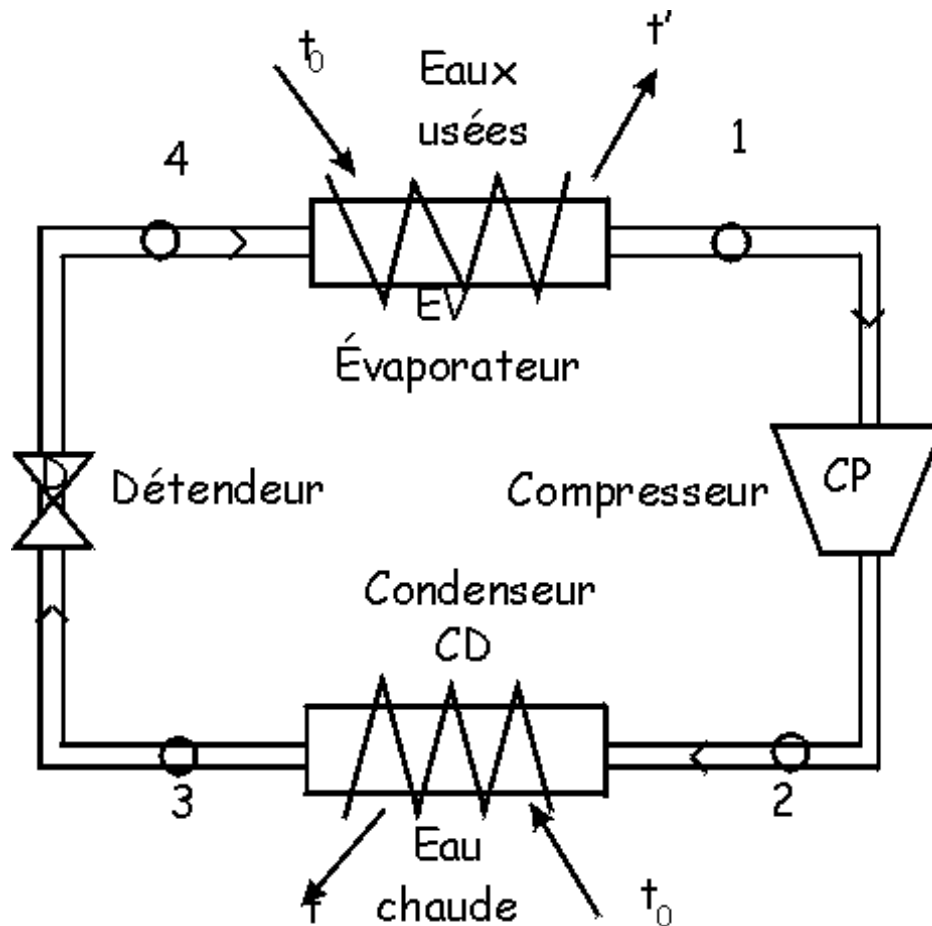


Les questions I, II, III, IV, V sont indépendantes les unes des autres.

Ce problème propose l'étude d'une pompe à chaleur alimentant partiellement le circuit d'eau chaude d'une maison à partir de l'énergie thermique extraite des eaux usées.

Un kilogramme du fluide utilisé dans la pompe décrit le cycle représenté sur la figure ci-dessous et sera considéré, en phase vapeur, comme un gaz parfait.



Description du cycle

Le fluide est totalement vaporisé à la sortie de l'évaporateur  $EV$  (point 1) à la température  $T_1$  et la pression  $p_1$  (pression de l'équilibre liquide - vapeur du fluide à cette température).

Il pénètre dans le compresseur  $CP$  où il subit une compression isentropique. Il en sort à l'état de vapeur sèche, à la pression  $p_2$  et la température  $T_2$  (point 2).

Dans le condenseur  $CD$  il subit un refroidissement isobare jusqu'à la température  $T_2$ , température de l'équilibre liquide - vapeur du fluide à la pression  $p_2$ , puis une liquéfaction totale (point 3).

Dans le détendeur  $D$  il est détendu jusqu'à la pression  $p_1$  de manière isenthalpique et partiellement

vaporisé. Il subit alors une vaporisation complète dans l'évaporateur à pression constante  $p_1$ .

