

Détermination calorique des pertes par frottement du moteur à air chaud

Objectifs expérimentaux

- Mesure du réchauffement de l'eau de refroidissement par le frottement du piston du moteur à air chaud.
- Détermination du travail de frottement du piston du moteur à air chaud par cycle.

Notions de base

Lorsqu'il fonctionne en moteur thermique, le moteur à air chaud enlève par cycle une quantité de chaleur Q_1 d'un réservoir 1, produit le travail mécanique W et fournit la différence

$$Q_2 = Q_1 - W \quad (I)$$

à un réservoir 2. En fonctionnement en machine frigorifique pour le même sens de rotation par cycle, un travail mécanique W lui est fourni de l'extérieur; il prélève alors la quantité de chaleur Q_1 du réservoir 1 et cède la quantité de chaleur Q_2 au réservoir 2.

Des pertes intervenant dans le bilan de puissance du moteur à air chaud se manifestent dans les deux cas. C'est ainsi par exemple que de l'énergie mécanique (travail de frottement) est mise en oeuvre pour chaque cycle pour le frottement du piston dans le cylindre et le frottement dans les paliers et que cette énergie est convertie en énergie thermique (chaleur). Le travail de frottement par le frottement du piston dans le cylindre peut être déterminé quantitativement étant donné qu'il occasionne un réchauffement de l'eau de refroidissement. Le frottement dans les paliers échappe à cette mesure.

Pour la détermination du travail de frottement du piston, on mesure dans l'expérience l'élévation de la température $\Delta\vartheta$ dans l'eau de refroidissement pendant que le moteur à air chaud a sa culasse ouverte et est entraîné par un moteur électrique. La puissance fournie à l'eau de refroidissement vaut

$$P = c \cdot \rho \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \cdot \Delta\vartheta \quad (II)$$

$c = 4,185 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$: chaleur spécifique de l'eau,
 $\rho = 1 \text{ g cm}^{-3}$: densité de l'eau

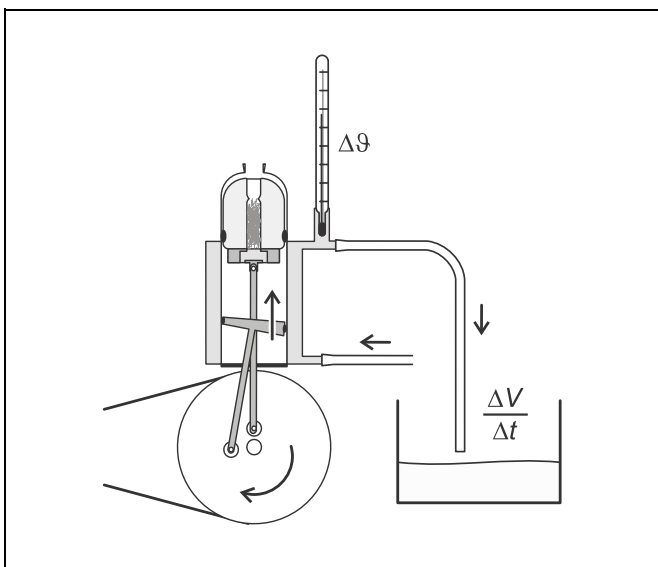
$\frac{\Delta V}{\Delta t}$: débit-volume de l'eau de refroidissement

Le résultat obtenu permet de calculer le travail de frottement cherché par cycle du moteur à air chaud en procédant comme suit:

$$W_R = \frac{P}{f} \quad (III).$$

f : vitesse de rotation du moteur à air chaud

Détermination calorique des pertes par frottement du moteur à air chaud



Matériel

1 moteur à air chaud	388 182
1 lot d'accessoires pour moteur à air chaud	388 221
1 thermomètre, -10° à $+40^{\circ}\text{C}$	382 36
1 moteur d'expériences	347 35
1 unité de commande et de réglage	347 36
1 compteur P	575 45
1 barrière lumineuse, lumière infrarouge	337 46
1 transformateur, 6 V~, 12 V~/30 VA	562 73
1 câble adaptateur, à 4 pôles, 1,5 m	501 18
1 câble d'expérience, rouge, 25 cm	500 411
1 bécher en plastique, 1000 ml	590 06
1 chronomètre II, 60 s/30 min	313 17
1 pied en V, petit modèle	300 02
2 tiges, 25 cm	300 41

Supplément nécessaire:

Réceptacle d'eau ouvert (au moins 10 l)	
1 pompe submersible 12 V	388 181
1 alimentation TBT	522 16
2 tuyaux en silicone \varnothing int. $7 \times 1,5$ mm, 1 m	667 194

ou

arrivée et écoulement de l'eau de refroidissement

Montage

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 1.

