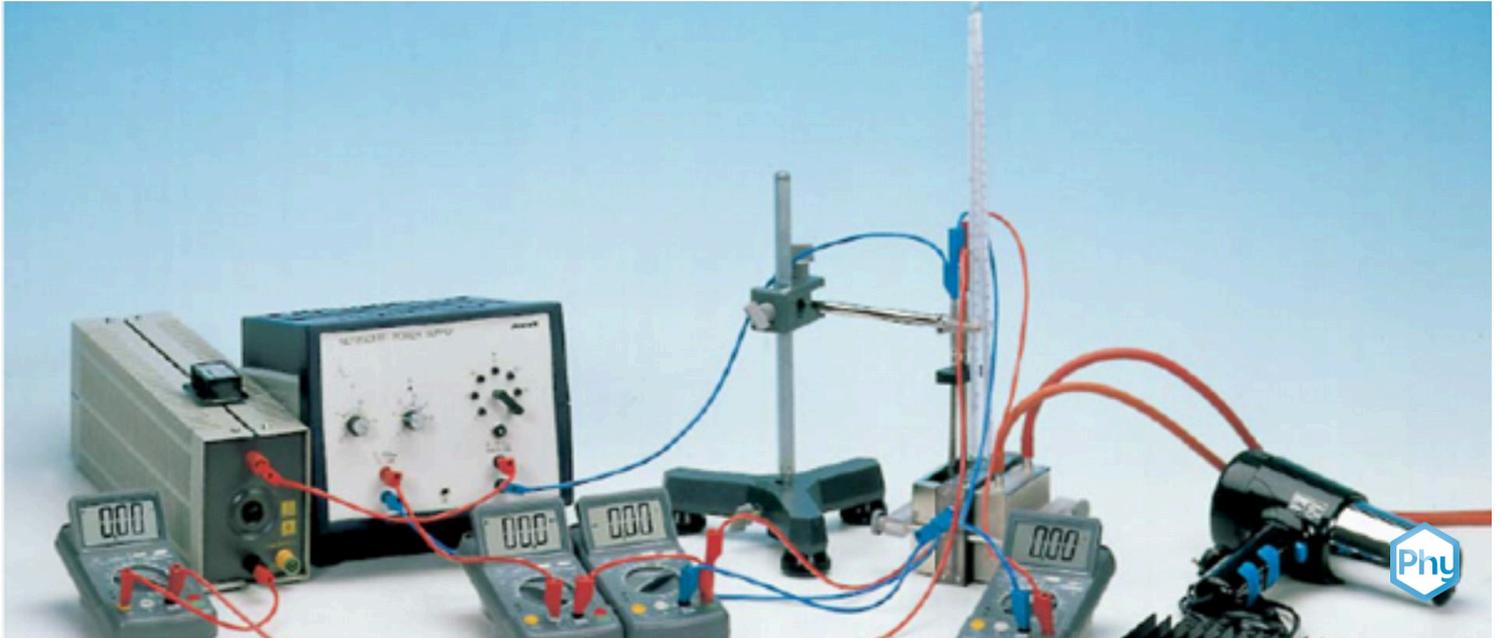


# Pompe à chaleur à effet Peltier



Physique

Thermodynamique

Température et chaleur



Niveau de difficulté

difficile



Taille du groupe

1



Temps de préparation

20 procès-verbal



Délai d'exécution

20 procès-verbal

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/65d85ab1d95eec00025505fc>

PHYWE

# Informations générales

## Application

PHYWE



Fig.1 : Dispositif expérimental

Les pompes à chaleur ont de nombreuses applications, depuis les réfrigérateurs dans les maisons individuelles jusqu'au transport de l'énergie dans les centrales électriques.

Cette expérience peut être utilisée pour acquérir une première compréhension du comportement des pompes à chaleur.

## Autres informations (1/2)

PHYWE



Priorité

connaissances



Principal

principe

Les connaissances préalables requises pour cette expérience se trouvent dans la partie théorique.

La capacité de refroidissement, la capacité de chauffage et l'efficacité d'une pompe à chaleur à effet Peltier, sont déterminées dans différentes conditions de fonctionnement.

## Autres informations (2/2)

PHYWE



Apprentissage

objectif



Tâches

L'objectif de cette expérience est d'étudier les caractéristiques de la pompe à chaleur à effet Peltier.

