

TP Pompe à chaleur

(Couplé avec TP informatique - 2h chacun)

Capacité exigible expérimentale : Mettre en œuvre une machine thermique ditherme.

I. Description

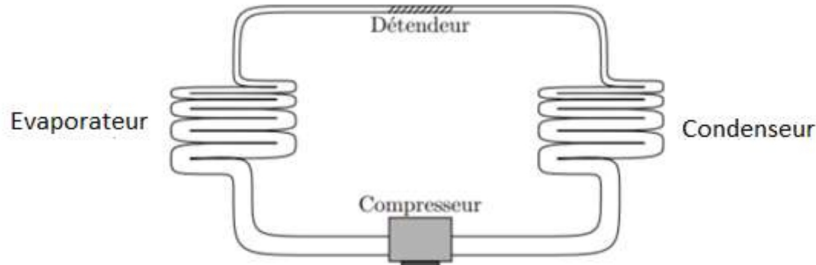
La fonction de la pompe à chaleur étudiée est de chauffer de l'eau (stockée dans une cuve à l'arrière de l'appareil). Dans cette pompe à chaleur dite «air/eau», un fluide frigorigène (R134A) suit un cycle au cours duquel il change successivement d'état (liquide/vapeur/...). Lorsqu'il se vaporise (dans l'évaporateur), il prélève de la chaleur à l'air environnant (source froide) et lorsqu'il se liquéfie (dans le condenseur), il cède de la chaleur à l'eau que l'on souhaite chauffer (source chaude). La circulation du fluide frigorigène est assurée par un compresseur (qui sert aussi à comprimer le fluide vapeur). La circulation de l'eau (source chaude) est assurée par une pompe et celle de l'air (source froide) par un ventilateur. Le dispositif sera d'autant plus performant que la puissance fournie au dispositif (sous forme électrique au compresseur, et aussi à la pompe et au ventilateur) sera moindre par rapport à la puissance thermique transférée à l'eau pour la chauffer.



1	Evaporateur à air
2	Détendeur
3	Condenseur à eau
4	Compresseur

Le système thermodynamique qui effectue des cycles ici est une petite masse de fluide frigorigène. Le fluide circule en circuit fermé. Le fluide est en écoulement stationnaire et chaque sous-système est a priori ouvert. Il subit les transformations modèles suivantes :

- $A \rightarrow B$: compression adiabatique dans le compresseur.
- $B \rightarrow D$: refroidissement et liquéfaction isobares dans le condenseur.
- $D \rightarrow E$: détente adiabatique et isenthalpique (l'enthalpie massique reste constante) dans le détendeur.
- $E \rightarrow A$: vaporisation isobare dans l'évaporateur.



II. Exploitation

1. Analyse

- 1 Placer les points A, B, D et E sur le schéma ci-dessus.
- 2 Colorier en bleu la partie du circuit où le fluide est sous basse pression et en rouge celle où il est sous haute pression.
- 3 Indiquer le changement d'état subi par le fluide frigorigène dans le condenseur.
- 4 En posant ses mains sur l'entrée et la sortie du serpentin, indiquer ce qui est arrivé à l'eau dans le condenseur.
- 5 Indiquer alors le signe du transfert thermique échangé par le fluide frigorigène avec l'eau et vérifier que cette réponse est en accord avec la réponse à la question 3.
- 6 En raisonnant par analogie avec ce qui a été fait dans les questions 3 à 5, expliquer ce qui se passe dans l'évaporateur puis noter sur le schéma du circuit du fluide frigorigène où ont lieu les échanges thermiques avec la source chaude et la source froide. Les représenter.

