

Thermodynamique TD 4

Machines thermiques

Exercice 1: Bilan thermodynamique d'une machine thermique:

On considère une mole de gaz carbonique (dioxyde de carbone) initialement à la température $T_1 = 100\text{ °C}$ dans un récipient de volume $V_1 = 1\text{ L}$ sous la pression P_1 (état A). On effectue d'abord une détente adiabatique réversible qui amène le gaz à une température T_2 et un volume $V_2 = 10 V_1$ (état B). On effectue ensuite une compression isotherme réversible qui ramène le gaz à la pression P_1 (état C). On réchauffe alors le gaz jusqu'à la température T_1 à pression constante.

On assimilera le gaz carbonique à un gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma = 4/3$.

1. Tracer le cycle correspondant dans le diagramme de Clapeyron.
2. Identifier au cours de quelles transformations se font les échanges thermiques avec la source chaude et la source froide. Quelle est la température de la source chaude? Quelle est la température de la source froide?
3. Calculer la pression initiale P_1 .
4. Calculer la température T_2 .
5. Calculer les transferts thermiques reçus par le gaz au cours de chacune des transformations.
6. Calculer le travail reçu par le système.
7. Calculer le rendement de ce moteur et comparer ce rendement à celui qui serait obtenu entre ces deux mêmes sources pour un cycle réversible de type cycle de Carnot. Quelle transformation est la plus nuisible pour le rendement?

Exercice 2: Rendement du moteur Diesel:

Le cycle comporte quatre temps:

- 1^{er} temps: admission de l'air seul $A \Rightarrow B$
- 2^e temps: compression isentropique $B \Rightarrow C$
- 3^e temps: introduction du combustible après la compression de l'air seul et échauffement isobare $C \Rightarrow D$ suivi d'une détente isentropique $D \Rightarrow E$
- 4^e temps: refroidissement isochore $E \Rightarrow B$ puis échappement sous pression atmosphérique $B \Rightarrow A$

1. Déterminer le rendement du cycle Diesel en fonction de γ et des taux de compression $a = \frac{V_B}{V_C}$ et $b = \frac{V_B}{V_D}$.

Remarque: Le fluide décrivant le cycle étant considéré comme un gaz parfait.

Exercice 3: Climatiseur :

Par une merveilleuse journée d'été à Brest où la température dépasse les 30 °C, Grégory a malheureusement oublié de fermer les fenêtres. Ce n'est pas grave ! Grâce au magnifique climatiseur qu'il a acheté au printemps dernier en profitant des alléchantes promotions, il va pouvoir ramener son intérieur de capacité thermique $\mu = 4.10^3 \text{kJ.K}^{-1}$ initialement à la température de l'air extérieur $T_0 = 305 \text{ K}$ à une température bien plus raisonnable : $T_1 = 293 \text{ K}$. Le climatiseur ramène la température de l'intérieur $T_1 = 293 \text{ K}$ en une heure.

On considère que le climatiseur fonctionne de façon cyclique et réversible entre l'air extérieur et l'intérieur.

Quelle est la puissance électrique reçue par le climatiseur?

