

TD Machines thermiques

Exercice 1 : Moteur Diesel (243, 244, 245, 246, 247)

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 supposées réversibles (on néglige tous les phénomènes dissipatifs : frottements ...) suivantes :

- $E_1 \rightarrow E_2$: compression adiabatique.
- $E_2 \rightarrow E_3$: 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.
- $E_4 \rightarrow E_1$: 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.

1. Déterminer les expressions littérales de p_2 , p_3 et p_4 en fonction de a , b , γ et p_1 .
2. Faire de même avec V_2 , V_3 et V_4 en fonction de a , b et V_1 .
3. On donne $a = 9$; $b = 3$; $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$; $p_1 = 1,00 \text{ bar}$; $T_1 = 300 \text{ K}$. En justifiant très proprement chaque application numérique, compléter le tableau ci-dessous :

État	$p \text{ (bar)}$	$V \text{ (L)}$	$T \text{ (K)}$
E_1	1 bar		300 K
E_2			
E_3			
E_4			

4. Tracer l'allure du cycle en coordonnées de Clapeyron.
5. Calculer les travaux et les transferts thermiques échangés au cours des différentes transformations.

6. Donner l'expression du rendement d'un moteur fonctionnant suivant ce cycle en fonction des différents travaux et transferts thermiques échangés.
7. Faire l'application numérique avec les résultats de la question précédente.
8. Donner l'expression du rendement en fonction de a , b et γ . Faire l'application numérique et vérifier la cohérence avec l'application numérique de la question précédente.
9. Donner l'expression du rendement de Carnot d'un moteur fonctionnant entre les deux mêmes sources de chaleur. Faire l'application numérique.

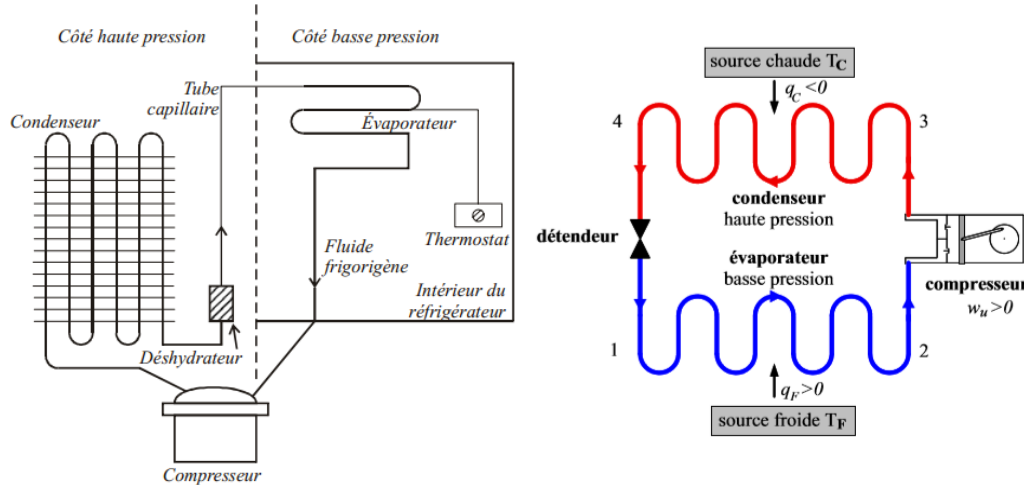
Exercice 2 : Pompe à chaleur (246, 247)

Pour maintenir la température d'un immeuble à $T_1 = 293 \text{ K}$ alors que la température est $T_2 = 278 \text{ K}$ à l'extérieur, il faut lui fournir une énergie de $2 \cdot 10^8 \text{ J}$ par heure.

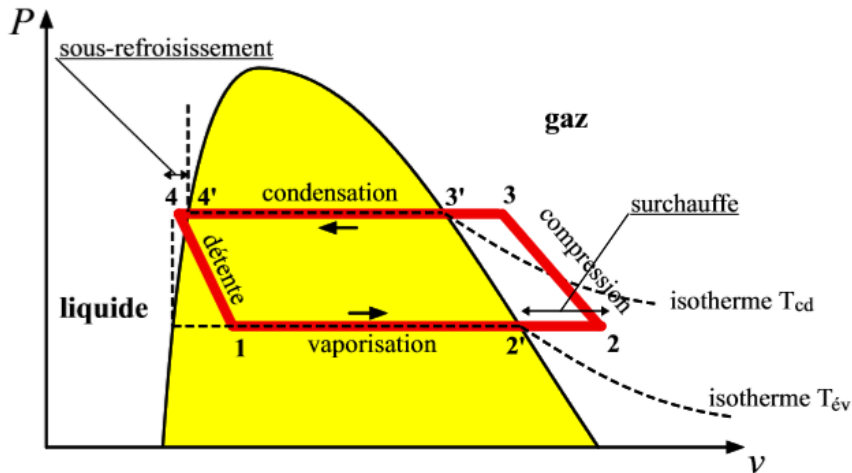
1. On utilise pour cela une pompe à chaleur. Indiquer dans quelles conditions celle-ci doit fonctionner pour que son efficacité soit maximale. Donner le schéma de principe en indiquant par des flèches le sens des transferts thermiques et de travail.
2. Calculer cette puissance minimale consommée par la pompe à chaleur.
3. Définir et calculer l'efficacité théorique maximale $e_{T,max}$ de cette pompe dans ces conditions; montrer qu'elle ne dépend que de T_1 et de T_2 . Indiquer clairement la signification de $e_{T,max}$.
4. La température extérieure étant toujours $T_2 = 278 \text{ K}$, pour quelle température T_1 à l'intérieur $e_{T,max}$ est-elle maximale? Interpréter.

