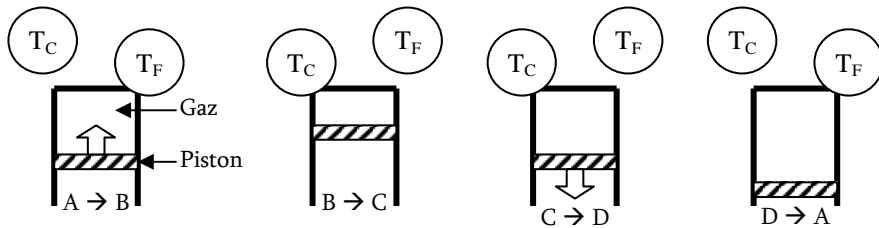


TD22 : TH5 – Machines Thermiques

Partie 1 : MOTEURS

Exercice 1.1 : Moteur à combustion externe – Cycle de Stirling

Le moteur de Stirling est constitué d'un cylindre enfermant du gaz et d'un piston mobile récupérant l'énergie mécanique. C'est toujours le même gaz qui est mis à contribution, et l'énergie thermique est fournie à l'extérieur du cylindre, c'est pour cette raison que le moteur de Stirling est encore appelé « moteur à air chaud » ou « moteur à combustion externe ».



On considère dans le cylindre $n = 40.10^{-3}$ mol d'air se comportant comme un gaz parfait de rapport $\gamma = 1,4$. L'air subit un cycle modélisé par les évolutions successives suivantes à partir de l'état A caractérisé par une pression $P_A = 1$ bar et une température $T_1 = T_F = 300$ K :

- [A→B] : compression isotherme réversible au contact de la source froide à la température $T_F = 300$ K jusqu'à l'état B de volume $V_2 = V_1/10$
- [B→C] : échauffement isochore au contact thermique de la source chaude à la température $T_C = 600$ K jusqu'à l'état C de température T_C .
- [C→D] : détente isotherme réversible au contact de la source chaude à la température T_C jusqu'à l'état D de volume V_1 .
- [D→A] : refroidissement isochore au contact thermique de la source froide jusqu'à l'état A de température T_F .

1. Calculer les valeurs numériques de P, V et T pour chacun des états A, B, C et D :

	A	B	C	D
P en bar				
T en K				
V en m ³				

2. Représenter l'allure du cycle dans le diagramme de Clapeyron (PV). Comment peut-on savoir sans calculs si le cycle est celui d'une machine motrice ou réceptrice ?

3. Calculer pour chaque étape la chaleur et le travail reçus par le GP. Compléter le tableau :

	AB	BC	CD	DA
Q (en J)				
W (en J)				

4. Commenter ce résultat. Calculer le travail total reçu. A-t-on bien un cycle moteur ?
5. Quelle est la production énergétique de ce système sur un cycle ? Quel en est le coût énergétique ? En déduire l'expression et la valeur numérique du rendement.
6. Calculer la valeur de l'entropie créée par l'irréversibilité au sein du système au cours d'un cycle. Quel type d'irréversibilité entre en jeu ici ?

Exercice 1.2 : Rendement du moteur Essence

On souhaite calculer le rendement du cycle Beau de Rochas, utilisé pour les moteurs essence (2 temps et 4 temps), déjà étudié lors du chapitre sur le premier principe. On rappelle qu'à chaque cycle, le mélange Air + Essence, qui peut être considéré comme un GP diatomique avec $\gamma = 1,4$ subit les transformations :

- En A : Introduction du mélange à $P = P_0 = 1$ bar, $T = T_0 = 293$ K. (Piston en position basse, volume de la chambre de combustion $V = V_0 = 1$ L)
- Sur AB : Compression adiabatique (remontée du piston, supposée réversible)
- Sur BC : Echauffement isochore (explosion du mélange jusqu'à $T_H = 1466$ K, piston en position haute (H), on donne le taux de compression $\alpha = V_0/V_H = 10$)
- Sur CD : Détente adiabatique (descente du piston, également supposée réversible)
- En D : Echappement des gaz brûlés, la pression retombe à P_0 à volume constant.

1. Représenter le cycle dans le diagramme de Clapeyron, et calculer les coordonnées (P, V, T) de tous les points A, B, C et D du cycle.
2. Calculer tous les travaux et chaleurs reçus par le fluide au cours des transformations.
3. Déterminer le rendement η du cycle Beau de Rochas en fonction de γ et α , par deux méthodes différentes.

Exercice 1.3 : Centrale thermique et Cycle de Carnot

Une centrale thermique fournissant une puissance $P = 1$ GW est installée au bord d'un fleuve de température $T_F = 300$ K et de débit 400 m³.s⁻¹, lui servant de source froide. La température au cœur de la centrale est $T_C = 700$ K.

