

**SESSION 2008**

**BREVET TECHNICIEN SUPÉRIEUR**  
**CHIMISTE**  
**PHYSIQUE**

**Durée : 2 heures**  
**Coefficient : 3**

**Matériel autorisé :**

**Calculatrice de poche à fonctionnement autonome, sans imprimante et sans dispositif de communication externe (circulaire n° 99-186 du 16/11/99).**

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.**

**Le sujet comporte 7 pages, numérotées de 1 à 7.**

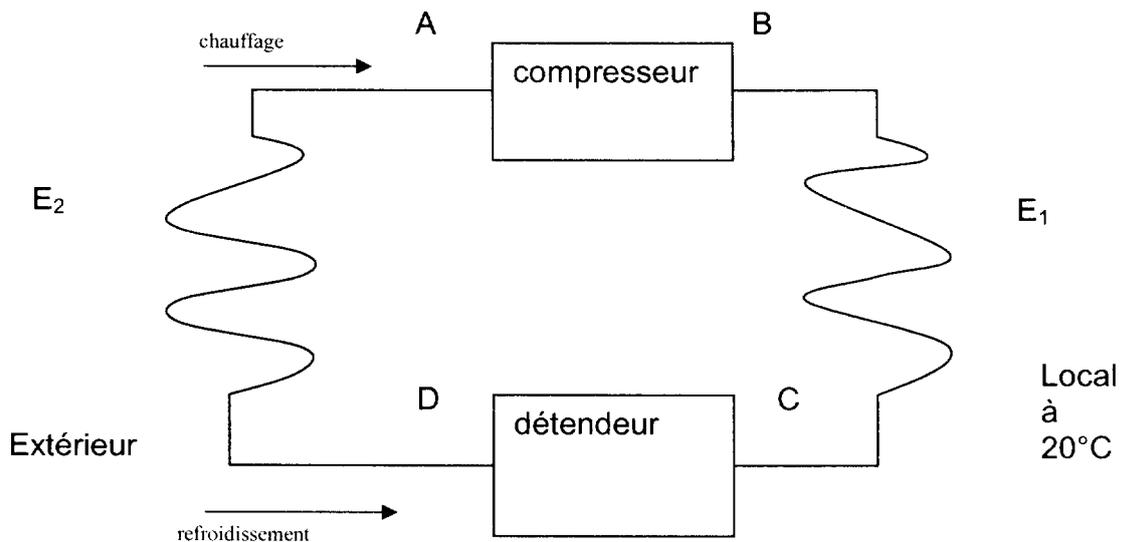
**L'annexe 1 et l'annexe 2 sont à rendre avec la copie.**

**Code sujet : CHPHY/N08**

## Étude d'un climatiseur

On s'intéresse à un système de climatisation dont le but est de maintenir une température constante ( $T_0 = 293 \text{ K}$ ) dans un local, été comme hiver. Le climatiseur fonctionne donc en pompe à chaleur l'hiver et en machine frigorifique l'été.

L'installation schématisée ci-dessous comporte un compresseur, un détendeur et deux serpentins qui sont le siège des échanges thermiques :



Le fluide caloporteur qui effectue le cycle est l'ammoniac. Par un jeu de vannes adéquat, le fluide peut circuler dans un sens pour chauffer le local (A, B, C, D, A) et dans l'autre sens pour le rafraîchir (B, A, D, C, B).

### 1. Schéma de principe des échanges énergétiques d'une pompe à chaleur et d'une machine frigorifique.

1.1. En supposant d'une part que ce climatiseur n'échange de la chaleur qu'avec l'extérieur et l'intérieur du local, d'autre part que l'échange de travail ne se fait qu'au niveau du compresseur compléter les schémas (1) et (2) donnés en **annexe (1)**, à **rendre avec la copie**, en y faisant figurer les termes : local, extérieur, compresseur et en indiquant par des flèches les sens des échanges énergétiques (thermiques  $Q$  et mécaniques  $W$ ). Préciser le signe de chaque échange, par rapport au fluide.

1.2. En décrivant ce cycle, l'ammoniac subit des changements d'état :

Lors de sa vaporisation dans l'évaporateur, indiquer en le justifiant, le sens de l'échange thermique et son action sur son environnement (refroidissement ou échauffement).

Lors de sa condensation dans le condenseur, indiquer en le justifiant, le sens de l'échange thermique et son action sur son environnement.

En déduire dans le cas de la pompe à chaleur la nature des échangeurs  $E_1$  et  $E_2$ .

1.3. On définit le coefficient de performance (ou efficacité)  $\eta$  du climatiseur comme le rapport des valeurs absolues de l'énergie utile à l'énergie dépensée. L'exprimer littéralement dans la case prévue annexe (1) schémas (1) et (2) dans le cas de la pompe à chaleur et dans le cas de la machine frigorifique.

