

Laboratoire - Machine thermique

Local: B-2606

Valeur : 5% de la note finale

Date de remise : mentionnée en classe

1. BUTS DU LABORATOIRE

- Réaliser une machine thermique
- Calculer la chaleur et le travail pour chaque évolution

2. THÉORIE

Le fluide moteur utilisé pour la machine thermique décrite dans ce laboratoire est de l'air sec (on suppose que l'humidité relative = 0%). Dans les conditions thermodynamiques de laboratoire, l'air sec peut être considéré comme un gaz parfait pour lequel la loi des gaz parfaits est valable :

$$PV = mRT \quad (1)$$

où $R = 0,287 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ pour l'air sec. Le premier principe pour un gaz parfait subissant une évolution d'un état 1 à un état 2 s'énonce comme suit :

$$Q_{12} = mC_v(T_2 - T_1) + W_{12} \quad (2)$$

où C_v , la chaleur massique à volume constant est égale à $0,7165 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ pour l'air. Les évolutions 1 à 2 et 3 à 4, soit la compression et la détente (voir section suivante), ne sont pas quasi-statiques. Pour ces dernières, le travail effectué peut se calculer par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} W_{12} &= P_2(V_2 - V_1) \\ W_{34} &= P_4(V_4 - V_3) \end{aligned} \quad (3)$$

Pour les évolutions isobares (2 à 3 et 4 à 1), le travail se calcule comme suit:

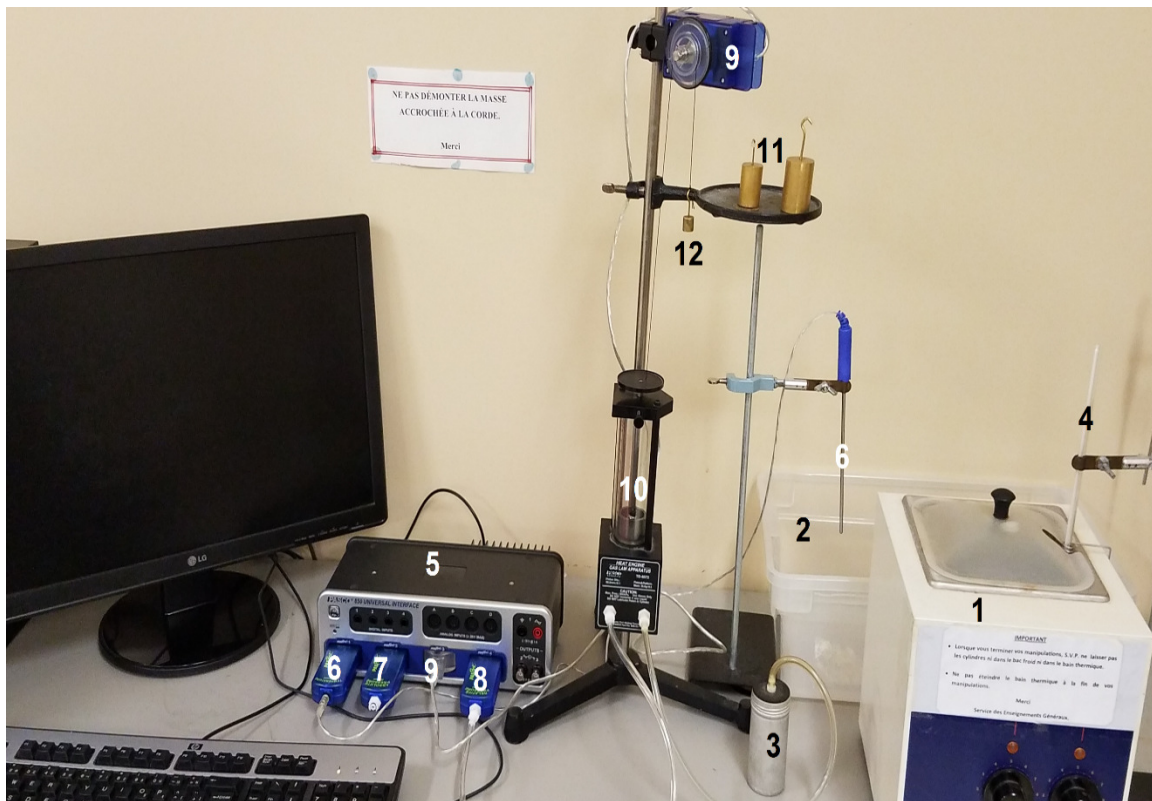
$$\begin{aligned} W_{23} &= P_2(V_3 - V_2) \\ W_{41} &= P_4(V_1 - V_4) \end{aligned} \quad (4)$$

