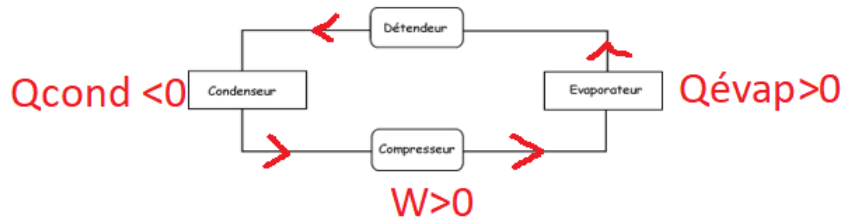


Exercice 1 : Diagramme du R12

Voici le schéma de principe du fonctionnement d'une machine frigorifique. La machine frigorifique fonctionne à une température intérieure $T_1 = 4^\circ\text{C}$ dans une pièce à la température $T_2 = 19^\circ\text{C}$



1. Quel est le rôle d'un compresseur ?

Le rôle d'un compresseur est d'augmenter la pression du gaz frigorigène afin d'assurer les conditions nécessaires de gaz saturé et passer au processus de condensation du gaz frigorigène. La compression est généralement considérée isentropique ou avec un rendement isentropique

2. Quel est le rôle d'un condenseur ? Son rôle est de transformer le gaz frigorigène en liquide en cédant de la chaleur à l'extérieur. Cette opération a lieu à pression constant

3. Quel est le rôle d'un évaporateur ? C'est de transformant le liquide en gaz en absorbant de la chaleur de l'extérieur, ceci a lieu après avoir atteint les conditions du liquide saturé après avoir subi une détente isenthalpique

4. Comment peut-on améliorer la performance d'une machine frigorifique ? En procédant à une surchauffe du gaz par : • L'augmentation de la dimension de l'évaporateur, • Echangeur de chaleur interne • En ajoutant une bouteille de séparation En procédant à un sous-refroidissement du liquide par : • L'augmentation de la dimension du condenseur • Un échangeur interne • En ajoutant une bouteille d'accumulation En réduisant le travail de compression par des compression multi-étages (Injection totale, partielle ou en cascade)

5. Placer sur ce schéma : le sens de parcours du fluide , les chaleurs et travaux échangés par le fluide en précisant leur signe

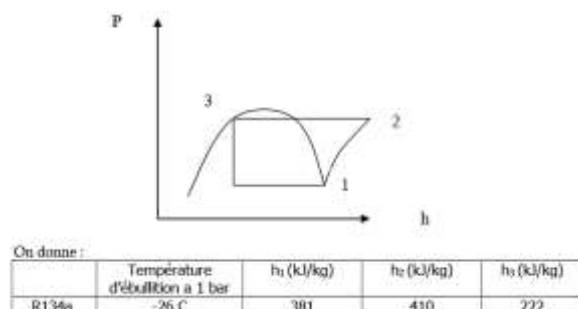
6. Exprimer son efficacité frigorifique $e_{\max}$ en fonction de T_1 et T_2 . $e_{\max} = T_1 \div (T_2 - T_1)$

7. Calculer la valeur numérique de $e_{\max}$ $e_{\max} = T_f \div \Delta T = (273,15 + 4) \div (19 - 4) = 18,48$

Un COP de 18,48 est théorique et très élevé, car il correspond à un cycle de Carnot idéal. En pratique, les COP réels sont bien plus faibles (entre 2 et 6 selon les systèmes), à cause des pertes, des irréversibilités et des écarts de température plus importants.