## 2. Généralités sur le diagramme entropique

Le diagramme entropique  $T(s)$  de l'ammoniac est partiellement tracé en **annexe (2) à rendre avec la copie** : schéma (3) avec des courbes isenthalpiques et isobares. Dans un souci de simplification certaines courbes ne sont pas tracées dans leur intégralité.

**2.1.** Sur le diagramme indiquer les différents domaines : celui du liquide, celui de la vapeur et celui du mélange liquide vapeur. Indiquer la courbe de rosée et la courbe d'ébullition en justifiant votre choix sur la copie.

**2.2.** Par lecture du graphe, déduire les enthalpies massiques de vaporisation de l'ammoniac (ou chaleur latente notée  $\ell$ ) à  $0\text{ °C}$  et  $20\text{ °C}$ .

**2.3.** Les pressions de vapeur saturante de l'ammoniac  $P_{s(T)}$  sont données pour trois températures :

$P_{s(273K)} = 4,3\text{ bar}$  ;  $P_{s(293K)} = 8,2\text{ bar}$  ;  $P_{s(313K)} = 15\text{ bar}$ .

Définir la pression de vapeur saturante.

Indiquer la pression de chaque isobare tracée sur le diagramme.

## 3. Fonctionnement du climatiseur en pompe à chaleur.

On suppose que la température extérieure est de  $0\text{ °C}$ , on veut que la température du local soit de  $20\text{ °C}$ .

Le cycle décrit par l'ammoniac est le suivant, les transformations étant considérées comme réversibles :

- L'ammoniac sort de  $E_1$  en C à l'état de liquide saturant, à la température  $T_0$  du local.
- L'ammoniac subit une détente isenthalpique dans le détendeur jusqu'à la température de l'extérieur ( $0\text{ °C}$ ), point D.
- L'ammoniac se vaporise totalement de D en A à pression constante dans  $E_2$ .
- De A en B, l'ammoniac subit une compression adiabatique. (Comme elle est réversible, elle est donc isentropique). Le point B est alors de la vapeur sèche.
- De B en C, l'ammoniac subit d'abord un refroidissement isobare de la vapeur, puis une liquéfaction totale à pression constante.

**3.1.** Tracer le cycle décrit sur le schéma (3) annexe (2) en plaçant les points A, B, C, D et en fléchant le sens de parcours.

**3.2.** Trouver graphiquement la température  $T_B$  à la sortie du compresseur.

**3.3.** On rappelle que le premier principe appliqué à une partie active de machine (Compresseur, détendeur ou échangeur) est  $\Delta h = w + q$ ,  $w$  étant le travail utile, c'est-à-dire échangé avec l'extérieur du circuit, excluant le travail des forces de pression.

Le fluide subit des échanges isobares dans les échangeurs  $E_1$  et  $E_2$ , sans échange de travail utile.

Muni de ces informations, déterminer graphiquement, pour  $1\text{ kg}$  d'ammoniac, d'après les valeurs indiquées sur le diagramme :

- Le travail  $w$  fourni par le compresseur au fluide.
- La chaleur  $q_C$  fournie par le fluide au local lors du passage dans  $E_1$ .
- La chaleur  $q_F$  reçue par le fluide de la part de l'extérieur lors de son passage dans  $E_2$ .

**3.4.** Calculer le coefficient de performance de la pompe à chaleur.

#### **4. Fonctionnement du climatiseur en machine frigorifique.**

On suppose que la température extérieure est  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour se placer dans des conditions extrêmes, et que celle du local est toujours de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Le rôle des deux échangeurs est alors inversé, la description du cycle est la même, seules les températures changent. Le cycle a donc la même allure, mais il est décalé. L'ammoniac subit une compression BA puis un refroidissement isobare AD jusqu'à l'état de liquide saturant ; s'ensuit une détente isenthalpique DC puis une vaporisation totale CB.

Tracer le cycle sur le diagramme du schéma (4) de l'annexe 2 et placer les points B (On rappelle que  $P_B = 8,2\text{ bar}$ ), A, D, C sur le diagramme. Flécher le sens de parcours.

### **Etude d'un spectromètre à fluorescence X.**

#### **Introduction**

On dispose d'un tableau attribué à un peintre du 16<sup>ème</sup> siècle. Pour vérifier qu'il est réellement du 16<sup>ème</sup> on peut utiliser une méthode d'analyse par fluorescence X : En effet, les pigments blancs utilisés par les artistes ont évolué suivant les époques : jusqu'en 1834, le blanc de plomb fut le seul pigment utilisé. A partir de 1834, il fut remplacé par le blanc de zinc, enfin le blanc de titane s'imposa vers 1910.