Mesure de la température:

- Dévisser le raccord à filetage GL14 de l'écoulement de l'eau de refroidissement de la culasse et monter l'adaptateur pour température (c) fourni avec les accessoires pour le moteur à air chaud (voir mode d'emploi 388 221).
- Introduire le thermomètre dans l'adaptateur pour température et le fixer avec le raccord à filetage GL18.

Alimentation en eau de refroidissement:

- Verser au moins 10 l d'eau dans le récipient d'eau ouvert et attacher la pompe submersible.
- Brancher la sortie de la pompe submersible à l'arrivée de l'eau de refroidissement du moteur à air chaud et canaliser l'écoulement de l'eau de refroidissement vers le récipient d'eau.
- Brancher la pompe submersible à l'alimentation TBT.

ou

- Brancher l'arrivée de l'eau de refroidissement du moteur à air chaud au robinet d'eau et canaliser l'écoulement de l'eau de refroidissement vers le déversoir.
- Eventuellement dévisser le raccord à filetage GL du thermomètre pendant un bref instant, laisser monter de l'eau dans le tube en verre puis revisser le raccord à filetage GL.

Montage et entraînement du moteur à air chaud:

- Retirer le couvercle de la culasse (voir mode d'emploi du moteur à air chaud).
- Eventuellement fermer le collier de serrage pour le capteur de pression à l'aide d'un bouchon.
- Monter le moteur électrique et le brancher à l'appareil de commande et de réglage.
- Placer la courroie d'entraînement sur le volant moteur et le disque d'entraînement et la tendre en basculant le moteur électrique.

Mesure de la fréquence:

- Apposer sur le vilebrequin le disque à trous inclus aux accessoires pour le moteur à air chaud.
- Monter la barrière lumineuse sur le matériel support et l'orienter vers un trou du disque immobile.
- A l'aide d'un câble adaptateur à quatre pôles, brancher la barrière lumineuse à la sortie 6 V du transformateur pour l'alimentation en tension (connecteur noir) et à l'entrée start du compteur P pour la mesure de la fréquence (connecteurs rouge et gris).
- Relier l'entrée start à l'entrée stop, positionner le commutateur sur «f» et enclencher le compteur P.

Mesure du débit de l'eau de refroidissement:

- Garder le bécher en plastique et le chronomètre manuel à portée de la main.

Conseils de sécurité

Les éléments en verre du moteur à air chaud ne doivent pas être soumis à une trop grande sollicitation thermique.

- Respecter les instructions spécifiées dans le mode d'emploi du moteur à air chaud.
- Ne pas faire fonctionner le moteur à air chaud sans eau de refroidissement et s'assurer du bon fonctionnement du circuit d'eau de refroidissement.
- Veiller à ce que la température de l'eau de refroidissement alimentée ne dépasse pas 30°C .