1. Déterminer la capacité de refroidissement  $P_C$  de la pompe en fonction du courant et de calculer le taux de rendement  $\eta_C$  à la puissance maximale.
2. Déterminer la capacité de chauffage  $P_W$  de la pompe et de son rendement  $\eta_W$  à courant et température constants du côté froid.
3. Déterminer  $P_W, \eta_W$  et  $P_C, \eta_C$  de la relation entre la température et le temps du côté chaud et du côté froid.
4. Étudier le comportement de la température, lorsque la pompe est utilisée pour le refroidissement, avec le côté chaud refroidi à l'air.

## Théorie (1/4)

PHYWE

Lorsqu'un courant électrique traverse un circuit composé de deux conducteurs différents, de la chaleur est libérée à une jonction et absorbée à l'autre, selon le sens du courant (effet Peltier). La quantité de chaleur  $Q$  dégagée par unité de temps est proportionnelle à l'intensité du courant  $I$  :

$$\frac{Q}{t} = P_p = \pi \cdot I = \alpha \cdot T \cdot I$$

où  $\pi$  est le coefficient de Peltier,  $\alpha$  le coefficient Seebeck et  $T$  la température absolue.

Si un courant électrique  $I$  circule dans un conducteur homogène dans la direction d'un gradient de température  $\frac{dT}{dx}$

la chaleur sera absorbée ou dégagée, en fonction du matériau (effet Thomson) :

$$P_T = \tau \cdot I \cdot \frac{dT}{dx}$$

où  $\tau$  est le coefficient de Thomson.

## Théorie (2/4)

PHYWE

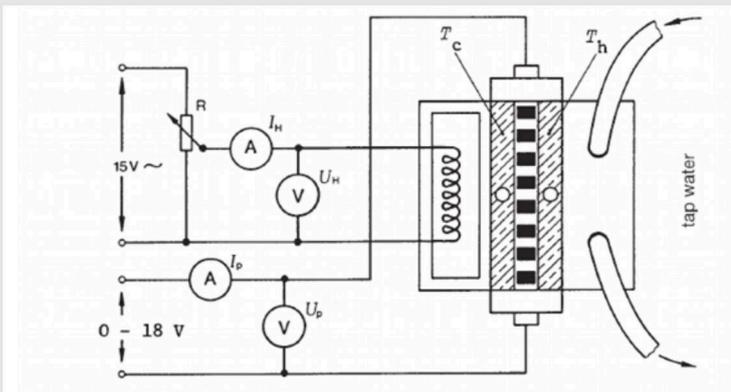


Fig. 2 : Configuration pour la détermination de la capacité de refroidissement.

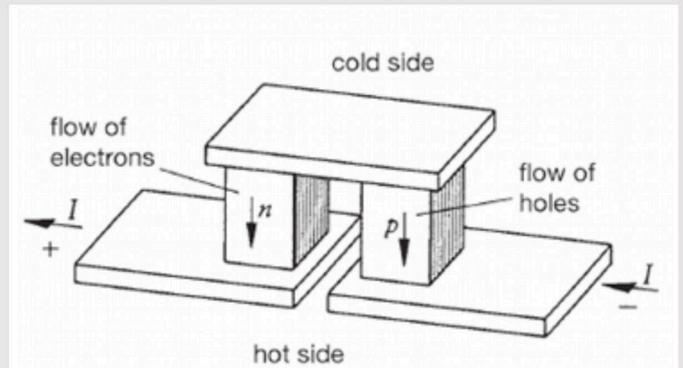


Fig. 3 : Construction d'un élément semi-conducteur Peltier. Dans la pratique, plusieurs éléments sont généralement connectés en série (électriquement) et en parallèle (thermiquement).

### Théorie (3/4)

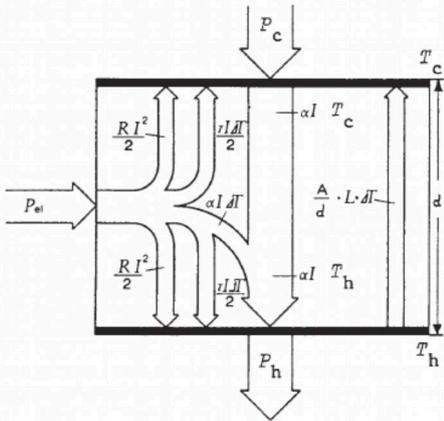


Fig. 4 : Diagramme d'équilibre de puissance dans un composant Peltier. (L'exemple illustré correspond au cas où  $P_T > 0$ ).

