

TD – Diagrammes d'état des fluides réels purs

Remarque : exercice avec ★ : exercice particulièrement important, à maîtriser en priorité (de même que les exemples de questions de cours des “ce qu'il faut savoir faire”) | [●○] : difficulté des exercices

I Vrai-faux/questions courtes

★ | [●○]

- 1 - Rappeler ce que signifie liquide saturé, et vapeur saturée.
- 2 - On considère un corps pur à l'équilibre liquide-vapeur, on note m la masse totale, m_l celle de liquide et m_v celle de vapeur.
 - a - Rappeler les définitions des volumes massiques v , v_l et v_v .
 - b - À l'aide de ces définitions, démontrer la relation $v = x_l v_l + x_v v_v$.
- 3 - Sous 1 bar et à 25°C, que vaut le volume massique v_l pour l'eau ? et le volume massique v_v pour l'air (en ordre de grandeur pour ce dernier) ?
- 4 - Quel est l'ordre de grandeur de l'enthalpie de vaporisation de l'eau sous 1 bar ?
- 5 - Pour chacune des transformations suivantes réalisées à pression constante, dire si elle est endothermique (reçoit de la chaleur) ou exothermique (produit de la chaleur) :
 - vaporisation d'eau liquide ;
 - fonte d'un glaçon ;
 - liquéfaction d'un gaz.
- 6 - Pour un gaz parfait, dans un diagramme $p-v$, tracer l'allure d'une évolution isotherme, d'une évolution isentropique, puis d'une isobare, d'une isochore et d'une isenthalpe.
Faire de même dans le diagramme $T-s$.

II Détermination de la composition d'un mélange diphasique ★ | [●○]

On considère une enceinte initialement vide de volume $V_0 = 0.50$ L. On fait en sorte de maintenir sa température à $T_0 = 250^\circ\text{C}$.

- 1 - En utilisant le diagramme de Clapeyron de l'eau (documents de la fiche de début de chapitre), donner à cette température la valeur du volume massique de la vapeur sèche saturée, ainsi que le volume massique du liquide saturé.
- 2 - On place dans cette enceinte une masse $m = 15$ g d'eau. Déterminer la composition du fluide dans l'état final.
- 3 - Même question mais avec initialement 5 g d'eau liquide.

(On doit trouver : 1- $v_v = 0.050$ m³/kg, 2- $x_v = 0.66$ que l'on néglige ou non v_l , 3- $x_v = 1$.)

III Détermination de la composition d'un mélange diphasique [●○]

Dans une installation frigorifique, on détend un gaz de façon adiabatique et isenthalpique (son enthalpie massique se conserve). L'état initial est un liquide saturé à la pression $p_1 = 12$ bar, et l'état final est un mélange diphasique liquide-vapeur à $p_2 = 2$ bar dont on note x_v le titre massique en vapeur.

On donne les données thermodynamique du fluide réfrigérant R134a dans le tableau suivant, où un indice l indique une grandeur pour le liquide saturé, et un indice v pour la vapeur saturée :

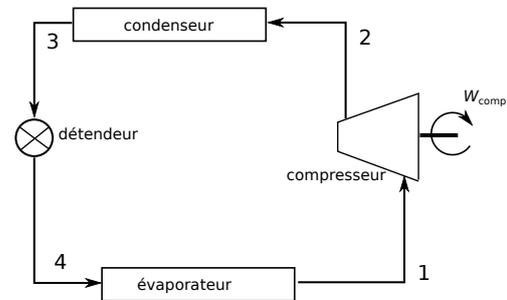
	h_l (kJ · kg ⁻¹)	h_v (kJ · kg ⁻¹)	s_l (kJ · K ⁻¹ · kg ⁻¹)	s_v (kJ · K ⁻¹ · kg ⁻¹)
$p_1 = 12$ bar	117.77	273.87	0.42441	0.91303
$p_2 = 2$ bar	38.43	244.46	0.15457	0.93773

- 1 - Exprimer l'enthalpie massique dans l'état 2.
- 2 - En déduire l'expression et la valeur du titre massique en vapeur dans l'état 2.
- 3 - Calculer l'entropie massique dans l'état 2, puis en déduire la création massique d'entropie lors de cette transformation.

