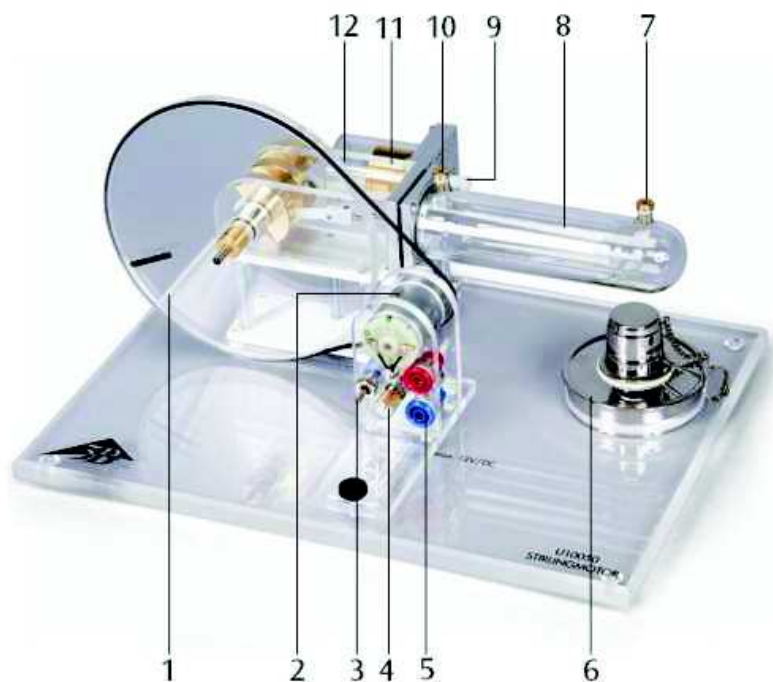


1. OBJECTIFS

Le cycle de Stirling, imaginé depuis très longtemps, connaît un regain d'intérêt extraordinaire depuis quelques années grâce à son rendement théorique exceptionnel (équivalent au cycle de Carnot) et à ses applications possibles en association avec les énergies dites vertes. Durant cette séance de TP, vous allez pouvoir étudier l'application de ce cycle comme moteur thermique, pompe à chaleur et machine frigorifique grâce à vos connaissances en Thermodynamique.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'installation présentée ci-dessous permet de reproduire un cycle proche du cycle théorique de Stirling :



- 1 Roue volante avec repère pour déterminer la vitesse
- 2 Unité moteur – générateur avec poulie à deux étages
- 3 Interrupteurs
- 4 Ampoule
- 5 Douilles de sécurité de 4 mm
- 6 Brûleur à alcool
- 7 Support de mesure de température 1
- 8 Piston déplaceur
- 9 Raccord de tuyau avec chape pour mesures de pression
- 10 Support de mesure de température 2
- 11 Piston de travail
- 12 Tige filetée M3 (reliée au piston de travail)

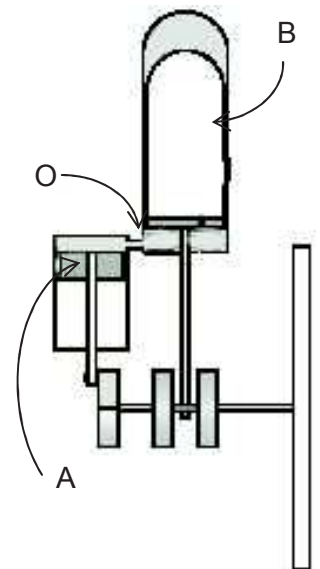
Caractéristiques :

- Puissance du moteur Stirling : 1,5 W
- Vitesse au ralenti : 1 000 t/min
- Roue volante : 140 mm Ø
- Piston de travail: 25 mm Ø
- Course du piston de travail : 24 mm
- Volume de gaz : 32 cm³ – 44 cm³
- Unité moteur / générateur : max. 12 V CC
- Poulie : à deux étages (30 mm Ø, 19 mm Ø)
- Dimensions : 300×220×160 mm³
- Masse : 1,6 kg

Il existe de nombreux montages différents prétendant reproduire le cycle Stirling. Celui qui est mis à votre disposition s'appelle le montage Gamma.

Le piston de refoulement B permet de séparer la source chaude et la source froide tout en assurant la circulation du gaz entre ces deux sources. Il sert également de régénérateur.

Le fluide thermodynamique est l'air contenu dans A et à l'extérieur de B (en gris sur la figure ci-contre) : l'air circule dans les enceintes (point de passage : O) mais l'ensemble est hermétique. Le volume d'air dans l'enceinte du piston B est constant alors que celui dans l'enceinte de A varie. Le piston de détente B assure aussi la régénération : il refroidit le courant de gaz chaud, accumule son énergie et la recède ultérieurement au gaz froid.