La direction dans laquelle la chaleur circule dépend du signe du coefficient de Thomson, de la direction dans laquelle le courant circule et de la direction du gradient de température.

Si un courant électrique  $I$  circule dans un conducteur isotherme de résistance  $R$ , nous avons l'effet Joule :

$$P_J = R \cdot I^2$$

En raison de la conduction thermique, la chaleur circule également du côté chaud (température  $T_h$ ) vers le côté froid (température  $T_c$ )

$$P_L = L \frac{A}{d} (T_h - T_c)$$

### Théorie (4/4)

où  $L$  est la conductivité,  $A$  la surface de la section transversale et  $d$  l'épaisseur du composant Peltier.

Rédaction  $\Delta T = T_h - T_c$  on obtient la capacité thermique de la pompe du côté froid (la capacité de refroidissement) :

$$-P_c = \alpha T_c I \pm \frac{\tau I \Delta T}{2d} - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{L \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

et, pour la capacité thermique de la pompe du côté chaud (la capacité de chauffage) :

$$+P_h = \alpha T_h I \pm \frac{\tau I \Delta T}{2d} - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{L \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

La puissance électrique fournie est de

$$+P_{el} = \alpha \Delta T I + \frac{\tau I \Delta T}{2d} - I^2 R = U_p \cdot I_p$$

## Equipement

Position	Matériau	Numéro d'article	Quantité
1	Thermogénérateur avec 2 bains d'eau	04366-00	1
2	Échangeur de chaleur à circulation	04366-01	1
3	Refroidisseur d'air	04366-02	1
4	Serpentin chauffant avec prises	04450-00	1
5	Distributeur	06024-00	1
6	Rhéostat, 33 Ohm, 3.1A	06112-02	1
7	Fiche de connexion, 2 pièces	07278-05	1
8	PHYWE Alimentation électrique, universelle DC : 0...18 V, 0...5 A / AC : 2/4/6/8/10/12/15 V, 5 A	13504-93	1
9	Multimètre numérique, 600V AC/DC, 10A AC/DC, 20 MΩ, 200 μF, 20 kHz, -20°C...760°C	07122-00	4
10	Chronomètre numérique, 24 h, 1/100 s et 1 s	24025-00	1
11	Soufflerie d'air chaud/froid, 1800 W	04030-93	1
12	Thermomètre de laboratoire, -10...+110 °C	38056-00	1
13	Thermomètre -10...+50 °C	38034-00	2
14	Tuyau en caoutchouc, diamètre intérieur 6 mm	39282-00	1
15	Pince universelle	37715-01	1
16	Base de trépied PHYWE	02002-55	1
17	Tige de support, acier inoxydable, l = 250 mm, d = 10 mm	02031-00	1
18	Expert en serrage à angle droit	02054-00	1
19	Cordon de raccordement, 32 A, 250 mm, rouge	07360-01	3
20	Cordon de raccordement, 32 A, 500 mm, rouge	07361-01	3
21	Cordon de raccordement, 32 A, 500 mm, bleu	07361-04	2
22	Cordon de raccordement, 32 A, 750 mm, bleu	07362-04	2
23	Cordon de raccordement, 32 A, 750 mm, rouge	07362-01	1
24	Pâte conductrice de chaleur, 60 g	03747-00	1

