

Outils : Machines thermiques. Bilans en écoulement.

I. Cycle de Carnot

- (1) ◆◆◆ Erreur(s) fréquente(s) : Ici, on ne doit pas appliquer le principe industriel, car on travaille avec l'intégralité du fluide dans la machine, qui est un système fermé, et non un élément où on chercherait les propriétés du fluide en entrée ou sortie de cet élément. L'hypothèse système fermé permet d'écrire le premier principe, le choix de faire un bilan sur la durée d'un cycle permet d'écrire que ΔU et ΔE_m sont nuls car le fluide revient dans son état initial.
- (2) ◆◆◆ Rappeler ne nécessite pas de justification.
- (3) ◆◆◆ Attention aux signes pour l'expression du rendement. Démontrer l'expression du rendement de Carnot revient à l'exprimer en fonction des températures seulement.
- (4) ◆◆◆ Ici, les températures sont données en Kelvin, mais si elles étaient données en °C, il aurait fallu les convertir.
- (5) ◆◆◆ La puissance électrique est égale à la puissance mécanique fournie. Le rendement s'exprime aussi en rapport de puissances.

II. Cycle de Rankine

- (6) ◆◆◆ Dessiner sur votre feuille le diagramme de Clapeyron Point de rédaction : Faites un grand diagramme, d'au moins la largeur de la page.... Il faut tracer trois isothermes : le point critique est le point supérieur de la cloche de saturation. Ensuite, identifier quelle température est la plus grande, en comparant les pressions de saturation dans les deux organes où il y a changement d'état. Pour positionner les points : A, B et D sont faciles à placer. Il faut que l'allure de B→C et D→A soient cohérents avec leur statut (détente, compression).
- (7) ◆◆◆ Bien identifier parmi ces points lesquels sont sur la courbe de rosée (on est en vapeur saturante sèche), et ceux sur la courbe d'ébullition (on est en liquide saturant). Pour identifier la bonne ligne, repérer la pression de saturation correspondante.
- (8) ◆◆◆ Commencer par repérer les paliers de pression et de température correspondant aux changements d'état, puis placez A, B et D. Pour tracer C, justifier en vous intéressant aux particularités de la détente (adiabatique + réversible => ???). Point de rédaction : On vous demande d'explicitier la méthode, donc il faut dire ce que vous faites.
- (9) ◆◆◆ Pas la peine de démontrer, ici, attention à utiliser les données de l'énoncé.
- (10) ◆◆◆ Utiliser le premier principe en écoulement, le simplifier au vu des caractéristiques de la transformation BC et lire les valeurs de h_C et h_B pour conclure.
- (11) ◆◆◆ Utiliser le premier principe en écoulement, le simplifier au vu des caractéristiques de la transformation AA' (pas de parties mobiles). Utiliser la capacité massique de l'eau et la seconde loi de Joule pour conclure.
- (12) ◆◆◆ Utiliser le premier principe en écoulement, le simplifier au vu des caractéristiques de la transformation A'B (pas de parties mobiles) et lire les valeurs de $h_{A'}$ et h_B pour conclure.
- (13) ◆◆◆ Quelles sont les portions sur lesquelles on est en contact avec la source chaude ? Sur quelle portion du cycle récupère-t-on le travail mécanique ?
- (14) ◆◆◆ Lier la puissance thermique dans le générateur de vapeur aux transferts thermiques et au débit massique. Utiliser le volume massique en entrée de la turbine pour relier ce débit massique au débit volumique recherché.
- (15) ◆◆◆ Lire le diagramme. Utiliser la règle des moments pour trouver le titre massique en vapeur.

Réponses (sans rédaction et sans justification)

(1) $\Delta U + \Delta E_m = W + Q_{fr} + Q_{ch}$. Sur un cycle $\Delta U = 0$ et $\Delta E_m = 0$. $\Delta S = S_{ech,fr} + S_{ech,ch} + S_{cree}$. Sur un cycle ($\Delta S = 0$), réversible ($S_{cree} = 0$) : $S_{ech,fr} + S_{ech,ch} = 0 \Leftrightarrow \frac{Q_{ch}}{T_{ch}} + \frac{Q_{fr}}{T_{fr}} = 0$.