IV Exploitation de diagrammes : machine frigorifique au fréon ★ | [●○○]

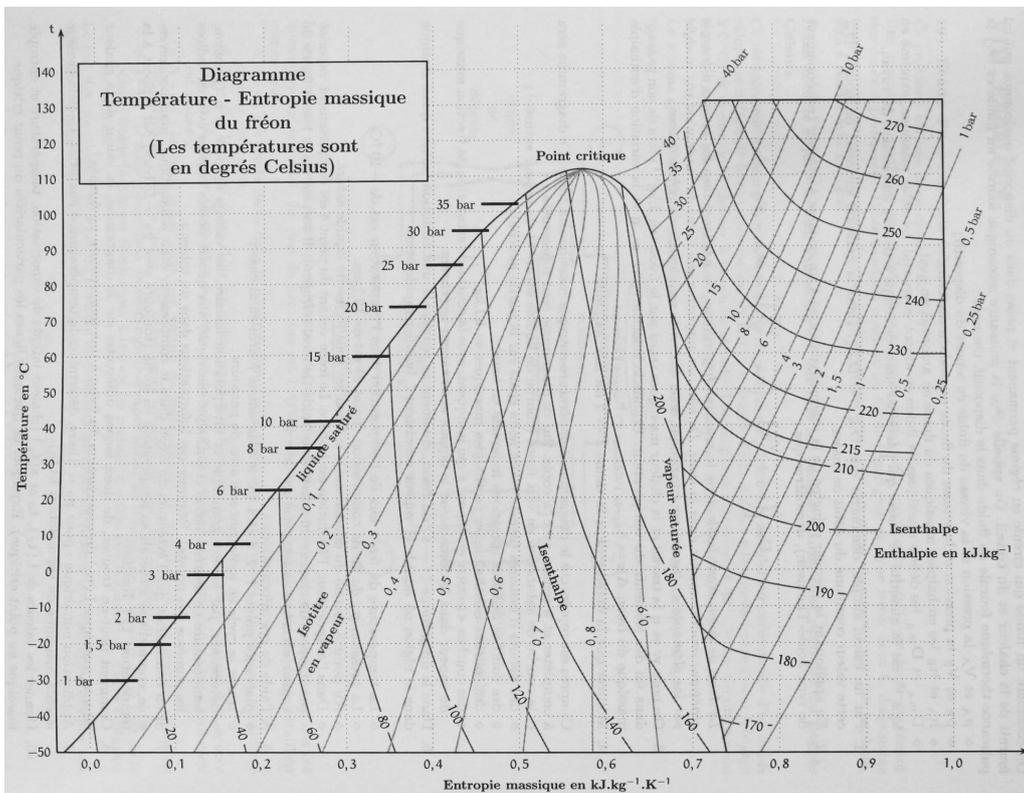
On considère une machine frigorifique qui utilise du fréon. Un cycle se compose de quatre étapes :

- Entre les étapes 2 et 3, le fréon passe d'un état de vapeur saturée jusqu'à un état de liquide sur la courbe d'ébullition. Ce changement d'état se fait de façon isobare dans un échangeur thermique, à la fluide étant à une température constante de 40 °C.
- L'étape 3 → 4 est une détente isenthalpique et adiabatique, et l'étape 1 → 2 est une compression adiabatique réversible.
- Entre 4 et 1, le fluide se vaporise en partie. On suppose que ce changement d'état s'effectue de façon isotherme et isobare à la température 0 °C.



On donne le diagramme $T-s$ du fréon ci-dessous.

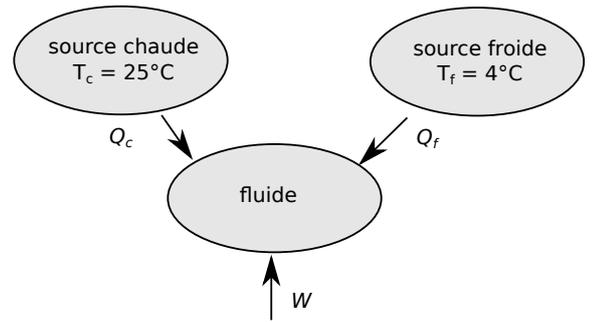
- 1 - Sur le diagramme, indiquer la zone où le fluide est liquide, gazeux, et en équilibre diphasique.
- 2 - Tracer le cycle décrit dans l'énoncé.
- 3 - En lisant le diagramme, indiquer : le titre de vapeur dans l'état 4, l'enthalpie massique en 4 et 1, les pressions sur chaque palier de changement d'état.
- 4 - Calculer le transfert thermique (ou chaleur) reçu par unité de masse du fluide lors de l'évolution 4 → 1.



