

TD 24 | T4- Machines thermiques

	I	II	III	IV	V
Appliquer le second principe		✓			
Gerer des calculs	✓		✓		✓
Faire preuve de sens physique		✓	✓	✓	
Exprimer un rendement	✓	✓	✓	✓	✓
Appliquer le premier principe	✓	✓		✓	
tracer une courbe	✓				✓

I Etude d'une pompe à chaleur (★)

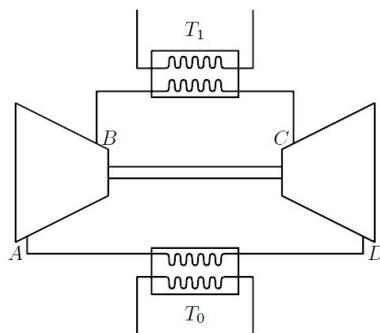
Une pompe à chaleur effectue le cycle suivant :

- L'air pris dans l'état A de température T_0 et de pression P_0 est comprimé suivant une adiabatique réversible jusqu'au point B où il atteint la pression P_1 .
- Le gaz se thermalise lentement à pression constante et atteint la température finale de la source chaude T_1 correspondant à l'état C .
- L'air est ensuite refroidi dans une turbine suivant une détente adiabatique réversible pour atteindre l'état D de pression P_0 .
- Le gaz se thermalise toujours lentement, à pression constante au contact de la source froide T_0 et retrouve son état initial A .

On considère l'air comme un gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma = 1,4$.

On posera $\beta = 1 - \frac{1}{\gamma} = \frac{\gamma-1}{\gamma}$ et $a = \frac{P_1}{P_0}$

Pour les applications numériques, on prendra $T_0 = 283 \text{ K}$ ($10 \text{ }^\circ\text{C}$), $T_1 = 298 \text{ K}$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$), $a = 5$ et $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ (constante des gaz parfaits).



1. Représentez le cycle parcouru par le fluide dans un diagramme de WATT (P, V).
2. Exprimez les température T_B et T_D en fonction de T_0 , T_1 , a et β . Calculez leurs valeurs.
3. Déterminer les signes des transferts thermiques des différentes étapes du cycle. Quel est le rôle d'une pompe à chaleur ?
4. Montrer que $Q_{BC} = C_P(T_1 - T_0 a^\beta)$ et $Q_{DA} = C_P(T_0 - T_1 a^{-\beta})$.

5. Déterminer l'efficacité e et montrer qu'elle s'exprime uniquement en fonction de a et β . Effectuez ensuite l'application numérique.
6. La pompe à chaleur est utilisée pour chauffer une maison. Sachant qu'en régime permanent les fuites thermiques s'élèvent à $\mathcal{P}_Q = 10 \text{ kW}$, calculez la puissance mécanique du couple compresseur turbine qui permet de maintenir la maison à température constante.

II Moteur réel (★)

Un moteur réel fonctionnant entre deux sources de chaleur, l'une à $T_F = 400 \text{ K}$, l'autre à $T_C = 650 \text{ K}$, produit 500 J par cycle pour 1500 J de transfert thermique fourni.

1. Déterminer son rendement.
2. Quel serait le rendement d'une machine de Carnot fonctionnant entre les deux mêmes sources ? Comparer les deux rendements.
3. Calculer l'entropie créée par cycle notée $S_{\text{créée}}$.
4. Montrer que la différence entre le travail fourni par la machine de Carnot et la machine réelle est égale à $T_F \times S_{\text{créée}}$, pour une dépense identique.

III Climatiseur (★★)

1. Établir l'expression de l'efficacité d'un climatiseur ditherme (T_a, T_b) réversible en fonction des deux températures T_a et $T_b > T_a$. Pour cela, pensez à réaliser un schéma.

Un local de capacité thermique $\mu = m.c = 4.10^3 \text{ kJ.K}^{-1}$, est initialement à la température de l'air extérieur $T_0 = 305 \text{ K}$.

Un climatiseur, qui fonctionne de façon cyclique **réversible** ditherme (les deux thermostats étant l'air extérieur et le local), ramène la température du local à 20°C ($T_1 = 293 \text{ K}$) en $\Delta t = 1$ heure. On suppose de plus que le local est parfaitement calorifugé (pour simplifier) et que sa capacité thermique totale s'écrit $\mu = 4.10^3 \text{ kJ.K}^{-1}$. On suppose enfin que le local est initialement à la température de l'air extérieur $T_0 = 305 \text{ K}$.

2. A quel moment l'efficacité sera-t-elle la plus mauvaise, au début, ou à la fin de la transformation ? Que vaut alors l'efficacité minimale ? Exprimez alors la puissance électrique maximale P_{max} qu'a du recevoir ce climatiseur ? (en considérant que le climatiseur a fonctionné à l'efficacité minimale lors de toute la transformation). Commenter.