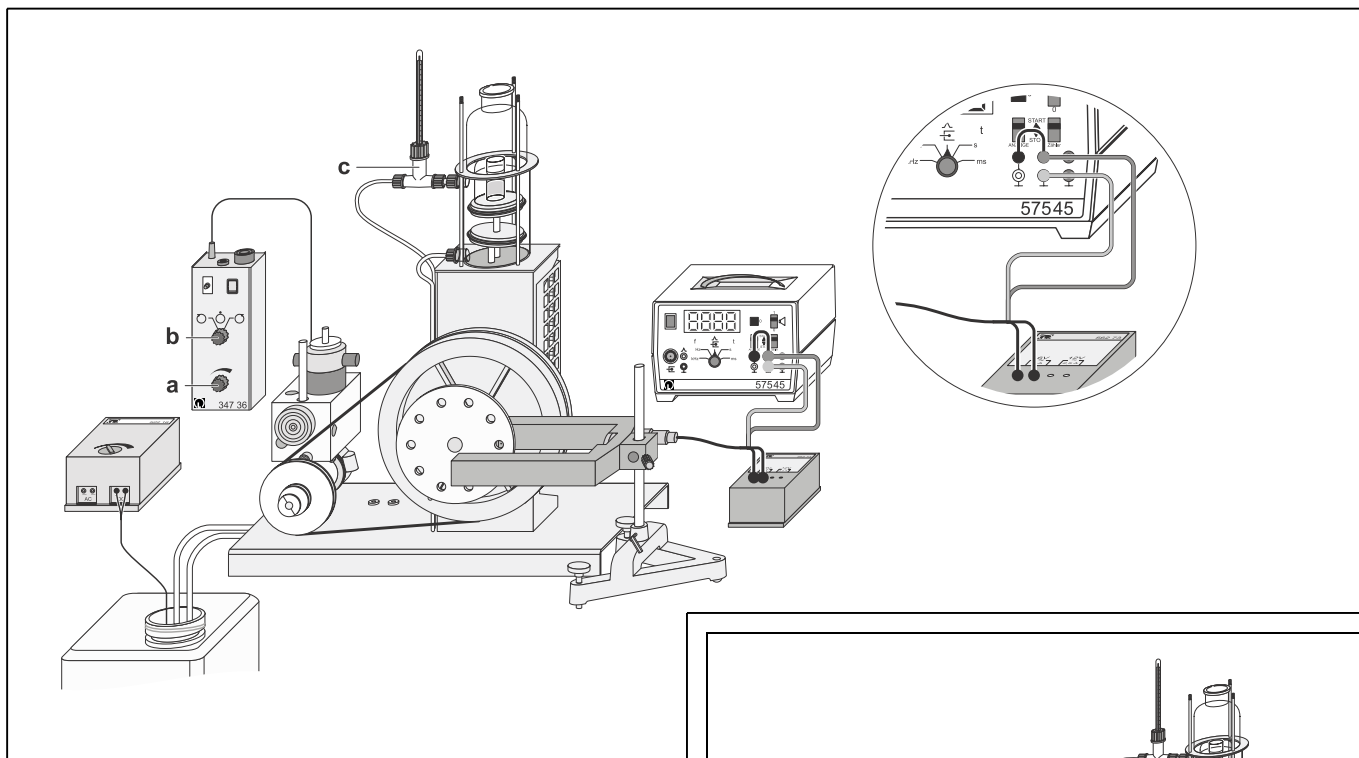
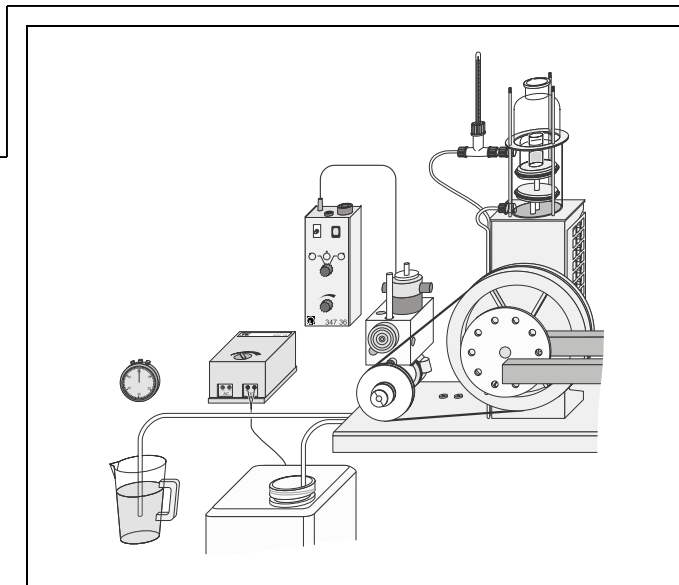


Fig. 1 Montage expérimental pour la détermination calorique des pertes par frottement du moteur à air chaud

Fig. 2 Détermination du débit-volume ΔV par unité de temps Δt



Réalisation

- Placer le sélecteur du sens de rotation (**b**) en position centrale (arrêt), en faire autant avec le sélecteur de la vitesse de rotation (**a**) puis mettre l'unité de commande et de réglage en marche.
- Enclencher l'alimentation en eau de refroidissement (pour ce faire, régler par ex. l'alimentation TBT pour la pompe submersible sur le palier 2), vérifier le débit et attendre que l'eau reflue par le tuyau d'écoulement.
- Mesurer la température de l'eau de refroidissement qui s'écoule à intervalles de 2 min et attendre que l'évolution soit clairement extrapolable.
- Lancer le moteur à air chaud en marche à droite (dans le sens horaire) à l'aide du sélecteur du sens de rotation puis mesurer sa vitesse de rotation.

La vitesse de rotation du moteur s'obtient à partir de la fréquence mesurée et du nombre de trous dans le disque à trous.