Exercice 2 : Machine frigorifique

Soit un cycle pour la production du froid :



1. Déterminer la chaleur dans le condenseur Q_{cond} Chaleur dans le condenseur = $h_2 - h_3 = 222 - 410 = -188$ KJ/kg

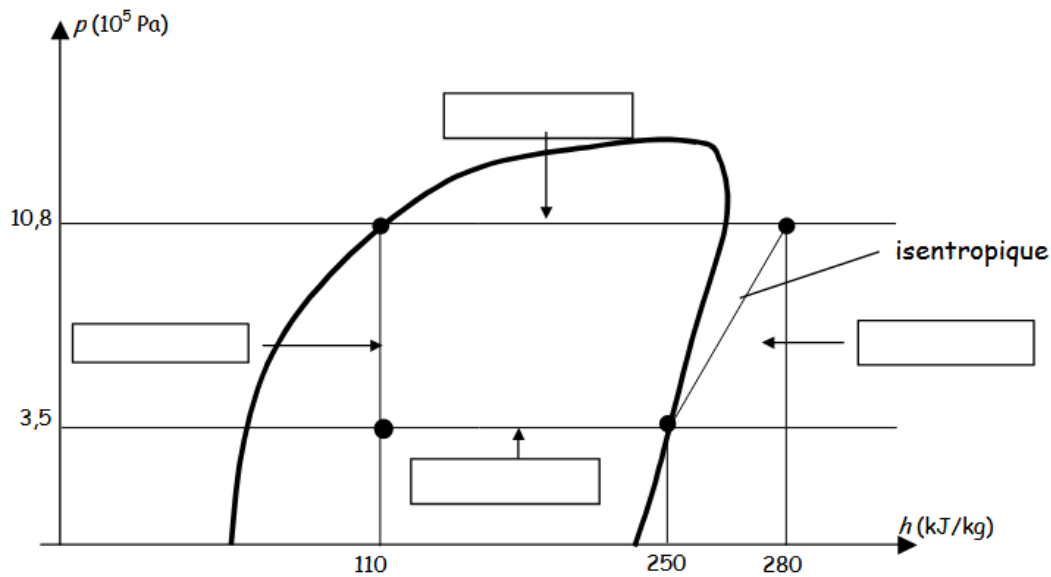
2. Déterminer la chaleur dans le condenseur Q_{evap} Chaleur dans l'évaporateur = $h_1 - h_3 = 381 - 222 = 159$ KJ/kg

3. Déterminer le travail du compresseur W Travail dans le compresseur = $h_2 - h_1 = 410 - 381 = 29$ KJ/kg

4- Déduire le COP du cycle $e = Q_{\text{evap}} \div W = (h_1 - h_3) \div (h_2 - h_1) = 159 \div 29 = 5,48$

Exercice 3 : Diagramme du R12

Le cycle théorique du R12 d'un système de production d'eau glacée est le suivant (on n'envisage pas les surchauffes et sous-refroidissements), toutes les transformations seront considérées comme réversibles. On donne un extrait du diagramme pression, enthalpie (p, h) de l'équilibre " liquide - vapeur " du R12.



- En 1, le fluide est entièrement gazeux : $p_1 = 3,5$ bar et $\theta_1 = 5^\circ \text{C}$. Il subit alors une compression adiabatique qui l'amène à la pression $p_2 = 10,8$ bar et à la température θ_2 .
- Entre 2 et 3, à pression constante, la vapeur se refroidit jusqu'à la température $\theta_3 = 45^\circ \text{C}$ et se condense entièrement.
- Entre 3 et 4, détente isenthalpique du fluide, qui l'amène à la pression $p_4 = 3,5$ bar et $\theta_4 = 5^\circ \text{C}$.
- En 4, entrée dans l'évaporateur et retour à l'état 1.

1. Dessiner, sur le document réponse, le cycle théorique du fluide et l'orienter et placer les états 1, 2, 3, 4 correspondants à ceux du schéma de principe.

2. Remplir les cadres avec les mots des appareils nécessaires.

3. Dans quel élément du circuit, le fluide échange-t-il du travail ? Quel est, du point de vue du fluide, le signe de ce travail ? Quelle en est, pour 1 kg de fluide, la valeur ? Justifier.