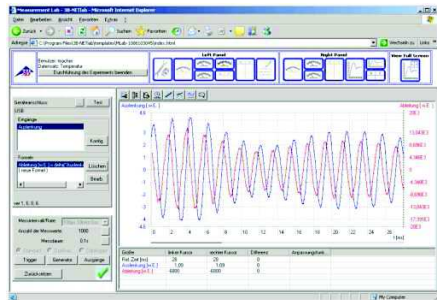
Vous disposez également de capteurs afin de réaliser les acquisitions qui vous permettront d'étudier ce dispositif expérimental :

Un capteur de pression relative pour mesurer la pression au niveau du piston de travail et un capteur de déplacement potentiométrique pour déterminer le volume du gaz.



Deux thermocouples de type K pour la mesure de la température de la source chaude et de la source froide.

Une station d'acquisition des données permettant de renvoyer sur un ordinateur les mesures de la pression et du volume



Un logiciel pour traiter les données envoyées sur l'ordinateur.

Pour l'acquisition des données se référer à la rubrique correspondante dans le classeur.

3. Cycle théorique de Stirling

3.1 Machine frigorifique

Présentez les différentes transformations subies par le gaz lorsque celui-ci décrit le cycle de Stirling théorique.

Faites un schéma de ce cycle dans le diagramme PV en précisant les caractéristiques des différentes transformations et le sens de parcours du cycle. Faites également apparaître les échanges de travail et de chaleur pour chacune des transformations. Précisez l'emplacement de la source chaude et de la source froide.

Démontrez que l'efficacité théorique e_{thm} (= Coefficient de performance théorique) d'une machine frigorifique qui suit le cycle de Stirling est identique à celle du cycle de Carnot pour une température haute T_h et une température basse T_b .

3.2 Moteur

Faites un schéma du cycle dans le diagramme PV en précisant les caractéristiques des différentes transformations et le sens de parcours du cycle. Faites également apparaître les échanges de travail et de chaleur pour chacune des transformations. Précisez l'emplacement de la source chaude et de la source froide.

Dans le cas où l'efficacité du régénérateur est 1, démontrez que l'efficacité théorique e_{thm} (= rendement théorique) d'un moteur qui suit le cycle de Stirling est identique à celle du cycle de Carnot pour une température haute T_h et une température basse T_b .

4. MANIPULATIONS

4.1 Mesures de sécurités

Dans tous les cas :

- seul l'enseignant est habilité à allumer le brûleur à alcool ;
- vous devez placer devant l'appareil l'écran de protection en plexiglas.

Si le moteur est alimenté par une alimentation électrique :

- limitez vous à une tension 11V ;
- l'ampèremètre doit être mis sur le calibre 10A.

4.2 Machine frigorifique

Dans cette configuration, le moteur est alimenté par une alimentation électrique. Le travail fourni par le moteur engendre une différence de température entre les deux prises de température.

Attention ne dépassez pas 11V.

Placez l'interrupteur vers le bas, alimentez le moteur avec 8V (borne + de l'alimentation sur la borne **bleue** et borne - sur la borne **rouge**), lancez le volant dans le sens des aiguilles d'une montre et laissez le régime permanent s'établir (surveillez l'évolution de la température chaude). Allumez la station d'acquisition des données U11300.

4.2.1 Mise au point des acquisitions

Vérifiez que les grandeurs physiques associées aux voies « Input_A » et « Input_B » soient bien les suivantes :