3. MANIPULATION

3.1. Montage Expérimental

Le montage expérimental, illustré à la **figure 1** se compose des éléments suivants :

- Un bac d'eau froide (le réservoir froid)
 - Un bain thermique d'eau chaude (le réservoir chaud)
 - Un système piston-cylindre
 - Un système d'acquisition de données informatisées "Interface universelle 850 et le logiciel **Capstone**" de **Pasco** avec les sondes de température, de pression absolue (atmosphérique), de pression relative, et de position du piston à l'intérieur du cylindre gradué.
-
- Le bac à eau froide est à *température ambiante* ($\approx 20^{\circ}\text{C}$). Cette température est mesurée directement par le programme Capstone. L'eau du bain thermique est stabilisée à environ 90°C **par le gestionnaire de laboratoire**. Cette température est mesurée à l'aide d'un thermomètre conventionnel.
 - Le cylindre du dispositif « *Machine thermique / Loi des gaz* » est relié par un tube à une sonde de *basse pression* (pour la mesure de la pression relative en kPa) et par un autre tube à un *échangeur de chaleur en aluminium* dont le volume est approximativement de **80 mL**. Le volume total **des deux tubes** est d'environ **10 mL**.
 - Le cylindre de l'ensemble piston-cylindre est gradué en millimètres et fermé par un piston de **32,5 mm** de diamètre relié à un plateau. Le piston et le plateau ont une masse d'environ **35 grammes**. Le plateau est relié à un détecteur de position rotatif utilisant un contrepoids de **10 grammes** tel qu'il est illustré à la **figure 1** ci-dessous.



- 1-Bain thermique (eau chaude)
- 2-Bac à eau froide
- 3- Cylindre d'aluminium
- 4-Thermomètre
- 5- 850 Universal Interface de Pasco
- 6-Sonde de température
- 7-Sonde de pression (absolue) atmosphérique
- 8-Sonde de pression relative
- 9-Sonde de position
- 10-Piston-cylindre
- 11-Masses de 100 et 200g
- 12-Contrepoids (10 g)

Figure 1. Montage expérimental de machine thermique

Le cycle thermique à réaliser est composé des quatre évolutions suivantes (voir figure 2 ci-dessous):

