

## Thermodynamiquons!

Ce TP sert d'illustration aux chapitres de thermodynamique. Nous chercherons d'une part à mesurer l'enthalpie massique de fusion de l'eau et d'autre part, à étudier le comportement d'une machine suivant un cycle de Stirling.

### Enthalpie massique de fusion de l'eau (50 min)

#### Matériel à disposition

- |               |                 |
|---------------|-----------------|
| ↪ Calorimètre | ↪ Eau distillée |
| ↪ Thermomètre | ↪ Glaçons       |
| ↪ Bouilloire  | ↪ Balance       |

L'objectif de cette partie est de suivre un protocole calorimétrique. Pour optimiser notre démarche, il nous faut caractériser le calorimètre utilisé avant de pouvoir effectuer nos mesures d'enthalpie de changement d'état le plus précisément possible.

#### 1 - Capacité thermique du calorimètre

##### PROTOCOLE

- Mesurer la masse du calorimètre muni de la sonde de température dont les parois sont calorifugées (vase Dewar).
- Mesurer précisément un volume d'eau  $V_1 = 250$  mL à température ambiante.
- Verser dans le vase calorimétrique ce volume d'eau.
- À l'aide de la balance électronique, en déduire la masse d'eau  $m_1$  correspondante.
- Agiter doucement et repérer la température  $T_1$  de l'ensemble [calorimètre, eau] en équilibre thermique.
- Prélever un volume précis d'eau  $V_2 = 250$  mL préalablement chauffée.
- Juste avant l'introduction de l'eau dans le calorimètre, repérer la température  $T_2$  de l'eau chauffée.
- Verser dans le calorimètre. Agiter et relever la température  $T_f$  du mélange lorsqu'elle se stabilise.
- A l'aide de la balance électronique, déduire la masse d'eau chaude  $m_2$  introduite.

- 1/ Quel est le système fermé étudié ?
- 2/ La transformation suivie est-elle monobare ? Isobare ? Isotherme ? Adiabatique ? Autre ? Justifier.
- 3/ Exprimer  $\Delta H$  en fonction de  $C$  la capacité thermique du calorimètre,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $c_{\text{eau},1}$ ,  $T_f$ ,  $T_1$  et  $T_2$ .
- 4/ En déduire :

$$C = \frac{m_2 c_{\text{eau},1} (T_2 - T_f)}{T_f - T_1} - m_1 c_{\text{eau},1}$$

- 5/ Rappeler la valeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide  $c_{\text{eau},1}$ .

 Exécuter le protocole et déterminer  $C$ .

#### 2 - Enthalpie massique de fusion de l'eau

Connaissant la capacité thermique du calorimètre, on peut maintenant travailler plus sereinement pour déterminer l'enthalpie massique de fusion de l'eau. Dans la littérature, on trouve à  $P = 1,013$  bar, une valeur de  $\Delta_{S \rightarrow L} h = 330 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ , on essaiera ici de la retrouver expérimentalement.

**PROTOCOLE**

- Essuyer soigneusement le calorimètre.
- Introduire un volume d'eau  $V_1 = 250$  mL de masse  $m_1$ .
- Repérer la température  $T_1$  de l'ensemble calorimètre + eau.
- Placer des glaçons quelques dizaines de secondes dans de l'eau liquide dans un bécher.
- Essuyer le plus rapidement possible les glaçons de masse  $m_g$  et les introduire dans le calorimètre.
- Agiter et relever la température  $T_f$  du mélange lorsqu'elle se stabilise.

6/ Justifier que l'on peut décomposer la transformation du système fermé calorimètre + eau liquide + eau solide en deux étapes fictives, l'une où l'on liquéfie la glace à  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ , et l'autre (comme dans la partie précédente) où l'on ramène deux masses d'eau liquide de températures initiales différentes à une température d'équilibre  $T_f$ .

7/ En déduire :

$$\Delta_{S \rightarrow L} h = \frac{(C + m_l c_{\text{eau,l}})(T_1 - T_f)}{m_g} - c_l(T_f - T_0)$$

8/ Quel est l'intérêt de faire subir aux glaçons le traitement proposé dans le protocole ?

9/ Comment déterminer  $m_g$  précisément ?

🔧 Réaliser votre protocole et déterminer  $\Delta_{S \rightarrow L} h$  à la pression atmosphérique.

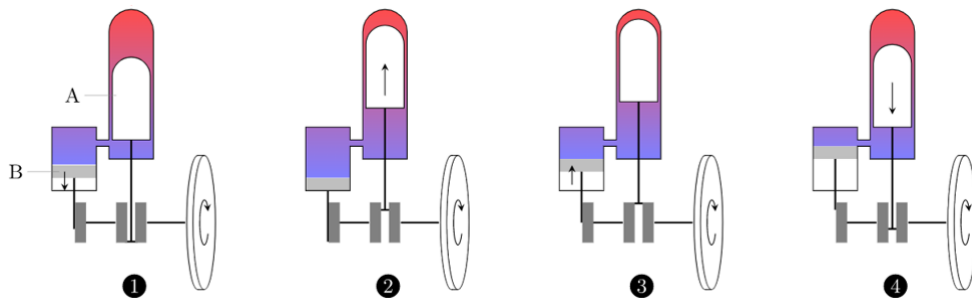
10/ Critiquer les résultats.