3. On se propose maintenant de trouver la valeur exacte de la puissance électrique nécessaire. Pour cela, on suppose que la température (T) évolue de manière quasi-statique dans le local. Établissez alors l'équation de son évolution temporelle :

$$\mu \frac{dT}{dt} = -P \frac{T}{T_0 - T}$$

où P représente la puissance électrique **constante** fournie au climatiseur.

4. Intégrez cette équations entre les instant initial et final à l'aide de la méthode de séparation des variables. Déduisez-en l'expression ainsi que la valeur de P et commentez.

IV Cycle de Beau de Rochas (★★)

- Le moteur est composé d'un ou plusieurs cylindres. Chaque cylindre contient un piston mobile, lié à une bielle, elle-même liée à un vilebrequin, dans le but de transformer le mouvement alternatif de translation du piston en mouvement de rotation du vilebrequin ou "axe moteur".

Un mélange réactif gazeux entre en combustion à l'intérieur du cylindre délimité par le piston. Ce mélange réactif est introduit par un orifice fermable par une soupape dite d'admission, et les produits de la combustion sont évacués du cylindre par un orifice fermable par une soupape dite d'échappement.

- Nous allons étudier l'évolution de la pression dans le cylindre (cycle thermodynamique de Beau de Rochas)

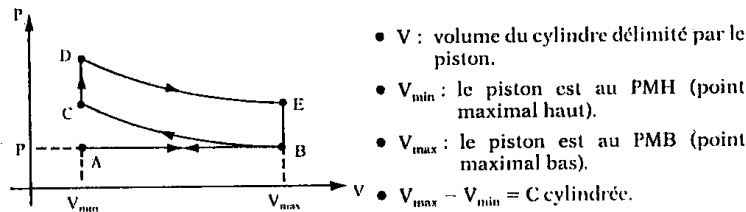


Figure 2

- 1er temps :
 $A \rightarrow B$: On aspire à $P_B = 1$ bar et $T_B = 20^\circ\text{C}$ un mélange air + essence gazeux, considéré comme un gaz parfait et dans les conditions stoechiométriques de la combustion : **ADMISSION**.
- 2ème temps :
 $B \rightarrow C$: Compression adiabatique réversible du mélange : **COMPRESSION**.

- 3ème temps :
 $C \rightarrow D$: Combustion apportant à volume constant la quantité de chaleur Q_V : **COMBUSTION**.
 $D \rightarrow E$: **DETENTE** adiabatique réversible des gaz de combustion.
- 4ème temps : $E \rightarrow B$: La pression chute à cause de l'ouverture du cylindre vers l'extérieur. $B \rightarrow A$: On refoule les gaz vers l'extérieur : **ECHAPPEMENT**.

On admettra que le cycle $BCDE$ se fait avec un nombre de mole de gaz n constant introduit lors de l'admission, gaz assimilé à un gaz parfait avec $\gamma = \text{Cte}$. On pose $\frac{V_{max}}{V_{min}} = \tau$ (taux de compression).

- Définissez et calculez le rendement ρ du cycle.
Application numérique : $\gamma = 1,4$, prendre $\tau = 8$ puis 10 et calculer ρ . Commentez.
- En fait on doit prendre $\gamma = 1,34$. Suggérez une justification.
- Le mélange air + essence s'enflamme spontanément à $T_{aa} = 330^\circ\text{C}$, ce que l'on souhaite éviter. Calculez le taux de compression τ maximal permettant d'éviter cet "auto-allumage" entre B et C.
Application numérique : on prendra $\gamma = 1,34$.
Calculez le rendement maximal du cycle dans ces conditions

V Cycle de Joule (★★)

Une mole de gaz parfait diatomique décrit un cycle moteur dit de Joule constitué par :

- deux adiabatiques réversibles AB et CD,
- deux isobares BC et DA.

Données. $A(P_0 = 1 \text{ bar}, T_0 = 280 \text{ K}), B(P_1 = 10 \text{ bar}, T_1), C(P_1, T_2 = 1000 \text{ K}), D(P_0, T_3)$.

- Tracer l'allure du cycle dans le plan (P, v)
- Calculer T_1 et T_3 .
- Exprimer le rendement de ce moteur en fonction de $a = P_1/P_0$ et γ . Calculer sa valeur.

Éléments de réponses :

E1 Q2 : On a $T_D = T_1 a^{-\beta}$ et $T_B = T_0 \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$

E3 Q2 : $p_{max} = \mu \frac{T_1 - T_0}{e_{min} \Delta t}$

E3 Q4 : $P = \frac{\mu}{\Delta t} \left(T_1 - T_0 \left(1 + \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)\right)\right)$

E5 Q3 : $\eta = 1 - \alpha^{(1-\gamma)/\gamma}$