



**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.

# BREVET TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## DOMOTIQUE

### U32 – SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2014

\_\_\_\_\_

Durée : 2 heures  
Coefficient : 2

\_\_\_\_\_

**Matériel autorisé :**

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique sous réserve 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.

**Le sujet comporte 5 parties indépendantes :**

<b>Partie 1 :</b>	<b>Étude de la pompe à chaleur</b>	<b>(5 points)</b>
<b>Partie 2 :</b>	<b>Bilan énergétique</b>	<b>(2 points)</b>
<b>Partie 3 :</b>	<b>Le système d'accumulation</b>	<b>(4 points)</b>
<b>Partie 4 :</b>	<b>Le système de régulation</b>	<b>(4 points)</b>
<b>Partie 5 :</b>	<b>Analyse de l'eau sanitaire</b>	<b>(5 points)</b>

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

BTS DOMOTIQUE		Session 2014
U32 – SCIENCES PHYSIQUES	Code : 14DOPHY1	Page : 1/7

# Une maison à énergie positive



Figure 1 : Photographie p 16 issue de la revue CVC n°874 de mai / juin 2012

La revue CVC n° 874 de mai / juin 2012 présente un article sur une petite maison à énergie positive. L'idée est de coupler la production électrique photovoltaïque à une pompe à chaleur.

Les modules photovoltaïques ne convertissent qu'une partie de l'énergie solaire (de 5 % à 20 % suivant la technologie employée) en énergie électrique. L'éclairement des panneaux photovoltaïques engendre une augmentation de leur température. Une ventilation de ces panneaux permet de les refroidir. L'air ainsi évacué préchauffe de l'eau située en haut de la toiture. Cette eau sert de source froide à une pompe à chaleur. L'eau chaude sanitaire et l'eau permettant le chauffage de la maison sont produites par le fonctionnement de la pompe à chaleur.

## Conception de la maison

La maison est en ossature bois. La surface habitable est de  $150 \text{ m}^2$ . Sur la toiture de la face sud sont implantés  $100 \text{ m}^2$  de panneaux photovoltaïques. Le niveau de consommation énergétique de l'habitat est estimé à  $45 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ .

**L'objectif de ce sujet est l'étude simplifiée d'une petite maison utilisant ce système. Il comporte 5 parties indépendantes.**

BTS DOMOTIQUE		Session 2014
U32 – SCIENCES PHYSIQUES	Code : 14DOPHY1	Page : 2/7

## Partie 1 : Étude de la pompe à chaleur

(5 points)

On étudie les transformations réversibles de 1 kg d'air, gaz considéré comme parfait. Le cycle simplifié est décrit figure 2 ci-dessous :

