

CHANGEMENTS D'ETAT DES CORPS PURS

Exercice 1 : Pression de vapeur saturante

On considère une enceinte cylindrique indéformable séparée en deux compartiments A et B de même volume $V_A = V_B = 5\text{L}$ par une cloison fixe. L'ensemble est maintenu à la température $T = 100^\circ\text{C}$ et est initialement vide.

On introduit dans le compartiment A une masse $m_A = 2\text{g}$ d'eau liquide et dans le compartiment B une masse $m_B = 4\text{g}$ d'eau liquide.

On donne pour l'eau : $M = 18\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; pression de vapeur saturante $P_S(100^\circ\text{C}) = 1\text{bar}$

La vapeur d'eau sèche et la vapeur saturante seront considérées comme des gaz parfaits.

Déterminez la pression finale régnant dans chacun des compartiments A et B et dans quel(s) état(s) se trouve l'eau dans chacun des deux. Précisez si besoin la fraction molaire en vapeur.

Exercice 2 : Calorimétrie

Dans un récipient parfaitement calorifugé contenant une masse $M = 1\text{kg}$ d'eau à $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$, on place un bloc de glace à $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ de masse $m = 500\text{g}$. La pression est égale à 1,013 bar.

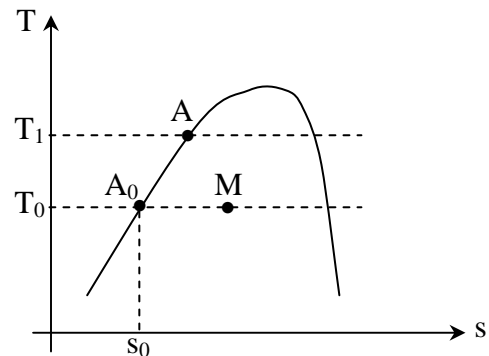
1. Calculez la température de l'eau à l'équilibre en faisant l'hypothèse que toute la glace a fondu. Conclusion ?
2. Déterminez la composition du mélange à l'équilibre.
3. Vérifiez que la transformation est irréversible.

Données : capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,2\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,

chaleur latente massique de fusion de la glace sous 1,013 bar : $\ell_f = 336\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

Exercice 3 : Machine frigorifique

On considère la courbe de saturation du fluide d'une machine frigorifique. A_0 est un point de cette courbe, sur la partie courbe d'ébullition. On définit T_0 et s_0 (entropie massique) associés à ce point.



1. Questions préliminaires

a- Déterminez l'expression de l'entropie massique de A situé sur la courbe d'ébullition à la température T_1 en supposant la capacité thermique massique c_{liq} constante sur cette courbe en fonction de c_{liq} , T_1 , T_0 et s_0 .

b- Déterminez l'entropie massique pour M sur le palier T_0 en fonction de x (titre massique en vapeur), T_0 , s_0 et l_0 (chaleur latente massique de vaporisation à la température T_0).

2. Cycle décrit par le fluide

On considère 1kg de fluide parcourant le cycle DABCD avec D sur la courbe de rosée et A sur la courbe d'ébullition.

- ⇒ DA : Liquéfaction totale isotherme T_1
- ⇒ AB : Détente isentropique jusqu'à (T_0, x_1)
- ⇒ BC : Vaporisation isotherme jusqu'à x_2
- ⇒ CD : Compression isentropique

a- Représentez les transformations dans le diagramme T,s.

b- Déterminez x_1 et x_2 en fonction de c_{liq} , T_0 , T_1 , l_0 et/ou l_1 (chaleur latente massique de vaporisation à la température T_1).

c- Calculez les transferts thermiques Q_0 et Q_1 pour les transformations BC et DA.

d- Déduisez-en le travail échangé au cours du cycle.

e- Calculez l'efficacité de la machine.

AN : $T_0=268K$ et $T_1=288K$

Exercice 4 : Machine à vapeur

On adopte le modèle de machine à vapeur suivant : un système fermé constitué de 1 kg d'eau sous deux phases liquide et vapeur décrit un cycle ABCD. Les évolutions BC et DA sont adiabatiques et réversibles ; les évolutions AB et CD sont isothermes et isobares. On note x le titre massique en vapeur. Les données concernant le cycle sont résumées dans le tableau ci-après.

	A	B	C	D
p en bar	20	20	1	1
T en K	485	485	373	373
x	0	1	0,83	0,19

On donne les extraits de tables thermodynamiques suivants :

T (K)	P(bar)	h_L (kJ.kg ⁻¹)	h_V (kJ.kg ⁻¹)
		Liquide juste saturé $x_V = 0$	Vapeur saturante-sèche $x_V = 1$
485	20	909	2801
373	1	418	2676

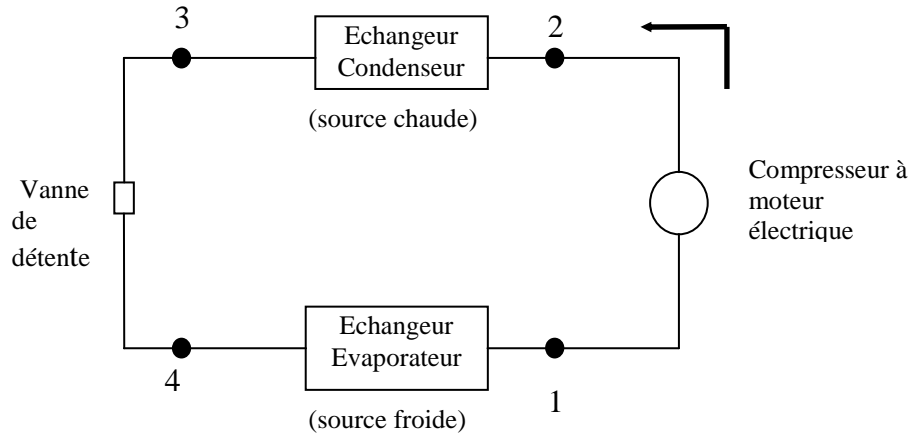
- 1) Dessinez le cycle de transformations subies par l'eau. La machine à vapeur est-elle un moteur ou un récepteur ?
- 2) Calculez les enthalpies massiques h_C et h_D .
- 3) Calculez les transferts thermiques reçus par l'eau au cours de chacune des évolutions AB, BC, CD et DA, puis le travail total W.
- 4) Définissez le rendement thermodynamique η de la machine à vapeur et calculez-le. Comparez η à l'efficacité d'un moteur de Carnot fonctionnant entre des sources de températures $T_C = 485 K$ et $T_F = 373 K$; commentez.

