

Thème III. L'énergie : conversions et transferts (Thermodynamique) TD n°22 Machines thermiques

💡 Méthode : Comment travailler des exercices ?

Avant la séance de TD :

- ★ Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- ★ Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- ★ Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- ★ Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- ★ Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions soit directement soit par mail nvalade.pcsi@gmail.com.

Après la séance de TD :

- ★ Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- ★ Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

I Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Moteur ou récepteur ?

Capacités exigibles :

- ✓ Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.
- ✓ Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle.
- ✓ Appliquer le premier principe et le deuxième principe aux machines thermiques cycliques.

On considère un système fermé fluide parcourant des cycles thermodynamiques dithermes, au cours desquels il reçoit algébriquement le travail $W = -53 \text{ J}$, le transfert thermique $Q_F = -70 \text{ J}$ de la part de la source froide de température $T_F = 278 \text{ K}$ et le transfert thermique Q_C de la part de la source chaude de température $T_C = 500 \text{ K}$.

- Q1. S'agit-il d'un cycle moteur ou d'un cycle récepteur ?
- Q2. Déterminer le transfert thermique Q_C qu'il reçoit algébriquement de la part de la source chaude. Faire l'application numérique.
- Q3. Le fonctionnement de cette machine ditherme est-il réversible ?

Exercice n°2 Contraintes liées aux principes

Capacités exigibles :

- ✓ Appliquer le premier principe et le deuxième principe aux machines thermiques cycliques.

On considère une machine thermique fonctionnant au contact d'une unique source de chaleur de température T_0 . Sur un cycle, le fluide reçoit le transfert thermique Q_0 de la part de la source de chaleur et un travail W .

- Q1. Appliquer les deux principes sur un cycle.
- Q2. Déterminer les signes de Q_0 et W . Est-il possible d'avoir un moteur monotherme ?

On étudie un réfrigérateur dont on ouvre la porte.

- Q3. Démontrer qu'il est impossible de refroidir sa cuisine en laissant ouverte la porte de son réfrigérateur.

Exercice n°3 Réfrigérateur

Un congélateur est placé dans une pièce à température ambiante de 21 °C . Pour que son intérieur reste à -19 °C , il est nécessaire d'en extraire un transfert thermique de 400 kJ par heure. On supposera cette opération faite de manière réversible.

- Q1. Rappelez l'expression puis donnez la valeur de l'efficacité de ce congélateur.
- Q2. Calculez la puissance électrique nécessaire pour faire fonctionner le congélateur dans les conditions indiquées.
- Q3. Comment cette dernière valeur est-elle modifiée s'il fait 30 °C à l'extérieur ? Commentez.
- Q4. Que vaut le transfert thermique vers l'extérieur en une heure ?

Exercice n°4 Moteur ditherme

Un moteur réel fonctionne entre une source chaude $T_c = 400\text{ K}$ et une source froide $T_f = 200\text{ K}$. Pour un transfert thermique reçu de 1800 J par cycle, il peut délivrer 450 J .

- Q1. Comparer le rendement de ce moteur avec celui d'une machine de CARNOT fonctionnant avec les mêmes sources
- Q2. Calculer l'entropie créée au cours d'un cycle.

Exercice n°5 Centrale nucléaire

Une centrale nucléaire est une machine ditherme en contact avec

- Un bain d'eau chaude à $T_c = 320\text{ °C}$
- Un fleuve à $T_f = 10\text{ °C}$

La puissance délivrée par la centrale est $\mathcal{P} = 1,00\text{GW}$.

- Q1. Calculez le rendement η de la centrale, sachant qu'il vaut 60% du rendement de CARNOT.
- Q2. Exprimez puis calculez \dot{Q}_c le transfert thermique reçu par la machine de la part de la source chaude par unité de temps, et \dot{Q}_f le transfert thermique reçu par la machine de la part de la source froide par unité de temps.
- Q3. Quelle énergie par unité de temps reçoit le fleuve ? Quelle conséquence a-t-elle ?

