Machines thermiques

Exercice 1. Énoncés historiques du deuxième principe.
Dans une machine cyclique ditherme, un système thermodynamique fermé (Σ) décrit une évolution cyclique en recevant algébriquement au cours de chaque cycle, un travail W de l'extérieur, un transfert thermique Q_C d'une source chaude à la température T_C et un transfert thermique Q_F d'une source froide à la température T_F avec $T_F < T_C$.
1) Retrouver l'inégalité de Clausius

$$\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$$

2) Montrer qu'« aucun système décrivant une évolution cyclique ne peut réaliser un transfert thermique parfait d'une source froide à une source chaude » (énoncé de Clausius).
3) Montrer qu' « il n'existe pas de moteur monotherme » (énoncé de Kelvin).

Exercice 2. Étude théorique du moteur cyclique ditherme.
Dans le cas du moteur ditherme, le système (Σ) cède du travail à l'extérieur.
1) Montrer alors qu'en recevant un transfert thermique de la source chaude, le système fournit un travail à l'extérieur et cède un transfert thermique à la source froide.
2) On définie l'efficacité thermodynamique e du moteur comme le rapport de la grandeur valorisable $|W| = -W$ sur la grandeur coûteuse Q_c. Montrer que

$$e \leq 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

3) Calculer l'efficacité maximale (efficacité de Carnot) obtenue dans le cas d'une machine réversible (machine de Carnot) pour $T_C = 1500\,K$ et $T_F = 300\,K$.
4) Donner l'allure du cycle dans un diagramme $(T,\, S)$ (cycle de Carnot).
5) Dans le cas particulier du GP, donner l'allure du cycle dans un diagramme de Clapeyron $(p,\, v)$.

Exercice 3. Étude théorique du réfrigérateur cyclique ditherme.
Dans le cas du réfrigérateur ditherme, le système (Σ) reçoit un transfert thermique de la source froide.
1) Montrer alors que le système reçoit un travail qui lui permet de recevoir un transfert thermique de la source froide et de céder un transfert thermique à la source chaude.
2) Montrer que

$$e \leq \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

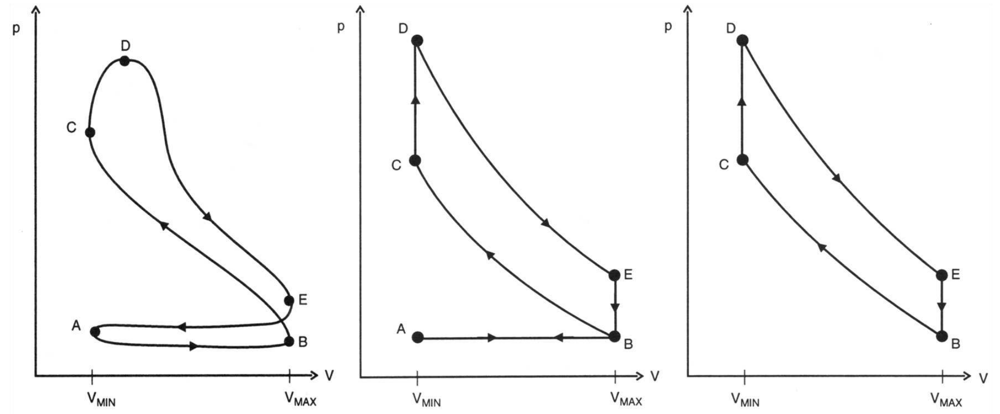
3) Calculer l'efficacité maximale obtenue dans le cas d'une machine réversible pour $T_C = 293\,K$ et $T_F = 268\,K$.
4) Donner l'allure du cycle dans un diagramme $(T,\, S)$ et comparer à celui du moteur ditherme.

Exercice 4. Étude théorique de la pompe à chaleur cyclique ditherme.
Dans le cas de la pompe à chaleur, le système (Σ) cède un transfert thermique à la source chaude.
1) Montrer alors que le système reçoit un travail qui lui permet de recevoir un transfert thermique de la source froide et de céder un transfert thermique à la source chaude sachant que les pompes à chaleur sont conçues de telle sorte que $|Q_C| > W$.
2) Quelle est la différence avec un réfrigérateur ?
3) Montrer que

$$e \leq \frac{T_C}{T_C - T_F}$$

4) Calculer l'efficacité maximale obtenue dans le cas d'une machine réversible pour $T_C = 290\,K$ et $T_F = 278\,K$.