La chaleur reçue par le fluide dans l'évaporateur provient d'un circuit d'eaux usées alors que dans le condenseur, le fluide cède de la chaleur au circuit d'eau chaude de la maison.

Données numériques

$$T_1 = 273 \text{ K}; \quad T_2 = 305 \text{ K}, \quad p_1 = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad p_2 = 12,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

chaleurs latentes de vaporisation du fluide

$$L_1(T_1) = 206,0 \text{ kJ/kg}; \quad L_2(T_2) = 184,7 \text{ kJ/kg};$$

constante des gaz parfaits :  $R = 8,32 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

masse molaire du fluide :  $M = 86,5 \text{ g}$ ;

rapport des chaleurs massiques  $= C_p/C_v = 1,177$

chaleur massique du fluide liquide le long de la courbe de saturation :  $c = 1,318 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

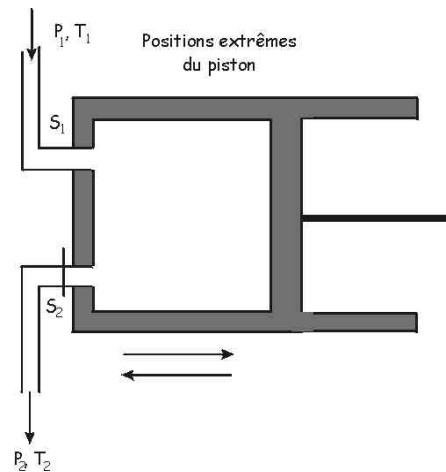
### I Etude préliminaire

Représenter qualitativement dans un diagramme entropique ( $T, S$ ) la courbe de saturation et les points représentatifs de l'état du fluide au cours du cycle (points 1 à 4 et point intermédiaire intéressant).

### II - Etude du compresseur

Le compresseur est schématisé ci-contre. La compression s'y déroule en trois étapes :

Le volume interne du compresseur est initialement nul, la soupape d'admission  $S_1$  ouverte et la soupape de refoulement  $S_2$  fermée. On aspire, à  $p_1$  et  $T_1$  constants un kilogramme de fluide vapeur qui occupe alors un volume  $V_1$ .



- Les deux soupapes sont fermées, on comprime cette vapeur de façon adiabatique jusqu'à la pression  $p_2$  et la température  $T_2$ , la vapeur occupant alors un volume  $V_2$ .
- $S_2$  est ouverte et  $S_1$  fermée. On refoule la vapeur à  $p_2$  et  $T_2$  constants. Le piston revient à sa position initiale.

1) Représenter les trois phases du fonctionnement du compresseur dans un diagramme donnant la pression  $p$  en fonction du volume interne  $V$  du compresseur.

2) Vérifier que la constante massique  $r$  du fluide vaut  $r = 96,2 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

3) Après avoir établi l'expression du travail échangé entre le fluide et le piston au cours de chaque étape, déterminer celle du travail total  $W_{tot}$  valeur massique en fonction de  $r$ ,  $T_1$  et  $T_2$ .

4) Déterminer l'expression littérale de  $T_2$  en fonction de  $T_1$ ,  $p_1$  et  $p_2$  puis celle de  $W_{tot}$  en fonction de  $r$ ,  $T_1$ ,  $p_1$ , et  $p_2$ .

Calculer les valeurs de  $T_2$  et  $W_{tot}$

### III - Etude du condenseur

Déterminer littéralement et numériquement la chaleur  $q$  échangée par l'unité de masse du fluide avec le circuit d'eau chaude (on prendra  $T_2 = 314$  K).

### IV - Etude du détenteur

Déterminer littéralement et numériquement la fraction massique  $x$  de fluide vaporisé à la sortie du détenteur en fonction de  $c$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $L_1$

### V - Etude de l'évaporateur

En considérant l'évaporateur parfaitement calorifugé, déterminer la chaleur  $q'$  échangée par l'unité de masse du fluide avec le circuit d'eaux usées

Faire l'application sachant que  $x = 0,205$ .

### VI - Efficacité

Déterminer l'expression littérale de l'efficacité de cette pompe à chaleur.

Justifier et calculer sa valeur numérique.