C'est dans le compresseur, le travail est reçu donc $W > 0$; $W = h_2 - h_1 = 280 - 250 = 30 \text{ kJ}$

4. Dans quel élément du circuit, le fluide rejette-il de la chaleur vers le milieu extérieur ? Quelle est, pour 1 kg de fluide, la quantité de chaleur rejetée ? Justifier. **C'est dans le condenseur, la chaleur est donnée à l'extérieur donc $Q_{\text{condensateur}} < 0$, $Q_{\text{condensateur}} = h_3 - h_2 = 110 - 280 = -170 \text{ kJ}$**

5. Entre quels états le fluide reçoit-il de la chaleur ? Quelle est, pour 1 kg de fluide, la quantité de chaleur reçue ? Justifier. **Entre les états 3 et 4 dans l'évaporateur, le fluide reçoit de la chaleur $Q_{\text{évaporateur}} > 0$**

$Q_{\text{évaporateur}} = h_1 - h_4 = 250 - 110 = 140 \text{ kJ}$

6. Calculer le C.O.P. ou efficacité frigorifique ϵ réel de cette machine de production d'eau glacée.

$\epsilon = Q_{\text{évaporateur}} \div W = 140 \div 30 = 4,6$

7. Définir et calculer le C.O.P. ou efficacité frigorifique ϵ théorique de cette machine de production d'eau glacée.

$\epsilon_{\text{max}} = Q_{\text{evap}} \div W = T_f \div \Delta T = (273,15 + 5) \div (45 - 5) = 6,85$

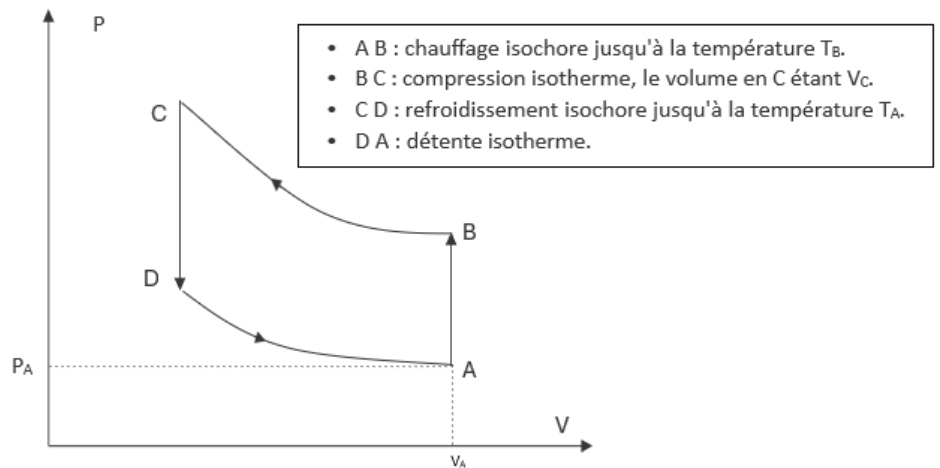
Exercice 4 : PAC

Une pompe à chaleur dans laquelle de l'air (assimilable à un gaz parfait) décrit le cycle ABCDA constitué par les transformations suivantes (le point A étant défini par la pression P_A ; le volume V_A et la température T_A) ;

on donne : $P_A = 1,0 \times 10^5$ Pa ; $V_A = 1,40 \text{ m}^3$; $T_A = 263 \text{ K}$; $T_B = 293 \text{ K}$; $V_C = 0,38 \text{ m}^3$.

Nombre de moles d'air mises en jeu : **$n = 64$ moles** Constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J. mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

La capacité thermique molaire à volume constant C_V est constante et vaut $20,8 \text{ J.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.



