

Thème III. L'énergie : conversions et transferts (Thermodynamique) TD n°20 Machines thermiques

Exercice n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Capacités								
Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.								
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.								
Appliquer le premier principe et le deuxième principe aux machines thermiques cycliques.								
Justifier et utiliser le théorème de Carnot.								

Parcours possibles

- Si vous avez des difficultés sur ce chapitre : n°1, n°2 (Q1), n°3 (Q1), n°4.
- Si vous vous sentez moyennement à l'aise, mais pas en difficulté : n°4, n°6, n°7
- Si vous êtes à l'aise : n°5, n°6, n°7, n°8

I Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Moteur ou récepteur ?

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 Congélateur

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°3 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?

Exercice n°4 Cycle d'Ericson

En 1833, John Ericson brevete son moteur (éponyme), capable de produire une puissance de 5 ch (3,7 kW).

Le fluide utilisé est simplement de l'air (supposé gaz parfait diatomique, $\gamma = 1,4$), de quantité de matière n .

Le cycle est constitué de deux isothermes réversibles (notons T_1 et $T_2 = 2T_1$ leurs températures) et deux isobares (de pressions P_1 et $P_2 = 2P_1$).

- Q1. Rappeler les expressions des capacités thermiques à volume et à pression constante d'un gaz parfait en fonction de n , R et γ . Les simplifier compte tenu de la valeur $\gamma = 1,4 = \frac{7}{5}$.
- Q2. Comment est représentée une transformation isotherme dans le diagramme de Clapeyron (P, V)? même question pour une transformation isobare?
Représenter les deux isobares à P_1 et P_2 , et les deux isothermes à T_1 et T_2 .
- Q3. Dans quel sens est décrit un cycle moteur?
Représenter le cycle d'Ericson dans le plan (P, V) et indiquer son sens dessus.
- Q4. Exprimer les travaux reçus par l'air pour chacune des étapes du cycle, en fonction du produit nRT_1 .
- Q5. De même pour les transferts thermiques.
Pour les transformations isobares, on utilisera la version la plus adaptée du premier principe.
- Q6. En déduire l'expression puis la valeur du rendement du cycle.
Comparer au rendement de Carnot.
On donne : $\ln 2 \simeq 0,69$

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°5 Contraintes liées aux principes

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°6 Cycle de Joule

On étudie le principe d'une turbine à gaz. Dans cet exercice, le gaz est supposé parfait (coefficient adiabatique $\gamma = 7/5$) et les transformations sont toutes quasi-statiques :

- $A \rightarrow B$: Le gaz est comprimé dans un compresseur (compression adiabatique)
- $B \rightarrow C$: Il est chauffé à pression constante $P_B = P_C$ en contact avec une source chaude à $T_C = 600$ K
- $C \rightarrow D$: Il est détendu, entraînant avec lui une hélice (détente adiabatique)
- $D \rightarrow A$: Le gaz est refroidit à pression constante $P_D = P_A$ au contact d'une source froide à $T_A = 300$ K

On notera n la quantité de matière du gaz, R la constante des gaz parfaits et α le rapport de compression $\alpha = \frac{P_B}{P_A} = 5$

Q1. Représente le cycle dans les diagrammes (P, V)

Q2. Définir le rendement et montrer que l'on peut l'exprimer $\eta = 1 + \frac{T_A - T_D}{T_C - T_B}$

Q3. Établir une nouvelle expression de η , uniquement en fonction de α et γ , puis faire l'application numérique.

Q4. Comparer au rendement de Carnot puis commenter.

On donne le calcul suivant : $5^{-\frac{2}{7}} \simeq 0,63$

Exercice n°7 Moteur de Stirling

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.

III Résolution de problème

Exercice n°8 Congélateur

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 : $\theta_i = 20$ °C ; température intérieure $\theta_f = -18$ °C

— Capacité thermique massique des aliments décongelés : $c_d = 3,6$ kJ · K⁻¹ · kg⁻¹

— Capacité thermique massique des aliments congelés : $c_c = 1,5$ kJ · K⁻¹ · kg⁻¹

— Enthalpie massique de fusion des aliments à 0 °C : $\Delta_{\text{fus}}h(0$ °C) = 2,5.10² kJ · 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 1500 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