



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Canopé de l'académie de Bordeaux
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BTS FLUIDES ÉNERGIES ENVIRONNEMENTS

SCIENCES PHYSIQUES – U. 22

SESSION 2015

—
Durée : 2 heures
Coefficient : 2
—

Matériel autorisé :

- toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

Tout autre matériel est interdit.

Document à rendre avec la copie :

- document-réponse.....page 7/7

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 7 pages, numérotées de 1/7 à 7/7.

BTS FLUIDES ÉNERGIES ENVIRONNEMENTS		Session 2015
Sciences physiques – U. 22	Code : FEE2SC	Page : 1/7

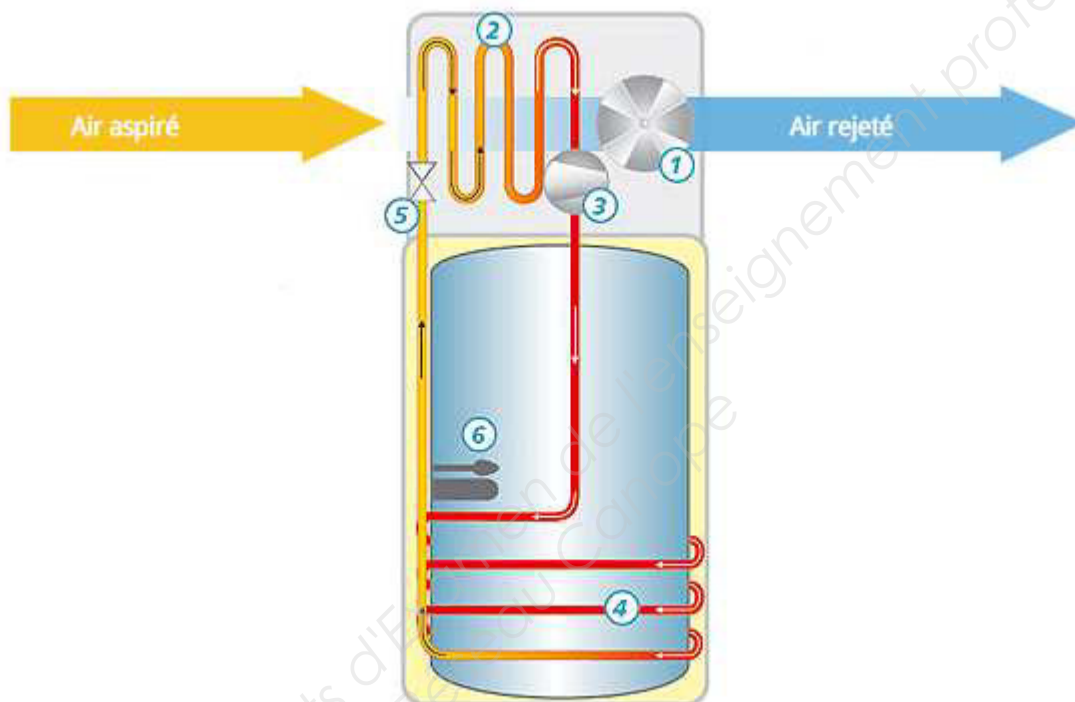
Le sujet comporte trois parties indépendantes.

Ce sujet porte sur l'étude d'un chauffe-eau thermodynamique dont le principe général de fonctionnement et les consignes d'entretien sont donnés 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.

Document 2 : les bons réflexes pour entretenir un chauffe-eau thermodynamique.

Un chauffe-eau thermodynamique nécessite plus d'entretien qu'un ballon classique. En effet, il allie une résistance électrique et une PAC.

L'entretien de cet équipement est recommandé une fois par an pour assurer des performances optimales tout en allongeant sa durée de vie.

Lors de sa visite, un professionnel vérifiera tout particulièrement :

- la libre circulation de l'air autour du système (arrivée et sortie d'air bien dégagées) ;
- l'état général de l'appareil ;
- l'état des connexions électriques ;
- les paramètres de régulation ;
- l'encrassement des filtres ;
- l'étanchéité du réseau de fluide frigorigène afin de détecter d'éventuelles fuites néfastes pour l'environnement ;
- l'entartrage du chauffe-eau ;
- l'état de l'anode en magnésium protégeant la cuve de la corrosion.

Partie 1 – Étude du fonctionnement de la pompe à chaleur (8 points)

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 (page 7/7, 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 $\theta_A = 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

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. À 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 sont supposées réversibles.

1. À quelle étape, décrite dans le **document 1 (page 2/7)**, 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.

B. Grandeurs caractéristiques du fluide

Le fluide frigorigène R134a, nommé aussi 1,1,1,2-tétrafluoroéthane, a pour formule brute $C_2H_2F_4$. Il se comporte comme un gaz parfait de constante massique r , de coefficient adiabatique γ et de capacité thermique massique à pression constante $c_p = 660 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Données :

- masses molaires atomiques M en g.mol^{-1} : $H : 1,0$; $C : 12,0$; $F : 19,0$;
- constante molaire caractéristique des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- relations entre les capacités thermiques massiques à pression constante c_p et à volume constant c_v : $\gamma = c_p / c_v$; $r = c_p - c_v$.