PHYWE



# Configuration et procédure

## Configuration et procédure (1/2)

PHYWE

- Installez un bain d'eau du côté froid et un échangeur de chaleur traversé par de l'eau du robinet du côté chaud. Un serpentin chauffant (résistance d'environ 3 ohms), fonctionnant en courant alternatif, plonge dans le bain rempli d'eau. Pour chaque valeur de courant  $I_P$  régler la capacité de chauffage  $P_H = U_H \cdot I_H$  avec le rhéostat R de manière à ce que la différence de température entre le côté chaud et le côté froid soit approximativement nulle. La puissance fournie correspond alors exactement à la capacité de refroidissement  $P_C$ . Mesurer le courant de chauffage  $I_H$  et la tension  $U_H$ , le courant de fonctionnement  $I_P$  et la tension  $U_P$  et les températures du côté chaud  $T_h$  et le côté froid  $T_c$ .
- Retirez le serpentin chauffant, car il n'est plus nécessaire. Inversez le courant de fonctionnement pour que l'eau du bain se réchauffe. Mesurez l'augmentation de la température de l'eau  $T_W$  à courant constant  $I_P$ . Mesurer aussi  $I_P$ ,  $U_P$  et  $T_C$ . Calculer les capacités thermiques d'un bloc de cuivre  $C_{cu}$  de l'eau  $C_W$  et de la baignoire en laiton  $C_{Br}$  à partir de leurs dimensions ou par pesée.

## Configuration et procédure (2/2)

PHYWE

- Installer des bains d'eau des deux côtés de la pompe à chaleur et les remplir avec de l'eau de même qualité.
  - Température. Avec le courant ( $I_P$  constante) mesurent les changements de température de l'eau.
  - deux bains d'eau), c'est-à-dire  $T_h = f(t)$ ,  $T_c = f(t)$ ,  $I_P$  et  $U_P$ .
- Pour cette quatrième expérience, nous disposons d'un bain d'eau du côté froid et d'un refroidisseur d'air du côté chaud. Mesurez la température du côté froid en fonction du temps, avec le refroidisseur a) dans l'air atmosphérique statique, et b) refroidi par une soufflerie.

PHYWE



## L'évaluation

## Tâche 1

PHYWE

Capacité de refroidissement de la pompe  $P_C$  s'est avérée être de 49 W lorsque  $I_P = 5$  A et  $P_h = P_C$

L'indice d'efficacité  $\eta_c = \frac{P_c}{P_{el}}$  devient, pour les valeurs mesurées

$$I_P = 5 \text{ A}, U_P = 14.2 \text{ V}, \eta_c = 0.69 (\vartheta_h = \vartheta_c = 20) \text{ } ^\circ\text{C}$$

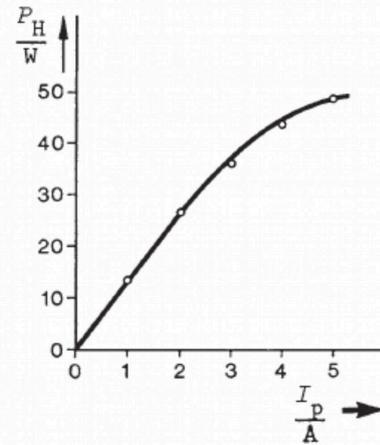


Fig. 5 : Capacité de refroidissement de la pompe en fonction du courant de fonctionnement.

## Tâche 2 (1/3)

PHYWE

La pente de la courbe de la figure 6 (où la courbe commence par une ligne droite) permet de calculer la capacité de chauffage de la pompe.

$$P_h = \frac{C_{tot} \Delta T_h}{\Delta T}$$

et l'indice d'efficacité correspondant

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_{el}}$$

$$\text{Où } P_{el} = I_P \cdot U_P$$

comme suit :

$$m_W = 0.194 \text{ kg} \quad c_W = 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$m_{Br} = 0.0983 \text{ kg} \quad c_{Br} = 381 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$m_{Cu} = 0.712 \text{ kg} \quad c_{Cu} = 383 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$C_{tot} = m_W \cdot c_W + m_{Br} \cdot c_{Br} + m_{Cu} \cdot c_{Cu} = 1121 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

où  $m_W$  est la masse de l'eau,  $c_W$  la capacité thermique spécifique de l'eau,  $m_{Cu}$  la masse d'un bloc de cuivre,  $c_{Cu}$  la capacité thermique spécifique du cuivre,  $m_{Br}$  la masse du bain de laiton,  $c_{Br}$  la capacité thermique spécifique du laiton,  $I_P$  le courant de la pompe, et  $U_P$  la tension moyenne de la pompe.