1 à 2: Compression

2 à 3: Gain de chaleur isobare

3 à 4: Détente

4 à 1: Rejet de chaleur isobare

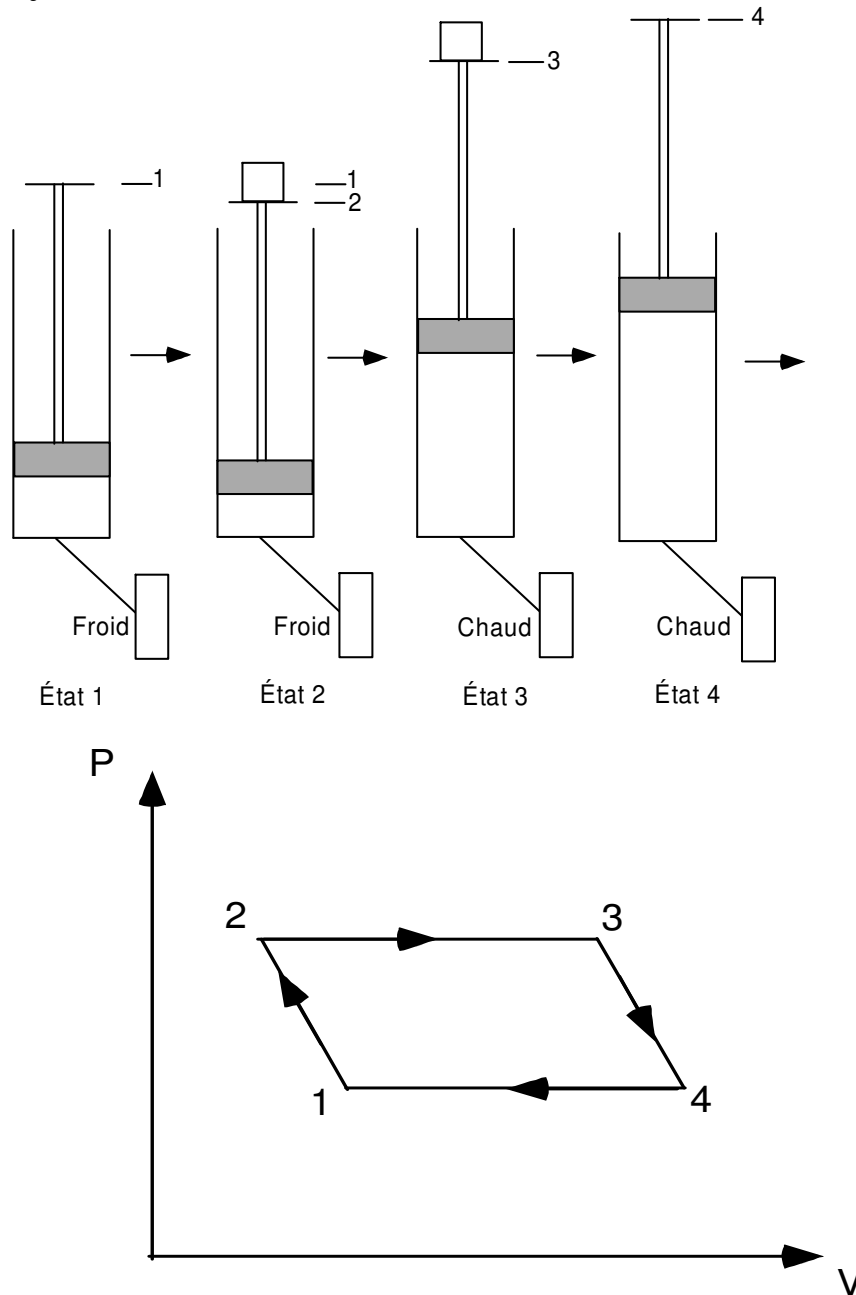


Figure 2: Description du cycle thermique

3.2. Acquisition de données informatisées

Ce laboratoire est basé sur l'utilisation d'un système d'acquisition de données informatisées, *Interface universelle 850* et *Capstone de Pasco Scientific*, www.pasco.com. Les sondes de température ambiante, de pression atmosphérique, de position (hauteur) du piston et de pression relative à l'intérieur du cylindre-piston sont connectées à l'interface 850 de *Pasco*. Cette dernière est reliée à un ordinateur.

Le fichier "*machine_thermique.Cap*" du programme *Capstone* a été créé à des fins d'analyse et d'interprétation de données (voir *figure 3*). Les sondes de température et de pression absolue qui mesurent les conditions ambiantes, sont reliées respectivement aux deux affichages dans le haut du graphe pression relative versus position du piston à l'intérieur du cylindre gradué. Les deux autres sondes, pression relative et position du piston sont directement connectées au système piston-cylindre.

Le graphique situé sous les afficheurs numériques illustre en temps réel la variation de la pression relative en fonction de la position du piston, laquelle peut être facilement transformée en volume.

