

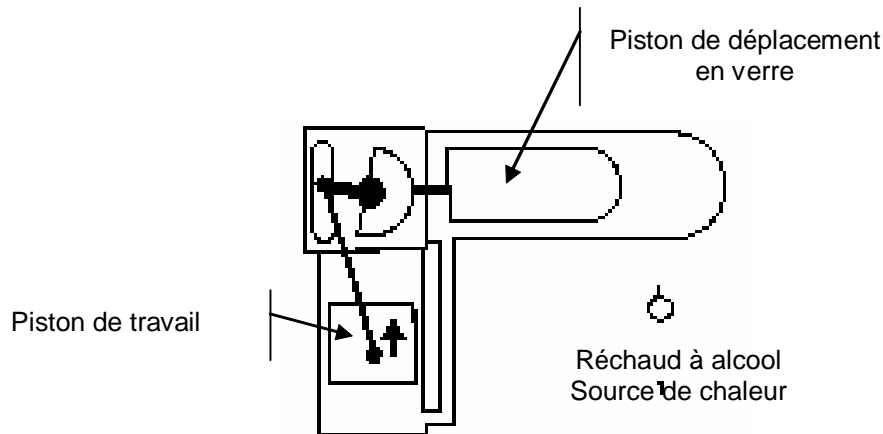
TP N°16

Étude du moteur de Stirling⁸

⁸ Ce travail est le fruit d'un travail collectif. Tous mes remerciements à Madame Baillet pour m'avoir fourni une grande part des pages qui suivent...

MOTEUR DE STIRLING

Ce moteur a été inventé en 1816 et a fonctionné pour la première fois en 1818. Son avantage réside dans sa structure fermée et son fonctionnement à combustion externe où tous les combustibles peuvent être utilisés. Dans ce moteur, le piston de travail comprime l'air et le piston de déplacement permet de déplacer le gaz à l'intérieur du cylindre.



Le but de la manipulation est de déterminer le rendement de ce moteur.

1. Description du cycle

Le cycle se décompose en 4 étapes :

I - Détente isotherme à la température T_1

$$(p_1, V_1, T_1) \rightarrow (p_2, V_2, T_1)$$

L'air se dilate sous l'effet de la chaleur reçue par la source chaude et repousse le piston de travail vers la haut, alors que le piston de déplacement reste immobile.

II - Refroidissement isochore au volume V_2

$$(p_2, V_2, T_1) \rightarrow (p_3, V_2, T_2)$$

Le piston de déplacement chasse l'air de la zone située au-dessus de la flamme. L'air se refroidit de manière isochore.

III - Compression isotherme à la température T_2

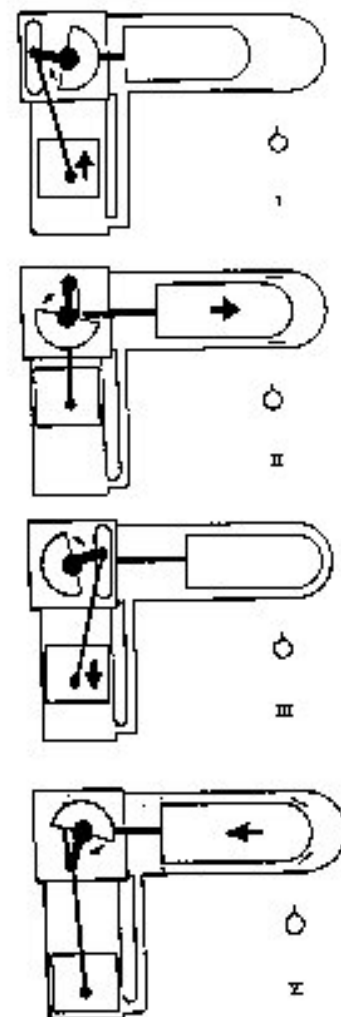
$$(p_3, V_2, T_2) \rightarrow (p_4, V_1, T_2)$$

L'air est comprimé par le piston de travail de façon isotherme car le piston de déplacement reste immobile.

IV - Échauffement isochore au volume V_1

$$(p_4, V_1, T_2) \rightarrow (p_1, V_1, T_1)$$

Le piston de déplacement déplace l'air vers la zone située au dessus de la source de chaleur, alors que le piston de travail reste immobile.



2. Étude pratique

◆ Préparation de l'acquisition des données

a- La source de chaleur est un réchaud à alcool :

Pouvoir calorifique de l'alcool : $K = 25 \text{ kJ.g}^{-1}$

La quantité d'alcool brûlé au cours de l'expérience est déterminée en pesant le réchaud avant et après l'expérience et en ayant pris soin de noter la durée totale de combustion (environ 15 minutes).

☞ Remplir le réservoir du réchaud et vérifier que la longueur de la partie émergée de la mèche ne dépasse pas de plus de 1 mm.

☞ Peser le réchaud, mais ne pas l'allumer tout de suite.

b- Les **températures** dans les parties chaude (T_1) et froide (T_2) du cylindre de détente sont déterminées à l'aide de deux thermocouples NiCr-Ni reliés à l'appareil de mesure PVNT (mesure de la pression p , du volume V , de la vitesse de rotation N du moteur et des températures). À la mise sous tension, l'appareil affiche « CAL ».

