

ThermodynamiqueProblème n°1: Cycle de Stirling (Extrait banque PT)**CYCLES DE STIRLING ET RÉVERSIBILITÉ**

De nombreuses parties et questions de ce problème sont indépendantes.

La *concision* et la clarté des réponses non-numériques sera appréciée.

Les **données numériques** (notamment les conductivités thermiques λ , capacités thermiques massiques isobares c_p , masses volumiques μ des différents matériaux étudiés dans ce problème) sont regroupées en **dernière page de cet énoncé**.

A Cycle de Stirling d'un moteur ditherme

On considère $n = 40 \cdot 10^{-3}$ mol d'air, considéré comme un gaz parfait de rapport $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ constant et égal à 1,4, subissant un cycle modélisé par les évolutions suivantes à partir de l'état A : $p_1 = 1$ bar (soit 10^5 Pa), et $T_1 = 300$ K :

- compression isotherme réversible au contact de la source S_1 à T_1 , jusqu'à l'état B, de volume $V_2 = V_1 / 10$.
- échauffement isochore *au contact thermique de la source S_2* à $T_2 = 600$ K jusqu'à l'état C, de température T_2 .
- détente isotherme réversible au contact de la source S_2 à la température T_2 jusqu'à l'état D, de volume V_1 .
- refroidissement isochore *au contact thermique de la source S_1* jusqu'à l'état A, de température T_1 .

1. Calculer les valeurs numériques de P, V et T pour chacun des états A, B, C, et D (on présentera les résultats dans un tableau).
2. Représenter l'allure du cycle en coordonnées de Clapeyron (P,V).
Comment peut-on, sans calcul, savoir si le cycle proposé est celui d'un moteur, ou d'un système mécaniquement récepteur ?
3. Calculer pour chaque étape la chaleur (ou transfert thermique) et le travail reçus par le fluide.
4. Commenter ces résultats.
A-t-on bien un cycle moteur ?
5. Quelle est, sur le plan énergétique, la production de ce système, sur un cycle ?
Quel en est le coût, toujours sur le plan énergétique ?
En déduire l'expression et la valeur numérique du rendement.
6. Calculer la valeur de l'entropie créée par irréversibilité au sein du système au cours d'un cycle.
Quel type d'irréversibilité entre en jeu ici ?
7. Calculer la création d'entropie au sein du système au cours de l'échauffement isochore BC.

Problème n°2: Refroidissement (Extrait « Petites Mines » 2010)

Au travers de trois sous-parties indépendantes, on s'intéresse à divers procédés de refroidissement. On rappelle, pour un gaz diatomique, les expressions des capacités thermiques molaires respectivement à volume et pression constante :

$$C_{vm} = \frac{5}{2}R \text{ et } C_{pm} = \frac{7}{2}R$$

avec $R = 8,3 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$: constante du gaz parfait.

C.1. Détente d'un gaz dans l'atmosphère

Une mole de dioxygène, considéré comme un gaz parfait diatomique, se trouve à la pression $P = 2,0 \text{ bar}$ et à la température $T = 280 \text{ K}$. On lui fait subir une brusque détente dans l'atmosphère de pression supposée constante $P_0 = 1,0 \text{ bar}$.

C.1.1. Par quel(s) qualificatif(s), parmi les suivants, peut-on qualifier la transformation que subit la mole de dioxygène ? On justifiera sa réponse.

- réversible ;
- irréversible ;
- isotherme ;
- adiabatique ;
- isobare ;
- isochore.

C.1.2. Par application du premier principe de la thermodynamique, déterminer la valeur de la température T' atteinte par le gaz à la fin de la détente. On remarquera que $P = 2 P_0$.

C.1.3. Exprimer la variation d'entropie du gaz lors de cette transformation.

C.2. Climatisation d'un local

Un cycle de Brayton inversé réalise un effet frigorifique. Lors de ce cycle, un gaz est comprimé, refroidi puis détendu. La température de fin de détente étant basse, ce gaz peut être utilisé pour refroidir une enceinte, soit par contact direct (notamment s'il s'agit d'air), soit par l'intermédiaire d'un échangeur.

Ce type de dispositif a été jusqu'à récemment très utilisé dans les avions pour assurer la climatisation des cabines en vol. Il est également utilisé pour climatiser les très grosses installations qui nécessitent de grandes quantités de fluide caloporteur.

Un cycle de Brayton inversé est formé de deux adiabatiques et de deux isobares. Il est supposé réversible et décrit par de l'air (assimilé à un gaz parfait diatomique). Dans cet exercice on considérera une mole d'air parcourant le cycle. On appelle γ le rapport des capacités thermiques à pression et volume constants.

- $1 \rightarrow 2$: compression adiabatique réversible faisant passer le gaz de la pression P_1 à la pression P_2 ;
- $2 \rightarrow 3$: compression isobare ;
- $3 \rightarrow 4$: détente adiabatique réversible redonnant la pression P_1 au gaz ;
- $4 \rightarrow 1$: retour isobare au point 1.

C.2.1. Tracer dans un diagramme de Clapeyron (ou diagramme P,V) le cycle de Brayton inversé. Justifier le fait qu'il soit adapté pour décrire un climatiseur.

C.2.2. Justifier sans calcul lourd le fait que la transformation $2 \rightarrow 3$ s'accompagne d'un refroidissement.

C.2.3. Pour les quatre transformations du gaz envisagées, exprimer le transfert thermique associé en fonction de R (constante du gaz parfait) et des températures T_i ($i = 1, 2, 3$ ou 4) nécessaires.

C.2.4. Soit η l'efficacité du climatiseur. Définir η puis l'exprimer en fonction des transferts thermiques des différentes transformations du cycle.

C.2.5. On pose $a = \frac{P_2}{P_1}$, appelé rapport de compression du cycle. Exprimer de nouveau η uniquement en fonction de a et de γ .

Exercice : Production d'entropie

On étudie le chauffage d'une température $T_1 = 300$ K à une température $T_2 = 350$ K d'une masse de 1,5 kg d'eau liquide de capacité calorifique $C = 4,18$ kJ.K⁻¹.kg⁻¹ placée dans une casserole (dont on néglige la masse) posée sur une plaque électrique à température constante $T_p = 370$ K.

On néglige les échanges thermiques avec de l'air ambiant et on suppose que la casserole conduit bien la chaleur ce qui fait que sa température reste constante et uniforme.

Calculer la variation d'entropie de l'eau, de l'environnement (assimilé à la seule plaque électrique) et de l'univers.