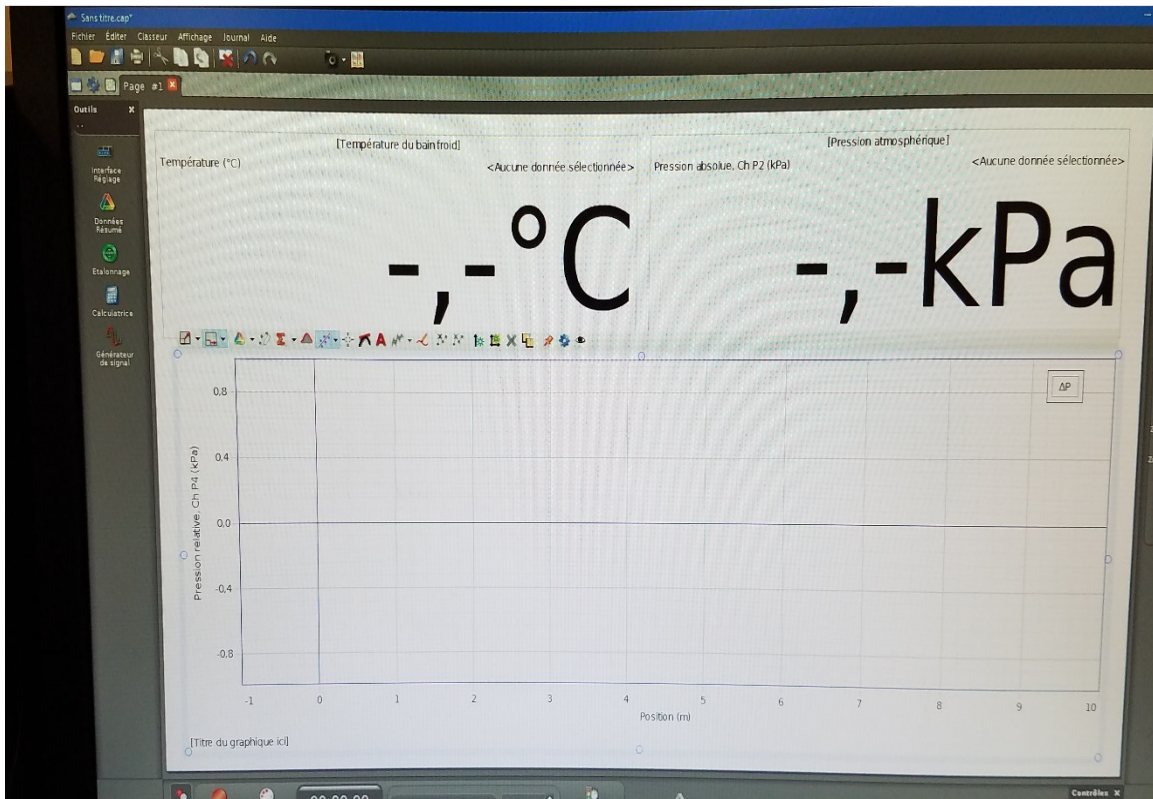


Figure 3 : Fichier de machine thermique. Cap du logiciel *Capstone* de *Pasco*.

3.3 Procédure de réalisation des cycles thermodynamiques de la machine thermique

N.B : Pour obtenir un graphe de cycle thermique expérimental semblable à celui de la figure 4, vous devriez le réaliser en un temps relativement court pour éviter toute fuite d'air dans les différentes composantes du système.

