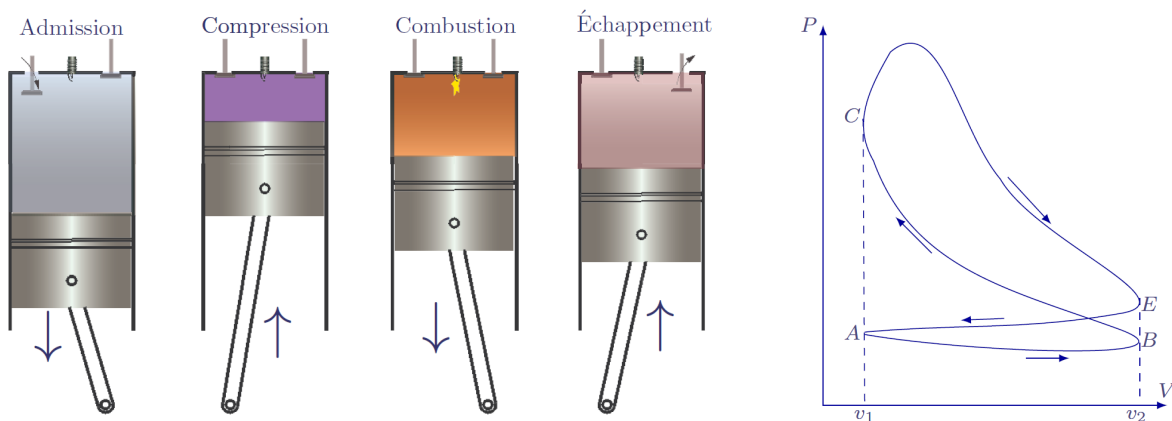


3 Machines thermiques dithermes

3.1 Problèmes de khôlle

3.1.1 Cycle de Beau de Rochas

On étudie le fonctionnement d'un moteur à quatre temps dont le schéma représentatif est donné ci-dessous, de même que la représentation du cycle dans un diagramme de WATT PV . Le mélange de gaz subissant le cycle sera assimilé à un gaz parfait d'indice adiabatique $\gamma = c_P/c_V$.



1. Identifier les différentes transformations du cycle réel sur le diagramme PV .
2. Modéliser le cycle réel par un cycle théorique comprenant six transformations, en utilisant des transformations réversibles isochores, isobares et adiabatiques. Déterminer les équations correspondant à chaque transformation.
3. Comparer le cycle réel et le cycle modèle, segment par segment, en explicitant les phénomènes négligés dans le cycle modèle.
4. À quoi l'aire du cycle correspond-elle ?
5. Définir le rendement thermodynamique du moteur. L'exprimer, pour le cycle théorique établi à la question précédente, en fonction des énergies thermiques reçues aux cours des phases isochores.
6. Calculer le rendement du cycle théorique, en fonction des volumes minimal et maximal v_1 et v_2 , et de γ .

3.1.2 Cycle de Lenoir adiabatique

Le cycle de LENOIR est un modèle idéalisé de cycle moteur à deux temps, introduit par LENOIR en 1860 pour décrire le fonctionnement du moteur à gaz qu'il avait mis au point l'année précédente.

Le mélange air-essence, assimilé à un gaz parfait diatomique, est admis dans le moteur avec les conditions initiales de pression, volume, température : P_1 , V_1 , T_1 . Le cycle qu'il subit se compose des étapes suivantes :

- $1 \rightarrow 2$: combustion isochore jusqu'à la pression P_2 et la température T_2 ;
- $2 \rightarrow 3$: détente adiabatique réversible au cours de laquelle le piston est repoussé ;
- $3 \rightarrow 1$: le système revient à sa position initiale, pendant que le gaz s'échappe de manière isobare.

On note $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ le rapport des capacités calorifiques respectivement à pression et volume constants du gaz diatomique et $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ le rapport de compression.

1. On cherche à représenter le cycle dans le diagramme de Watt (P, V). Pour pouvoir définir les grandeurs d'état tout au long des transformations, on raisonne sur des transformations quasi-statique.
 - (a) Déterminer l'équation d'une isotherme quasi-statique d'un gaz parfait dans le diagramme de WATT.
 - (b) En déduire la représentation du cycle.
2. Exprimer l'énergie thermique Q_1 reçue par le gaz au cours de l'étape $1 \rightarrow 2$, en fonction de C_v , T_2 et T_1 .
3. Exprimer la variation d'entropie ΔS_1 au cours de cette étape en fonction de C_v , T_1 et T_2 . En notant $x = \frac{T_2}{T_1} > 0$, et en étudiant la fonction $S_c(x)$ montrez que cette transformation est irréversible.
4. Exprimer l'énergie thermique Q_3 reçue par le gaz au cours de l'étape $3 \rightarrow 1$, en fonction de C_v , T_3 et T_1 .
5. Exprimer T_3 en fonction de T_1 , γ et de β . Faire l'application numérique.
6. On définit l'efficacité du moteur par $\eta = \frac{-W}{Q_1}$. L'exprimer en fonction de β et γ . Faire l'application numérique.

Données :

$$P_1 = 1 \times 10^5 \text{ Pa} \quad T_1 = 300 \text{ K} \quad T_2 = 1000 \text{ K} \quad \gamma = \frac{7}{5} \quad \beta = 5$$

3.1.3 Réfrigérateur

On modélise le fonctionnement d'une machine de réfrigération dans laquelle une masse m de fluide frigorigène subit les transformations suivantes :

- $A \rightarrow B$: compression adiabatique réversible dans le compresseur,
- $B \rightarrow C$: refroidissement et liquéfaction isobare de la vapeur dans le condenseur,
- $C \rightarrow D$: détente adiabatique et iso-enthalpique dans le détendeur,
- $D \rightarrow A$: vaporisation isobare dans l'évaporateur.