## Tâche 2 (2/3)

PHYWE

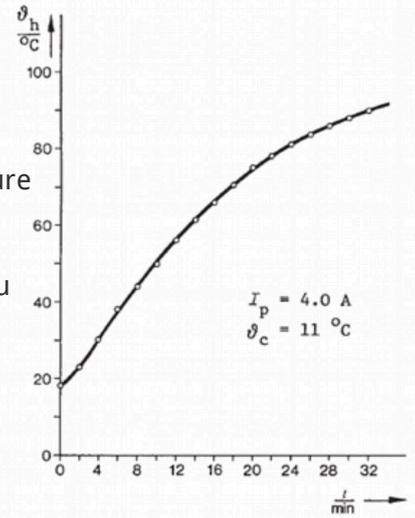
Avec la pente

$$\frac{\Delta T_h}{\Delta T} = 6.7 \times 10^{-2}$$

Nous obtenons une valeur  $P_h$  de 75 W.

Avec des valeurs pour  $I_P$  de 4,0 A et  $U_P$  de 12,5 V (valeur moyenne), nous obtenons un rendement  $\eta_C = 1.5$

Fig. 6 :  
Température  
du côté  
chaud en  
fonction du  
temps.



## Tâche 2 (3/3)

PHYWE

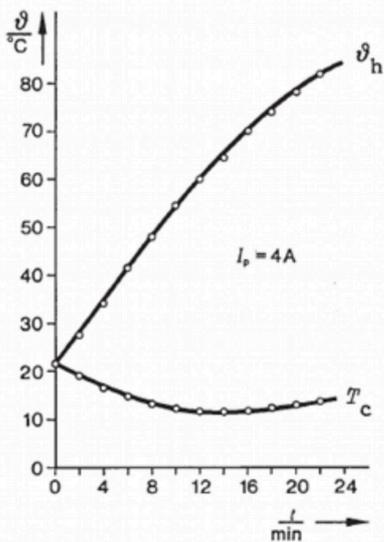
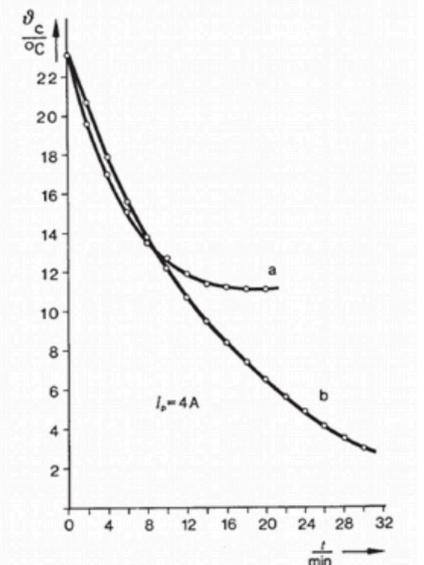


Fig. 7 :  
Température  
de l'eau en  
fonction du  
temps.

Fig. 8 :  
Température de  
l'eau lorsque le  
côté chaud est  
refroidi par un  
refroidisseur d'air  
a)  
refroidissement  
par convection  
b)  
refroidissement  
forcé.



## Tâche 3

PHYWE

$P_h$  et  $P_c$  et  $\eta_h$  et  $\eta_c$  peut être calculée à partir des pentes des courbes  $\vartheta_h = f(t)$  and  $\vartheta_c = f(t)$  et les capacités thermiques correspondantes.

Avec  $\Delta\vartheta_h/\Delta t = 0.056\text{K/s}$  (début de la courbe) et  $c\Delta\vartheta_c/\Delta t = -0.023\text{K/s}$  et avec  $C_{tot} = 1121\text{J/K}$ , on obtient

$$P_h = 63\text{ W}; P_c = 26\text{ W}$$

Dans la plage considérée, la tension  $U_P$  (valeur moyenne) était de 12,4 V, ce qui nous permet d'obtenir les rendements suivants  $\eta_h = 1.3$  et  $\eta_c = 0.52$  ( $I = 4\text{ A}$ ,  $T = 22\text{ °C}$ ).

## Tâche 4

PHYWE

La figure 8 montre l'évolution de la température dans le bain d'eau du côté froid lorsque le côté chaud a été refroidi par le refroidisseur à air. La température  $\vartheta_h$  du côté chaud était d'environ 72°C après 20 minutes (sans soufflerie). La différence de température maximale  $\vartheta_h - \vartheta_c = 60\text{ K}$  est donc atteint et la sortie de la pompe du composant Peltier est nulle. Lorsque la soufflerie est utilisée,  $T_h$  est resté constant à environ 45°C après 20 minutes.