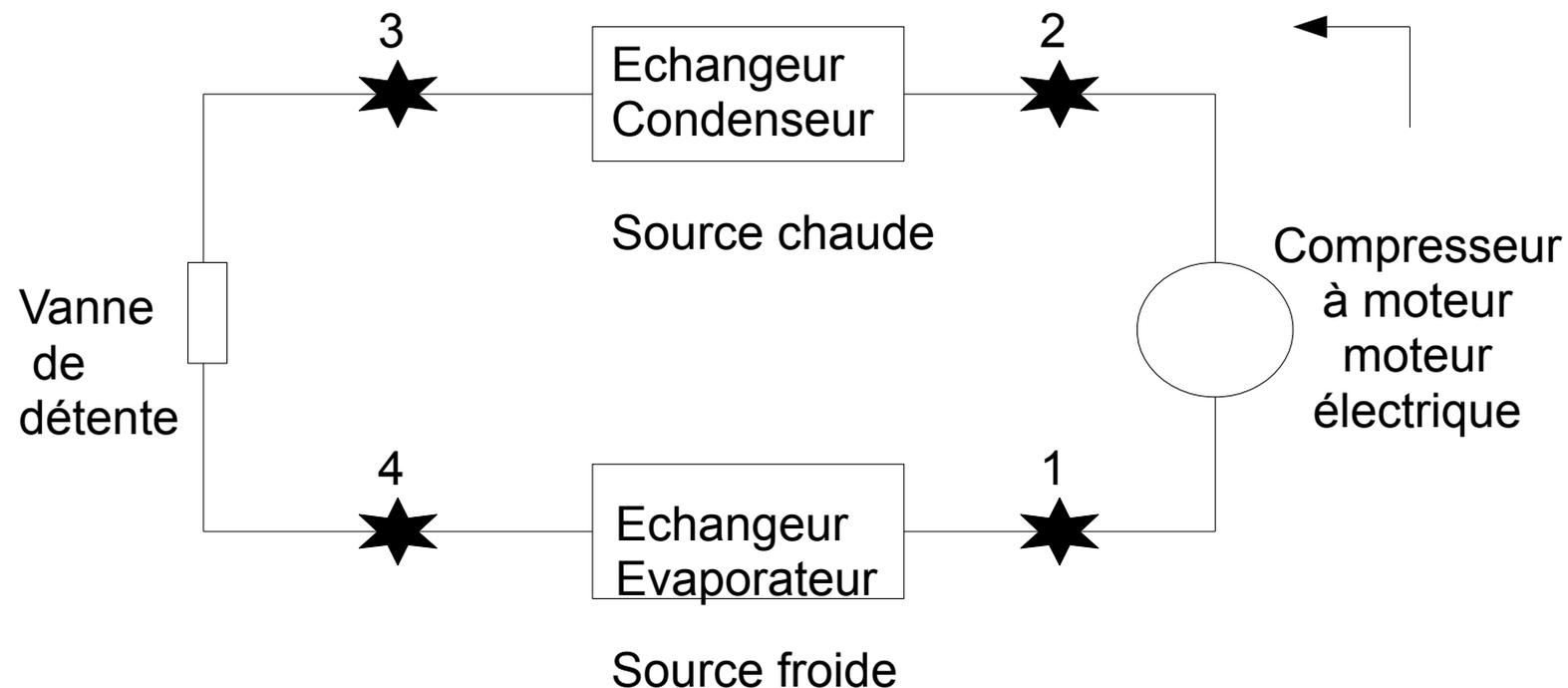
Exercice 4 : Détermination d'une efficacité par lecture graphique:

Une machine frigorifique est utilisée afin de maintenir un local contenant des denrées périssables à 0°C. Cette machine contient un fluide frigorigène de type Fréon dont le diagramme Température-Entropie massique (T, s) est donné en fin de TD.

Le mélange liquide-vapeur est situé dans la zone centrale sous la courbe de saturation. Sur ce diagramme apparaissent les isobares et les isenthalpes.

Cette machine ditherme qui fonctionne en régime permanent échange de la chaleur avec une source chaude à 40°C (atmosphère extérieure) et une source froide à 0°C (local réfrigéré)

Le schéma général de fonctionnement avec le sens de circulation du fluide est ci-dessous.



Compte-tenu du faible débit du Fréon circulant dans les tuyauteries de la machine, les variations d'énergie cinétique seront négligées dans tout le problème.

Le cycle décrit par le Fréon présente les caractéristiques suivantes:

- La compression de 1 à 2 est adiabatique réversible
- Le passage dans les deux échangeurs (condenseur et évaporateur) est isobare (de 2 à 3 et de 4 à 1)
- La vanne est considérée comme un tuyau indéformable et ne permettant pas les échanges de chaleur. La détente y est isenthalpique.
- La température du Fréon lors de l'évaporation dans l'évaporateur est de -10°C .
- La pression de fin de compression en 2 est 15 bars.
- Le point 3 est du liquide saturé.
- La quantité de chaleur échangée dans l'évaporateur avec le local permet une évaporation complète du Fréon venant de 4 et conduit la vapeur de façon isobare jusqu'à la température de -10°C (point 1, point saturé)