(2) $Q_{ch} > 0, Q_{fr} < 0, W < 0$.

(3) $\eta = 1 - \frac{T_{fr}}{T_{ch}}$

(4) $\eta = 44,2\%$

(5) $\eta_{reel} = 32,3\%$

(6) Dessin (fig 1) en bas.

Point	Etat	θ (°C)	h (kJ.kg ⁻¹)	s (kJ.K ⁻¹ .kg ⁻¹)
A'	Liquide saturant	270°C	1 190,10	2,985 3
B	Vapeur saturante sèche	270°C	2 788,46	5,922 6
D	Liquide saturant	30°C	125,22	0,434 8

(8) Dessin (fig 2).

(10) $w_{BC} = h_C - h_B \approx -1,00 \cdot 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$

(11) $q_{AA'} = c(T_{A'} - T_D) = 1,00 \cdot 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$

(12) $q_{A'B} = h_B - h_{A'} = 1 598,36 \text{ kJ.kg}^{-1}$

(13) $\eta = \frac{-w_{BC}}{q_{AA'} + q_{A'B}} = 38,8\%$. Meilleur que le rendement réel : la modélisation est sans doute idéale (réversibilité des compressions et détente). Moins bon que Carnot : logique, car on n'a pas un cycle de Carnot réversible (échauffement de l'eau liquide dans le générateur de vapeur).

(14) Débit volumique en B : $D_v(B) = D_m v(B) = \frac{P_t}{q_{AA'} + q_{A'B}} v_v(270^\circ\text{C}) = 37,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

(15) L'eau est diphasée. Titre $x_C = \frac{h_C - h_L(30^\circ\text{C})}{h_v(30^\circ\text{C}) - h_L(30^\circ\text{C})} = 0,68$. La présence de liquide peut abîmer les turbines à cause d'un phénomène de corrosion en solution aqueuse.

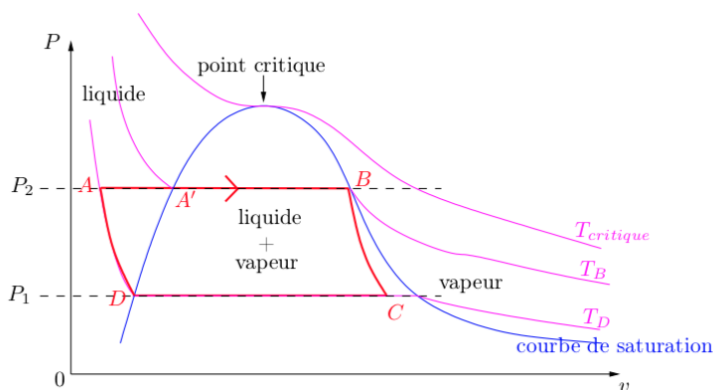


Figure 1 – Diagramme de Clapeyron.

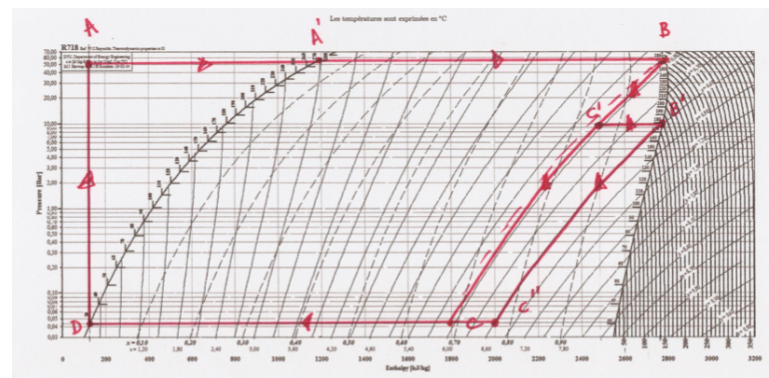


Figure 2 – Diagramme des frigoristes (ne pas tenir compte des points C', B' et C'' correspondant à une partie ultérieure du sujet).