

Thermodynamique 2

Transition de phase des corps purs.

Th21 Vaporisation irréversible de l'eau dans le vide

Dans une enceinte initialement vide de volume constant $V_0 = 400$ litres thermostatée à la température $T = 373$ K, on place une ampoule scellée entièrement remplie sous la pression $P = 1,013 \cdot 10^5$ Pa d'une masse $m = 100$ g d'eau à l'état liquide. Par un dispositif interne, on casse l'ampoule ; déterminer :

- 1°) la pression finale ;
- 2°) la variation d'entropie de l'univers au cours de la transformation.

On donne : chaleur latente massique de vaporisation de l'eau à 373 K : $L_v = 2257$ kJ.kg⁻¹,

pression de vapeur saturante de l'eau à 373 K : $P_s = 1,013 \cdot 10^5$ Pa.

masse molaire de l'eau : $M = 18 \cdot 10^{-3}$ kg.

La vapeur sèche sera considérée comme un gaz parfait.

Th22 Etude du cycle d'un fluide réfrigérant.

On considère un liquéfacteur, où 1 kg de fluide réfrigérant, susceptible d'exister sous deux phases, liquide et vapeur, décrit le cycle suivant :

- une transformation isotherme amène l'état initial (représenté par un point de la courbe de rosée T_1, P_1) à l'autre extrémité du palier de saturation, sur la courbe d'ébullition ;
- le liquide obtenu est refroidi jusqu'à la température T'_1 à pression constante ;
- une détente à enthalpie constante amène le fluide à la température T_2 ($T_2 < T'_1$), où coexistent liquide et vapeur ;
- le mélange est ensuite partiellement évaporé à pression constante, jusqu'à l'intersection de l'isotherme T_2 avec l'adiabatique réversible passant par l'état initial ;
- on revient à l'état initial le long de l'adiabatique réversible.

1°) Tracer le cycle en diagramme P,v.

2°) On désigne par L_1 et L_2 les chaleurs latentes de vaporisation aux températures T_1 et T_2 , et par c_l la chaleur massique du liquide supposée constante. Calculer le transfert thermique retiré à la source froide par kg de fluide réfrigérant au cours de chaque cycle.

A.N : $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$; $\theta'_1 = 7,2^\circ\text{C}$; $\theta_2 = -5^\circ\text{C}$. $L_1 = 314$ kcal.kg⁻¹ ; $L_2 = 318$ kcal.kg⁻¹ ; $c_l = 0,164$ kcal.K⁻¹.

Th23 Condition de liquéfaction par détente

Un récipient parfaitement calorifugé, muni d'un robinet, contient initialement de l'Hélium, à la pression $p_0 = 80$ bars, à la température T_0 . Par ouverture du robinet, on provoque une fuite lente de l'Hélium jusqu'à atteindre la pression d'équilibre $p_1 = 1$ bar.

Déterminer la plage de températures T_0 permettant l'obtention, à l'intérieur du récipient, d'un mélange He liquide - He gaz à l'équilibre ?

On donne :

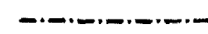
- température d'équilibre He liq \leftrightarrow He gaz sous $p_1 = 1$ bar : $T_1 = 4,22$ K
- chaleur de vaporisation de He à T_1 : $L_v = 20,8$ J g⁻¹
- l'isobare critique de l'hélium est inférieure à 80 bars.

Th24 Climatiseur.

On s'intéresse au fonctionnement d'un appareil de climatisation, dont le but est de maintenir une température constante ($T_0 = 20^\circ\text{C}$) dans un local été comme hiver. Les transferts thermiques du climatiseur se font avec 2 sources :

- L'intérieur de la pièce (à T_0).
- L'atmosphère extérieure (on prendra $T_1 = 0^\circ\text{C}$ en hiver ; $T_2 = 40^\circ\text{C}$ en été).