Exercice 5. Modélisation du moteur à explosions - Cycle de Beau de Rochas.



On peut décomposer un cycle de fonctionnement du moteur à explosion en quatre phases successives correspondant chacune à un aller simple du piston (premier diagramme) :

- 1^{er}temps : admission AB
- 2^{e}temps : compression BC
- 3^{e}temps : explosion et détente CDE
- 4^{e}temps : échappement EA

Afin de pouvoir exprimer le rendement thermodynamique du moteur à explosion, on adopte le modèle suivant :

- Le mélange initial air-carburant et les gaz d'échappement sont assimilés à un même gaz parfait de coefficient isentropique $\gamma = 1,40$.
- Le gaz ne subit aucune évolution chimique. La chaleur dégagée par la combustion du carburant dans l'air est supposée fournie par une source chaude fictive.
- le premier diagramme est remplacée par le deuxième diagramme. Commenter.

En remarquant que les travaux au cours des évolutions AB et BA se compensent, on peut ne considérer que les étapes BC, CD, DE, EB où le gaz contenu dans le cylindre est un système fermé (Σ) évoluant au contact de deux sources de chaleur (la source chaude fictive et l'atmosphère). Tout se passe comme si (Σ) décrivait indéfiniment le cycle du troisième diagramme appelé cycle de Beau de Rochas.
1) Exprimer l'efficacité thermodynamique e en fonction du transfert thermique Q_C échangé au cours de l'évolution CD et du transfert thermique Q_F échangé au cours de l'évolution EB.
2) Exprimer e en fonction de T_B, T_C, T_D et T_E.
3) Exprimer e en fonction du taux de compression $a = \frac{V_{max}}{V_{min}}$ et γ.
4) Application numérique : $a = 3$, $a = 6$, $a = 12$.
5) Pour comparer e à l'efficacité de Carnot, il faut connaître la température T_C^* de la source fictive. Nous prendrons la température maximale atteinte au cours du cycle soit T_D. On donne $q_C = 2000\,kJ.kg^{-1}$ et $R = 8,314\,J.K^{-1}.mol^{-1}$.

Exercice 6. Moteur quasicyclique entre deux pseudo-sources.
Un moteur ditherme réversible fonctionne entre une pseudo-source chaude constituée d'eau liquide de capacité thermique $C = 4,18\,kJ.K^{-1}$ et de température initiale $T_{01} = 320\,K$ et une pseudo-source froide constituée d'eau liquide de température initiale $T_{02} = 280\,K$; il est constitué d'un corps pur formant un système fermé (Σ). On note $T_1(t)$ et $T_2(t)$ les températures des deux pseudo-sources à un instant t quelconque.

Entre les instants t et $t + dt$ proches, le système (Σ) constitue approximativement un moteur cyclique ditherme fonctionnant entre les sources chaude à température $T_1(t)$ et froide à température $T_2(t)$: (Σ) reçoit un travail algébrique δW et des transferts thermiques algébriques δQ_1 et δQ_2 ; simultanément les températures des pseudo-sources varient de dT_1 et dT_2.

En écrivant les deux principes de la thermodynamique, déterminer la température finale des pseudo-sources, le travail total W et le transfert total Q_1 fourni par la source chaude à (Σ). Calculer l'efficacité thermodynamique globale et commenter.

Exercice 7. Machine frigorifique.
Une machine frigorifique idéale fonctionne entre une source froide constituée par une masse $m_0 = 10\,kg$ d'eau de température initiale $t_0 = 10\,^\circ C$ et l'atmosphère de température constante t_0. Elle est alimentée par une puissance $\mathcal{P} = 500\,W$.
1) Déterminer le temps nécessaire de fonctionnement de la machine pour que l'eau commence à se congeler ($t_1 = 0\,^\circ C$). On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,18\,kJ.K^{-1}.kg^{-1}$.
2) Calculer la durée supplémentaire pour que toute l'eau soit sous forme de glace. On donne la chaleur latente de liquéfaction à $t_1 = 0\,^\circ C$: $L_1 = 333\,kJ.kg^{-1}$.