

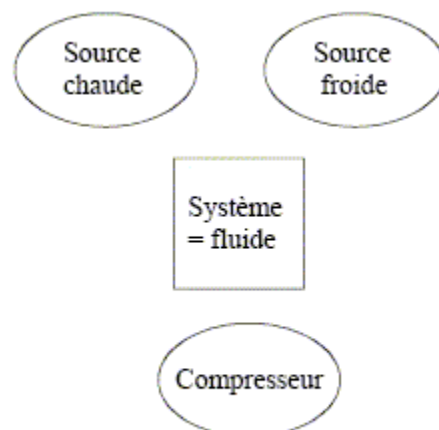
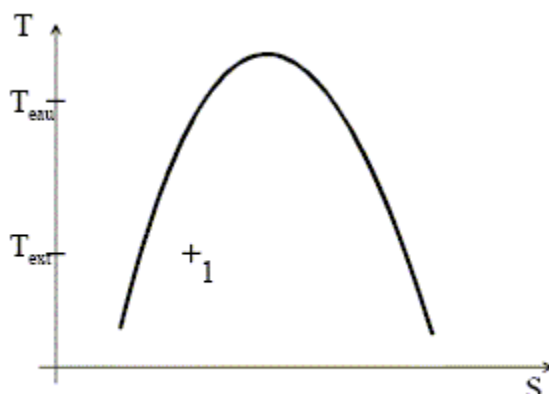
Pompe à chaleur : diagramme entropique, chauffage d'une piscine. [concours Mines 03](#)

En poursuivant votre navigation sur ce site, vous acceptez l'utilisation de Cookies vous proposant des publicités adaptées à vos centres d'intérêts.

Une pompe à chaleur permet de maintenir constante la température de l'eau de la piscine ; on se placera donc en régime permanent. La machine thermique fonctionne avec deux sources de chaleur (thermostats) : l'air extérieur de température T_{ext} et l'eau de la piscine de température T_{eau} .

Le fonctionnement de la pompe à chaleur est basé sur le cycle d'un fluide caloporteur ayant une température d'ébullition basse. Le fluide caloporteur, initialement sous forme d'un mélange liquide-vapeur au point 1, traverse l'évaporateur où l'air extérieur lui permet de subir une vaporisation complète (trajet 1-2). Le compresseur comprime ensuite cette vapeur (trajet 2-3), augmentant ainsi sa température ; on supposera cette transformation isentropique. Au niveau du condenseur, la vapeur surchauffée voit d'abord sa température descendre jusqu'à T_{eau} en suivant une transformation isobare (trajet 3-4). Le fluide caloporteur,

toujours comprimé, redevient ensuite liquide (trajet 4-5). La soupape de détente réduit la pression du fluide caloporteur (trajet 5-1), transformation au cours de laquelle la température du fluide s'abaisse fortement le rendant prêt pour un nouveau cycle.



Pour un point i (compris entre 1 et 5) du cycle, on note P_i , T_i et V_i la pression, la température et le volume du fluide caloporteur.

Calculer la variation d'entropie ΔS de la vapeur assimilée à un gaz parfait pour une transformation isobare entre les températures T_3 et T_4 .

L'entropie est une fonction d'état. Sa variation ne dépend que de l'état final et de l'état initial. On imagine une transformation réversible allant de l'état 3 à l'état 4.

Variation élémentaire d'entropie : $dS = C_p dT / T$ avec C_p indépendant de la température.

$$dS = C_p d \ln T.$$

Puis intégrer de T_3 à T_4 : **$\Delta S = C_p \ln (T_4 / T_3)$.**

Le dessin de la figure 1 donne l'allure de la courbe d'équilibre liquide-vapeur du fluide considéré dans le diagramme (T,S). On y a repéré le point 1 correspondant au début du cycle. **Reproduire le schéma sur votre feuille et placer les points 2, 3, 4 et 5.**

Pour chaque trajet (sauf le trajet 5-1), justifier rapidement l'allure des courbes ainsi obtenues.

Trajet 1-2 : la vaporisation s'effectue à pression et température constante : droite horizontale.

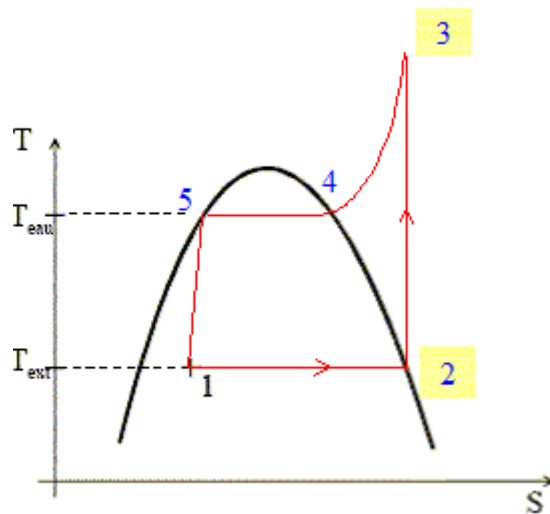
Le liquide est entièrement vaporisé.

Trajet 2-3 : compression isentropique : droite verticale.