Exercice 3 : Réfrigérateur (244)

On présente ici le principe de fonctionnement du réfrigérateur. On note T_F et T_C les températures des sources froide et chaude.



Le cycle thermodynamique est présenté qualitativement sur le diagramme de Clapeyron suivant :



Lorsque le fluide passe dans l'évaporateur $1 \rightarrow 2$, il circule à proximité de la chambre froide avec une température inférieure à T_F . Il se produit une évaporation totale de manière isobare à la température T_{vap} ($1 \rightarrow 2'$). Pour éviter d'injecter du liquide dans le compresseur, le gaz subit ensuite une surchauffe ($2' \rightarrow 2$) jusqu'à la température T_2 . Lors de cette opération, le fluide prélève par unité de masse le transfert thermique $q_F = h_2 - h_1$.

Le fluide subit ensuite une compression $2 \rightarrow 3$ que nous modélisons par une transformation adiabatique réversible (compresseur idéal). La température s'élève et atteint la valeur $T_3 > T_C$. Le compresseur reçoit par unité de masse le travail utile $w_u = h_3 - h_2$.

Le fluide est ensuite totalement condensé de manière isobare en circulant à proximité de la source chaude. Lors du changement d'état, la température du fluide est notée T_{cond} . A la fin de la transformation, on effectue un sous-refroidissement du liquide $4' \rightarrow 4$. Le fluide fournit à la source chaude le transfert thermique par unité de masse $-q_C = -(h_4 - h_3)$.

Enfin, le fluide passe dans un détendeur réalisant une transformation isenthalpique $4 \rightarrow 1$. Cette opération s'accompagne d'une baisse de température et d'une vaporisation partielle. Il n'y a pas de transfert énergétique utile.

On assimile le liquide à une phase condensée et la phase gazeuse à un gaz parfait. On donne :

- $c_l = 1,41 \text{ kJ/K/kg}$
- $c_{pg} = 0,68 \text{ kJ/K/kg}$
- $\gamma = 1,17$
- $l_{vap(-30^\circ\text{C})} = 218 \text{ kJ/kg}$

Fluide	R134a ($\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$)
Température de la source froide	$T_F = -18^\circ\text{C}$
Température de la source chaude	$T_C = 20^\circ\text{C}$
Température d'évaporation	$T_{ev} = -30^\circ\text{C}$
Surchauffe	$T_2 - T_{2'} = 10^\circ\text{C}$
Pression d'évaporation	$p_{ev} = 0,847 \text{ bar}$
Température de condensation	$T_{cd} = 40^\circ\text{C}$
Sous-refroidissement	$T_4 - T_{4'} = -10^\circ\text{C}$
Pression de condensation	$p_{cd} = 10,2 \text{ bar}$

1. Calculer le titre en vapeur x_1 sachant que la transformation $4 \rightarrow 1$ est isenthalpique.
2. Déterminer T_3 sachant que la transformation $2 \rightarrow 3$ est isentropique
3. Déterminer q_F et w_u . En déduire l'efficacité.
4. Comparer à l'efficacité de Carnot.

Résolution de problème

Vous achetez six bouteilles de 1L de jus de fruit que vous rangez dans votre réfrigérateur. Une heure plus tard, elles sont à la température du frigo.

- Combien vous coûte ce refroidissement ?

Données :

- l'efficacité thermodynamique du réfrigérateur vaut 70% de l'efficacité de Carnot ;
- l'isolation imparfaite du réfrigérateur se traduit par des fuites thermiques de puissance 10 W ;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- tarifs EDF : 1 kWh coûte 0,15 euros.

Oral de concours : CCP PC 2017

À l'aide d'un schéma, expliquer le principe d'une pompe à chaleur fonctionnant entre une source froide à la température T_f et une source chaude à la température T_c . On s'intéresse à une pompe à chaleur fonctionnant entre une source froide à T_f (par exemple l'air extérieur) et une source chaude T_c (carlingue d'un avion). On considère n moles de gaz parfait. Le fluide subit les transformations suivantes :

- état 1 (V_1, T_f) $\rightarrow$ état 2 (V_2, T_c) isentropique
- état 2 (V_2, T_c) $\rightarrow$ état 3 (V_3, T_c) isothermique
- état 3 (V_3, T_c) $\rightarrow$ état 4 (V_4, T_f) isentropique
- état 4 (V_4, T_f) $\rightarrow$ état 1 (V_1, T_f) isothermique

Tracer le cycle sur un diagramme de Clapeyron $p(V)$. Le cycle est-il moteur ou récepteur ? Comment est-il orienté sur le diagramme ?