1. Montrer que la constante massique du gaz parfait R134a vaut $r = 81,5 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
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) À partir de la relation de Laplace $p^{1-\gamma} \cdot T^\gamma = \text{constante}$, 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 $\theta_A = 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_A = 3,5 \text{ bar}$, $p_B = 11,6 \text{ bar}$ et $\gamma = 1,14$.

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

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

Partie 2 – Entretien de la cuve du chauffe-eau (5 points)

Les parties A et B sont indépendantes.

A. Détartrage de la cuve

Le dépôt de tartre ou de calcaire sur les parois du chauffe-eau est plus ou moins important suivant la dureté de l'eau. Plus une eau contient des ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} , plus elle est dite « dure » et plus le dépôt de calcaire sera important. Inversement, une eau pauvre en ions calcium est dite « douce » et a moins d'impact sur les canalisations.

Données :

- élément calcium : numéro atomique : $Z = 20$; nombre de nucléons : $A = 40$.

1. L'ion Ca^{2+} est formé à partir d'un atome de calcium qui perd deux électrons.
Donner la composition (nombre de protons, neutrons et électrons) de cet ion.
2. Citer un dispositif, qui, installé au niveau de l'arrivée d'eau, permet de réduire la dureté de l'eau.

Si le chauffe-eau est installé dans une région où l'eau est dure, il faut le détartre régulièrement. Pour cela, on vidange la cuve pour évacuer les dépôts de calcaire et on brosse les parties les plus exposées (comme la résistance électrique) avec un mélange d'eau et de vinaigre. En effet, le vinaigre contient une espèce chimique acide, l'acide acétique CH_3COOH , qui réagit avec les ions hydrogencarbonate HCO_3^- présents dans le calcaire et permet donc de le dissoudre.

Données :

- couples acide / base : $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) / \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$; $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{l}) / \text{HCO}_3^-(\text{aq})$.

3. Le vinaigre est une solution acide, son pH est-il inférieur, supérieur ou égal à 7 à 25 °C ?
4. Rappeler la définition d'un acide au sens de Brønsted.
5. Écrire l'équation de la réaction acido-basique se produisant entre l'acide acétique CH_3COOH et l'ion hydrogencarbonate HCO_3^- .

B. Protection contre la corrosion

L'acier, principalement constitué de fer, est un matériau qui s'oxyde au contact du dioxygène. Pour limiter la corrosion de la cuve en acier du chauffe-eau, on utilise une anode sacrificielle en magnésium. Le constructeur indique que ce dispositif n'est plus efficace dès que 80 % de la masse initiale de l'anode en magnésium a disparu. Il faut donc vérifier régulièrement l'état de cette pièce métallique et la changer lorsque cela devient nécessaire.

Données :

- potentiels standard de quelques couples oxydant/réducteur :

$E^\circ(\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}) = 1,23 \text{ V}$ $E^\circ(\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}) = -0,44 \text{ V}$ $E^\circ(\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}) = -2,36 \text{ V}$;

- masse volumique du magnésium : $\rho = 1,74 \text{ g.cm}^{-3}$;

- masse molaire atomique du magnésium : $M = 24,3 \text{ g.mol}^{-1}$.

1. Écrire la demi-équation électronique traduisant l'oxydation du magnésium Mg.
2. À partir des valeurs des potentiels standards, expliquer pourquoi l'anode en magnésium empêche l'oxydation de la cuve en acier.

3.

- a) Initialement, l'anode de magnésium est un cylindre de volume $V = 500 \text{ cm}^3$.
Calculer la masse de magnésium oxydée au moment du remplacement de l'anode.
- b) En moyenne, la vitesse de corrosion du magnésium est de $v = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol par jour}$.
Déterminer le temps au bout duquel il faudra remplacer cette pièce.

Partie 3 – Installation du chauffe-eau sur le réseau électrique existant (7 points)

Une famille souhaite installer un chauffe-eau thermodynamique dans sa buanderie. Dans cette partie, on veut vérifier si le circuit électrique existant de la buanderie peut supporter l'ajout de cet appareil.

Pour cela, on propose de faire le bilan de puissance de la future installation comprenant :

- une machine à laver qui absorbe une puissance $P_{\text{machine}} = 2,2 \text{ kW}$ avec un facteur de puissance de $\cos \varphi_{\text{machine}} = 0,88$;
- un fer à repasser qui se comporte comme une résistance de $R = 35 \Omega$;
- le chauffe-eau thermodynamique qui présente deux modes de fonctionnement suivant la température de l'air aspiré :
 - mode 1 : la pompe à chaleur assure le chauffage de l'eau. Le chauffe-eau est alors assimilé à un moteur asynchrone, monophasé $230 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$ de puissance utile $P_u = 420 \text{ W}$ et de rendement $\eta = 84 \%$, entraînant le compresseur de la pompe à chaleur ;
 - mode 2 : seule la résistance électrique d'appoint assure le chauffage de l'eau avec une puissance de $2,0 \text{ kW}$.