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°6 Moteur de Stirling

Capacités exigibles :

- ✓ Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.
- ✓ Appliquer le premier principe et le deuxième principe aux machines thermiques cycliques.
- ✓ Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle.
- ✓ Utiliser le théorème de Carnot.

Un cycle de Stirling est formé de deux transformations isothermes ($T_1 < T_2$) et de deux transformations isochores ($V_1 < V_2$) alternées. Le cycle est décrit de façon à ce que l'équilibre thermodynamique soit réalisé en chaque instant dans le sens moteur par n moles de gaz parfait caractérisé par le coefficient γ supposé constant.

- Q1. Dans quel sens est décrit un cycle moteur dans le diagramme de Clapeyron ?
Représenter ce cycle de Stirling dans le diagramme de Clapeyron.
- Q2. Exprimer les travaux et les transferts thermiques reçus par les n moles du gaz parfait sur chacune des quatre transformations, en fonction des températures T_1 et T_2 , du taux de compression $a = \frac{V_2}{V_1}$, et de n , R et γ . Déterminer les signes.
- Q3. Identifier les transferts thermiques reçus par le gaz parfait de la part de la source chaude, et ceux reçus de la part de la source froide.
- Q4. Exprimer le rendement thermodynamique de ce cycle en fonction des températures T_1 , T_2 , de γ et du taux de compression a .
- Q5. On admet que le transfert thermique fourni au gaz lors du chauffage isochore est récupérée par un régénérateur lors du refroidissement isochore.
Que devient le rendement ?
Comparer ce rendement à celui de Carnot.

Exercice n°7 Moteur Diesel

Capacités exigibles :

- ✓ Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.
- ✓ Appliquer le premier principe et le deuxième principe aux machines thermiques cycliques.
- ✓ Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle.
- ✓ Utiliser le théorème de Carnot.

Dans le moteur diesel, la combustion n'est plus assurée par des bougies ; on injecte le carburant uniquement après la compression ce qui provoque la combustion. Une mole de gaz parfait diatomique subit les transformations lentes et au cours desquelles on néglige tous les phénomènes dissipatifs (frottements ...) suivantes :

- $E_1 \rightarrow E_2$: compression adiabatique réversible ;
- $E_2 \rightarrow E_3$: dilatation isobare ; phase de combustion provoquée par l'inflammation spontanée du mélange au cours de laquelle le gaz reçoit un transfert thermique Q_C en provenance d'une source chaude fictive.
- $E_3 \rightarrow E_4$: détente adiabatique réversible ;
- $E_4 \rightarrow E_1$: refroidissement isochore ; le gaz est en contact de l'atmosphère qui joue le rôle d'une source froide.

On note $\gamma = \frac{C_{Pm}}{C_{Vm}} = 1,4$, et $a = \frac{V_1}{V_2}$ et $b = \frac{V_4}{V_3}$ les rapports volumétriques des transformations adiabatiques.

Pressions, températures et volumes aux différents états

- Q1. Déterminer les expressions littérales de V_2 , V_3 et V_4 en fonction de a , b et V_1 .
- Q2. Déterminer les expressions littérales de P_2 , P_3 et P_4 en fonction de a , b , γ et P_1 .
- Q3. On donne $a = 9$; $b = 3$; $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$; $P_1 = 1,00 \text{ bar}$; $T_1 = 300 \text{ K}$.

Déterminer numériquement les volumes V_i , les pressions P_i et les températures T_i pour $i \in [1, 4]$.

- Q4. Tracer l'allure du cycle en coordonnées de Clapeyron.

Rendement énergétique du moteur

- Q5. Calculer les travaux et les transferts thermiques échangés au cours des différentes transformations.
- Q6. Donner l'expression du rendement d'un moteur fonctionnant suivant ce cycle en fonction des différents travaux et transferts thermiques échangés.
- Q7. Donner l'expression du rendement en fonction des quatre températures. Faire l'application numérique.
- Q8. Donner l'expression du rendement de Carnot d'un moteur fonctionnant entre les deux mêmes sources de chaleur. Faire l'application numérique.
- Q9. Comparer les deux valeurs de rendement. Commentaire.

