TD TH4 Machines thermiques

Système {n moles de gaz parfait}	$\Delta S = C_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + nR\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	$\Delta S = C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - nR\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$

On suppose C_V et C_P constants sur l'intervalle de température, donc γ aussi. R = 8,314 J.K.mol^{-1}.

Exercice n°1 : Machine frigorifique

On considère une machine frigorifique réversible, en contact avec deux sources thermiques. L'une est constituée d'eau liquide à pression atmosphérique et à température ambiante T_1 = 20°C; l'autre est constituée d'un mélange d'eau et de glace à pression atmosphérique et à la température T_2 = 0°C.

Données :

- Capacité isobare massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4{,}2\,\mathrm{kJ\cdot K^{-1}\cdot kg^{-1}}$.
- Capacité isobare massique de la glace : $c_g = 2{,}1\,\mathrm{kJ\cdot K^{-1}\cdot kg^{-1}}$.
- Enthalpie massique de fusion de la glace : $\ell_{\text{fus}} = 334\,\mathrm{kJ\cdot kg^{-1}}$.

Pour une puissance fournie au réfrigérateur de 1,0 kW, calculer la masse d'eau transformée en glace pendant une heure.

Exercice n°2 : Rendement thermique d'un moteur à air.

Un kilogramme d'air (gaz parfait) décrit de façon réversible le cycle des transformations :

- compression adiabatique de l'état A_1 (P_1=1 bar, T_1=350K) à l'état A_2 (P_2=8 bar).
- échauffement isobare de l'état A_2 à l'état A_3 (T_3=1000K).
- détente isotherme de l'état A_3 à l'état A_4.
- refroidissement isobare de l'état A_4 à l'état initial A_1.

1)a) Calculer la capacité calorifique à pression constante d'un kilogramme d'air, ainsi que la quantité de matière n.

b) Déterminer la pression, le volume et la température de l'air dans chacun des états A_1, A_2, A_3 et A_4.

2) Représenter le cycle étudié dans le diagramme (P,V).

3) Quel est le rendement thermodynamique η du cycle ? Le comparer au rendement du cycle de Carnot fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes.

4) Calculer pour chacune des quatre transformations du cycle les variations de l'énergie interne ΔU et de l'entropie ΔS du gaz. Vérifier que ΔU_{cycle}=0 et ΔS_{cycle}=0.

Données : $\gamma = \frac{7}{5}$, R=8,31J.K^{-1}.mol^{-1}. $V_{molaire}$=22,4 L.mol^{-1} dans les CNTP. Masse d'un litre d'air m=1,3g.

Exercice n°3 : Moteur Diesel.

Un moteur thermique utilisant un gaz parfait décrit un cycle réversible Diesel A_1 A_2 A_3 A_4 A_1 composé d'une isobare et d'une isochore reliées par deux adiabatiques.

- A_1A_2 : l'air admis subit une compression adiabatique de l'état A_1 (P_1, V_1, T_1) à l'état A_2 (P_2, V_2, T_2).
- A_2A_3 : combustion isobare par injection progressive de carburant de l'état A_2 à l'état A_3 (V_3, T_3).
- A_3A_4 : l'injection cesse en A_3 et le mélange subit une détente adiabatique de l'état A_3 à l'état A_4 (V_4=V_1, T_4).
- A_4A_1 : refroidissement isochore de l'état A_4 à l'état initial A_1.

1.) Représenter le cycle Diesel sur un diagramme (P,V).

2.) Exprimer le rendement du cycle Diesel en fonction :

a) des températures T_1, T_2, T_3 et T_4 et du rapport γ des capacités calorifiques massiques du mélange gazeux.

b) du taux de compression $x = \frac{V_1}{V_2}$, du taux de détente $y = \frac{V_1}{V_3}$ et de γ.

3.) Une automobile à moteur Diesel possède les caractéristiques suivantes : x = 21, y = 7. A la vitesse maximale v=147 km.h^{-1} du véhicule correspondant à N=4 500 tours/minute, la consommation est c = 8 L de carburant (gas-oil) aux 100 km. Le gas-oil a une masse volumique ρ=0,8 kg.L^{-1} et un pouvoir calorifique q = 46,8 kJ.g^{-1}.

Déterminer :

a) le rendement théorique de ce moteur Diesel (on donne γ = 1,4).

b) la masse de carburant injectée à chaque cycle, à vitesse maximale.

c) la puissance maximale de ce moteur Diesel, supposé idéal.

Exercice n°4 : Pompe à chaleur.

Une pompe à chaleur effectue le cycle de Joule inversé suivant :
- L'air pris dans l'état A de température T_0 et de pression P_0 est comprimé suivant une adiabatique quasistatique mécaniquement réversible jusqu'au point B où il atteint la pression P_1.
- L'air est ensuite refroidi à pression constante et atteint la température finale de la source chaude T_1 correspondant à l'état C.
- L'air est encore refroidi dans une turbine suivant une détente adiabatique quasistatique mécaniquement réversible pour atteindre l'état D de pression P_0.
- Il se réchauffe enfin à pression constante au contact de la source froide et retrouve son état initial.

L'air est considéré comme un gaz parfait de rapport de capacités thermiques $\gamma = 1,4$ indépendant de la température. On pose $\beta = 1 - \frac{1}{\gamma}$ et $a = \frac{P_1}{P_0}$.

On prendra $T_0 = 283$ K, $T_1 = 298$ K, $a = 5$.

1. Représenter le cycle parcouru par le gaz dans un diagramme (P,V).

2. Rappeler les conditions nécessaires pour assurer la validité des formules de Laplace. Donner la formule de Laplace relative à la pression et à la température.

3. En déduire l'expression des températures T_B et T_D des états B et D en fonction de T_0, T_1, a et β. préciser leurs valeurs numériques.

4. Exprimer l'efficacité e de la pompe à chaleur en fonction des transferts thermiques.

5. En déduire l'expression de l'efficacité en fonction de a et β. Donner sa valeur numérique.

6. Quelles doivent être les transformations du gaz si on fait fonctionner la pompe à chaleur suivant un cycle de Carnot réversible entre les températures T_0 et T_1 ?

7. Etablir l'expression de son efficacité e_r. Donner sa valeur numérique.

8. Comparer e et e_r. Proposer une explication à ce résultat.

9. Sachant qu'en régime permanent les fuites thermiques s'élèvent à $P_f = 20$ kW, calculer la puissance du couple compresseur-turbine qui permet de maintenir la température de la maison constante.

10. Déterminer l'expression de l'entropie créée S_c pour une mole d'air, au cours du cycle de Joule, en fonction de R, β et $x = a^{\beta} \frac{T_0}{T_1}$.

11. Etudier le signe de S_c. Etait-ce prévisible ?

12. Calculer les valeurs de x et S_c.