Les sources froides Σ_{fr} (intérieur de l'enceinte à réfrigérer) et chaude Σ_{ch} (milieu ambiant) sont assimilées à des thermostats de températures respectives T_{fr} et T_{ch} constantes.

Données :

$$m = 1 \text{ kg} \quad T_{fr} = 278 \text{ K} \quad T_{ch} = 293 \text{ K}$$

Enthalpies massiques du fluide frigorigène en A , B et C : $h_A = 390 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, $h_B = 449 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $h_C = 286 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1. Établir la relation entre la variation d'enthalpie $\Delta H_{i \rightarrow j}$ d'un système fermé au cours d'une transformation isobare et la quantité d'énergie thermique $Q_{i \rightarrow j}$ reçue au cours de cette transformation.

On désigne par Q_{fr} et Q_{ch} , l'énergie thermique reçue par le fluide frigorigène au contact respectivement de la source froide et de la source chaude au cours du cycle ci-dessus.

- Après avoir précisé les transformations correspondantes, exprimer Q_{fr} et Q_{ch} en fonction des données de l'énoncé. Faites l'application numérique.

On désigne par W l'énergie mécanique reçue par le fluide.

- Exprimez W en fonction des données de l'énoncé et faites l'application numérique.

On désigne par S_{fr} et S_{ch} les valeurs algébriques des entropies échangées par le fluide au contact respectif de la source froide et de la source chaude.

- Exprimer S_{fr} et S_{ch} en fonction des données de l'énoncé. Faites l'application numérique.
- Calculer S_c , l'entropie créée au cours du cycle. Conclure.
- Calculer l'efficacité e de ce cycle et la comparer à e_{CARNOT} l'efficacité d'un cycle de CARNOT.

3.2 Annales

3.2.1 2018 CCP PSI Physique Chimie - Motorisation et ressource énergétique

La croissance de la demande énergétique pose des questions essentielles pour la sauvegarde de nos modes de vie et pour le développement durable de la planète. L'approvisionnement énergétique doit satisfaire, en temps réel et de la façon la plus écologique possible, une demande variable dans le temps et dans l'espace.

Ce problème s'intéresse au domaine du transport. Il a pour but d'étudier des solutions thermiques et électriques tant au niveau de la motorisation que de l'approvisionnement en énergie.

Étude thermodynamique du moteur PSA EB2

Ce moteur (3.1), connu sous sa dénomination commerciale « 1,2 Puretech », équipe en particulier les Peugeot 108, 208 et 2008, les Citroën C1, C3, C4 Cactus ainsi que la DS3.

Compte tenu de la faible proportion d'essence dans le mélange air-essence, celui-ci sera assimilé uniquement à l'air qu'il contient, lui-même considéré comme un gaz parfait diatomique.



Fig. 3.1 – Moteur PSA EB2

- Déterminer, à l'aide de la cylindrée et du rapport volumétrique de compression, les valeurs numériques exprimées en cm^3 des volumes V_1 et V_2 correspondant respectivement au point mort haut et au point mort bas.

2. Tracer dans un diagramme de WATT (pression en ordonnées, volume d'un des trois cylindres en abscisses) l'allure du cycle idéalisé, appelé cycle de BEAU DE ROCHAS et décrit dans le document. On veillera à faire figurer les points A , B , C , D et E .

Le cycle réel est un peu différent du cycle idéalisé. Expliquer, par une argumentation phrasée de moins de 50 mots, en quoi le cycle réel diffère du cycle idéal.

Dans la suite du problème, le modèle adopté est celui du cycle idéal décrit à pleine puissance par le moteur EB2 et synthétisé dans le tableau 3.1.

Point	A	B	C	D	E
P (bar)	1	1	P_C	P_D	4
V (cm ³)	40	440	40	40	440
T (K)	300	300	T_C	2820	1193

Tab. 3.1 – Cycle thermique du moteur EB2

3. Déterminer les valeurs manquantes : P_C , P_D , T_C .
4. Déterminer la valeur numérique du travail W_{BC} reçu par le gaz au cours de la compression BC .
5. Déterminer le transfert thermique Q_{CD} reçu par le gaz au cours de l'explosion CD .
6. On donne : $|W_{DE}| = 596$ J et $|Q_{EB}| = 328$ J. Déterminer la valeur numérique du rendement R_{dt} du cycle¹.
7. Reconstruire l'expression du rendement d'un cycle de CARNOT dont les températures extrémales sont : T_{fr} pour la source froide et T_{ch} pour la source chaude. Comparer le rendement R_{dt} trouvé précédemment avec celui d'un cycle de CARNOT pour lequel $T_{fr} = 300$ K et $T_{ch} = 2820$ K. Conclure.
8. Ce cycle est-il compatible avec la puissance maximale de 82 ch à 5750 tr/min annoncée par le constructeur. On remarquera qu'il faut deux tours de vilebrequin pour effectuer un cycle thermodynamique.
9. On supposera que ce cycle correspond aussi à celui décrit par une Peugeot 108 lors d'une utilisation autoroutière effectuée à la vitesse stabilisée de $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, le moteur tournant alors au régime de 3600 tr/min.
- Évaluer dans ces conditions d'utilisation la consommation d'essence exprimée en L/100 km, ainsi que le rejet de CO_2 exprimé en $\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$. Commenter.

1. On remarquera qu'il s'agit d'un rendement purement thermodynamique pour un cycle idéal. Il ne tient pas compte des considérations mécaniques. En pratique, le rendement global est moins bon et dépend fortement du point de fonctionnement (couple-vitesse) considéré. Ce résultat permet néanmoins de comparer des cycles et de poser des limites