1. Placez les 4 points du cycle 1, 2, 3, 4 sur le diagramme, représentez-y le cycle et déterminez par lecture graphique et interpolation linéaire sur le diagramme les valeurs de P , T , h et s en ces différents points. Regroupez les résultats dans un tableau.
2. Comment peut-on trouver, de deux façons différentes, sur le diagramme la valeur de la chaleur latente massique l_v de vaporisation du Fréon à une température T_0 donnée?
Application numérique: Si $P_0 = 3$ bars, quelles sont les valeurs de l_v et de T_0 ?
3. Calculez le titre x en vapeur du point 4 de la machine frigorifique. Peut-on définir un titre y en liquide? Quelle est sa valeur en 3?
4. En utilisant les résultats de la première question, calculez les quantités de chaleur massique q_c et q_f échangées par le Fréon avec l'extérieur (q_c est échangée de 2 à 3 et q_f de 4 à 1)
Calculez de même le travail absorbé au cours du cycle.
5. Déduisez-en l'efficacité de la machine frigorifique.

Exercice 5 : Machine à vapeur:

On adopte le modèle de machine à vapeur suivant: un système fermé constitué de 1 kg d'eau sous deux phases liquide et vapeur décrit un cycle ABCDA. Les évolutions BC et DA sont adiabatiques et réversibles; les évolutions AB et CD sont isothermes et isobares. On note x le titre massique en vapeur. Les données concernant le cycle sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

	A	B	C	D
P (en bar)	20	20	1	1
T (en K)	485	485	373	373
x	0	1	0,83	0,19

On donne ci-dessous des extraits de tables thermodynamiques:

T (en K)	P (en bar)	h_L (kJ.kg ⁻¹) liquide juste saturé $x_v = 0$	h_V (kJ.kg ⁻¹) vapeur saturante sèche $x_v = 1$
485	20	909	2801
373	1	418	2676

- Dessinez le cycle de transformations subies par l'eau. La machine à vapeur est-elle un moteur ou un récepteur?
- Calculez les enthalpies massiques h_C et h_D .
- Calculez les transferts thermiques reçus par l'eau au cours des évolutions AB, BC, CD et DA puis le travail total W .
- Définissez le rendement thermodynamique η de la machine à vapeur et calculez-le.
Comparez η à l'efficacité d'un moteur de Carnot fonctionnant entre des sources de températures $T_C = 485$ K et $T_F = 373$ K. Commentez

Quelques résultats:

Exercice 1: 3) $P_1 = 31$ atm 4) $T_2 = 173$ K ; 5) $Q_{AB} = 0$; $Q_{BC} = -4417$ J ; $Q_{CA} = 6651$ J ; 6) $W = -2234$ J

- 7) $\eta = -W / Q_{CA} = 34$ % ; $\eta_{rév} = 1 - T_2 / T_1 = 54$ %. L'irréversibilité est une cause de la baisse du rendement (th de Carnot) donc la transformation C \Rightarrow A nuit au rendement.

Exercice 2 : $\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{b^{-\gamma} - a^{-\gamma}}{b^{-1} - a^{-1}}$

Exercice 3 : $W_{élec} = \mu (T_1 - T_0) - \mu T_0 \ln(T / T_0)$ et $P = W_{élec} / t = 269,4$ W

Exercice 4: 1)

	Pression (bar)	Température (°C)	Enthalpie massique (kJ.kg ⁻¹)	Entropie massique (kJ.kg ⁻¹ K ⁻¹)
Etat 1: Vapeur saturée	2,2	-10	184	0,7
Etat 2: Vapeur sèche	15	67	216	0,7
Etat 3: liquide saturé	15	60	96	0,335
Etat 4: mélange L + V	2,2	-10	96	0,365

2) $T_0 = 0^\circ\text{C}$; $l_v = 148 \pm 5$ kJ.kg⁻¹ ;

3) $x_4 = 0,44$; $y_3 = 1$;

4) $q_c = -120$ kJ.kg⁻¹ ; $q_f = 88$ kJ.kg⁻¹ ; $w_{tot} = 32$ kJ.kg⁻¹ ;

$e = 2,75$

Exercice 5 : 2) $h_C = 2299$ kJ.kg⁻¹ ; $h_D = 847$ kJ.kg⁻¹ ;

3) $q_{AB} = 1892$ kJ.kg⁻¹ ; $q_{CD} = -1452$ kJ.kg⁻¹ ; $w = -439$ kJ.kg⁻¹ ;

4) $\eta = 23$ % = η_{Carnot}

**DIAGRAMME
TEMPERATURE - ENTROPIE MASSIQUE
DU FREON**