Tous les appareils sont branchés sur le réseau monophasé $230 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$ par l'intermédiaire de prises reliées au même disjoncteur divisionnaire d'intensité 32 A .

1. Calculer la valeur de la puissance réactive Q_{machine} de la machine à laver.

2.

- a) Montrer que la valeur de la puissance consommée par le fer à repasser est $P_{\text{fer}} = 1,5 \text{ kW}$.
- b) Justifier la valeur de la puissance réactive, $Q_{\text{fer}} = 0$.

3. Puissance électrique maximale consommée par le chauffe-eau.

- a) Calculer la puissance active P_a du moteur alimentant le compresseur de la PAC.
- b) Quel mode de fonctionnement du chauffe-eau consomme le plus d'énergie électrique ?

4. Bilan de puissance de l'installation.

On considère que le chauffe-eau (fonctionnant en mode 2), la machine à laver et le fer fonctionnent simultanément.

- a) **Sur le document-réponse**, compléter le tableau des puissances, puis calculer les puissances active P_T et réactive Q_T de l'installation.
- b) Montrer que la puissance apparente de l'installation vaut $S_T = 5,8 \text{ kVA}$.
- c) En déduire la valeur du facteur de puissance de l'installation $\cos \varphi_T$.
- d) Montrer que l'intensité appelée par l'installation est d'environ $I = 25 \text{ A}$.

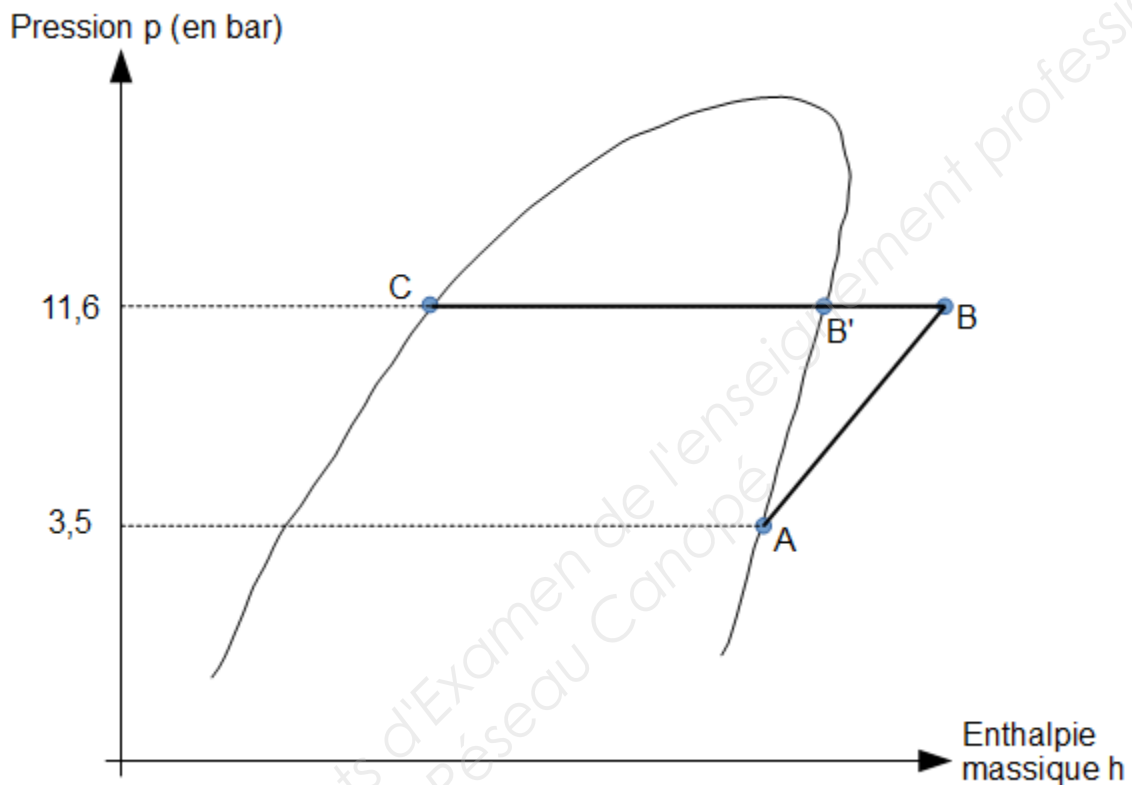
Le chauffe-eau peut-il être directement branché sur le réseau électrique existant ?

DOCUMENT-RÉPONSE

(À rendre avec la copie)

Partie 1 – question A.3. :

Allure du cycle thermodynamique du fluide frigorigène dans le diagramme enthalpique



Partie 3 – question 4. :

Tableau des puissances mises en jeu dans l'installation

	Puissance active P	Puissance réactive Q
Machine à laver	2,2 kW	
Fer à repasser		
Chauffe-eau fonctionnant en mode 2	2,0 kW	0