1. Calculer les quantités de chaleur Q_{AB} ; Q_{BC} ; Q_{CD} et Q_{DA} échangées par l'air au cours des transformations AB ; BC ; CD et DA . Vérifier que $Q_{AB} = - Q_{CD}$.

$$Q_{AB} = 64 \times 20,8 \times (293 - 263)$$

$$Q_{AB} = 39936 \text{ J.}$$

$$Q_{BC} = 64 \times 8,31 \times 293 \times \ln\left(\frac{0,38}{1,4}\right)$$

$$Q_{BC} = -203210 \text{ J.}$$

$$Q_{CD} = 64 \times 20,8 \times (263 - 293) \quad Q_{CD} = - 39936 \text{ J}$$

$$Q_{DA} = 64 \times 8,31 \times 263 \times \ln\left(\frac{1,4}{0,38}\right)$$

$$Q_{DA} = 182403,5 \text{ J.}$$

$$Q_{AB} = nC_V(T_B - T_A) = - nC_V(T_A - T_B) = - nC_V(T_D - T_C) = - Q_{CD}$$

2. Calculer les travaux W_{AB} ; W_{BC} ; W_{CD} et W_{DA} échangés par l'air au cours des 4 transformations du cycle.

$$W_{AB} = W_{CD} = 0$$

$$W_{BC} = - Q_{BC} = 203210 \text{ J.}$$

$$W_{DA} = - Q_{DA} = -182403,5 \text{ J.}$$

3. Calculer le travail total W_{cycle} échangé par l'air au cours du cycle. Quel est son signe ? En déduire le sens de l'échange du travail entre l'air et le milieu extérieur.

$$W_{\text{cycle}} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA}$$

$$W_{\text{cycle}} = 20806,5 \text{ J.}$$

Le travail est positif, ce qui signifie que le cycle est récepteur, le diagramme de Clapeyron s'effectue dans le sens trigo. Le système reçoit un travail de l'extérieur.

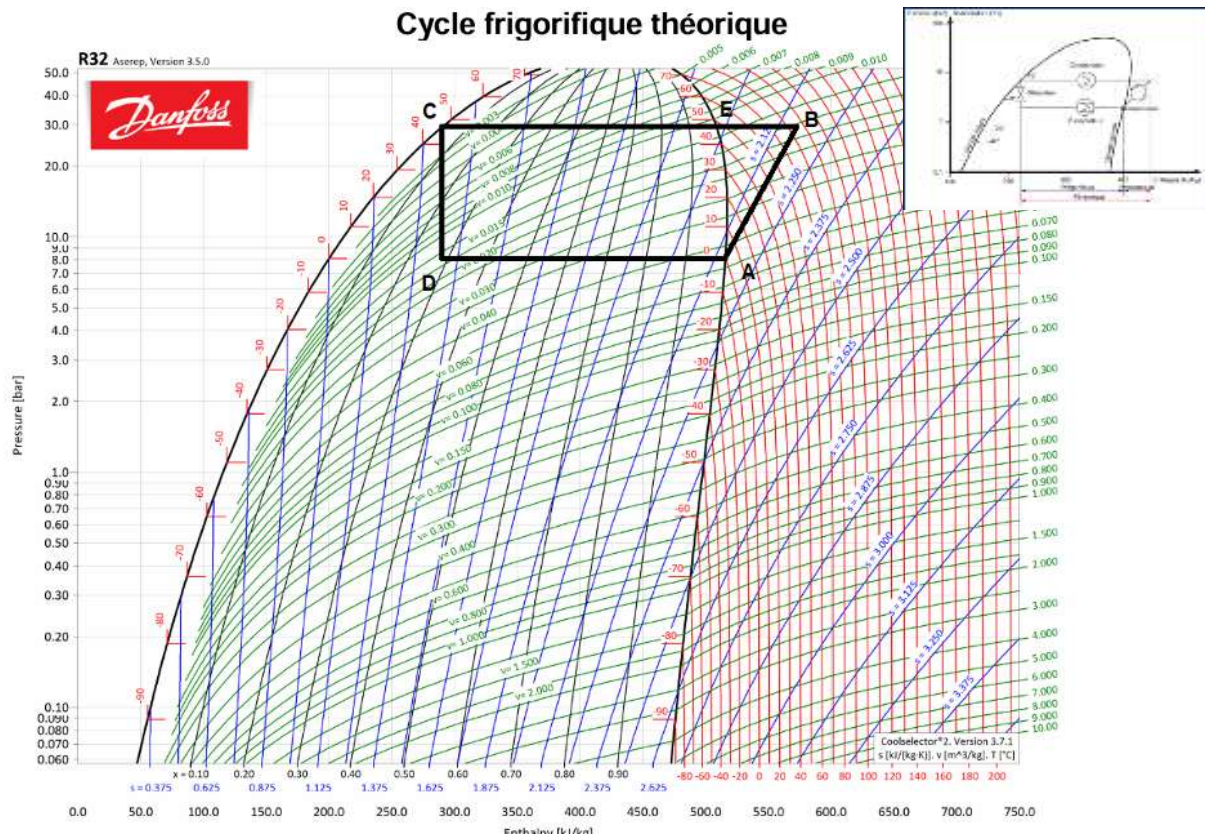
4. L'efficacité e de la pompe à chaleur s'exprime en fonction de la grandeur Q_{BC} et W_{cycle} . Calculer e .