Exercice 5 : Détermination d'une efficacité par lecture graphique

Une machine frigorifique est utilisée dans un pays chaud pour maintenir à 0°C un local contenant des denrées périssables. Cette machine contient un fluide frigorigène de type Fréon dont le diagramme Température-Entropie massique (t - s) est joint en fin de T.D.. Le mélange liquide-vapeur est situé dans la zone centrale sous la courbe de saturation. Sur ce diagramme apparaissent les isobares et les isenthalpes.

Cette machine ditherme qui fonctionne en régime permanent échange de la chaleur avec une source chaude à 40°C (atmosphère extérieure) et une source froide à 0°C (local réfrigéré).

Le schéma général de fonctionnement avec sens de circulation du fluide est défini ci-contre :



Compte tenu du faible débit de fréon circulant dans les tuyauteries de la machine, les variations d'énergie cinétique seront négligées dans tout le problème.

Le cycle décrit par le fréon présente les caractéristiques suivantes :

- La compression de 1 à 2 est adiabatique et réversible.
- Le passage dans les deux échangeurs (condenseur et évaporateur) est isobare (de 2) à 3) et 4) à 1).
- La vanne est considérée comme un tuyau indéformable et ne permettant pas les échanges de chaleur. La détente y est isenthalpique.
- La température du Fréon lors de l'évaporation dans l'évaporateur est - 10°C.
- La pression de fin de compression en 2) est 15 bars.
- Le point 3) est du liquide saturé.
- La quantité de chaleur échangée dans l'évaporateur avec le local permet une évaporation complète du Fréon venant de 4) et conduit la vapeur de façon isobare jusqu'à la température de - 10°C (point 1), état saturé).

1. Placer les 4 points du cycle (1), 2), 3), 4)) sur le diagramme, y représenter le cycle et déterminer, par lecture et interpolation linéaire sur ce même diagramme, les valeurs de P, t, h, s en ces différents points. Regrouper les résultats dans un tableau.
2. Comment peut-on trouver, de deux façons différentes, sur le diagramme la valeur de la chaleur latente massique l_v de vaporisation du Fréon à une température t_0 donnée ?
Application numérique : Si $P_0 = 3$ bars, quelles sont les valeurs de l_v et de t_0 ?
3. Après avoir démontré le théorème des moments en diagramme (t,s), calculer le titre x en vapeur du point 4) de la machine frigorifique. Peut-on définir un titre y en liquide ? Quelle est sa valeur en 3) ?
4. Calculer la quantité de chaleur massique q_F échangée par le fréon avec le local. Calculer de même l'énergie électrique fournie lors de la compression.
5. Calculer l'efficacité de la machine frigorifique.

Quelques résultats :

Exercice 1 : 1) $P_A = 0,689 \text{ bar}$; $P_B = 1 \text{ bar}$; 2) $x_{VA} = 1$; $x_{VB} = 0,725$

Exercice 2 : 1) $T_{eq} = -13,3^\circ\text{C}$; 2) $1,250 \text{ kg}$ d'eau liquide ; 3) $S_c = 10,7 \text{ J.K}^{-1} > 0$.

Exercice 3 : 1) $s_1 = s_0 + c_{liq} \ln(T_1/T_0)$, $s_M = s_0 + x l_0/T_0$;

$$2b) x_1 = \frac{T_0}{l_0} C_{liq} \ln \frac{T_1}{T_0} ; x_2 = \frac{T_0}{l_0} \left(\frac{l_1}{T_1} + C_{liq} \ln \frac{T_1}{T_0} \right) ; 2e) e = T_0/(T_1 - T_0) = 13,4$$

Exercice 4 : 2) $h_C = 2292 \text{ kJ.kg}^{-1}$; $h_D = 847 \text{ kJ.kg}^{-1}$;

3) $q_{AB} = 1892 \text{ kJ.kg}^{-1}$; $q_{CD} = -1445 \text{ kJ.kg}^{-1}$; $w = -447 \text{ kJ.kg}^{-1}$;

4) $\eta = 24 \% = \eta_{Carnot}$

Exercice 5 : 1)

	Pression (bar)	Température (°C)	Enthalpie massique (kJ.kg ⁻¹)	Entropie massique (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
Etat 1, vapeur saturée	2,2	-10	184	0,7
Etat 2, vapeur sèche	15	67	216	0,7
Etat 3, liquide saturé	15	60	96	0,335
Etat 4, mélange L+V	2,2	-10	96	0,365

2) $t_0 = 0^\circ\text{C}$, $l_V = 148 \pm 5 \text{ kJ.kg}^{-1}$

3) $x_4 = 0,44$ et $y_3 = 1$

4) $q_F = 88 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $w_{comp} = \Delta h_{12} = 32 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

5) $e = 2,75$

