrique E_e consommée par le compresseur.

II. Exploitation des résultats :

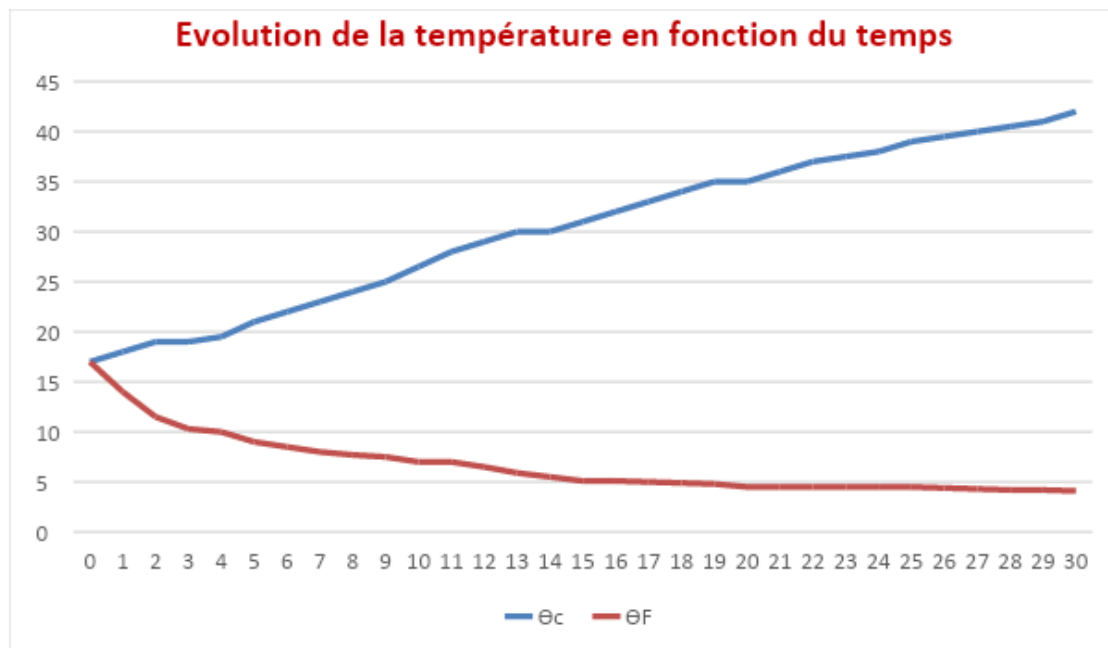
Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

T (min)	P1 (bar)	Θ_c (°C)	Θ_{ci} (°C)	Θ_{c0} (°C)	P2 (bar)	Θ_F (°C)	Θ_{vi} (°C)	Θ_{v0} (°C)	Energie électrique E_e (Wh)
1	7	18	24	26	3	14	14	15	2.2
2	7	19	25	27	3	115	12	10.5	4.3
3	7.2	19	31	28	2.9	103	10	9	6.5
4	7.4	19.5	32	28	2.8	10	10	8	8.7
5	7.5	21	33	29	2.7	9	95	7.5	10.9
6	7.6	22	34	30	2.7	85	9	7	13.02
7	7.7	23	34	30	2.7	8	87	7	15.2
8	8	24	34	31	2	77	85	6.5	17.4
9	8.2	25	34	32	2.6	75	8	6	19.5
10	8.4	26.5	35	33	2.5	7	77	5.7	21.6
11	8.5	28	35	34	2.5	7	75	5.5	23.2
12	8.6	29	36	34	2.5	65	72	5	26.3
13	8.75	30	36.5	35	2.5	5.9	6.9	4.8	28.82
14	9	30	37	35	2.4	5.5	6.8	4.5	30.42
15	9.25	31	38	36	2.4	5.1	6.5	4.2	32.63
16	9.4	32	38	37	2.3	5.1	6.2	4	34.79
17	9.6	33	39	37	2.3	5	6	3.7	37.1
18	9.75	34	39	38	2.3	4.9	5.7	3.5	39.2
19	9.9	35	40	39	2.2	4.8	5.5	3.4	41.37
20	10	35	40.5	39	2.2	4.5	5.3	3.2	43.61
21	10.2	36	41	39.5	2.2	4.5	5	2.9	45.76
22	10.4	37	41.5	40	2.1	4.5	4.9	2.7	48.03
23	10.5	37.5	42	41	2.1	4.5	4.8	2.5	50.19
24	10.7	38	42.5	41	2.1	4.5	4.7	2.4	52.51
25	10.8	39	43	42	2.1	4.5	4.5	2.1	54.72
26	11	39.5	43.5	42	2.1	4.4	4.2	2	57
27	11.2	40	44	42.5	2	4.3	4.2	1.8	49.27
28	11.4	40.5	44.5	43	2	4.2	4	1.4	61.54
29	11.5	41	45	43.5	2	4.2	4.1	1	63.72
30	11.8	42	45	43.5	1.9	4.1	3	0.2	65.78