Input_A : mesure du **volume**

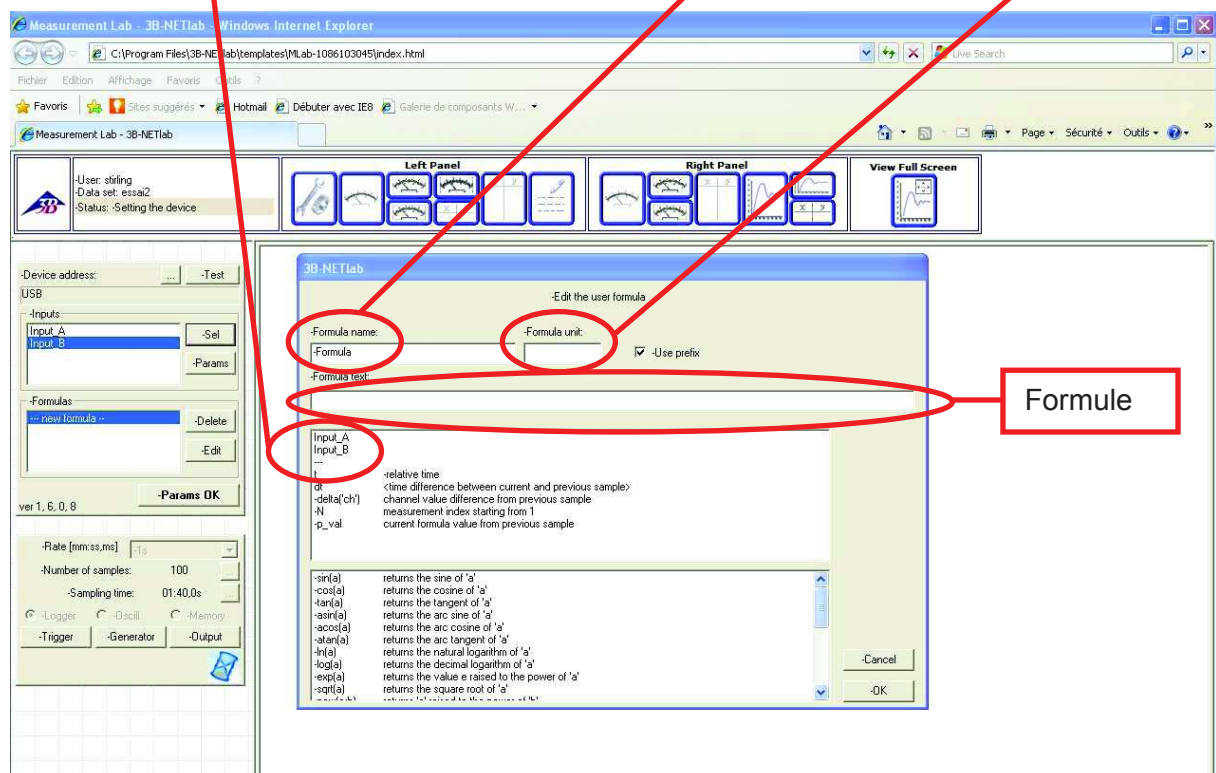
Input_B : mesure de la **pression**

1) A l'aide du document « Cycle de Stirling – Logiciel », que vous trouverez dans le classeur, lancez le logiciel d'acquisition des données, procédez à une première acquisition et tracez le graphique des entrées « Input_A » et « Input_B » en fonction du temps. Réglez une durée de 1 à 5 ms entre deux acquisitions.

2) Vous pouvez constater que l'entrée « Input_A » est en Volt et l'entrée « Input_B » est en Pa. Il faut maintenant pouvoir calculer les grandeurs physiques « volume du gaz » et « pression absolue du gaz » à partir de ces entrées. Pour cela, au niveau du logiciel, dans la fenêtre « Formules » située à gauche (Voir le document « Cycle de Stirling – Logiciel », rubrique « Faire une acquisition », 7), vous devez créer des formules permettant le calcul du volume et de la pression à partir des entrées « Input_A » et « Input_B ».

- Pour la pression l'acquisition correspond à la pression relative :

Créez la formule pour calculer la pression absolue (pour faire apparaître dans la formule une entrée double cliquez sur son nom), donnez lui un nom explicite, précisez les unités et reportez la dans votre compte rendu.



- Concernant le volume :

Faites une acquisition de la pression en fonction de l'entrée « Input_A » (voie d'acquisition du volume). Déterminez les tensions U maximale et minimale délivrées par le capteur de déplacement potentiométrique.

La relation entre le volume et la tension mesurée est linéaire : $V = aU + b$

Sachant que le volume du gaz varie de 32 à 44 cm³, calculez les paramètres a et b.

Comme précédemment, entrez la formule permettant le calcul du volume dans la fenêtre appropriée, donnez-lui un nom explicite, précisez l'unité et reportez la dans votre compte rendu.

4.2.2 Acquisitions et exploitations

3) Faites une acquisition de la pression et du volume en fonction du temps.

Déterminez la fréquence de rotation du moteur.

Répétez 5 fois cette mesure afin d'estimer l'incertitude type de répétabilité.

Estimez l'incertitude type de type B.

Donnez votre résultat de mesure avec l'incertitude type composée associée.

Comment sont ces deux ondes ?

Analysez la relation pression – volume - position du piston de travail.

Comment bougent les deux pistons l'un par rapport à l'autre ?

4) Mesurez le travail effectivement reçu par cycle (5 acquisitions et incertitude).