2. Mesures et tracé du cycle :

7 Relever les températures, les pressions et les débits suivants :

- Débit volumique du fluide frigorigène dans le circuit : $Dv_{R134A} = \underline{\hspace{2cm}}$
- Débit volumique de l'eau à chauffer : $Dv_{eau} = \underline{\hspace{2cm}}$
- Pression basse du fluide frigorigène : $P_{relative\ mesurée} = \underline{\hspace{2cm}}$

$$P_{basse} = P_{relative\ mesurée} + 1\text{bar} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Pression haute du fluide frigorigène : $P_{relative\ mesurée} = \underline{\hspace{2cm}}$

$$P_{haute} = P_{relative\ mesurée} + 1\text{bar} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Températures :

T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Eau entrée condenseur	Eau sortie condenseur	Air entrée évaporateur	Air sortie évaporateur
T ₄	T ₅	T ₆	
R134a entrée compresseur	R134a sortie compresseur	R134a entrée condenseur	
T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
R134a sortie condenseur	R134a sortie évaporateur	R134 entrée évaporateur	R134a entrée détenteur 1
		non exploitable	non exploitable
T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	
R134a sortie détenteur 1	R134a entrée détenteur 2	R134a sortie détenteur 2	
non exploitable			

8 Placer les points correspondant aux différentes températures et pressions relevées et tracer le cycle sur le diagramme enthalpique du R134 en fin d'énoncé.

Indice : Nous tricherons un peu pour le point correspondant à la sortie du détenteur (basse pression), pour lequel le fluide est sous deux phases et où nous ignorons le titre en vapeur. Aussi, nous ferons l'hypothèse que la détente du fluide dans le détenteur est isenthalpique.

9 Relever le titre en vapeur du fluide en sortie du détenteur $y_v = \underline{\hspace{2cm}}$

3. Calcul de l'efficacité thermique à partir du diagramme enthalpique

10 Déterminer le débit massique D_m de fluide frigorigène, pour lequel $\rho = 1188 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

11 Déterminer la valeur du travail massique w_{comp} échangée par le fluide frigorigène dans le compresseur en utilisant le diagramme enthalpique et le premier principe pour un système ouvert en écoulement stationnaire.

Donnée : le premier principe pour un système ouvert en écoulement stationnaire est : $\Delta(h + e_m) = w_u + q$ où h est l'enthalpie massique, e_m est l'énergie massique macroscopique, w_u le travail utile massique (autre que celui des forces de pression) et q est le transfert thermique massique.

12 En déduire la puissance P_{comp} échangée par le fluide dans le compresseur. (On pourra s'aider des unités pour construire la formule...)

13 Déterminer la valeur du transfert thermique massique q_{cond} échangé par le fluide frigorigène avec l'eau dans le condenseur en utilisant le diagramme enthalpique et le premier principe pour un système ouvert en écoulement stationnaire.

14 En déduire la puissance P_{cond} échangée par le fluide dans condenseur.

15 Exprimer l'efficacité de la PAC en fonction de P_{comp} et P_{cond} puis faire l'application numérique.

4. Calcul de l'efficacité thermique réelle du dispositif

Le calcul précédent ne tient pas compte du faible rendement du compresseur et des pertes thermiques diverses. Par ailleurs, on n'a pas pris en compte la dépense énergétique de la pompe de circulation d'eau et du ventilateur d'air, indispensables au bon fonctionnement de l'ensemble. Aussi, l'efficacité réelle peut être calculée en faisant le rapport entre la puissance thermique réellement acquise par l'eau à chauffer et la puissance électrique totale fournie aux différents éléments du dispositif.

16 Déterminer la puissance thermique P_{eau} reçue effectivement par l'eau considérée comme un fluide incompressible et indilatable.

Donnée : $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}$, $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$

17 Calculer l'efficacité thermique réelle, en prenant pour la puissance électrique fournie $P_{\text{elec}} = 310 \text{ W}$ (200 W pour le compresseur, 80 W pour la pompe à eau et 30 W pour le ventilateur d'air).

R134a Ref. D.P. Wilson & J.S. Bray, ASHRAE Transactions 1988, Vol. 98, part 1.
 DITU, Department of Energy, Engineering
 + in (Pa) (kPa) (bar) (atm) (MPa) (1 in (Hg))
 M.T. Software © I.D. H. Rowland, 03-03-04