On constate que la pression dans le condensateur augmente progressivement jusqu'à atteindre une valeur d'environ 12(bar), par contre la pression dans l'évaporateur croît dans le sens inverse jusqu'à atteindre 1,25(bar).

En outre la température de l'eau chaude augmente puisqu'elle reçoit une quantité de chaleur de la part du fluide, au contraire de la température de l'eau froide qui diminue.

Tracé des deux courbes représentant la variation de θ_F et θ_c en fonction du temps :



Conclusion :

Dans cette expérience, nous remarquons que la première variation à savoir $\theta_F = f(t)$ et $\theta_c = f(t)$, commence de la même valeur (17°C), puis –au cours du temps- les températures se différencient d'une manière opposée où celle du condenseur augmente par contre à celle de l'évaporateur qui diminue. Ce qui signifie qu'il y a un échange de chaleur entre les deux et que fréon R134, dans le condenseur, cède de la chaleur à la source froide pour se liquéfier et, dans l'évaporateur, le liquide absorbe de la chaleur de la source chaude afin de se vaporiser.

Calcul de l'efficacité réelle (indice de performance) de la pompe à chaleur :

Pour calculer l'efficacité réelle de la pompe à chaleur, il faut d'abord déterminer deux autres paramètres à savoir la puissance électrique et la puissance thermique par les relations suivantes :

La puissance électrique apportée : $Pe = \frac{\Delta Ee}{\Delta T}$ pour une petite variation .

Et la puissance thermique reçue par la source chaude : $Pth = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = mc \frac{\Delta \theta ci}{\Delta T}$

Avec **m=4kg** et **c=4180 jkg⁻¹k⁻¹**

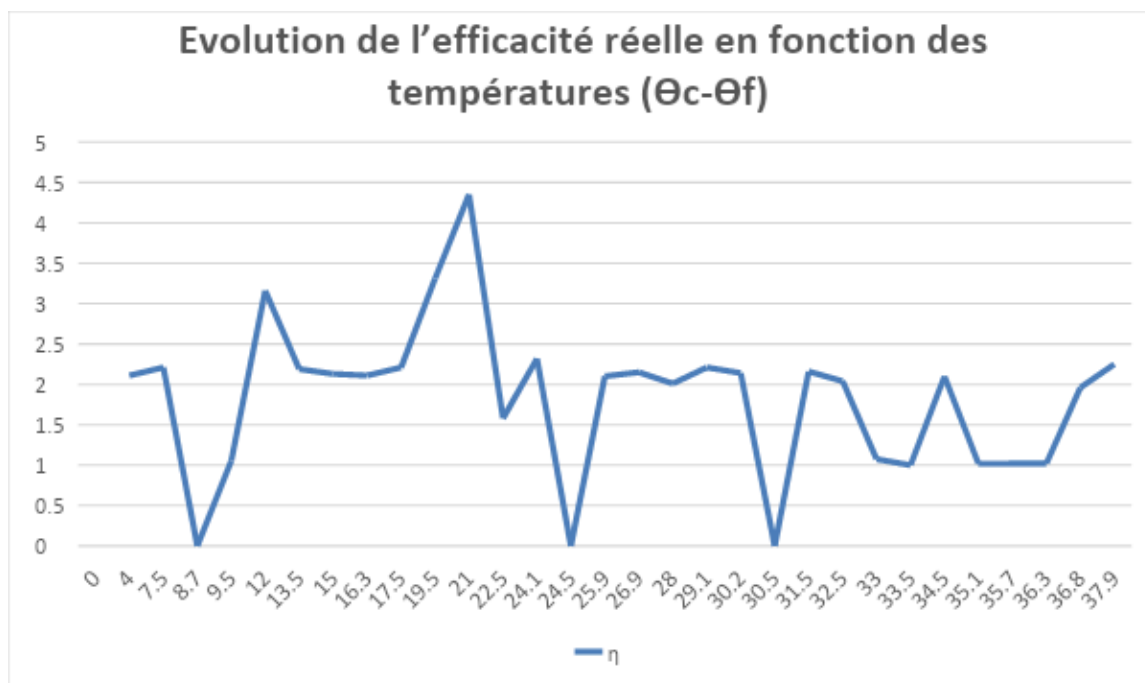
Puis, on calcule l'efficacité réelle par la relation :