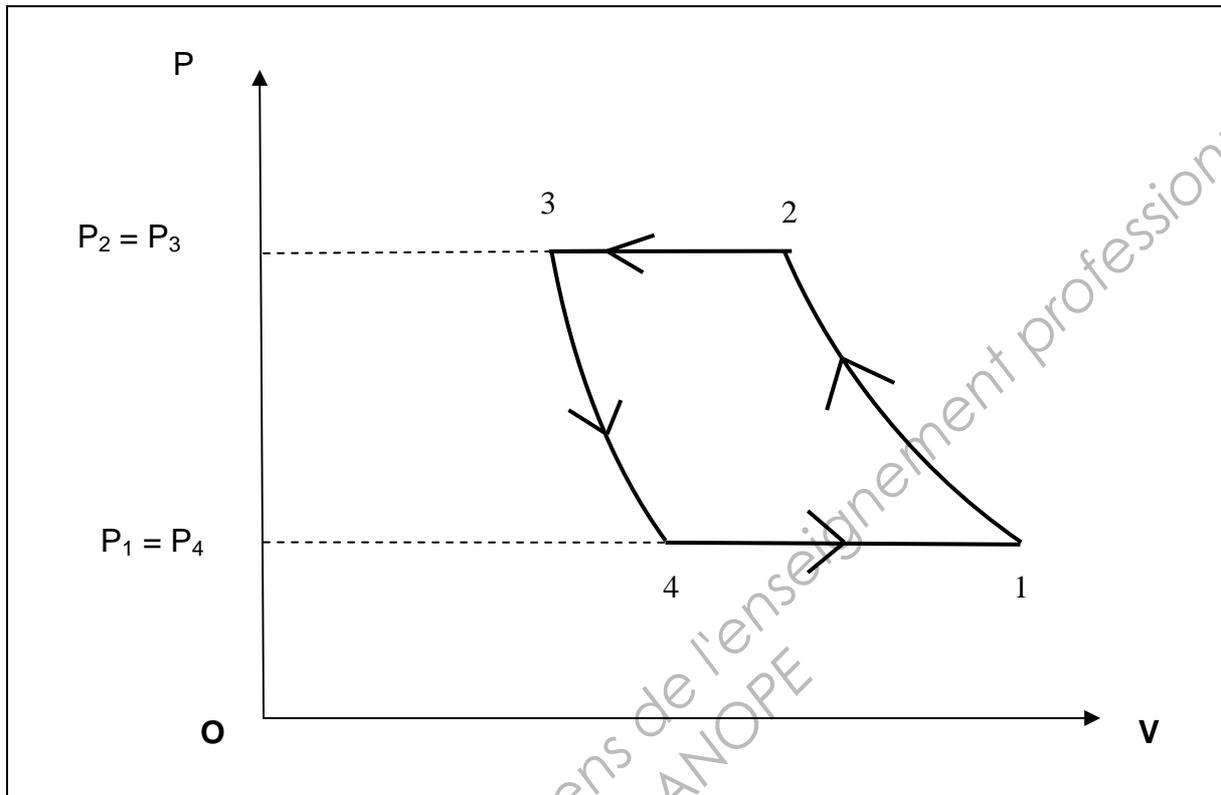


Figure 2 : Cycle de transformations subies par l'air au sein de la pompe à chaleur

Les transformations subies sont détaillées ci-dessous :

Transformation 1-2 : l'air subit une compression adiabatique dans le compresseur faisant passer sa pression de  $P_1 = 2 \times 10^5$  Pa à  $P_2 = 6 \times 10^5$  Pa. La température absolue passe de la valeur  $T_1 = 303$  K à la température absolue  $T_2$ .

Transformation 2-3 : dans un serpentin installé dans la réserve d'eau, l'air subit un refroidissement isobare, la température absolue passant de  $T_2$  à  $T_3 = 323$  K.

Transformation 3-4 : l'air subit ensuite une détente adiabatique ; la pression passe alors de la valeur  $P_3 = P_2$  à la pression  $P_4 = P_1$ .

Transformation 4-1 : l'air arrive au contact de la source froide. Il se réchauffe et sa température augmente jusqu'à la valeur  $T_1$ .

Données :

Constante des gaz parfaits  $R = 8,32$  J. mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Capacité thermique massique de l'air à pression constante  $c_p = 1,0 \times 10^3$  J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Rapport des capacités thermiques massiques de l'air, à pression constante et

volume constant :  $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,40$

Relation des gaz parfaits :  $P.V = n.R.T$

Pour une transformation adiabatique réversible, la relation de Laplace peut s'écrire :

$P.V^\gamma = \text{constante}$  ou  $P^{1-\gamma}.T^\gamma = \text{constante}$  ou  $V^{\gamma-1}.T = \text{constante}$

L'énergie échangée par transfert thermique avec l'extérieur par un fluide dont la température passe de la valeur  $T_1$  à la valeur  $T_2$  est donnée par la relation :

$$Q_p = m.c_p.(T_2 - T_1)$$

L'efficacité thermique  $e_{th}$  encore dénommé COP (coefficient de performance) d'une pompe à chaleur est donné par :

$$e_{th} = \left| \frac{Q_c}{W} \right|$$

$Q_c$  : énergie fournie par transfert thermique à la source chaude.

$W$  : énergie fournie sous forme de travail par la pompe à chaleur.

- 1.1 Montrer que  $T_2 = 415 \text{ K}$  et que  $T_4 = 236 \text{ K}$ .
- 1.2 Calculer les différentes énergies échangées par transfert thermique au cours de chacune des transformations du cycle.
- 1.3 En utilisant le premier principe de la thermodynamique pour un cycle, évaluer le travail fourni par la pompe à chaleur au cours du cycle.
- 1.4 Déterminer l'efficacité thermique  $e_{th}$  du cycle.

## **Partie 2 : Le bilan énergétique**

**(2 points)**

Sur une année, les  $100 \text{ m}^2$  de panneaux photovoltaïques produisent  $12500 \text{ kWh}$ .

- 2.1 Calculer la consommation énergétique annuelle.
- 2.2 Pourquoi cette maison est-elle qualifiée de maison à énergie positive ?

## **Partie 3 : Le système d'accumulation**

**(4 points)**

Le coefficient d'efficacité thermique réel est inférieur à celui calculé. Il sera pris égal à 3,5 dans la suite du problème.

La pompe à chaleur permet de stocker de l'eau chaude sanitaire à  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  dans un premier ballon. Les besoins en eau sanitaire sont estimés à  $200 \text{ L}$  d'eau à  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  par jour. En hiver, l'eau froide arrive dans le ballon à la température de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- 3.1 Déterminer en J puis en kWh, le transfert thermique nécessaire, en hiver, pour obtenir ces  $200 \text{ L}$  d'eau à la température de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  ?
- 3.2 Déterminer en J puis en kWh, l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de cette pompe à chaleur pour obtenir cette eau sanitaire.

