

BTS FEE 2015 : partie Physique

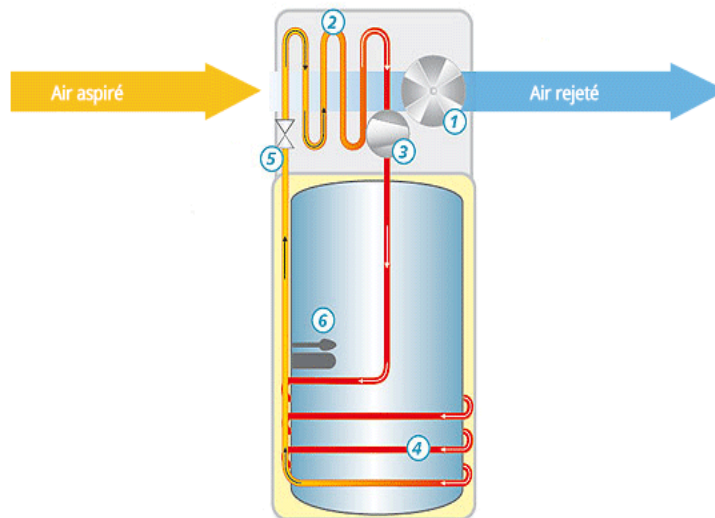
Le sujet comporte trois parties indépendantes.

Ce sujet porte sur l'étude d'un chauffe-eau thermodynamique dont le principe général de fonctionnement et les consignes d'entretien sont données dans les documents suivants (extraits du site www.gdfsuez-dolcevita.fr).

Document 1 : fonctionnement d'un chauffe-eau thermodynamique.

Il s'agit d'un dispositif alliant un ballon de stockage d'eau chaude et une pompe à chaleur électrique (PAC) « air / eau ».

Son fonctionnement est le suivant :



- Étape 1 : l'air est aspiré grâce au ventilateur.
- Étape 2 : l'air aspiré réchauffe le fluide frigorigène en lui transmettant ses calories. Le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état gazeux dans l'évaporateur.
- Étape 3 : le fluide frigorigène est comprimé grâce au compresseur afin d'augmenter sa température et sa pression.
- Étape 4 : le fluide frigorigène, sous forme de vapeur haute pression, passe de l'état vapeur à l'état liquide dans le condenseur. En se condensant, il cède de la chaleur à l'eau du ballon via l'échangeur.
- Étape 5 : le fluide frigorigène est alors détendu et le cycle recommence.
- Étape 6 : si l'apport de chaleur de la PAC n'est pas suffisant, la résistance électrique assure l'appoint.

Partie 1 - Étude du fonctionnement de la pompe à chaleur

Cette pompe à chaleur fonctionne avec le fluide frigorigène R134a. Ce dernier décrit le cycle thermodynamique dont l'allure est donnée sur le document-réponse (à rendre avec la copie).

Son débit massique est constant et vaut $q_m = 0,87 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$.

Au point A, le fluide est sous forme de vapeur saturée à la pression $p_A = 3,5 \text{ bar}$ et à la température $\theta_A = 5,0^\circ\text{C}$.

Il subit alors une compression adiabatique jusqu'à la pression $p_B = 11,6 \text{ bar}$ et atteint la température θ_B (point B).

Puis il passe dans l'échangeur où la vapeur se refroidit (point B'), puis se condense en cédant de la chaleur à l'eau sanitaire. A la sortie du condenseur (point C), le fluide est entièrement liquide. Le fluide subit ensuite une détente isenthalpique ; à la sortie du détendeur, le fluide est sous forme d'un mélange liquide-vapeur (point D).

Enfin, le liquide restant s'évapore grâce à la chaleur reçue par l'air aspiré et revient dans l'état de vapeur saturée (point A).

A - Diagramme enthalpique du cycle

Toutes les transformations, **sauf la détente isenthalpique (*)**, sont supposées réversibles.

1. A quelle étape, décrite dans le document 1, correspond la transformation subie par le fluide entre les états A et B ?
2. Parmi les termes suivants, choisir celui qui indique la nature de la transformation entre les états B et C :
isotherme isochore isobare adiabatique isentropique isenthalpique.
3. Sur le document-réponse, terminer le tracé du cycle en indiquant le point D (état du fluide à la sortie du détendeur) et en orientant chaque transformation.

(*) : Cette remarque ne figure pas dans l'énoncé original.

B - Grandeurs caractéristiques du fluide

Le fluide frigorigène R134a, nommé aussi 1,1,1,2-tétrafluoroéthane, a pour formule brute $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$.

Il se comporte comme un gaz parfait de constante massique r , de coefficient adiabatique γ et de capacité thermique massique à pression constante $c_p = 660 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Données : masses molaires atomiques M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: H : 1,0 ; C : 12,0 ; F : 19,0 ;

constante molaire caractéristique des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

relations entre les capacités thermiques massiques à pression constante c_p et à volume constant c_v :

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} \quad ; \quad r = c_p - c_v.$$

1. Montrer que la constante massique du gaz parfait R134a vaut $r = 81,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
2. Exprimer le coefficient adiabatique γ en fonction des grandeurs r et c_p , puis calculer sa valeur.

C - Étude du cycle thermodynamique

1. On s'intéresse à la compression du fluide entre les états A et B.

a) A partir de la relation de Laplace $p^{1-\gamma} T^\gamma = \text{constante}$, valable pour une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait, exprimer la température T_B en fonction de T_A , p_A , p_B et γ .

b) Faire l'application numérique avec $\theta_A = 5,0^\circ\text{C}$, $p_A = 3,5 \text{ bar}$, $p_B = 11,6 \text{ bar}$ et $\gamma = 1,14$.

Pour la suite de l'exercice, on prendra $T_B = 322 \text{ K}$.

2. A l'aide du premier principe de la thermodynamique pour un fluide en écoulement permanent (*), exprimer le travail massique de transvasement du compresseur w_{comp} en fonction des températures T_A et T_B puis vérifier que $w_{\text{comp}} = 29,0 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

3. On rappelle que la puissance du compresseur est égale au produit du travail massique de l'appareil par le débit massique q_m du fluide.

Calculer la valeur, en watts, de la puissance du compresseur P_{comp} .

4. On note P_{th} la puissance thermique cédée par le fluide à l'eau sanitaire dans le condenseur.

a) Rappeler l'expression du coefficient de performance, noté COP, de cette pompe à chaleur en fonction de P_{comp} et P_{th} .

b) Le constructeur indique un COP de 3,6. Calculer, alors, la valeur de P_{th} .

(*) : Cette précision ne figure pas dans l'énoncé original.

Document-réponse (à rendre avec la copie)

Partie 1 – question A.3.

Allure du cycle thermodynamique du fluide frigorigène dans le diagramme enthalpique