$$\eta = \frac{Pth}{Pe}$$

Les résultats obtenus sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

T(min)	Pe	Pth	η	Θc-Θf
1	132	278.66	211	4
2	126	278.66	211	7.5
3	132	0	0	8.7
4	132	139.33	105.5	9.5
5	132	418	316	12
6	127.2	278.66	219	13.5
7	130.8	278.66	213	15
8	132	278.66	211	16.3
9	126	278.66	221	17.5
10	126	418	331	19.5
11	96	418	435	21
12	175.8	278.66	158	22.5
13	120	278.66	232	24.1
14	130.8	0	0	24.5
15	132.6	278.66	210.1	25.9
16	129.6	278.66	215	26.9
17	138.6	278.66	201	28
18	126	278.66	221	29.1
19	130.2	278.66	214	30.2
20	134.4	0	0	30.5
21	129	278.66	216	31.5
22	136.2	278.66	204	32.5
23	129.6	139.33	107.5	33
24	139.2	139.33	1	33.5
25	132.6	278.66	21	34.5
26	136.8	139.33	101.8	35.1
27	136.55	139.33	102	35.7
28	136.2	139.33	102.2	36.3
29	708	139.33	196	36.8
30	123.6	278.66	225	37.9

Tracé de la courbe représentant l'évolution de l'efficacité η en fonction des températures $\eta=f(\theta_c-\theta_f)$:



Conclusion :

On remarque que les fonctions représentées en fonction de $\theta_c - \theta_f$ sont généralement des fonctions décroissantes ce qui fait que plus la différence entre la chaleur libérée et la chaleur reçue croît plus l'efficacité se minimise.

Comparaison de l'efficacité réelle η avec l'efficacité idéale $\eta_{\max}$:

Pour comparer les deux valeurs, on doit déterminer la valeur du $\eta_{\max}$ à chaque intervalle de temps. Puis, représenter les deux courbes en fonctions des températures.

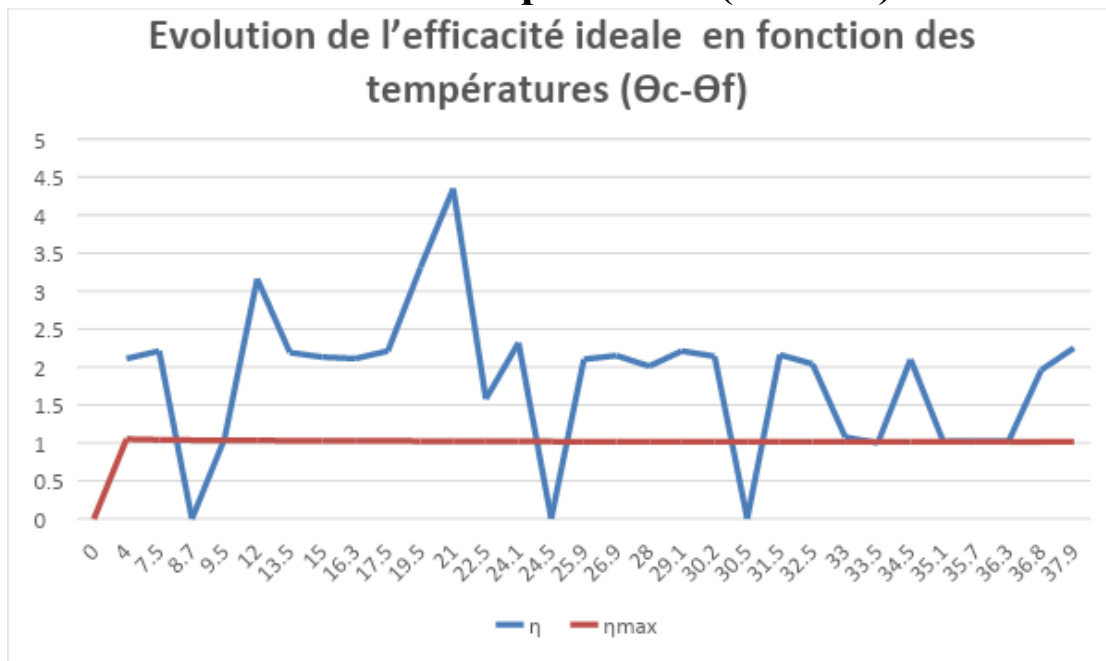
Or on sait que :