☞ Les deux sondes étant à la même température, appuyez sur la touche « ΔT ». L'appareil affiche alors « ot ».

☞ Amener le piston de travail à sa position la plus basse, puis appuyez sur la touche « calibrer V ».

c- Le **volume** V du gaz peut varier de 32 cm^3 à 44 cm^3 .

Le capteur de volume est relié à la voie EA1 de l'interface.

Voie 1 : EA1 calibre : $\pm 5V$

Nom : V Unité : cm^3 Commentaire : volume

Étalonnage manuel :

$U = 0 \rightarrow V = 32$

$U = 5 \rightarrow V = 44$

d- Le capteur de pression mesure la différence de pression Δp par rapport à la pression atmosphérique p_a .

Ce capteur est relié à la voie EA0 de l'interface.

Voie 2 : EA0 calibre : $\pm 5V$

Nom : p Unité : Pa Commentaire : pression

Étalonnage manuel :

$U = 0 \rightarrow p = +70\,000$

$U = 5 \rightarrow p = +219\,000$

Mode de fonctionnement : Temporel, **Abscisse :** V

Balayage : Durée : $\approx 250 \text{ ms}$ avec ≈ 192 points de mesure

◆ Détermination du nombre n de moles de gaz contenu dans le cylindre.

☞ Le réchaud à alcool étant éteint, relever le volume V , la pression p et la température T du gaz. En appliquant la loi des gaz parfaits, en déduire n ($\approx 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$).

◆ Acquisition des données :

☞ Allumer le réchaud et noter l'heure.

☞ Quand la température T_1 atteint environ 90°C , lancer le moteur en tournant la roue en plexiglas dans le sens des aiguilles d'une montre. La vitesse doit être comprise entre 500 et 1000 tours par minute.

☞ Faire quelques acquisitions enregistrées sur les pages différentes du même fichier Reg-Win, en choisissant des vitesses de rotation différentes.

À chaque enregistrement noter comme paramètres expérimentaux :

$T_1 = \dots$ $T_2 = \dots$ $N = \dots$ (vitesse de rotation du moteur)

☞ Éteindre le réchaud au bout de 15 minutes environ et noter l'heure et vous le repeserez pour connaître la consommation d'alcool.

☞ Déduire la chaleur libérée par le réchaud par unité de temps.

3. Exploitation des résultats

Sauvez les acquisitions réalisées.

3.1. Visualisation du cycle de Clapeyron

- ☞ Observer $p = f(V)$.
- ☞ Décrire la forme du cycle obtenu.

3.2. Superposition des isothermes théoriques

Pour comparer avec le cycle théorique, vous allez superposer les deux isothermes théoriques.

- ☞ Créer les nouvelles Grandeurs Calculées :

$$p_1 = nRT_1 / V \quad \text{isotherme théorique à la température } T_1 (\text{en K})$$

$$p_2 = nRT_2 / V \quad \text{isotherme théorique à la température } T_2$$

NB : la quantité de matière n et la constante des gaz parfaits R peuvent être considérée comme des paramètres expérimentaux de même valeur pour chaque page. Il convient donc de créer ces paramètres pour manipuler des expressions littérales.

- ☞ Imprimer ce graphe et rejoindre les isothermes pour figurer les isochores : c'est le cycle théorique.
- ☞ Que constatez-vous ?
- ☞ Pourquoi ?

3.3. Le cycle théorique

- ☞ En prenant les valeurs expérimentales de volume et de température, déterminer, au cours de chaque étape, les quantités de chaleur Q_i et les travaux W_i échangés par le gaz supposé parfait avec le milieu extérieur ($C_{v,m} = 5R/2$)
- ☞ En déduire le rendement théorique de ce cycle : $\eta = W_{\text{total}} / Q$ échangée avec la source chaude

3.4. Détermination du travail effectué au cours du cycle réel

- ☞ Créer la nouvelle Grandeur, Intégrale :
 W unité : J
 W représente le travail effectué par le moteur pendant le temps de l'acquisition :
 $W = - \int p dV$
- ☞ Visualiser : $W = f(t)$.
- ☞ A partir de ces graphes, évaluer le travail W effectué par le moteur au cours d'un cycle.
- ☞ Quelle a été votre façon de procéder ?
- ☞ Déterminer graphiquement la durée d'un cycle.
- ☞ Vérifier votre résultat par la connaissance du nombre de tours N effectuées par minute.
- ☞ Comparer la valeur expérimentale à la valeur évaluée à l'aide du cycle théorique.
- ☞ Déterminer la puissance P du moteur.

3.5. Détermination du rendement

- ☞ Calculer la quantité de chaleur Q fournie par la source chaude pendant la durée d'un cycle.

$$\eta = \frac{\text{Travail total } W_{\text{total}} \text{ fourni pendant un cycle}}{\text{Quantité de chaleur } Q_c \text{ fournie par le réchaud pendant un cycle}}$$

- ☞ Comparer ce rendement au rendement théorique du cycle.
- ☞ Comparer votre résultat expérimental à celui d'une machine fonctionnant suivant un cycle idéal réversible de type Carnot : $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
- ☞ Justifier les différences.