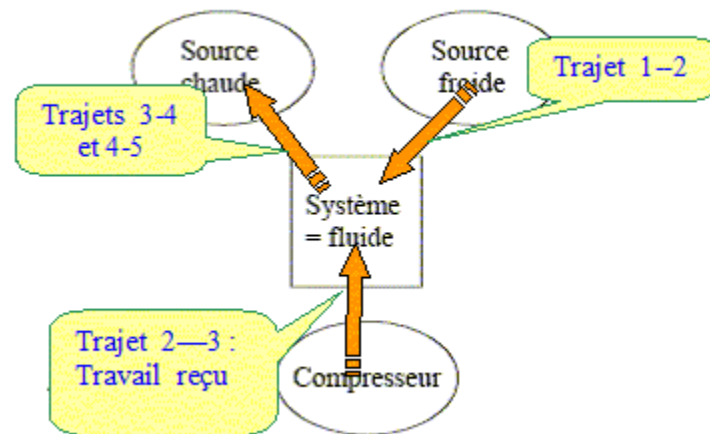
Trajet 3-4 : isobare d'un gaz $\Delta S = S_4 - S_3 = C_p \ln (T_4 / T_3)$. La température de la vapeur diminue jusqu'à T_{eau} .

Trajet 4-5 : la vapeur se condense à température constante. (droite horizontale)

Trajet 5-1 : refroidissement du liquide.



Reproduire le diagramme de la figure 2 et indiquer par des flèches les sens réels des flux thermiques et du travail. Indiquer dans quelles étapes du cycle ces flux ont lieu.



Quel est l'intérêt, pour une pompe à chaleur, d'utiliser un changement d'état ?

Un liquide peut emmagasiner plus d'énergie qu'un gaz : la vapeur libère beaucoup plus d'énergie en se condensant qu'en se refroidissant.

Quel est l'intérêt d'utiliser un fluide caloporteur de température d'ébullition basse ?

La température de vaporisation du fluide doit être comprise entre la température de la source froide et celle de la source chaude.

Donner la définition de l'efficacité thermodynamique η de la pompe à chaleur.

Energie cédée à la source chaude / travail investi.

$$\eta = -Q_{\text{chaude}} / W.$$

Montrer que l'efficacité réelle de toute pompe à chaleur est inférieure à l'efficacité η_c obtenue dans le cas d'un fonctionnement réversible. On a

$$\text{ici } \eta = 5$$

Le premier principe s'écrit sur le cycle :

$$\Delta U=0 = W+Q_{\text{froide}}+Q_{\text{chaude}} \text{ (1).}$$

Second principe : $Q_{\text{froide}}/T_{\text{froide}} + Q_{\text{chaude}}/T_{\text{chaude}} \leq 0$ (2).

$$\text{(1) donne : } W = -Q_{\text{froide}} - Q_{\text{chaude}}.$$

$$\eta = -Q_{\text{chaude}} / W = Q_{\text{chaude}} / (Q_{\text{froide}} + Q_{\text{chaude}})$$

$$\eta = 1 / [Q_{\text{froide}}/Q_{\text{chaude}} + 1]$$

$$\text{(2) donne : } Q_{\text{froide}}/Q_{\text{chaude}} \leq -T_{\text{froide}}/T_{\text{chaude}}.$$

$$\eta \leq 1 / [1 - T_{\text{froide}}/T_{\text{chaude}}].$$

L'égalité correspond à la réversibilité.

Les pertes de la piscine sont essentiellement dues à l'évaporation de l'eau dans l'air. Dans les conditions précisées plus haut, le taux d'évaporation par heure et par mètre carré de surface d'eau est de $\alpha = 150 \text{ g.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

En déduire l'énergie perdue pendant une heure par l'eau de la piscine.

Données : surface de la piscine : $S = 250 \text{ m}^2$. $C_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $T_{\text{ext}} = 283 \text{ K}$; $T_{\text{eau}} = 299 \text{ K}$; $L_{\text{vap}} = 2800 \text{ J g}^{-1}$.

Masse d'eau évaporée par heure par une surface de 250 m^2 :

$$m = 250 \times 150 = 3,75 \times 10^4 \text{ g.}$$

$$\text{Energie perdue par cette eau : } E = m L_v = 3,75 \times 10^4 \times 2800 = \mathbf{1,05 \times 10^8 \text{ J.}}$$

Quel doit être le travail que l'on doit fournir au fluide pour que la pompe à chaleur puisse maintenir la température de la piscine constante pendant une heure ?

$$\eta = 5 = -Q_{\text{chaude}} / W \text{ d'où } W = 5 \times (-Q_{\text{chaude}}) = 1,05 \times 10^8 / 5 = \mathbf{2,1 \times 10^7 \text{ J.}}$$

Comparer ce travail à l'énergie qu'il aurait fallu fournir si on chauffait l'eau de la piscine avec une simple résistance électrique.

L'énergie électrique doit compenser l'énergie perdue par l'eau de la piscine, soit : $1,05 \times 10^8 \text{ J}$, cinq fois plus grand que dans le cas de la pompe à chaleur.

Une pompe permet de faire circuler l'eau de la piscine à travers des panneaux solaires (simples tuyaux noirs) placés sur le toit du bâtiment. L'énergie solaire réchauffe l'eau des panneaux qui retourne ensuite dans la piscine.

Soit $S' = 100 \text{ m}^2$ la surface des panneaux solaires.

Déterminer l'énergie reçue par l'eau de la piscine pendant une heure en supposant que l'éclairement moyen reçu au niveau des panneaux solaires est de 300 W/m^2 et que toute l'énergie solaire y est absorbée.

Puissance solaire reçue par 100 m^2 de panneaux :

$$300 \times 100 = 3 \times 10^4 \text{ W.}$$

Energie reçue pendant $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$:

$$3 \times 10^4 \times 3600 = \mathbf{1,08 \times 10^8 \text{ J.}}$$



[retour](#) - [menu](#)