$$\eta_{\max} = \frac{TC}{TC - TF}$$

Les résultats obtenus sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

T (min)	$\Theta_c\text{-}\Theta_f$	Efficacité idéale $\eta_{\max}$
1	4	1.0505
2	7.5	1.0409
3	8.7	1.0365
4	9.5	1.0353
5	12	1.0315
6	13.5	1.0296
7	15	1.0277
8	16.3	1.0266
9	17.5	1.0258
10	19.5	1.0239
11	21	1.0237
12	22.5	1.0219
13	24.1	1.0198
14	24.5	1.0184
15	25.9	1.0170
16	26.9	1.0169
17	28	1.0166
18	29.1	1.0162
19	30.2	1.0158
20	30.5	1.0148
21	31.5	1.0147
22	32.5	1.0147
23	33	1.0146
24	33.5	1.0146
25	34.5	1.0146
26	35.1	1.0142
27	35.7	1.0139
28	36.3	1.0135
29	36.8	1.0135
30	37.9	1.0131

Tracé de la courbe représentant l'évolution de l'efficacité idéale en fonction des températures ($\Theta_C - \Theta_F$) :



Conclusion :

Le dernier graphe nous montre que η n'est pas constante et varie d'une manière qu'on peut dire aléatoire mais η_{max} reste constante. Ce résultat est dû aux valeurs prise par le thermomètre car ce dernier présente des incertitudes, en plus la température du laboratoire peut engendrer aussi cette différence car le système n'est pas bien isolé.

Conclusion :

Le but de ce projet, qui était d'effectuer une étude approfondie de la pompe à chaleur, a sans aucun doute été atteint. Ce projet s'est déroulé étape par étape. Nous avons tout d'abord approfondit nos connaissances sur la technologie de la pompe à chaleur. Nous avons entre autres comparé les consommations d'une pompe à chaleur dans différentes régions et dans des bâtiments de superficies différentes. Ainsi, cette étude nous a permis de mieux cerner le fonctionnement et les caractéristiques particulières de la pompe à chaleur. Nous avons appris que la pompe à chaleur était une technologie en faveur de l'environnement. Concernant le travail réalisé, il a tout d'abord été nécessaire de nous familiariser avec le matériel qui nous a été confié : la pompe à chaleur et le wattmètre. Ensuite nous avons effectué les réglages nécessaires avant de commencer les expériences. Ces

expériences ont été très enrichissantes car elles nous ont permis de manipuler un dispositif que nous connaissions qu'au niveau théorique. De plus nous avons pu suivre en temps réel l'évolution des températures dans les deux systèmes d'étude. Par la suite nous avons découvert l'efficacité réelle de l'appareil, que nous avons pu comparer avec une efficacité idéale calculée parallèlement. Nous avons constaté une nette différence dont nous avons tenté de trouver l'explication. Les difficultés que nous avons rencontrées durant ce projet sont principalement des difficultés matérielles puisque nous avons été confrontés à du matériel manquant de précision et que nous avons dû apprendre à manipuler correctement. Ce projet a aussi constitué un travail en groupe enrichissant. En effet, nous nous sommes répartis le plus équitablement possible les différentes tâches. Nous avons également appris à travailler en étroite collaboration, notamment lors des expériences qui nécessitaient une bonne organisation et coordination : chronomètre, relevé des différentes mesures.

Ce projet est donc très intéressant et enrichissant.

Conclusion

Lors de ces séances de TP nous sommes arrivés à mettre en évidence quelques lois préalablement acquises lors de notre cursus scolaire par le biais de multiples expériences, ainsi nous avons eu une autre vue sur la thermodynamique comme science dans son côté pratique et nous avons eu la chance sous la supervision de **Mr GUEMIMI** de faire la corrélation entre les résultats concrets et ceux théoriques comme si nous avons fait une projection de nos connaissances du monde de l'abstrait au réel.