1. Calculer son rendement η , en admettant qu'il est égal à 60 % du rendement de Carnot.
2. Exprimer le transfert thermique Q_F échangé entre la centrale et le fleuve sur un temps Δt et en déduire l'élévation de température $\Delta\theta$ du fleuve qui résulte du fonctionnement ?

Partie 2 : RECEPTEURS (d'énergie mécanique)

Exercice 2.1 : Chauffage d'un immeuble par pompe à chaleur

Pour maintenir la température d'un immeuble à $t_1 = 20^\circ\text{C}$ alors que la température extérieure est $t_2 = 5^\circ\text{C}$, il faut lui fournir une énergie de 2.10^8J à l'heure.

- On utilise pour cela une pompe à chaleur. Indiquer dans quelles conditions celle-ci doit fonctionner pour que la puissance consommée soit minimale. Donner le schéma de principe en indiquant le sens des échanges d'énergie thermique et de travail.
- Définir et calculer l'efficacité théorique maximale e de cette pompe dans ces conditions. Montrer qu'elle ne dépend que de t_1 et de t_2 . Indiquer clairement la signification de e .
- Calculer cette puissance minimale consommée par la pompe à chaleur.
- La température extérieure étant toujours $t_2 = 5^\circ\text{C}$, pour quelle température t_1 à l'intérieure e est-elle maximum ? Interpréter. Dans quelles circonstances la pompe est-elle surtout utile ?

Exercice 2.2 : Climatiseur

On souhaite réaliser la climatisation d'un local afin de maintenir sa température à la valeur $T_1 = 300\text{K}$ alors que sa température extérieure est $T_2 = 315\text{K}$. On utilise une machine thermique, fonctionnant avec n mol d'un fluide assimilable à un gaz parfait, de capacité thermique molaire à pression constante $C_{Pm} = 30 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$. Au cours d'un cycle, le fluide reçoit les transferts thermiques $Q_F > 0$ de la source froide (le local) et $Q_C < 0$ de la source chaude (extérieur), ainsi que le travail $W > 0$.

- Dans un premier temps, on considère que le cycle est un cycle de Carnot défini comme suit. Le fluide passe par les états d'équilibre A, B, C, D par une succession de transformations :
 - A-B : Compression adiabatique réversible de la température T_F à la température T_C .
 - B-C : Compression isotherme réversible à la température T_C .
 - C-D : Détente adiabatique réversible de la température T_C à la température T_F .
 - D-A : Détente isotherme réversible à la température T_F .
- 1.a) Représenter l'allure du cycle dans le diagramme de Watt P(V)
- 1.b) Définir, puis établir l'expression de l'efficacité thermodynamique e_c de la machine en fonction de T_F et de T_C . Calculer e_c .

- En réalité, le fluide ne décrit pas le cycle de Carnot défini au 1. mais le cycle suivant :

A-B : Compression adiabatique réversible de la température T_F à $T_C' = 350\text{K}$.
 B-C : Refroidissement isobare de la température T_C' à la température T_C .
 C-D : Détente adiabatique réversible de la température T_C à la température T_F' .
 D-A : Echauffement isobare de la température T_F' à la température T_F .

- Représenter l'allure du cycle dans le diagramme de Watt P(V)
- Expliquer par quel moyen on arrive à pomper de la chaleur à la source froide et à la fournir à la source chaude. On pourra par exemple représenter l'évolution de la température en fonction du temps en précisant à chaque instant dans quel sens se déroulent les transferts de chaleur.
- Exprimer les variations d'entropie du fluide (n mol) au cours de chacune des transformations qu'il subit en fonction de n , C_{Pm} , T_F , T_C , T_F' et T_C' .
 En déduire l'expression de la variation d'entropie du fluide au cours du cycle en fonction de n , C_{Pm} , T_F , T_C , T_F' et T_C' .
 En déduire une relation simple entre T_F , T_C , T_F' et T_C' . On trouve ainsi $T_F' = 270\text{K}$.
- Etablir l'expression du transfert thermique Q_C' reçu par le fluide au cours de la transformation de B à C en fonction de n , C_{Pm} et certaines températures.
 Etablir l'expression du transfert thermique Q_F' reçu par le fluide au cours de la transformation de D à A en fonction de n , C_{Pm} et certaines températures.
 En déduire l'expression du travail W' reçu par le fluide au cours du cycle.
- Exprimer puis calculer la nouvelle efficacité thermodynamique e' de la machine. Comparer à e_c . La conclusion était-elle prévisible ?

Remarque : Ce fonctionnement pourrait aussi être celui d'une pompe à chaleur, si l'objectif n'était plus de refroidir la source froide, mais plutôt de réchauffer la source chaude.