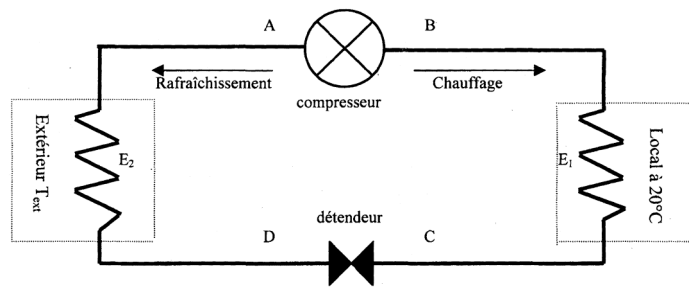
Le fluide caloporteur qui effectue des cycles dans l'appareil est l'ammoniac. Ses caractéristiques thermodynamiques sont résumées dans le diagramme entropique T(S) joint où sont représentées :

- les isenthalpiques (H est donné en kJ/kg) ;
- les isobares (représentées par  dans le domaine « vapeur sèche »).

On donne, par ailleurs, les pressions de vapeur saturante $P_s(T)$ aux trois températures d'étude :

$P_s(0^\circ\text{C}) = 4,3$ bars $P_s(20^\circ\text{C}) = 8,2$ bars $P_s(40^\circ\text{C}) = 15$ bars

Par un jeu de vannes adéquat, le fluide peut circuler dans un sens ou dans l'autre.



w et q représentent le travail et le transfert thermique utiles reçus par kilogramme de fluide traversant la partie active.

Le fluide subit des échanges de chaleur isobares (sans recevoir de travail utile) dans les échangeurs E_1 et E_2 avec les 2 sources de chaleur (local et atmosphère extérieure). Un système de ventilation permet d'améliorer les échanges thermiques : la température du fluide est celle de la source d'échange à la sortie de chacun d'entre eux.

Le compresseur comprime de manière adiabatique réversible le fluide à l'état gazeux de la plus faible à la plus forte pression. L'unité de masse de fluide traité y reçoit le travail utile w .

Le fluide subit une détente adiabatique, sans échange de travail utile, dans le détendeur

1. Généralités

1-1- Comment réalise-t-on un détendeur (détente isenthalpique d'un fluide) ? Quel autre nom porte une telle détente ?

1-2- Le premier principe de thermodynamique est bien vérifié dans une partie active ; c'est pourtant Δh (et non Δu) qui est égal à $(w + q)$... Expliquer qualitativement (sans entrer dans le détail d'une démonstration) cette différence.

1-3- En supposant que l'ammoniac, à l'état gazeux dans le compresseur, est assimilable à un gaz parfait de coefficient adiabatique γ constant, exprimer le rapport T_s/T_e (des températures absolues de sortie et d'entrée dans le compresseur) en fonction de γ et P_s/P_e (rapport des pressions de sortie et d'entrée du compresseur).

1-4- Par lecture du graphe, déduire les chaleurs latentes massiques de vaporisation de l'ammoniac à 0°C , 20°C et 40°C .

2. Fonctionnement hivernal du climatiseur (chauffage)

Dans ce cas :

- l'échangeur E_1 est un condenseur : l'ammoniac y entre en B sous forme de vapeur sèche ; il en ressort sous forme de liquide saturant en C, à la température T_0 du local ;
- l'échangeur E_2 est un évaporateur : le mélange liquide vapeur qui entre en D se vaporise totalement pour ressortir sous forme de vapeur saturante en A à la température de l'atmosphère extérieure $T_1 = 0^\circ\text{C}$.

2-1- Tracer le cycle (en l'orientant) de l'ammoniac sur le diagramme entropique. Trouver graphiquement sa température T_B à la sortie du compresseur.

2-2- Faire un bilan énergétique du cycle pour 1kg d'ammoniac traité.

2-3- Définir et calculer le coefficient de performance η du climatiseur. Quel intérêt présente une telle installation par rapport à un chauffage par chaudière ? Quel serait le coefficient de performance si le fluide effectuait des cycles de Carnot en effectuant les échanges thermiques avec les mêmes sources de chaleur ? En quoi le cycle effectué diffère-t-il d'un cycle de Carnot ?

2-4- Quelle est la fraction massique de vapeur X_D à la sortie du détendeur ?

2-5- En utilisant le résultat de la question 1-3-, évaluer γ du gaz ammoniac.

3. Fonctionnement estival du climatiseur (rafrâichissement)

Les rôles des 2 échangeurs sont inversés : E_1 est un évaporateur ; E_2 un condenseur.