**Étude du cycle Stirling (50 MIN)**

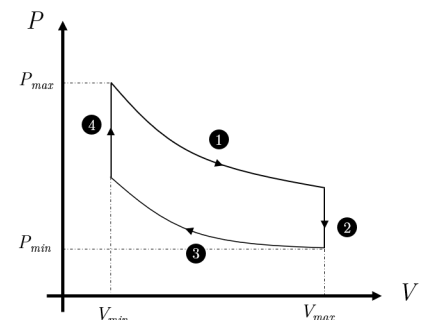
Matériel à disposition

- ↪ Moteur Stirling
- ↪ Alimentation variable
- ↪ Lampe à alcool
- ↪ Oscilloscope
- ↪ Caméra thermique
- ↪ Ordinateur et interface d'acquisition

Dans cette partie du TP, nous allons chercher à faire fonctionner dans un premier temps le dispositif comme un moteur afin d'en déterminer le rendement. Dans un deuxième temps, nous chercherons à l'utiliser comme une pompe à chaleur à l'aide d'une alimentation extérieure. Avant toute manipulation, nous donnons ci-dessous une description du cycle de Stirling (le piston A étant le piston de refoulement et le B celui de travail) :



- 1 - **Détente isotherme** : le piston de travail recule tandis que le piston de refoulement est fixe. La pression de l'air chaud diminue de façon isotherme du fait de l'augmentation de volume.
- 2 - **Refroidissement isochore** : Le piston de refoulement remonte et déplace l'air chaud vers la chambre d'air frais. Ce refroidissement s'accompagne d'une baisse de pression, le volume total restant constant.
- 3 - **Compression isotherme** : le piston de travail avance, le piston de refoulement étant en position haute. L'air est comprimé de façon isotherme.
- 4 - **Chauffage isochore** : le piston de refoulement descend ce qui transfère de l'air frais dans la chambre chaude. La pression augmente sans que le volume total ne change.



## 1 - Moteur de Stirling

11/ Exprimer le rendement du moteur à l'aide de la puissance thermique reçue de la part de la source chaude  $P_{th}$  et de la puissance mécanique fournie  $P_m$ . On fera attention aux signes des deux puissances.

☞ Peser la lampe à alcool à l'aide de la balance. Noter cette valeur quel que part.

☞ Placer la lampe à alcool dans l'encoche prévue à cet effet et l'allumer à l'aide d'une allumette. Déclencher le chronomètre. Attendre une vingtaine de secondes et lancer la roue dans le sens indiqué par la flèche pour amorcer la rotation du moteur.

☞ À l'aide des deux câbles coaxiaux présents sur la paillasse, relier les capteurs de pression et de volume à l'oscilloscope afin d'observer l'évolution des signaux. Régler les calibres de tension et de durée afin d'observer des signaux sur quelques périodes. Une fois cela fait, passer en mode XY.

12/ Commenter alors l'allure donnée ci-dessus du cycle dans le diagramme de Watt ?

13/ Identifier les hypothèses qui ne sont vraisemblablement pas légitimes dans le modèle établi plus haut.

On donne  $\Delta h_{comb} = 25 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  l'enthalpie de combustion de l'éthanol correspondant à l'apport de transfert thermique de la part de la source chaude.

14/ Proposer un protocole permettant d'évaluer la puissance thermique reçue par le moteur de la part de la lampe à alcool.

---

☞ Appeler le mec trop stylé dans la salle pour en discuter avec lui (en attendant qu'il arrive, lisez la suite).

---

☞ Connecter les capteurs du dispositif à l'interface Sysam reliée à l'ordinateur. Faire l'acquisition de la pression et du volume au cours du temps. Dans *Latis Pro*, dans le menu *Fichier*, cliquer sur *Exporter* et exporter les données sous la forme d'un document texte.

Dans un dossier de votre choix, enregistrez ces données et créez un document Python à côté.

☞ Sur le site de la classe, copier le code Python associé au TP et le coller dans le document cité préalablement.

☞ Compléter le code pour l'adapter à vos données.

15/ Extraire du code la valeur de  $P_m$  la puissance fournie par le moteur.

16/ En réalisant le protocole que vous avez élaboré précédemment, mesurer  $P_{th}$ . En déduire une estimation du rendement. Commenter.

## 2 - Pompe à chaleur de Stirling

☞ Connecter l'alimentation variable au moteur placé sur la plaque du dispositif. Placer la courroie de manière à relier les deux roues entre elles. Allumer l'alimentation.

17/ Qu'observe-t-on concernant le sens de rotation de la roue ?

18/ Que peut-on alors prévoir concernant la température du volume de refoulement ?

☞ Vérifier la prévision en utilisant la caméra thermique.

19/ Conclure quant à l'utilisation du dispositif en pompe à chaleur.