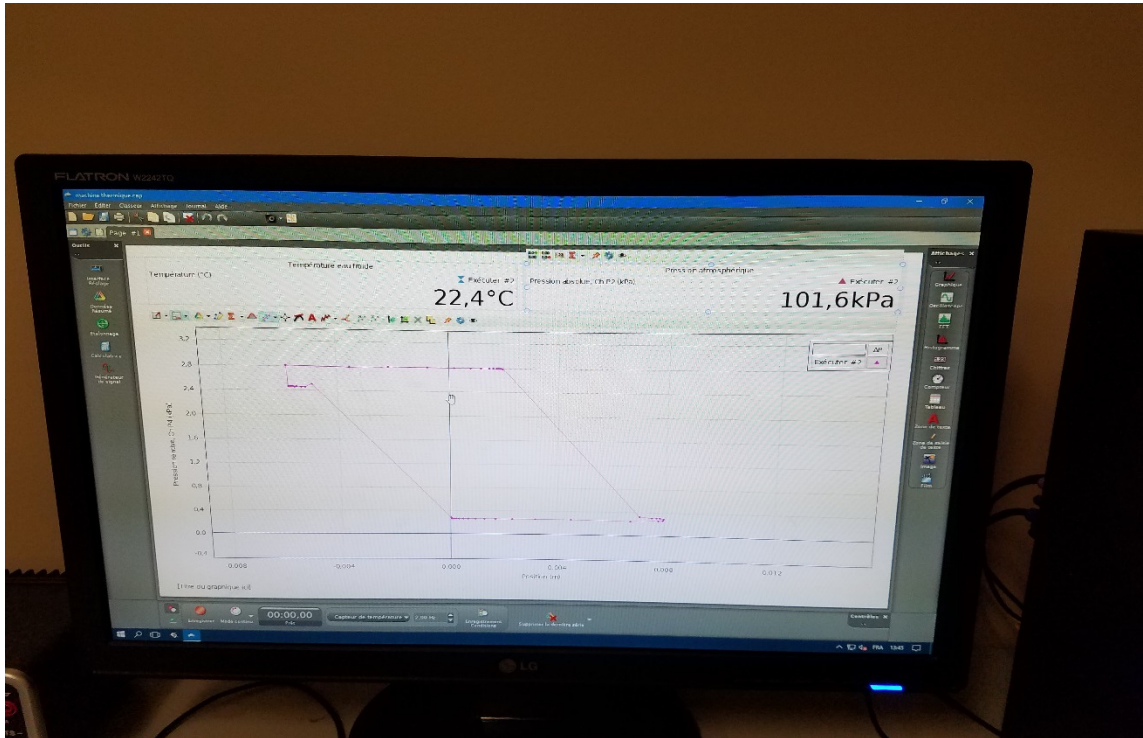





Figure 4 : Exemple de cycle thermique expérimental

- Ouvrir le fichier "**machine_thermique.Cap**" qui se trouve sur *Bureau*. La **figure 3** devrait apparaître à l'écran.
- Déconnectez la sonde de pression relative ou le tube du cylindre d'aluminium du dispositif cylindre gradué-piston.
- Élevez le piston à 40 mm de hauteur, puis fixez-le en place à l'aide de la vis d'arrêt.
- Placez le cylindre d'aluminium dans le bac d'eau froide.
- Reconnectez la sonde de pression relative ou le tube du cylindre d'aluminium puis dévissez la vis d'arrêt.
- Cliquez sur la touche "**Enregistrer**" (cercle rouge en bas à droite du graphe) sur la barre d'outils. **NB** : Le détecteur de position devrait indiquer 0, alors que le détecteur de pression relative devrait indiquer une légère surpression due au poids du piston moins celui du contre poids (≈ 25 g). **Cet état correspond à état 1.**
- Ajoutez la masse de 100 g sur le plateau.
- Déplacez le cylindre d'aluminium du réservoir froid au réservoir chaud.
- Une fois le piston stabilisé, enlevez la masse du plateau.
- Déplacez le cylindre d'aluminium du réservoir chaud au réservoir froid. Suivez le changement de volume sur le graphique pression-position à l'écran et lorsque le cycle

se ferme, cliquez sur la touche "**arrêt**" (carré rouge en bas à droite du graphique, même endroit que **Enregistrer**).

- Notez la température du bain froid qui est affichée sur le graphe (pression relative versus position du piston) de **Capstone (Pasco)** ainsi que la température du bain chaud qui est lue directement par le thermomètre conventionnel, et inscrivez-les dans le **Tableau 1**.