3-1- Tracer le cycle (orienté) de l'ammoniac sur le diagramme entropique. En déduire sa température T'_A à la sortie du compresseur.

3-2- Définir et calculer le nouveau coefficient de performance η' du climatiseur.

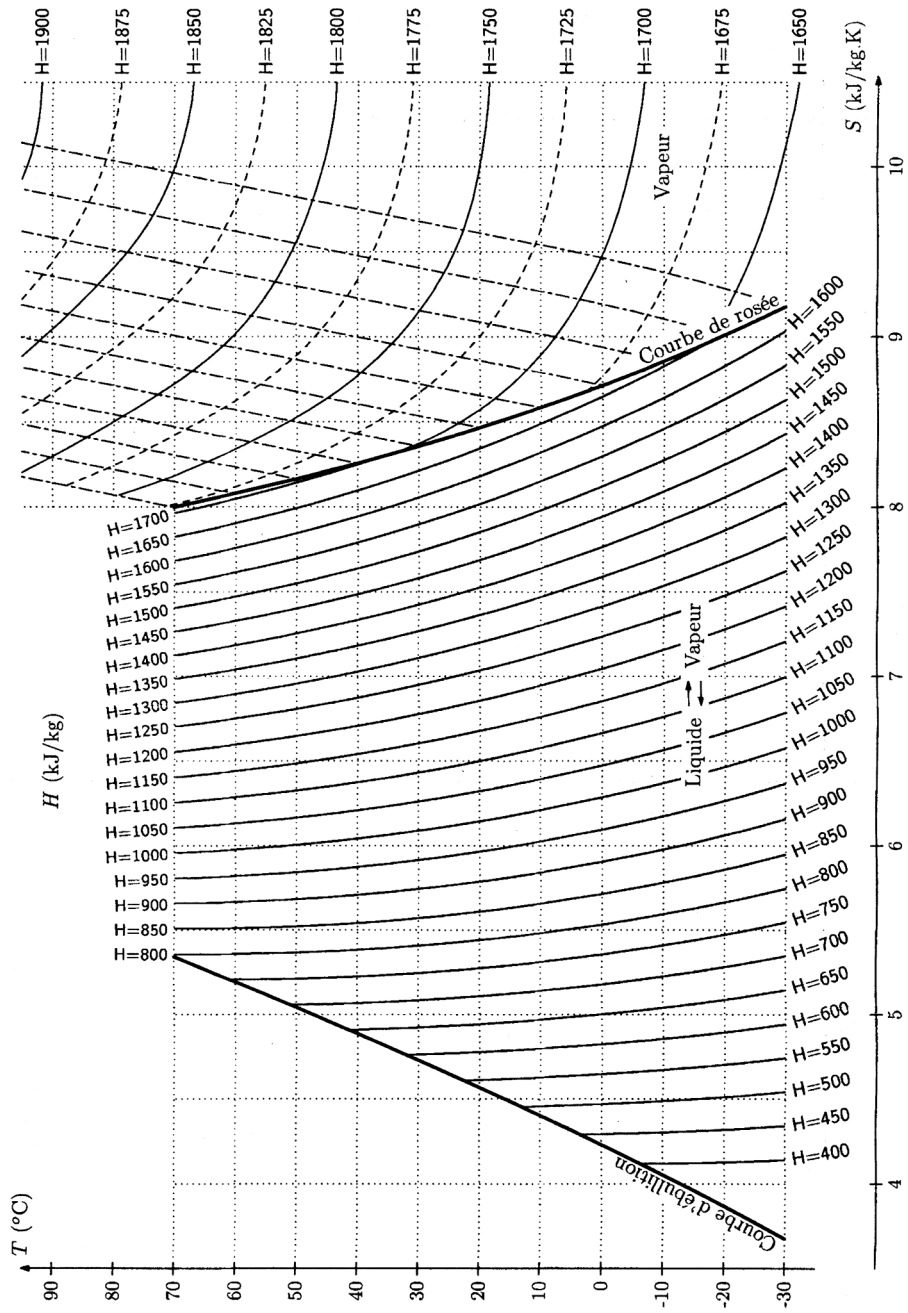


Diagramme entropique $T(S)$ de l'ammoniac (NH_3)