

EXERCICES THERMODYNAMIQUE 1 .**Formulaire thermodynamique .**

Variation d'entropie d'une phase condensée de capacité thermique C passant de T_1 à T_2 :

$$\Delta S = C \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

Variation d'entropie de n moles de gaz parfait passant de (P_1, V_1, T_1) à (P_2, V_2, T_2)

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

Exercice 1: pompe à chaleur

Une mole de gaz parfait est prise à la température $T_1 = 285 \text{ K}$ sous la pression $P_1 = 1 \text{ bar}$.

On lui fait décrire le cycle suivant ne comportant que des transformations réversibles :

- compression adiabatique AB amenant le gaz à la température $T_2 = 320 \text{ K}$.
- compression isotherme BC amenant le gaz à la pression $P_3 = 2 \text{ bar}$.
- détente adiabatique CD amenant le gaz à la température T_1 .
- détente isotherme DA .

- 1- Représenter l'allure du cycle en coordonnées de Clapeyron (P , V) . Préciser les coordonnées des différents points .
- 2- Calculer le travail W fourni par le milieu extérieur .
- 3- Déterminer la quantité de chaleur cédée à la source chaude .
- 4- En supposant qu'il s'agisse du cycle d'une pompe à chaleur , calculer l'efficacité de ce cycle .
- 5- Calculer la variation d'entropie pour chaque transformation .

Données :

$$\gamma = 1,4$$

Exercice 2 : centrale électrique

Une centrale électrique est une machine thermique ditherme fonctionnant entre une source chaude

$T_1 = 593 \text{ K}$ (cœur du réacteur) et une source froide constituée par l'eau d'un fleuve à la température

$T_2 = 293 \text{ K}$. On considère une centrale fournissant à l'alternateur une puissance utile $P = 1 \text{ GW}$.

- 1- Déterminer l'expression du rendement maximal atteignable pour une centrale fonctionnant avec ces deux sources . En déduire le rendement effectif η qui est égal à 60% du rendement maximal .
- 2- Déterminer alors $\dot{q}_1$ la chaleur par unité de temps reçue de la source chaude .
- 3- En déduire $\dot{q}_2$ la chaleur par unité de temps fournie à la source froide .
- 4- Le débit volumique du fleuve est $D_v = 300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Déduire l'élévation de température $\Delta \theta$ du fleuve due au rejet de chaleur de la part de la centrale .

On peut montrer que pour une fluide en écoulement stationnaire dont on néglige les variation d'énergie mécanique $D_m \Delta h = P_{th} + P_u$ où D_m est le débit massique du fluide et P_{th} et P_u les puissances thermique et mécanique utile reçues par le fluide .

Données :

Capacité calorifique massique de l'eau liquide $c_l = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Exercice 3: association de deux cycles dithermes .

On considère un dispositif de chauffage d'une pièce maintenue à la température de 300 K , l'extérieur de l'habitation étant supposée à 270 K .

Un moteur réversible reçoit le transfert thermique Q d'une chaudière à 600 K et fournit q à une source

froide à la température de 270K.

Le travail fourni par le moteur sert à faire fonctionner une pompe à chaleur réversible qui pompe q' à la source à la température de 270K et fournit Q' à la pièce à chauffer, à la température de 300K.

Calculer $\eta = \frac{Q'}{Q}$

Exercice 4 : fabrication d'un sorbet maison .

Une sorbetière est une machine permettant de fabriquer des glaces faites maison. La préparation (basiquement fruits, eau et sucre), sortie du réfrigérateur, est versée dans un bol sorti du congélateur. Ce bol contient une solution saline dont la fusion progressive permet de récupérer une grande quantité d'énergie à basse température, et donc de refroidir efficacement la préparation. Un petit moteur fait tourner une pale qui agite le mélange, jusqu'à la prise en glace.

On modélise l'ensemble de la façon suivante :

→ la préparation de masse m est initialement liquide à 0°C , elle commence à solidifier dès qu'elle est versée ;

→ le bol de la sorbetière demeure à température constante $T_0 = -15^\circ\text{C}$;

→ la température T du mélange est uniforme ;

→ la puissance thermique échangée entre le mélange et le bol de la sorbetière s'écrit $P = \alpha(T - T_0)$;

→ les échanges thermiques avec l'air sont négligés pour simplifier.

On note c la capacité thermique massique de la glace, et $\Delta_{\text{fus}}h$ son enthalpie de fusion.

1 - Quelle est la durée nécessaire à ce que le mélange solidifie complètement ?

2 - La glace est meilleure à déguster à $T^* = -8^\circ\text{C}$. Combien de temps supplémentaire faudra-t-il patienter une fois la glace totalement solidifiée avant de se régaler ?