On distingue deux catégories de spectromètres à fluorescence X :

- Les appareils équipés d'une source radioactive.
- Les appareils équipés d'un tube à rayons X.

#### **1. Source radioactive.**

La source est du cadmium ( $^{109}_{48}\text{Cd}$ ). La réaction est une capture électronique interne au cours de laquelle un électron de la couche K est absorbé par le noyau atomique. Cette désintégration est suivie de l'émission d'un photon  $\gamma$  d'énergie 88 keV et de rayons X.

**1.1.** Ecrire l'équation de la réaction nucléaire sachant que l'on obtient un noyau d'argent dans un état excité et un neutrino.

**1.2.** La période radioactive (ou demi-vie) du cadmium est  $T = 464$  Jours. Donner la définition de la période.

**1.3.** L'activité de la source au moment de l'achat de l'appareil est  $A_0 = 370\text{ MBq}$ . Le constructeur préconise le changement de la source au bout de deux ans. Calculer l'activité de la source au bout de ces deux ans.

Rappel : le Becquerel est l'unité d'activité radioactive correspondant à une désintégration par seconde.

Rappel : le Becquerel est l'unité d'activité radioactive correspondant à une désintégration par seconde.

#### **2. Tube à rayons X.**

##### **Données :**

Valeur absolue de la charge de l'électron :  $e = 1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$ .

Constante de Planck :  $h = 6,62 \times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Vitesse de la lumière :  $c = 3,00 \times 10^8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Des électrons émis par une cathode C sont accélérés par une tension  $U_{AC} = 15\text{ kV}$ . Ils bombardent une anticathode de rhodium A, ce qui conduit à l'émission de rayons X.

**2.1.** En admettant que la vitesse d'émission des électrons par la cathode est nulle, calculer leur énergie cinétique en J et en eV à leur arrivée sur l'anticathode.

**2.2.** Si on analyse le spectre des rayons X émis, on observe la superposition d'un spectre continu et d'un spectre de raies. Déterminer l'énergie maximale de ce spectre continu. En déduire la longueur d'onde minimale correspondante.

**2.3.** On donne les valeurs des énergies des niveaux K, L et M du rhodium :

Niveau	K	L	M
Energie en keV	-23,22	-3,14	-0,41

Déterminer l'énergie des raies  $K_{\alpha}$  (passage d'un électron du niveau L au niveau K),  $K_{\beta}$  (de M à K) et  $L_{\alpha}$  (de M à L) émises par le rhodium.

### **3. Fluorescence. Analyse dispersive en longueur d'onde.**

Le faisceau primaire est envoyé sur la substance à analyser qui à son tour émet des rayons X. C'est la fluorescence X. On envoie les rayons X de fluorescence sur un cristal dispersif, puis le faisceau est détecté par un scintillateur. On obtient ainsi les différentes longueurs d'ondes des radiations émises.

Données des énergies en keV pour les niveaux K, L et M de trois éléments:

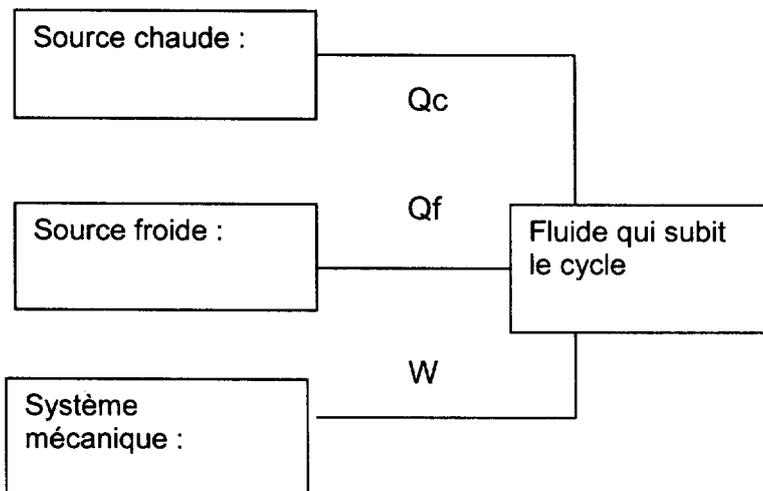
Niveau	K	L	M
Titane	-4,97	-0,47	
Zinc	-9,66	-1,07	-0,05
Plomb	-88,0	-14,3	-2,95

**3.1.** Les notices des constructeurs précisent que les appareils à source de cadmium détectent les raies K et L du plomb, alors que les appareils à tube détectent les raies L du plomb, mais pas les raies K. Expliquer pourquoi la source radioactive de la question 1 permet la détection des raies K et L du plomb. Expliquer pourquoi le tube à rayons X de la question 2 ne détecte que les raies L du plomb.

