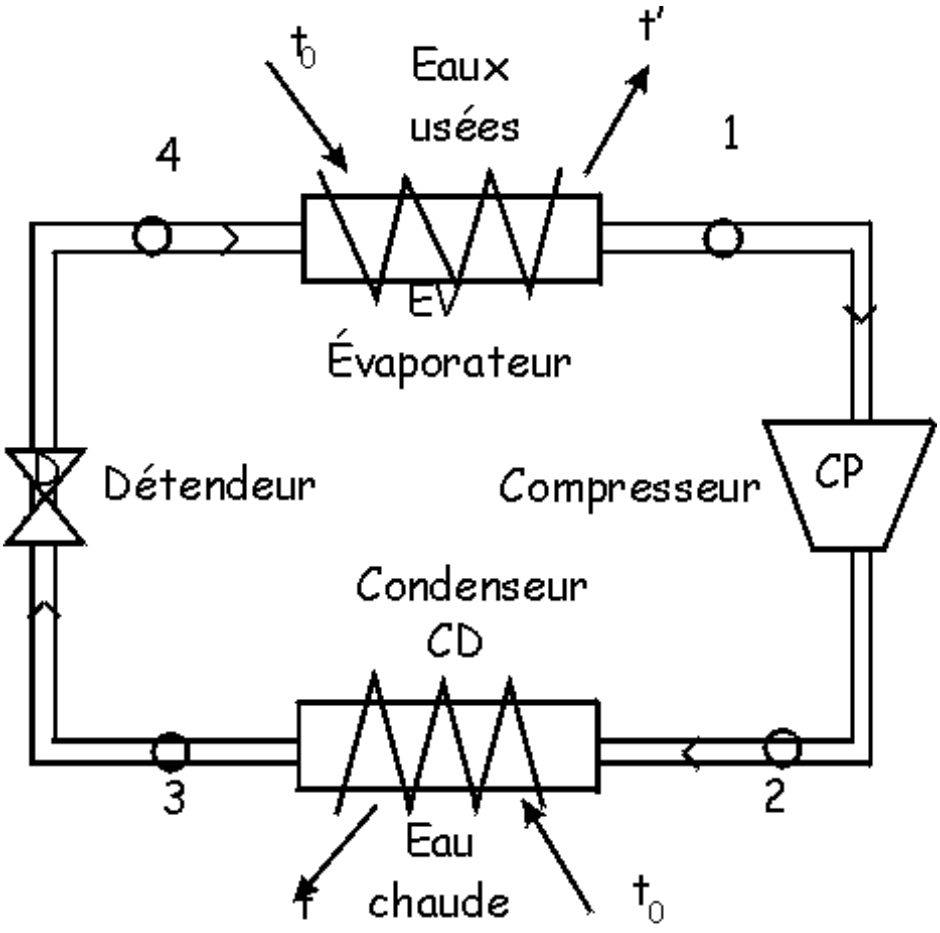
Les questions I, II, III, IV, V sont indépendantes les unes des autres.

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 K; $T_{2'}$ = 305 K, $p_1 = 5\ 10^5$ Pa $p_2 = 12{,}6\ 10^5$ Pa
chaleurs latentes de vaporisation du fluide
$L_1\ (T_1)$ = 206,0 kJ /kg ; $L_2\ (T_{2'})$ = 184,7 kJ /kg ;
constante des gaz parfaits : R = 8,32 J.mol^{-1}.K^{-1}
masse molaire du fluide : M = 86,5 g;
rapport des chaleurs massiques $\gamma = C_P/C_V = 1{,}177$
chaleur massique du fluide liquide le long de 1a courbe de saturation : c = 1,318 kJ.kg^{-1}.K^{-1}

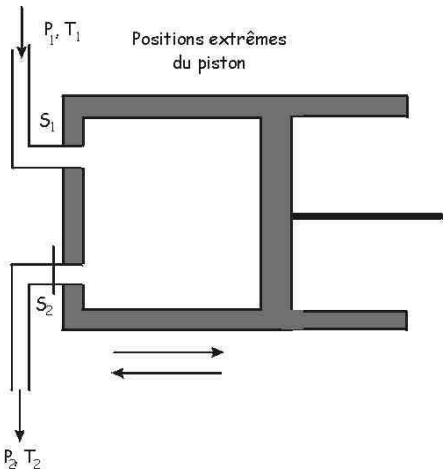
I Etude préliminaire

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

Il - 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_l.



- 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 J.kg^{-1}.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, γ, T_l et T_2.

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

Déterminer littéralement et numériquement la fraction massique x de fluide vaporisé à la sortie du détendeur 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.

Premier exercice

Une entreprise spécialisée dans la récupération des métaux précieux désire éliminer d'une eau polluée les ion Cu^{2+} quelle contient.

Pour cela, on immerge dans cette eau des barres d'acier que l'on assimile à du fer pur.

On donne les couples oxydant - réducteur suivants :

Fe^{2+}/Fe : $E^o_1 = -0,44$ V Cu^{2+}/Cu $E^o_2 = 0,34$ V

1- Ecrire l'équation représentant chaque couple,

2- En comparant les valeurs de leurs potentiels standards, expliquer quelle est la réaction spontanée se produisant entre ces deux couples.

Ecrire les équations représentant

- l'oxydation
- la réduction
- la réaction globale d'oxydoréduction,

3- Expliquer comment le procédé utilisé dans cet atelier permet d'éliminer les ions Cu^{2+} de l'eau.

4- On traite 500 litres d'eau polluée. Quand la réaction est terminée, on récupère 317,5 g de cuivre. Déterminer la concentration en ions Cu^{2+} de l'eau polluée en $mol.L^{-1}$.

Masse molaire Cu = 63,5 $g.mol^{-1}$.

5- Les ions Fe^{2+} apparus au cours du traitement de cette eau sont éliminés à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium. Un précipité d'hydroxyde de fer II $\{Fe(OH)_2\}$se forme.

a) Ecrire l'équation de la réaction entre les ions Fe^{2+} et les ions OH^-.

b) Quel volume d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c = 2,5$ $mol.L^{-1}$ doit-on alors verser dans les 500 litres d'eau traitée ?

Deuxième exercice

La décomposition du pentoxyde de diazote N_20_5 en solution dans le tétrachlorure de carbone se fait suivant une réaction du premier ordre.

Son équation-bilan est :

$$N_20_5 _ \quad 2\ N0_2 + 1/2\ 0_2$$

A l'instant $t = 0$, la concentration en N_20_5 vaut $[N_20_5]_o = 0,030$ $mol.L^{-1}$.

4450 secondes plus tard, elle vaut $[N_20_5] = 0,027$ $mol.L^{-1}$.

1. Déterminer l'expression de la concentration en N_20_5 en fonction du temps,

2.
   a. Calculer la valeur de la constante de vitesse k de la réaction en s^{-1}.
   b. Qu'appelle-t-on temps de demi réaction ? Calculer sa valeur.

3. On admet que la réaction est terminée s'il ne reste dans le récipient que 0,5 % de la concentration initiale de N_20_5, Au bout de combien de temps cela se produira-t-il ? A combien de fois le temps de demi réaction ce délai correspond-il ?