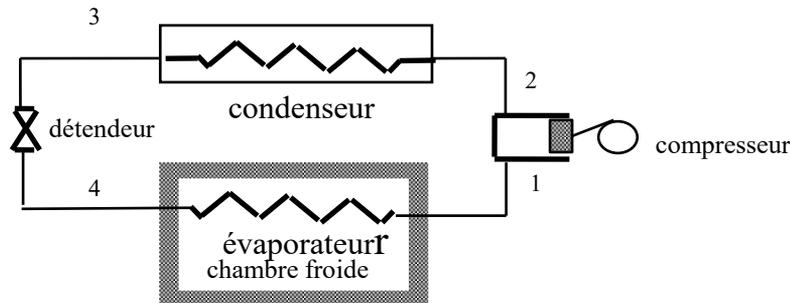


ETUDE D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE A COMPRESSION

La figure ci-dessous représente le schéma d'une machine frigorifique fonctionnant avec de l'ammoniac.



L'ensemble est constitué par:

- un compresseur. La compression est adiabatique et le travail utile échangé est W^u . La température finale est 227°C
- Un condenseur d'où ressort l'ammoniac à l'état liquide, non sous-refroidi et à $t = 47^\circ\text{C}$.
- Une vanne de détente où il n'y a pas de pertes de chaleur.
- Un évaporateur servant à maintenir à basse température la chambre froide. **La puissance extraite est égale à 200 kW.** L'ammoniac ressort à l'état de vapeur saturante non surchauffée à $t = -33^\circ\text{C}$.

Le diagramme (P,h) est fourni pour NH₃, certaines valeurs manquantes et qui ne sont pas calculées doivent être lues sur ce diagramme.

Etude pratique de la machine.

- 1°) Compléter le tableau fourni (température, pression, enthalpie, titre et entropie) et placer les points du cycle sur le diagramme (P,h) également fourni.
- 2°) Calculer le débit massique dans le compresseur.
- 3°) définir le COP de l'installation (son efficacité globale)
Donner sa valeur numérique.
- 4°) montrer simplement que la compression est irréversible.
Si on suppose que l'ammoniac est un gaz parfait et que la compression est adiabatique et réversible, quelle serait la température T_2^{rev} finale atteinte ?

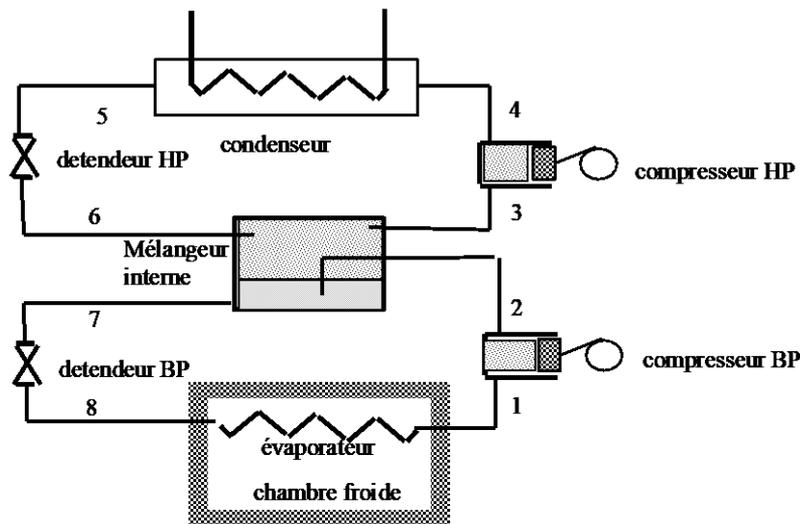
Etude théorique de la machine

L'installation est une machine ditherme. Elle échange la chaleur Q_c avec une source chaude à la température constante $t_c = 47^\circ\text{C}$ et la chaleur Q_f avec une source froide à la température constante $t_f = -33^\circ\text{C}$

- 5°) Pour un cycle, faire le bilan énergétique de la machine et donner la relation qui existe entre W^u , Q_f et Q_c
Pour un cycle, faire le bilan entropique de la machine et donner la relation qui existe entre Q_f , Q_c , T_f , T_c et S^p_{cycle} la production interne d'entropie pour l'ensemble du cycle
- 6°) En déduire la valeur théorique du COP en fonction de Q_f , T_f , T_c et S^p
- 7°) En déduire la valeur théorique du COP que l'on obtiendrait avec un cycle de Carnot, c'est à dire si on suppose que l'ammoniac effectue un cycle constitué de deux adiabatiques réversibles entre deux isothermes à $t_f = -33^\circ\text{C}$ et $t_c = 47^\circ\text{C}$.
Calculer sa valeur numérique. Comparaison par rapport au résultat du 3°)

cas de la machine à deux étages de compression.

La figure ci-dessous représente le schéma d'une machine frigorifique fonctionnant avec deux étages de compression.