Aide :

$$\text{Le travail est donné par } W = - \int_{V_1}^{V_2} P dV = - \int_{t_1}^{t_2} P \frac{dV}{dt} dt = - \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{P} dt$$

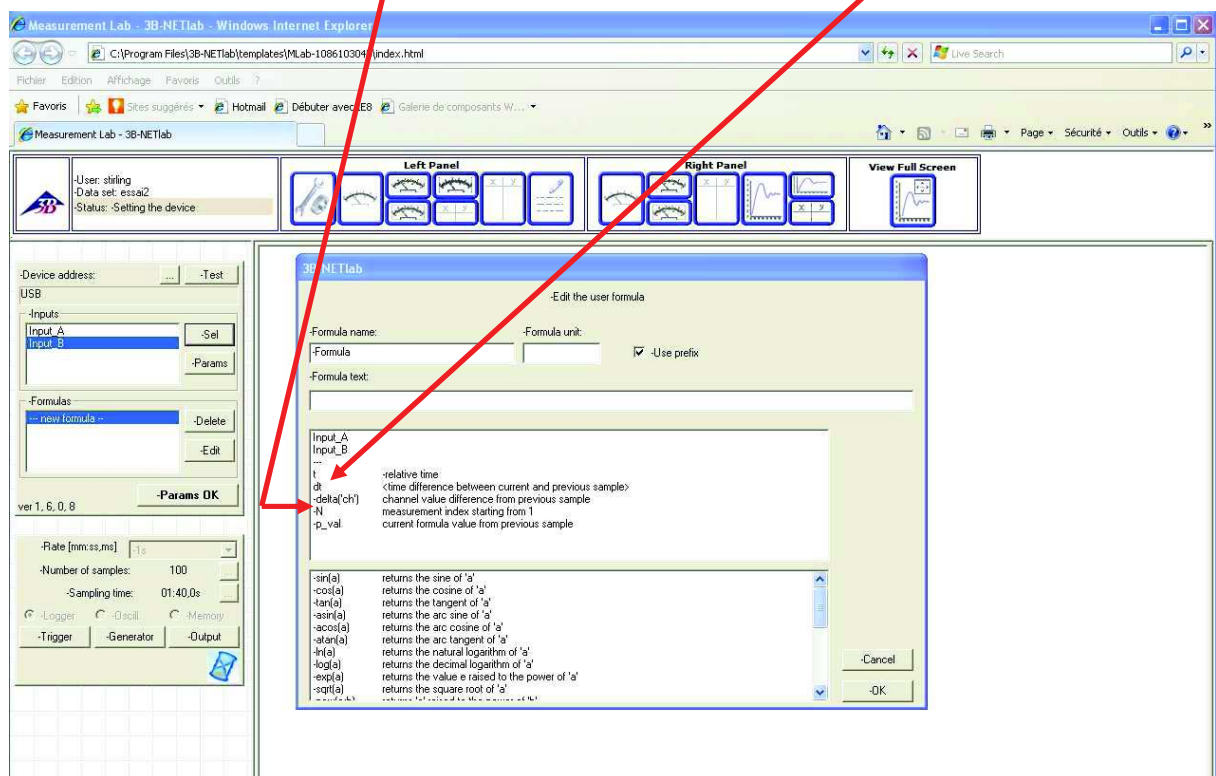
où \mathcal{P} est la puissance.

En traçant la puissance ($P dV/dt$) en fonction du temps et en intégrant sur le temps vous pouvez mesurer le travail.

Pour cela vous devez entrer une nouvelle formule permettant le calcul de ($P dV/dt$) à partir des entrées « input_A » et « Input_B ».

Réutilisez votre formule précédente pour le calcul de la pression P.


Exprimez dV en fonction de $\Delta[\text{« Input A »}]$ et utilisez simplement le symbole dt pour dt .



Répétez 5 fois cette mesure afin de donner votre résultat avec une incertitude type de répétabilité.

Aide : Vous devez trouver une puissance comprise dans l'intervalle $\pm 40W$

5) Mesurez la quantité de chaleur Q_f prise à la source froide en utilisant la possibilité

d'intégration d'une fonction par le logiciel avec le bouton .

(Réglez le temps d'échantillonnage pour ne pas dépasser 1 cycle)

Répétez 5 fois cette mesure afin de donner votre résultat avec une incertitude type de répétabilité.

6) Calculez l'efficacité de la machine frigorifique réelle e_{mfr} (où $COP_{réel}$). Donnez l'incertitude type correspondant à ce calcul.

7) Mesurez la température de la source chaude et celle de la source froide.

8) Calculez l'efficacité de la machine frigorifique théorique e_{mth} et l'incertitude associée.

9) Calculez le rendement thermodynamique de cette installation quant à la production de froid et l'incertitude associée.

10) Calculez la puissance électrique délivrée par l'alimentation. En déduire l'énergie électrique délivrée par cycle et le rendement électrotransmissionnel $\eta_{\text{electrotransmissionnel}} = \frac{W_{\text{net}}}{W_{\text{electrique}}}$?

Répétez 5 fois cette mesure afin de donner votre résultat avec une incertitude type de répétabilité.

11) Calculez l'efficacité globale de votre installation et l'incertitude type associée.

$$e_{\text{globale}} = \eta_{\text{electrotransmissionnel}} e_{\text{mfr}} = \frac{Q_f}{W_{\text{electrique}}}$$

12) Conclusion.