Exercice 5: surfusion

Dans un tube à essais, on a 30,0 g de phosphore en surfusion (c'est à dire dans un état liquide à une température inférieure à la température de fusion, c'est un état métastable) à la température $\theta^\circ\text{C}$. La surfusion cesse brusquement par addition d'un monocristal ou par une petite perturbation physique. On travaille sous la pression atmosphérique. On donne le point de fusion du phosphore $\theta_f = 44^\circ\text{C}$, les capacités thermiques massiques pour le phosphore solide $c_s = 0,795 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et pour le phosphore liquide $c_l = 0,837 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. L'enthalpie de fusion du phosphore à la température $\theta_f = 44^\circ\text{C}$, $L_f = 20,9 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$.

1- Déterminer la température et la composition du système à l'équilibre final (en négligeant les pertes thermiques du contenu du tube) dans le cas où la surfusion était obtenue à $\theta = 42,0^\circ\text{C}$. Calculer la variation d'entropie .

2- Mêmes questions pour une surfusion réalisée à une température beaucoup plus basse à savoir $\theta = 12,5^\circ\text{C}$.

Exercice 6 :Laminage du fréon

On détend 1 kg de fréon dans un robinet de laminage (détente de Joule-Thomson : adiabatique, isenthalpique) à partir d'un état 1 correspondant au liquide de saturation à $T_1 = 303 \text{ K}$ et qui amène à un état 2 de température $T_2 = 237 \text{ K}$. Le robinet de laminage est supposé parfaitement calorifugé.

1- Déterminer cet état final. On précisera les valeurs de h_2 , x et s_2 . On donne pour l'équilibre liquide-vapeur et pour les températures T_1 et T_2 les pressions d'équilibre, ainsi que les enthalpies et entropies massiques dans le tableau suivant. Calculer la création d'entropie massique lors de l'opération de laminage.

	$P(\text{bar})$	$h_l (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$h_v (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$s_l (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	$s_v (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
T_2	0,8	387	556	4,061	4,776
T_1	7,7	448	586	4,286	4,743

2- Calculer x et la variation d'entropie massique en supposant connues la capacité thermique massique du liquide $c_l = 0,92 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et la chaleur latente de vaporisation vaut $L_{\text{vap}}(T_2) = 169 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Exercice 7: pompe à chaleur

Une pompe à chaleur utilise un lac à la température $T_F = 10^\circ\text{C}$ comme source froide pour vaporiser entièrement une masse $M = 1,5 \text{ kg}$ d'eau (qui constitue la source chaude) initialement à une température $T_0 = T_F$ inférieure à la température de vaporisation $T_{\text{vap}} = 100^\circ\text{C}$ sous pression atmosphérique $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. La capacité calorifique massique de l'eau liquide supposée indépendante de la température est notée c et vaut $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ et l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau liquide sous P_0 est notée $L_{\text{vap}} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1- Donner l'expression du transfert thermique Q_{eau} à fournir à la masse M d'eau liquide lors de cette opération. Faire l'application numérique.

Lors d'un cycle, le fluide caloporteur de la pompe à chaleur reçoit un transfert thermique δQ_F de la source froide à la température constante T_F un travail δW , un transfert thermique δQ_C de la source chaude à la température variable T_C . L'entropie créée lors du cycle est notée δS_C . La durée du cycle est petite devant la durée de l'ensemble de la transformation, de telle sorte qu'on peut assimiler un cycle à une transformation élémentaire.

2- Donner les signes de δQ_C , δQ_F , δW et δS_C . Donner les deux relations entre ces grandeurs qui traduisent le premier et le deuxième principe de thermodynamique.

3- Avant d'atteindre la température T_{vap} lors d'un cycle la température de la masse M d'eau évolue de T_C à $T_C + dT_C$. Exprimer le travail minimal à fournir à la pompe pour élever la température de la source chaude de T_0 à T_{vap} .

4- Puis exprimer le travail minimal à fournir à la pompe à chaleur pour vaporiser la masse M d'eau liquide.

5- Calculer numériquement le travail total à fournir au cours de ces deux étapes W_{mn} . Déterminer l'efficacité maximale de la pompe à chaleur.

Exercice 8: moteur thermique avec sources variables

Un moteur thermique fonctionne réversiblement entre deux sources de températures variables au cours du temps ou pseudo-sources :

- La température de la source chaude est notée $T_C(t)$
- la température de la source froide est notée $T_F(t)$

Les sources sont de même capacités thermiques $C = 400 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$, leurs températures initiales sont respectivement $T_{0C} = 373 \text{ K}$ et $T_{0F} = 283 \text{ K}$.

1- Déterminer la relation liant $T_C(t)$, $T_F(t)$, T_{0C} et T_{0F} .

2- Déterminer la température finale T_{eq} atteinte par les deux sources lorsque le moteur cesse de fonctionner.

3- Déterminer le travail W fourni par le moteur pendant toute la durée du fonctionnement.

4- Calculer le rendement de ce moteur et le comparer avec le rendement théorique maximal (cycle de Carnot réversible) obtenu si les températures des sources restent égales à leur valeurs initiales.