Un second ballon de volume  $V = 1000 \text{ L}$  permet d'accumuler de l'eau chaude servant de source de chaleur pour les besoins du chauffage.

Un jour d'hiver, la pompe à chaleur fonctionne pendant 3 heures. Sa puissance est de  $5 \text{ kW}$ .

- 3.3 Calculer en J puis en kWh, l'énergie fournie par transfert thermique à la source chaude pendant cette durée de fonctionnement.

Une partie de cette énergie, soit 9,5 kWh, permet de produire l'eau sanitaire. L'excédent permet de chauffer l'eau du second ballon.

3.4 Calculer en Joules cet excédent d'énergie.

3.5 Calculer l'élévation de température de l'eau contenue dans ce deuxième ballon.

Données :

chaleur massique de l'eau :  $c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

masse volumique de l'eau :  $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

1 kWh =  $3,6 \times 10^6 \text{ J}$

### Partie 4 : Le système de régulation

(4 points)

Afin d'améliorer le COP de la pompe à chaleur, un système de régulation permet de faire fonctionner celle-ci lorsque la température de la source froide est au moins égale à 20 °C. Le dispositif utilisé est schématisé figure 3 ci-dessous.

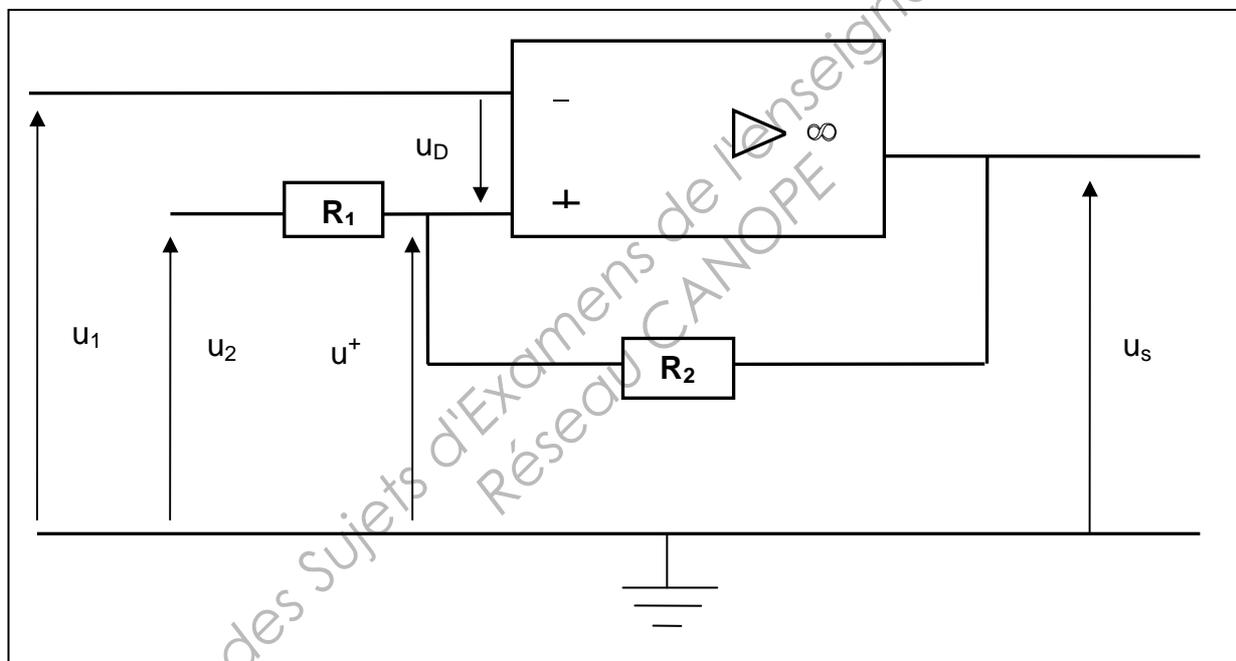


Figure 3 : Montage électronique utilisé pour la régulation de la pompe à chaleur

L'amplificateur opérationnel est considéré comme idéal.

$u_2$  est une source de tension constante dont la valeur est fixée par l'opérateur.

La tension  $u_1$  est délivrée par une sonde de température en contact avec la source froide telle que  $u_1 = 0,1 \times \theta$  avec  $\theta$ , température de la source froide en °C.

La tension de sortie  $u_s$  alimente un relais qui commande la fonction marche -arrêt de la pompe.