On a dessiné ci-contre le diagramme habituel pour les machines thermiques dithermes.

5 - Dans le cas présent :

- Concrètement, qu'est ce que la source chaude ? et la source froide ?
- Quel est le signe du travail W indiqué sur ce schéma ? À quelle(s) étape(s) du cycle correspond-il ?
- Même question pour Q_c puis pour Q_f .
- Cette machine est destinée à faire refroidir son compartiment interne. Quelles étapes doivent se dérouler à l'intérieur du compartiment frigorifique, et quelle(s) étape(s) doivent se dérouler à l'extérieur pour avoir le fonctionnement attendu ?



V Pression de vapeur saturante

[• ○ ○]

Des randonneurs veulent faire cuire des pâtes alors qu'ils sont situés à une altitude de 4000 m. Le sachet indique une cuisson en 3 minutes. Mais l'un des randonneurs fait remarquer que ce temps de cuisson correspond à 3 minutes dans de l'eau en ébullition à 100°C, alors que là où ils sont situés la pression est de $p_0 \exp(-4/8.6) = 0.6$ bar, et donc la température d'ébullition de l'eau est plus basse : les pâtes mettront plus longtemps à cuire et leurs réserves de gaz risquent de s'épuiser.

1 - A-t-il raison de dire que la différence de température d'ébullition est significative ?

On donne la formule de Duperray pour la pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température, qui est une approximation valable (à 10% près) autour de $p = 1$ bar et que l'on peut utiliser ici : $p_{\text{sat}}(T) = p_0 \left(\frac{\theta}{100^\circ\text{C}} \right)^4$, avec $p_0 = 1.0$ bar et θ la température en °C.

Un second randonneur explique que ce n'est pas un souci, car il a emporté avec lui une cocotte-minute. La notice de la cocotte indique qu'une fois fermée, elle constitue un récipient hermétique, muni d'une soupape qui laisse s'échapper l'air si la pression à l'intérieur dépasse les 1.8 bar.

2 - En utilisant la cocotte-minute, à quelle température les pâtes vont-elles cuire ? Conclure sur l'avantage d'une cocotte-minute.

VI Canette auto-réfrigérante

[• • ○]

Il existe des canettes de boisson auto-réfrigérante (chercher par exemple sur Internet). Le principe est le suivant : il y a dans la canette un compartiment qui contient du diazote entièrement liquide sous pression. À l'ouverture de la canette, ce compartiment est également ouvert, et le diazote se détend et se vaporise entièrement, en passant à travers un serpentín qui passe dans la boisson. Il finit rejeté à l'extérieur.

On prendra pour la boisson un volume de 33 cl, et une capacité thermique massique égale à celle de l'eau ($c = 4.2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$). Pour le diazote, on suppose que sa masse est de 60 g, et on prend $l_{\text{vap}}(20^\circ\text{C}) = 200 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On supposera que tout se passe assez rapidement pour négliger les échanges thermiques avec l'extérieur.

1 - "Poser le problème" en écrivant ce qu'est l'état initial et l'état final du dispositif étudié.

2 - En spécifiant bien le système choisi, appliquer le premier principe pour exprimer le refroidissement de la boisson.

Faire l'application numérique et comparer avec la publicité qui indique un refroidissement de 10°C en 5s.

VII Glace dans l'eau



Résolution de problème

J'ajoute un glaçon dans un verre d'eau. De combien de degrés la température va-t-elle baisser ? On attend un résultat numérique.

Remarque : Le problème énoncé est volontairement imprécis, il s'agit d'une question qui n'est pas formulée directement dans le langage physique. Il faut donc modéliser le problème, faire des hypothèses, aller chercher les valeurs numériques des grandeurs pertinentes dans le cours ou sur Internet (ou demander à l'examineur si c'est un oral).

La démarche de résolution générale d'un tel problème reprend celle déjà exposée sur les grilles d'évaluation de colle :

- On "pose le problème" : schéma du problème, on identifie les grandeurs pertinentes et on leur donne un symbole, on estime leurs valeurs numériques. En thermodynamique, on peut commencer par identifier la transformation et ce que l'on connaît/cherche dans les états initial et final.
- On cherche une stratégie pour résoudre le problème : écrire les relations connues entre les grandeurs, faire des hypothèses.
- On met en œuvre la stratégie : on se lance dans les calculs, on fait les applications numériques.
- On a un regard critique sur les résultats obtenus : formules homogènes, valeurs numériques réalistes. On commente le résultat.