

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 :un bon bain

On désire prendre un bain avec une eau dont la température est de 32°C . On veut remplir un volume $V = 100\text{L}$ d'eau . Pour le remplir , on dispose de deux réservoirs d'eau : un réservoir d'eau chaude de température $60,0^\circ\text{C}$ et un réservoir d'eau froide de température $18,0^\circ\text{C}$. On négligera la capacité thermique de la baignoire et on supposera qu'il n'y a aucune perte thermique .

Quel volume doit-on prélever dans chacun des réservoirs pour pouvoir prendre le bain ?

Exercice 2:détente d'un gaz parfait

Un gaz parfait est contenu dans un récipient cylindrique vertical limité par un piston de masse négligeable . Les parois du récipient et le piston sont adiabatiques .

Dans l'état d'équilibre initial E1 on a placé une masse m sur le piston . La pression du milieu extérieur reste constante et égale à P_0 , le volume vaut V_0 et la température est égale à T_0 .

On considère une mole de gaz $\gamma = 1,4$; $T_0 = 290\text{ K}$, on appelle S la section du piston .

1- Que vaut la pression P_1 du gaz dans l'état initial ?

2- On supprime brusquement la masse m . On considérera que le piston peut se déplacer sans frottements , et que le nouvel état d'équilibre E2 (P_f , V_f , T_f) est atteint grâce à des phénomènes dissipatifs internes du gaz .

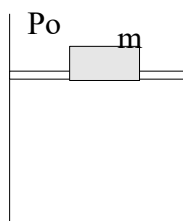
a- Déterminer les caractéristiques de ce nouvel état d'équilibre E2 . On posera $x = \frac{P_1}{P_0}$.

AN : Calculer les valeurs des rapports $\frac{V_f}{V_0}$ et $\frac{T_f}{T_0}$. On a $x = 1,5$.

b- En déduire le travail reçu W_{irr} ainsi que la variation d'entropie ΔS_{irr} .

3- On revient au même état initial et on diminue la masse m très progressivement jusqu'à l'annuler .

Reprendre les questions 2a- et 2b- .

**Exercice 3:**chauffage d'un gaz par effet Joule .

Un récipient de volume total fixe $2V_0$ ($V_0 = 10,0\text{ L}$) est divisé en deux compartiments par une membrane mobile de surface S mobile sans frottement .

Les parois du compartiment de droite permettent les transferts thermiques alors que celles du compartiment de gauche ainsi que la membrane sont adiabatiques . . Initialement l'air (gaz parfait de coefficient de Laplace $\gamma = 1,4$) contenu dans chacun des deux compartiments est à la température $T_0 = 300\text{ K}$ et à la pression $P_0 = 10^5\text{ Pa}$, l'air extérieur au récipient étant à T_0 .

A l'intérieur du compartiment de gauche se trouve une résistance $R = 10 \, \Omega$.

Cette résistance est parcourue par un courant continu d'intensité $I = 1 \text{ A}$. On arrête le courant après une durée τ , dès que la pression dans le compartiment de gauche vaut $P_1 = 2 P_0$. Les transformations sont supposées être lentes.

- 1- Quelles sont les pression P_2 , température T_2 et volume V_2 dans le compartiment de droite à la fin de l'expérience ?
- 2- Quelle est la température finale T_1 dans le compartiment de gauche ?
- 3- Quelle hypothèse peut-on faire sur la transformation subie par le gaz du compartiment de droite ?
- 4- Que travail W_2 a été reçu par le gaz du compartiment de droite. Et celui W_1 reçu par le gaz du compartiment de gauche ?
- 5- Quelle est la durée τ du chauffage ?

Exercice 4: 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 5: calorimétrie

Des petites billes de verre de masse totale $m_1 = 50 \text{ g}$ sont placées dans un four maintenu à une température $t_1 = 80 \, ^\circ\text{C}$. Elles sont ensuite plongées dans un calorimètre contenant une masse $m_2 = 100 \text{ g}$ d'eau à la température $t_2 = 20 \, ^\circ\text{C}$. Les transferts thermiques s'effectuent à l'intérieur de l'enceinte adiabatique constituant le calorimètre sous la pression atmosphérique.

- 1- Calculer la température d'équilibre finale T_f .
- 2- Déterminer la variation d'entropie du verre et l'entropie créée dans la calorimètre.

Données :

Capacité thermique massique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$

Capacité thermique massique du verre $c_{\text{verre}} = 870 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

Capacité thermique du calorimètre $C = 150 \text{ J.K}^{-1}$

Exercice 6: 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 270 K .

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 270 K et fournit Q' à la pièce à chauffer, à la température de 300 K .