Cette dernière fonctionne lorsque  $u_s = -14 \text{ V}$  et est à l'arrêt lorsque  $u_s = +14 \text{ V}$ .

Données :

Tensions de saturation de l'amplificateur opérationnel :  $+V_{\text{sat}} = +14 \text{ V}$  et  $-V_{\text{sat}} = -14 \text{ V}$ .

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  ;  $R_2 = 18 \text{ k}\Omega$  ;

$u_2 = 2,9 \text{ V}$

$$u^+ = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_1 \cdot u_s + R_2 \cdot u_2)$$

- 4.1 Quel est le mode de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel ? Justifier la réponse.
- 4.2 Calculer  $u^+$  lorsque  $u_s = + V_{\text{sat}}$

En début de journée, la température de la source froide est de 5°C. La pompe à chaleur est arrêtée, déterminer :

- 4.3 la valeur de  $u_1$ ,
- 4.4 la valeur de  $u_s$ ,
- 4.5 l'état de la pompe à chaleur,
- 4.6 la valeur de  $u^+$ .

Avec le soleil l'eau de la source froide se réchauffe et lors de son fonctionnement l'eau de la source froide se refroidit.

- 4.7 Déterminer la valeur de la tension  $u_1$  pour laquelle la pompe à chaleur entre en fonctionnement. En déduire la température de la source froide « au déclenchement de celle-ci ».
- 4.8 Déterminer la valeur de la tension  $u_1$  pour laquelle la pompe à chaleur s'arrête. En déduire la température de la source froide à « l'arrêt de celle-ci ».

## **Partie 5 : Analyse de l'eau sanitaire**

**(5 points)**

**Les deux parties ci-dessous sont indépendantes.**

### **5.1 Dureté de l'eau**

Suivant leur provenance, les eaux naturelles possèdent des caractéristiques physico-chimiques qui peuvent être très différentes.

Une eau dure engendre un dépôt de tartre dans les circuits de chauffage.

Les ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  sont à l'origine de la dureté de l'eau.

En France, la dureté d'une eau est exprimée par son titre hydrométrique exprimé en degré hydrométrique noté °TH.

Un dosage a évalué les concentrations massique en ions calcium et magnésium à :

$$C_m(\text{Mg}^{2+}) = 29 \text{ mg/L}$$

$$C_m(\text{Ca}^{2+}) = 82 \text{ mg/L}$$

5.1.1 Déterminer la concentration totale  $C$  en ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  de l'eau.

5.1.2 Calculer le °TH de cette eau. Que dire de la qualité de cette eau.

Données :

°TH =  $10 \times C$  dans laquelle  $C$  est la concentration totale en ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  exprimée en  $\text{mmol.L}^{-1}$ .

Masse molaire ( $\text{g.mol}^{-1}$ ) :  $M(\text{Ca}) = 40,2$  ;  $M(\text{Mg}) = 24,4$

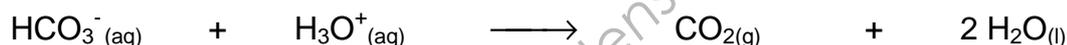
°TH	Qualité de l'eau
°TH < 15	Eau douce
15 < °TH < 35	Eau dure
°TH > 35	Eau très dure

## 5.2. Alcalinité de l'eau

L'eau présente un pH de 8,2. L'alcalinité de cette eau, à cette valeur de pH, est due uniquement à la présence des ions hydrogencarbonate  $\text{HCO}_3^-$ . Cette eau ne contient que les cations  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  et les ions hydrogencarbonate  $\text{HCO}_3^-$ . Sa concentration totale en cations est de  $3,3 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

Afin de vérifier la valeur de la concentration molaire effective en ions  $\text{HCO}_3^-$ , on dose cette eau à l'aide d'acide chlorhydrique composée d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .

L'équation de la réaction associée à la transformation chimique est :



On prélève un volume  $V_1 = 50 \text{ mL}$  d'eau. On ajoute quelques gouttes de vert de bromocrésol. On ajoute alors de l'acide chlorhydrique de concentration molaire  $C_2 = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

L'équivalence est obtenue pour un volume d'acide versé  $V_2 = 16,7 \text{ mL}$ .

**5.2.1** Décrire l'évolution de la couleur de la solution au cours du dosage.

**5.2.2** Déterminer la concentration  $[\text{HCO}_3^-]$  de l'eau.

**5.2.3** En déduire le TAC de cette eau.

Données :

zone de virage du bromocrésol

couleur de l'espèce acide	zone de virage	couleur de l'espèce basique
jaune	$3,8 < \text{pH} < 5,4$	bleu

Le TAC d'une eau correspond au volume d'acide chlorhydrique (exprimé en mL) de concentration molaire  $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  nécessaire pour doser 100 mL d'eau.