III Résolution de problème

Exercice n°8 Congélateur

Capacités exigibles :

- ✓ Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.
- ✓ Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergies échangées au cours d'un cycle.

Sur la fiche technique d'un congélateur figurent la consommation et le pouvoir de congélation. Voici les valeurs numériques annoncées par le constructeur pour son modèle.

| | |
|---------------------------|----------|
| Consommation pendant 24 h | 0,67 kWh |
| Pouvoir de congélation | 22kg/24h |

Estimer l'efficacité frigorifique de ce congélateur.

Données :

- Température extérieure : $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; température intérieure $\theta_f = -18 \text{ }^\circ\text{C}$
- Capacité thermique massique des aliments décongelés : $c_d = 3,6 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Capacité thermique massique des aliments congelés : $c_c = 1,5 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Enthalpie massique de fusion des aliments à $0 \text{ }^\circ\text{C}$: $\Delta_{\text{fus}}h(0 \text{ }^\circ\text{C}) = 2,5 \cdot 10^2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

IV Extraits du cahier d'entraînement de physique-chimie

Entraînement 20.13 — Machine frigorifique.



On considère une machine frigorifique fonctionnant avec une source froide de température $T_F = 4^\circ\text{C}$ et une source chaude de température $T_C = 20^\circ\text{C}$.

Elle utilise une énergie journalière $W = 17\text{ MJ}$ et présente une efficacité (ou COP) égale à 1,2.

a) Exprimer le transfert thermique journalier Q_F avec la source froide.

.....

b) Donner la valeur numérique de Q_F (en joules).

.....

c) Exprimer puis calculer le transfert thermique Q_C avec la source chaude.

.....

Entraînement 20.14 — Moteur réel.



Un moteur cyclique ditherme évoluant entre une source froide de température $T_F = 400\text{ K}$ et une source chaude de température $T_C = 650\text{ K}$ produit 500 J par cycle pour $1\,500\text{ J}$ de transfert thermique fourni.

L'efficacité de Carnot de ce moteur est $\eta_{\text{Carnot}} = 38,5\%$.

a) Calculer le transfert thermique Q_F avec la source froide.

- a) $-1\,000\text{ J}$
 b) $1\,000\text{ J}$
 c) $2\,000\text{ J}$
 d) $-2\,000\text{ J}$

.....

b) Calculer l'efficacité η de ce moteur réel

Entraînement 20.15 — Pompe à chaleur.



On considère une pompe à chaleur fournissant un transfert thermique hebdomadaire de $3,0\text{ GJ}$ avec une efficacité (ou COP) égale à 3,0.

a) Exprimer l'énergie hebdomadaire W nécessaire au fonctionnement de cette pompe à chaleur.

.....

b) Donner la valeur numérique de W (en joule)

.....

c) Convertir 1 kWh en joules

d) Calculer le coût annuel de fonctionnement de cette pompe à chaleur en supposant qu'elle tourne la moitié de l'année. On considèrera un prix moyen de dix-sept centimes d'euros au kilowattheure.

.....

Entraînement 20.16 — Calcul de la puissance d'un moteur.



On considère un moteur thermique évoluant entre une source froide à $T_F = 126,85^\circ\text{C}$ et une source chaude à $T_C = 326,85^\circ\text{C}$. On suppose que ce moteur suit le cycle de Carnot et qu'il libère un transfert thermique de 600 J par cycle. On indique que ce moteur tourne à un régime de $2\,000\text{ cycles/min}$ et qu'un cheval-vapeur (cv) vaut 736 W .

On rappelle que le rendement de Carnot est donné par $\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C}$.

a) Calculer le rendement de Carnot η de ce moteur.

b) Exprimer le travail W libéré par ce moteur lors d'un cycle en fonction de Q_F et η .

.....

c) Donner la valeur numérique de ce travail W

d) Calculer la puissance de ce moteur en cv