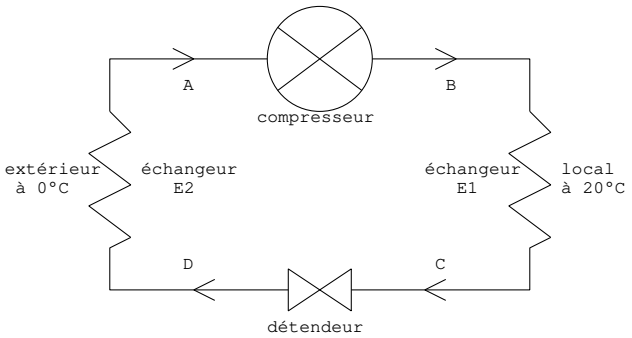
DM 4 de physique

La pompe à chaleur étudiée ici a pour rôle de maintenir la température d'un local à $T_0 = 20^0C$ toute l'année. On s'intéresse ici à son fonctionnement en hiver (chauffage), avec $T_{ext} = 0^0C$, et on considère que le régime permanent est atteint. Le fluide caloporteur est **l'ammoniac**, son diagramme (T, s) est fourni en annexe. Le circuit comporte deux transformations isobares: côté local, la transformation $B - C$ est isobare, à la pression de vapeur saturante de l'ammoniac à 20^0C. Côté extérieur, la transformation $D - A$ est isobare, à la pression de vapeur saturante de l'ammoniac à 0^0C. On néglige les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle de pesanteur.

L'échangeur $E1$ est un condenseur, l'ammoniac y entre en B sous forme de vapeur sèche et en sort en C sous forme de liquide saturant à T_0. $E1$ ne présente pas de pièces mécaniques mobiles, on note q_1 le transfert thermique massique reçu par le fluide dans $E1$.

L'échangeur $E2$ est un évaporateur: le mélange liquide-vapeur qui entre en D se vaporise totalement pour ressortir sous forme de vapeur saturante en A à 0^0C. $E2$ ne présente pas de pièces mécaniques mobiles. On note q_2 le transfert thermique massique reçu par le fluide dans $E2$.



Le compresseur est calorifugé, on considère qu'il fonctionne de façon réversible. Le travail utile massique reçu par le fluide dans le compresseur est noté w_u. Le détendeur est calorifugé et ne présente pas de pièces mécaniques mobiles.

1. Sur le diagramme (T, s) donné, les isenthalpes sont en trait plein et l'enthalpie massique en $kJ.kg^{-1}$, les isobares sont en pointillé et les pressions en bar. Par lecture graphique déterminer les valeurs des pressions de vapeur saturante $P_{sat}(0^0C)$ et à $P_{sat}(20^0C)$ et tracer les isobares correspondant à ces deux pressions.

2. Par lecture graphique, calculer les enthalpies massiques de vaporisation $h_{vaporisation}$ à 0^0C.

3. Montrer que $h_D = h_C$ et que $s_A = s_B$.

4. Placer les états A, B, C et D sur le diagramme. Déterminer graphiquement T_B (température de l'ammoniac à la sortie du compresseur). Si l'évolution dans le compresseur était adiabatique mais non réversible, la température finale T'_B serait-elle supérieure ou inférieure à T_B? Justifier votre réponse.

5. En appliquant le premier principe industriel, déterminer q_1, q_2 et w_c à l'aide du diagramme. Existe-t-il une relation simple entre ces trois grandeurs? Justifier.

6. Définir et calculer numériquement l'efficacité de cette pompe à chaleur. La comparer à l'efficacité de Carnot.

7. Calculer l'entropie créée par unité de masse de fluide dans l'échangeur 1. Commenter.

I. **Utilisation d'un diagramme entropique: Etude d'une PAC**

1. A l'intérieur de la courbe de saturation, là où il y a un équilibre liquide vapeur, la pression est constante, les isobares sont horizontales et dans la domaine de la vapeur, les isobares sont données en pointillé. Dans le domaine liquide les isobares ne sont pas représentées, elles sont collées à la courbe d'ébullition. On lit $P_{sat}(0^0C) = 4\ bar$ et à $P_{sat}(20^0C) = 8\ bar$.