- Utilisez la touche des coordonnées (X-Y)  et cliquez sur "**ajouter un outil d'alignement**" qui vous permet d'obtenir les valeurs de position du piston (axe des X) et la pression relative (axe des Y) de chacun des 4 états, en déplaçant le carré qui se trouve à l'intérieur du graphe à l'aide de la souris.
- Inscrivez les valeurs de la position du piston et de la pression relative de chaque état respectivement dans les **Tableaux 2 et 3**.
- Sauvegardez vos graphiques de pression-position en faisant une capture d'écran en

cliquant sur  puis sur  puis allez à **Affichage**, ensuite sélectionnez **Copier l'affichage et coller l'affichage**.

- Pour supprimer la série de données (données du graphique), vous allez à l'onglet



, et **Supprimer tous les séries**.

- **Refaites l'expérience décrite précédemment pour la masse de 200g.**

4- RÉSULTATS ET ANALYSE

- Pour chaque cycle, vous devez compléter les **Tableaux ci-dessous**.

Tableau 1. Condition générales

m_{air} (kg)	
T_{chaud} (K)	
T_{froid} (K)	

Tableau 2. Pressions relatives mesurées et calculées

Masse = 100 g			Masse = 200 g		
État	P _{rel} mesurée	P _{rel} calculée	État	P _{rel} mesurée	P _{rel} calculée
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		

Tableau 3. États thermodynamiques

Masse = 100 g					Masse = 200 g				
État	P _{abs} (kPa)	x (m)	V (m ³)	T (K)	État	P _{abs} (kPa)	x (m)	V (m ³)	T (K)
1		0			1		0		
2					2				
3					2				
4					4				

Tableau 4. Travail et chaleur

Masse = 100 g			Masse = 200 g		
Évolution	Q (J)	W (J)	Évolution	Q (J)	W (J)
1 à 2			1 à 2		
2 à 3			2 à 3		
3 à 4			3 à 4		
4 à 1			4 à 1		
Net			Net		
Rendement			Rendement		

- La valeur x du **Tableau 3** correspond au déplacement du piston.
- La valeur P_{rel} du **Tableau 2** correspond à la pression relative pour *chaque état* du cycle thermique. (ces valeurs sont obtenues à l'aide de l'outil " *d'alignement X-Y* " sur le graphique du cycle thermique).
- Les pressions relatives théoriques se calculent en tenant compte du poids du piston (**35 g**), du contrepoids (**10 g**) de la masse ajoutée et du diamètre du piston (**32,5 mm**).
- Le volume du **Tableau 3**, quant à lui, se calcule à partir du volume du cylindre d'aluminium (**80 mL**), du volume des deux tubes (**10 mL**), du diamètre du piston (**32,5 mm**) et de la position (hauteur) du piston de chaque état.
- La masse d'air dans le système se calcule à l'aide de l'équation (1) des gaz parfaits, en considérant que T_i est la température ambiante.
- La température du **Tableau 3** se calcule par la loi des gaz parfaits.
- Le travail pour chaque évolution (au **Tableau 4**), se calcule à l'aide des équations fournies à la **section 1**.
- La chaleur Q du **Tableau 4** se calcule, par la suite, à partir de l'équation du premier principe.
- Calculez aussi le rendement thermique pour chaque cycle.

5- PRÉSENTATION DU RAPPORT

Votre rapport doit comporter les parties suivantes :

- 1- Une page titre avec le nom de membres de l'équipe et leur signature.
- 2- Une partie théorique dans laquelle vous devez démontrer à ***partir des équations de la section 2*** que :
 - a) Le travail net correspond au travail nécessaire pour soulever une masse de la position 1 à la position 3, c'est-à-dire que $W_{net} = mg(x_3 - x_1)$;
 - b) La chaleur nette est bien égale au travail net.
- 3- Une présentation des résultats pour chaque cycle sous forme des tableaux ci-dessus.
- 4- Un graphique position-pression pour chaque cycle.
- 5- Une discussion des résultats.