

## Apport calorifique des eaux usées

En moyenne, la température des eaux usées (provenant des douches, du lave-vaisselle, du lave-linge...) avoisine les 30°C. À l'aide d'une pompe à chaleur (PAC), il est possible de récupérer l'énergie thermique de ces eaux usées pour alimenter la production d'eau chaude sanitaire.

L'étude porte sur le cas d'un restaurant d'entreprise équipé d'une « PAC eau / eau », fonctionnant avec le fluide R134a, qui fournit une puissance de 50 kW au réseau d'eau chaude sanitaire.

Le R134a est un HFC de formule brute  $C_2H_2F_4$  et de masse molaire  $M=102 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

On admet, pour l'exercice, qu'il se comporte, à l'état gazeux, comme un gaz parfait de coefficient adiabatique  $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,14$  (où  $c_p$  et  $c_v$  sont les capacités calorifiques massiques de l'air à pression constante et à volume constant).

On donne la constante molaire :  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

### A - Étude du fluide

1. On admet la relation  $r = \frac{R}{M}$  où  $r$  est la constante massique du gaz parfait.

Calculer la valeur de  $r$  en  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  pour le R134a.

2. À l'aide de la relation de Mayer :  $r = c_p - c_v$  et de la définition du coefficient de l'adiabatique  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ , vérifier que la capacité thermique massique à pression constante,  $c_p$ , du R134a vaut environ  $c_p = 660 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

### B - Étude énergétique

On simplifie l'étude du fonctionnement de la pompe à chaleur en proposant le cycle théorique suivant pour le R134a :

- ◆ de A à B : compression adiabatique réversible ;
- ◆ de B à C : transformation isobare dans le condenseur jusqu'à liquéfaction totale ;
- ◆ de C à D : détente isenthalpique ;
- ◆ de D à A : passage dans l'évaporateur où le liquide restant se transforme en vapeur saturée.

#### Données

- ▶ en A : le fluide est à l'état de vapeur saturée à une pression  $p_A = 4,0 \text{ bar}$  et une enthalpie massique  $h_A = 401 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  ;
- ▶ en B : le fluide est à l'état de vapeur avec  $p_B = 13,2 \text{ bar}$ ,  $\theta_B = 53^\circ\text{C}$  et  $h_B = 430 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  ;
- ▶ en C : le fluide est à l'état de liquide saturé avec  $\theta_C = 50^\circ\text{C}$  et  $h_C = 271 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  ;
- ▶ en D : le fluide est dans un état diphase liquide et vapeur, avec  $p_D = 4,0 \text{ bar}$ .

1. Tracer, sur le diagramme enthalpique (document-réponse à rendre avec la copie) le cycle suivi par le R134a, en précisant les quatre points A, B, C et D correspondant et en précisant le sens de parcours.

2. A l'aide du tracé, estimer le titre massique en vapeur au point D.

3. On rappelle que, pour une compression adiabatique réversible, on peut utiliser la relation  $T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{constante}$ .

A l'aide de cette relation, montrer que la température  $T_A$  du fluide à l'entrée du compresseur est égale à environ 282 K.

4.

a) Rappeler l'énoncé du premier principe de la thermodynamique appliqué à la variation d'enthalpie massique  $\Delta h$ .

b) En déduire l'expression du travail de transvasement  $w_{\text{TrAB}}$  reçu par un kilogramme de fluide lors de la compression adiabatique AB en fonction de  $c_p$ ,  $T_A$  et  $T_B$ .

c) Calculer  $w_{\text{TrAB}}$ .

d) Retrouver le résultat à l'aide des enthalpies  $h_A$  et  $h_B$ .

5. On donne le débit massique du R134a dans la pompe à chaleur :  $D_m = 0,32 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ .

En déduire la puissance  $P_{\text{comp}}$  que doit fournir le compresseur au fluide lors de la compression AB.

6.

a) En utilisant les valeurs numériques des enthalpies données dans l'énoncé, calculer l'énergie thermique  $q_{BC}$  reçue par un kilogramme de fluide dans le condenseur, entre les points B et C et justifier le signe de  $q_{BC}$ .

b) Vérifier que la puissance thermique,  $P_{\text{cond}}$ , fournie par la pompe à chaleur au niveau du condenseur est de l'ordre de 50 kW.

7. La pompe à chaleur étant utilisée pour alimenter en énergie le réseau d'eau chaude sanitaire, calculer le coefficient de performance théorique de l'installation, le COP, sachant que le COP s'écrit :  $\text{COP} = \frac{P_{\text{cond}}}{P_{\text{comp}}}$ .

# Document-réponse