- Continuer de mesurer toutes les 2 minutes la température de l'eau de refroidissement qui s'écoule, observer l'élévation de la température et attendre que l'évolution soit clairement extrapolable.
- Lorsque la valeur maximale est atteinte, mettre fin à la rotation du moteur en marche à droite sans cesser de mesurer la température de l'eau de refroidissement toutes les 2 minutes jusqu'à ce que l'évolution de la température soit clairement extrapolable.
- Amener le tuyau d'écoulement dans le bécher en plastique et déterminer le débit-volume ΔV de l'eau de refroidissement par intervalle de temps Δt (voir fig. 2).
- Varier la vitesse de rotation à l'aide du sélecteur de vitesse de rotation (**a**) et recommencer la mesure.

Exemple de mesure

Débit-volume de l'eau de refroidissement: 420 cm^3 en 5 min

Tableau 1: Température de l'eau de refroidissement mesurée toutes les 2 minutes (mise en marche du moteur électrique au bout de 10 minutes et arrêt au bout de 32 minutes). Vitesse de rotation: $f = 1,6 \text{ s}^{-1}$

t min	ϑ °C	t min	ϑ °C
0	21,8	24	22,1
2	21,7	26	22,2
4	21,6	28	22,2
6	21,55	30	22,2
8	21,5	32	22,2
10	21,5	34	22,1
12	21,6	36	22,0
14	21,8	38	21,8
16	21,9	40	21,6
18	22,0	42	21,6
20	22,0	44	21,5
22	22,1	46	21,5

Tableau 2: Variations de la température $\Delta\vartheta$ de l'eau de refroidissement mesurées pour diverses vitesses de rotation f du moteur à air chaud.

$\frac{f}{s^{-1}}$	$\frac{\Delta\vartheta}{^{\circ}C}$
1,1	0,6
1,6	0,7
2,2	0,4
2,7	0,5
3,4	0,6

Tableau 3: Valeurs pour le travail de frottement par cycle W_R déterminées en fonction de la vitesse de rotation f .

$\frac{f}{s^{-1}}$	$\frac{W_R}{J}$
1,1	3,2
1,6	2,6
2,2	1,1
2,7	1,1
3,4	1,0

Exploitation

Sur la fig. 3, l'évolution temporelle de la température de l'eau de refroidissement pendant le réchauffement par le frottement du piston est représentée à titre d'exemple à une vitesse de rotation $f = 1,6 s^{-1}$ (voir tab. 1). La représentation permet de relever la variation de la température de $\Delta\vartheta = 0,7 ^{\circ}C$.

Le débit-volume est le suivant:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{420 \text{ cm}^3}{300 \text{ s}} = 1,4 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

Conformément aux formulations (II) et (III), la puissance fournie à l'eau de refroidissement vaut $P = 4,1 \text{ W}$ et le travail de frottement par cycle $W_R = 2,6 \text{ J}$.

Le tab. 3 est un récapitulatif des valeurs correspondantes calculées à partir des variations de la température pour différentes vitesses de rotation f ; ces valeurs sont données dans le tab. 2. La fig. 4 est une représentation graphique des valeurs.

Résultat

Une partie du travail (travail de frottement) du moteur à air chaud fonctionnant en moteur thermique est convertie en chaleur et cédée à l'eau de refroidissement. Le travail de frottement par cycle dépend de la vitesse de rotation du moteur à air chaud.

Fig. 3 Evolution de la température de l'eau de refroidissement pendant le réchauffement par le frottement du piston dans

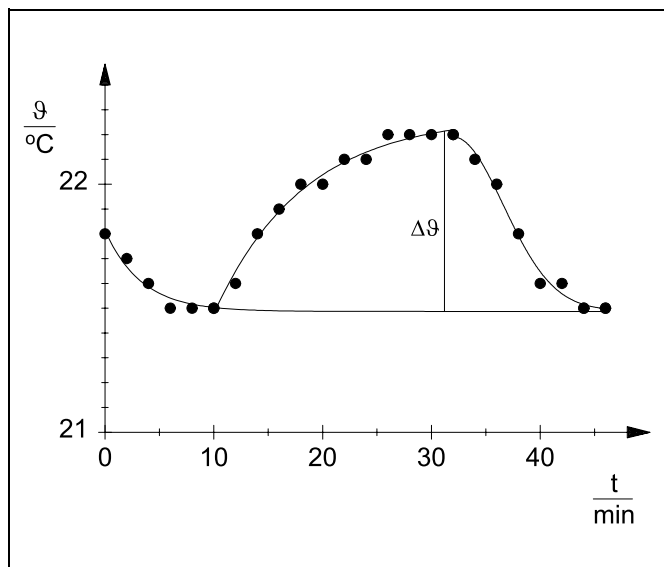


Fig. 4 Travail de frottement W_R par cycle en fonction de la vitesse de rotation f du moteur à air chaud