2. A 0^0C, on lit l'enthalpie de la vapeur saturante (sur la courbe de rosée): $h_v = 1465\ kJ.kg^{-1}$ et l'enthalpie du liquide saturant (sur la courbe d'ébullition) $h_l = 200\ kJ.kg^{-1}$. On a donc $\Delta_{vap}h(0^0C) = h_v - h_l = 1265\ kJ.kg^{-1} > 0$: il faut apporter de l'énergie pour vaporiser un liquide.

3. La transformation $A - B$ est adiabatique réversible donc elle est isentropique soit $s_A = s_B$.

La transformation $C - D$ est adiabatique et se fait sans pièce mobile donc d'après le premier principe industriel $\Delta h_{CD} = h_D - h_C = w_u + q = 0$.

4. On lit $T_B = 50^0C$ (B est à l'intersection de l'isentropique passant par A et de l'isobare $P_{sat} = 8\ bar$).

On lit $h_A = 1455\ kJ.kg^{-1}$, $h_B = 1560\ kJ.kg^{-1}$ et $h_C = h_D = 300\ kJ.kg^{-1}$,

5. On applique le premier principe industriel à la transformation $D - A$ (sans pièce mobile soit $w_{u,DA} = 0$): $\Delta h_{DA} = h_A - h_D = w_{u,DA} + q_2$ soit $q_2 = h_A - h_D = +1155\ kJ.kg^{-1} > 0$: le fluide reçoit de la chaleur du milieu extérieur pour se vaporiser.

On applique le premier principe industriel à la transformation $B - C$ (sans pièce mobile soit $w_{u,BC} = 0$): $\Delta h_{BC} = h_C - h_B = w_{u,BC} + q_1$ soit $q_1 = h_C - h_B = -1260\ kJ.kg^{-1} < 0$: le fluide cède de la chaleur au local en se liquéfiant.

On applique le premier principe industriel à la transformation adiabatique $A - B$ soit $\Delta h_{AB} = h_B - h_A = w_{u,AB} + 0$ soit $w_c = h_B - h_A = +105\ kJ.kg^{-1} > 0$: le fluide reçoit du travail dans le compresseur.

6. L'efficacité de la PAC est $e = \dfrac{-q_1}{w_c} = 12$.

L'efficacité de Carnot est $e_c = \dfrac{T_c}{T_c - T_f} = \dfrac{293}{20 - 0} = 14,7$.

L'efficacité réel de la PAC est inférieur à l'efficacité de Carnot à cause des irréversibilités liées aux phénomènes de diffusion de chaleur et de particules.

7. La transformation AB est réversible donc il n'y a pas d'entropie créée.

On lit $s_A = s_B = 5600\ J.kg^{-1}.K^{-1}$, $s_C = 1350\ J.kg^{-1}.K^{-1}$ et $s_D = 1360\ J.kg^{-1}.K^{-1}$.

On applique le second principe de la thermodynamique à chaque transformation:

$\Delta s_{BC} = \dfrac{q_1}{T_0} + s_{c,BC}$ soit $s_{c,BC} = s_C - s_B - \dfrac{q_1}{T_0} = 1350 - 5600 - \dfrac{-1260.10^3}{293} = 50\ J.kg^{-1}.K^{-1}$: les irréversibilités sont liées à la diffusion thermique, du chaud vers le froid.

$\Delta s_{CD} = 0 + s_{c,BC}$ soit $s_{c,CD} = s_D - s_C = 10\ J.kg^{-1}.K^{-1}$: les irréversibilités sont liées à la diffusion de particules des fortes vers les faibles pressions.

$\Delta s_{DA} = \dfrac{q_2}{T_{ext}} + s_{c,DA}$ soit $s_{c,DA} = s_A - s_D - \dfrac{q_2}{T_{ext}} = 5600 - 1370 - \dfrac{1155.10^3}{273} = 10\ J.kg^{-1}.K^{-1}$: les irréversibilités sont liées à la diffusion thermique, du chaud vers le froid.