

## TD 6 : Machines thermiques

### Exercice 1 : Cycle de Joule inverse et pompe à chaleur

Une pompe à chaleur (Fig. 1) effectue le cycle de Joule inverse suivant.

- L'air pris dans l'état 1 de température  $T_F$  et de pression  $p_F$  est comprimé suivant une adiabatique quasi statique (ou réversible) jusqu'au point 2 où il atteint la pression  $p_C$ .
- Le gaz se refroidit à pression constante et atteint la température de la source chaude,  $T_C$ , correspondant à l'état 3.
- L'air est ensuite refroidi dans une turbine suivant une détente adiabatique quasi statique pour atteindre l'état 4 de pression  $p_F$ .
- Le gaz se réchauffe enfin à pression constante au contact de la source froide et retrouve son état initial 1.

On considère l'air comme un gaz parfait de coefficient  $\gamma = C_p/C_v = 1,4$ . On posera  $\beta = 1 - \gamma^{-1}$  et  $a = p_C/p_F$ . Pour les applications numériques on prendra :  $T_C = 298$  K ;  $T_F = 283$  K ;  $a = 5$ .

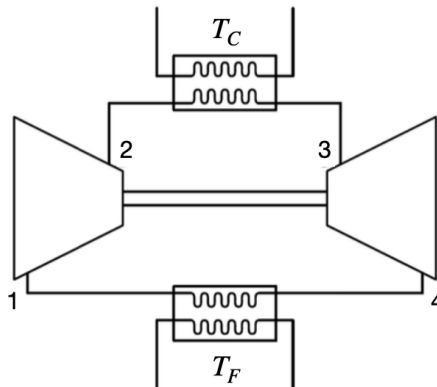


FIGURE 1 – Schéma de fonctionnement d'une pompe à chaleur.

- (1) Représenter le cycle parcouru par le fluide dans un diagramme de Clapeyron (dans le plan  $(V, P)$ ).
- (2) Exprimer les températures  $T_2$  et  $T_4$  en fonction de  $T_F$ ,  $T_C$ ,  $a$  et  $\beta$ . Calculer leurs valeurs.
- (3) Définir l'efficacité  $e$  de la pompe à chaleur à partir des quantités d'énergie échangées au cours du cycle. Montrer qu'elle s'exprime seulement en fonction de  $a$  et  $\beta$ . Calculer sa valeur.
- (4) Déterminer l'efficacité  $e_C$  d'un cycle de Carnot fonctionnant entre les températures  $T_F$  et  $T_C$ , en fonction de ces températures. Calculer sa valeur. Comparer les valeurs obtenues pour  $e$  et  $e_C$  et commenter.
- (5) La pompe à chaleur envisagée est utilisée pour chauffer une maison. Sachant qu'en régime permanent les fuites thermiques de la maison s'élèvent à  $\dot{Q}_{fuites} = 20$  kW, calculer la puissance mécanique du couple compresseur-turbine qui permet de maintenir la maison à température constante.

## Exercice 2 : Chauffe-eau solaire

Le principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire est schématisé dans la Fig. 2. Le capteur de rayonnement est constitué d'une boîte fermée par une plaque de verre. Placé sur le toit, ce capteur permet de fournir l'eau chaude d'une maison individuelle, dans une région bien ensoleillée.

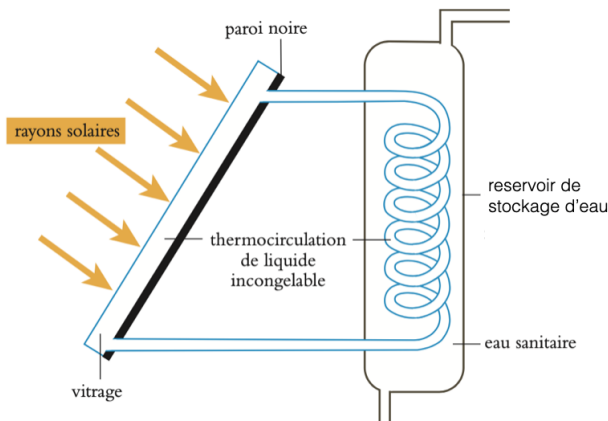


FIGURE 2 – Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire.

Dans cet exercice, le fluide caloporteur (modélisé par un liquide incompressible) du circuit primaire circule avec un débit de 20 l/h. La valeur de sa chaleur massique est  $C = 4100 \text{ J}/(\text{kg K})$  ; 1 l de fluide a une masse de 1,02 kg. Une sonde de température mesure la température du fluide à l'entrée du capteur ( $15^\circ\text{C}$ ) et à la sortie ( $40^\circ\text{C}$ ).

(1) Déterminer la quantité de chaleur absorbée par le fluide circulant dans le capteur pendant une heure. Exprimer le résultat en J et en kWh.

(2) Déterminer la puissance thermique reçue par le liquide caloporteur et par l'eau du réservoir de stockage.

(3) Sachant que le capteur a une surface de  $2 \text{ m}^2$  et que la puissance solaire qu'il reçoit, par unité de surface, est estimée à  $800 \text{ W}/\text{m}^2$ , calculer son rendement.

## Exercice 3 : Surface d'un capteur solaire

Le capteur d'un chauffe-eau solaire reçoit par jour une énergie rayonnée de  $16,8 \text{ MJ}/\text{m}^2$ . Son rendement est de 50%. On souhaite déterminer la surface du capteur permettant de chauffer quotidiennement l'eau d'un chauffe-eau de 200 l. La chaleur massique de l'eau vaut  $C_{H_2O} = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ .

(1) Quelle est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'eau pour la faire passer de  $20^\circ\text{C}$  à  $60^\circ\text{C}$  ?

(2) Calculer l'énergie solaire que le capteur doit recevoir pour ce faire.

(3) Déterminer la surface du capteur nécessaire pour assurer cette augmentation de température.