$$e = \left| \frac{Q_{BC}}{W_{\text{cycle}}} \right| = \left| \frac{Q_{BC}}{-(Q_{BC} + Q_{DA})} \right| = \left| \frac{T_B}{(T_A - T_B)} \right|$$

$$e = 9,8$$

Exercice 5 Le R32

Sur le diagramme enthalpique du R32 du document réponse 2, on a tracé le cycle théorique du fluide dans la PAC.



- Indiquer la nature des transformations AB, BC, CD et DA.

AB compression adiabatique réversible (isentropique) : BC : condensation isotherme et isobare.

CD détente isenthalpique DA évaporation isotherme et isobare qui ramène le fluide à son état initial

- Relever sur le cycle la température de condensation T_{cond} et la température d'évaporation $T_{\text{évap}}$.

$T_{\text{cond}} = 48^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{évap}} = 0^{\circ}\text{C}$

- Le diagramme enthalpique permet de déterminer les valeurs des échanges énergétiques suivants :

- chaleur massique reçue par le fluide au condenseur $q_c = -275 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- chaleur massique reçue par le fluide à l'évaporateur $q_e = 215 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- chaleur massique reçue par le fluide au compresseur $q_{\text{comp}} = 60 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

- Retrouver graphiquement la valeur de la chaleur massique q_c reçue au condenseur.

$Q_{\text{cond}} = h_3 - h_2 = 300 - 575 = -275 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

- Calculer le COP chaud e. **$e = -Q_{\text{cond}} \div W = -(h_3 - h_2) \div (h_2 - h_1) = 275 \div 60 = 4,58$**

- Le calcul du COP chaud donne 4,58. Expliquer d'un point de vue énergétique ce que représente cette valeur.

Cela signifie que pour chaque unité d'énergie électrique consommée, la pompe à chaleur fournit 4,58 unités d'énergie thermique à l'environnement chauffé. Si la PAC consomme 1 kWh d'électricité, elle restitue 4,58 kWh de chaleur. Les 3,58 kWh supplémentaires proviennent de l'énergie gratuite puisée dans l'environnement (air, eau ou sol).

- Quelle est la valeur maximale théorique du COP de ce cycle ?

Clausius $T_{\text{cond}} = 48^{\circ}\text{C} = 48 + 273,15 = 321,15 \text{ K}$ $T_{\text{évap}} = 0^{\circ}\text{C} = 0 + 273,15 = 273,15 \text{ K}$

$e = Q_{\text{cond}} \div W = T_c \div \Delta T = 321,15 \div 48 = 6,69$