Il s'agit d'une installation comprenant un circuit haute pression et un circuit basse pression. L'ensemble est constitué par :

- Deux compresseurs. Les compressions sont adiabatiques.
- Un condenseur d'où ressort l'ammoniac à l'état liquide, non sous-refroidi et à $T=47^{\circ}\text{C}$.
- Deux vannes de détente où il n'y a pas de perte de chaleur.
- Un évaporateur servant à maintenir à basse température la chambre froide. **La puissance extraite est égale à 200 kW.** L'ammoniac ressort à l'état de vapeur saturante à -33°C .
- Un mélangeur interne qui permet simultanément de désurchauffer de 2 à 3 la vapeur provenant du compresseur BP et de condenser de 6 à 7 le mélange issu du détendeur du circuit HP. En 3, la vapeur est saturante, le point 7 est sur la courbe de changement d'état.

Les valeurs des pressions des points 1-2-3-4 sont imposées et données dans le tableau fourni avec le graphe.

Les valeurs des températures des points 1-2-4 sont imposées et données dans le tableau fourni avec le graphe.

8°) Compléter le tableau fourni (température, pression, enthalpie et titre) et placer les points du cycle sur le diagramme (P,h) également fourni.

Dans le cas où une valeur n'est pas disponible, il faut l'estimer de façon simple grâce à deux valeurs encadrantes du graphe.

9°) Calculer le débit massique $M_{BP}(\text{kg/s})$ dans le compresseur BP.

Faire le bilan énergétique du mélangeur, en déduire le débit massique $M_{HP}(\text{kg/s})$ dans le compresseur HP.

10°) Calculer la valeur de l'efficacité globale de l'installation (voir la définition au (I) du C.O.P.)

En comparant ce résultat à celui du I (machine simple idéale), on s'aperçoit que la compression bi-étagée améliore les performances de la machine. Justifier en quelques lignes.

Réponses

1°) Sur le diagramme (p,h) de NH₃, placer en premier les points 1 et 3

Pour placer P2 : utiliser le fait que P₂=P₃ et T₂=500 K

Pour placer P4 : utiliser le fait que h₃=h₄ et T₄=T₁=240 K

2°) $P_{\text{froid}} = m (h_1 - h_4) = m (1550 - 550) \implies m = 0,2 \text{ kg/s}$

3°) $\text{COP} = \text{utile} / \text{dépense} = 200 \text{ kW} / [m(h_2 - h_1)] = 200 / [0,2 (2100 - 1550)] = 1,82$

4°) $s_2 = 6,7 \text{ kJ/kg} > s_1 = s_2^{\text{rev}} = 6,5 \text{ kJ/kg} \implies$ la compression étant adiabatique, elle est irréversible

La production d'entropie est égale à 0,2 kJ/kg

Sur le diagramme, point 2^{rev} tel que $s_2^{\text{rev}} = s_1$, on lit T_{2^{rev}} = 460 K

5°) $\Delta h_{\text{cycle}} = 0 = W^u + Q_C + Q_F \implies W^u = -Q_C - Q_F$

On appelle s^p la production interne d'entropie :

$$\Delta s_{\text{cycle}} = 0 = s_{1-2}^p + Q_C/T_C + s_{2-3}^p + s_{3-4}^p + Q_F/T_F + s_{4-1}^p \implies 0 = s_{\text{cycle}}^p + Q_C/T_C + Q_F/T_F$$

6°) $\text{COP} = Q_F / W^u$, on trouve en combinant les deux relations précédentes

$$\text{COP} = 1 / [s_{\text{cycle}}^p T_C / Q_C + T_C / T_F - 1]$$

7°) Cycle de Carnot : $s_{\text{cycle}}^p = 0$, $\text{COP}^{\text{carnot}} = 1 / [T_C / T_F - 1] = 3$, évidemment meilleur

8°) Sur le diagramme (p,h) de NH₃, placer en premier les points 1 et 2

Le point P3 est sur la courbe de saturation avec P₂=P₃

Placer P4

Pour placer P5 : utiliser le fait que P₅=P₄ et P₅ sur la courbe saturation (coté liquide)

Pour placer P6 : utiliser le fait que h₆=h₅ et T₆=T₃=260 K

Le point P7 est sur la courbe de saturation avec P₇=P₆

Pour placer P8 : utiliser le fait que h₈=h₇ et T₈=T₁=240 K

9°) $P_{\text{froid}} = M_{\text{BP}} (h_1 - h_8) = M_{\text{BP}} (1550 - 325) \implies M_{\text{BP}} = 0,163 \text{ kg/s}$

Bilan du mélangeur : $M_{\text{HP}} h_6 + M_{\text{BP}} h_2 = M_{\text{HP}} h_3 + M_{\text{BP}} h_7$

$$\implies M_{\text{HP}} = M_{\text{BP}} (h_2 - h_7) / (h_3 - h_6) = 0,231 \text{ kg/s}$$

10°) $\text{COP} = P_{\text{froid}} / [M_{\text{BP}} (h_2 - h_1) + M_{\text{HP}} (h_4 - h_3)] = 1,98$

Par rapport au cas précédent, la compression est bi-étagée. Pour la deuxième compression, le volume massique intermédiaire v₃ est plus faible car plus froid, donc la compression de 3 à 4 nécessitera moins de puissance.