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

Exercice 7 : 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, elle commence à solidifier dès qu'elle est versée ;
- le bol de la sorbetière demeure à température constante $T_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 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 $T^* = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Combien de temps supplémentaire faudra-t-il patienter une fois la glace totalement solidifiée avant de se régaler ?

Exercice 8: surfusion

Dans un tube à essais, on a 30,0 g de phosphore en surfusion 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 $\theta_f = 44\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $L_f = 20,9\text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$.

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 $\theta = 42,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Calculer la variation d'entropie .

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

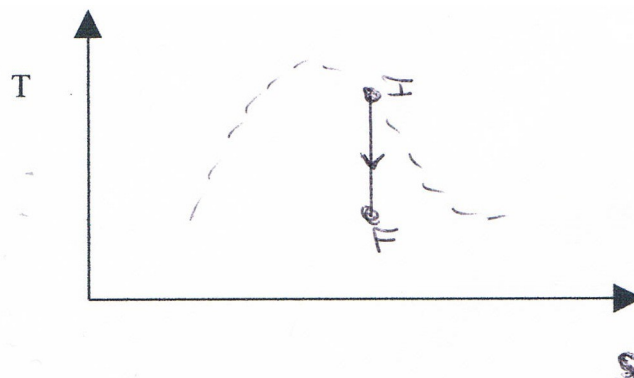
Exercice 9 : machine à vapeur

Dans un cycle de machine à vapeur , la phase motrice est une détente de vapeur dans un cylindre fermé par un piston mobile . Cette détente est suffisamment rapide pour que les transferts thermiques n'aient pas le temps d'être quantitatifs : nous supposons donc la détente adiabatique . Pour simplifier , nous la supposons aussi réversible , ce qui suppose notamment que les frottements sont négligeables . Il en résulte que la détente est isentropique

Dans le diagramme entropique (T, s) ci-dessous , l'évolution isentropique I - F est représentée par le segment vertical IF . L'état initial I correspond à une vapeur saturante sèche (c'est-à-dire que $x_{v1} = 1$) à la température $T_1 = 485\text{ K}$ et à la pression $p_1 = 20\text{ bars}$.

L'état final F correspond à une vapeur saturante à la température $T_2 = 373\text{ K}$ et à la pression $p_2 = 1\text{ bar}$.

On cherche à déterminer le titre en vapeur x_v dans l'état final



1-Déterminer x_v titre en vapeur dans l'état F à partir des données suivantes :

Enthalpie de vaporisation à $T_1 = 485\text{ K}$ $L_1 = 1892\text{ kJ.kg}^{-1}$

Enthalpie de vaporisation à $T_2 = 373 \text{ K}$ $L_2 = 2258 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Capacité thermique massique de l'eau = $c = 4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.

2- Déterminer x_v à partir des données suivantes :

Liquide juste saturé $x_v = 0$				Vapeur saturante sèche $x_v = 1$			
T	P	v_l	h_l	s_l	v_v	h_v	s_v
K	bar	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	kJ.kg^{-1}	$\text{kJ.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	kJ.kg^{-1}	$\text{kJ.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
485	20	$1,18 \cdot 10^{-3}$	909	2,45	0,0998	2801	6,35
373	1	$1,04 \cdot 10^{-3}$	418	1,30	1,70	2676	7,36

Exercice 10: détente isochore d'une vapeur d'eau

Un récipient fermé et indéformable, de volume $V = 1,00 \text{ L}$, contient dans l'état initial I de la vapeur d'eau saturante à $T_1 = 485 \text{ K}$. On le met en contact avec un thermostat à température $T_0 = 373 \text{ K}$. L'équilibre atteint est l'état F .

Donnée : extrait de table de la vapeur saturante.

		Liquide juste saturé $x_v = 0$			Vapeur saturante $x_v = 1$		
T	p	v_L	h_L	s_L	v_V	h_V	s_V
K	bar	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
485	20	$1,18 \times 10^{-3}$	909	2,45	0,0998	2801	6,35
373	1	$1,04 \times 10^{-3}$	418	1,30	1,70	2676	7,36

- 1 - Déterminer la masse d'eau contenue dans le récipient.
- 2 - Montrer que l'état final est un mélange diphasé. Calculer son titre en vapeur.
- 3 - Quelles sont les caractéristiques de la transformation ? Déterminer la chaleur échangée par l'eau.
- 4 - Calculer l'entropie dans les états I et F . Conclure sur le caractère réversible ou non de la transformation étudiée.

Exercice 11 :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 12 : 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 $C = 400 \text{ kJ.K}^{-1}$, 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 .