**3.2.** On analyse le spectre de fluorescence obtenu après impact sur un pigment blanc de notre tableau supposé du 16<sup>ème</sup> siècle. La longueur d'onde d'une raie émise est  $\lambda = 0,276$  nm. Calculer l'énergie correspondante. Identifier l'élément (Pb, Zn ou Ti) qui peut donner cette raie. Conclure quant à l'authenticité du tableau.

**Annexe 1. A rendre avec la copie.**

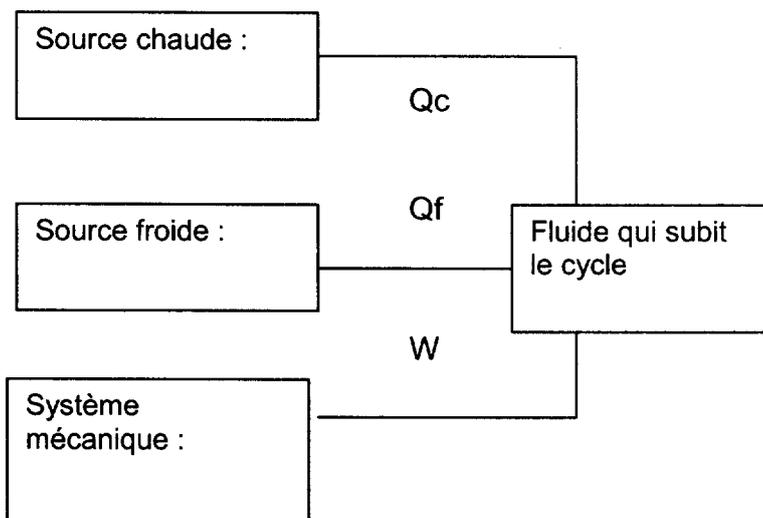
**Pompe à chaleur. Schéma (1)**



Coefficient de performance :

$\eta =$

**Machine frigorifique. Schéma(2)**



Coefficient de performance :

$\eta' =$

**Annexe 2. A rendre avec la copie.**

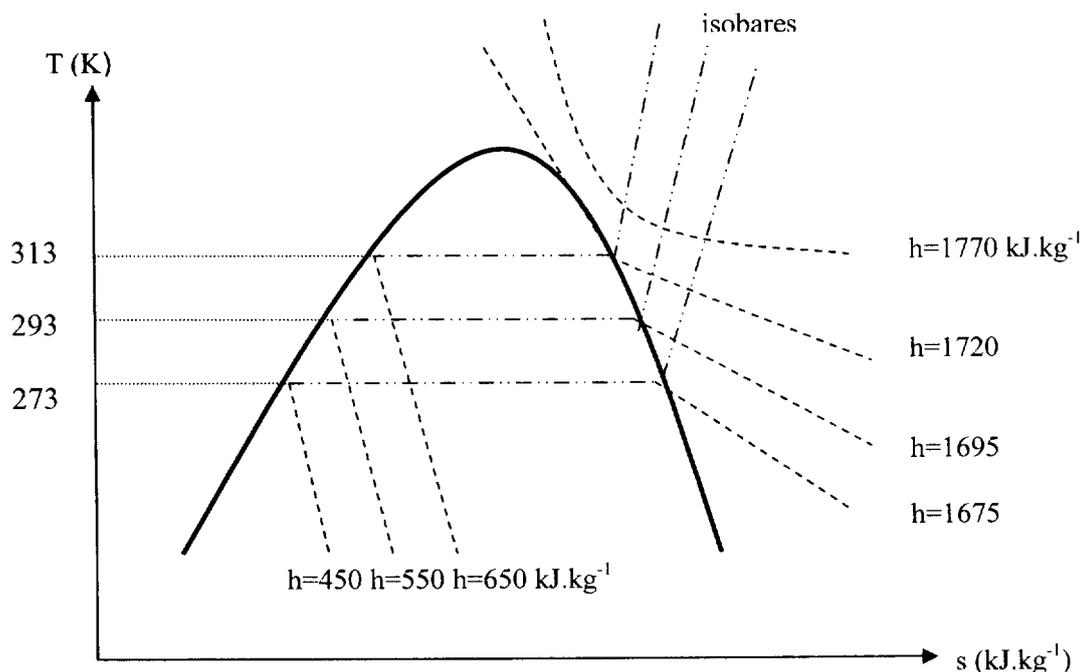


Diagramme entropique  $T(s)$  de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ )

**Schéma (3) : Cycle de la pompe à chaleur**

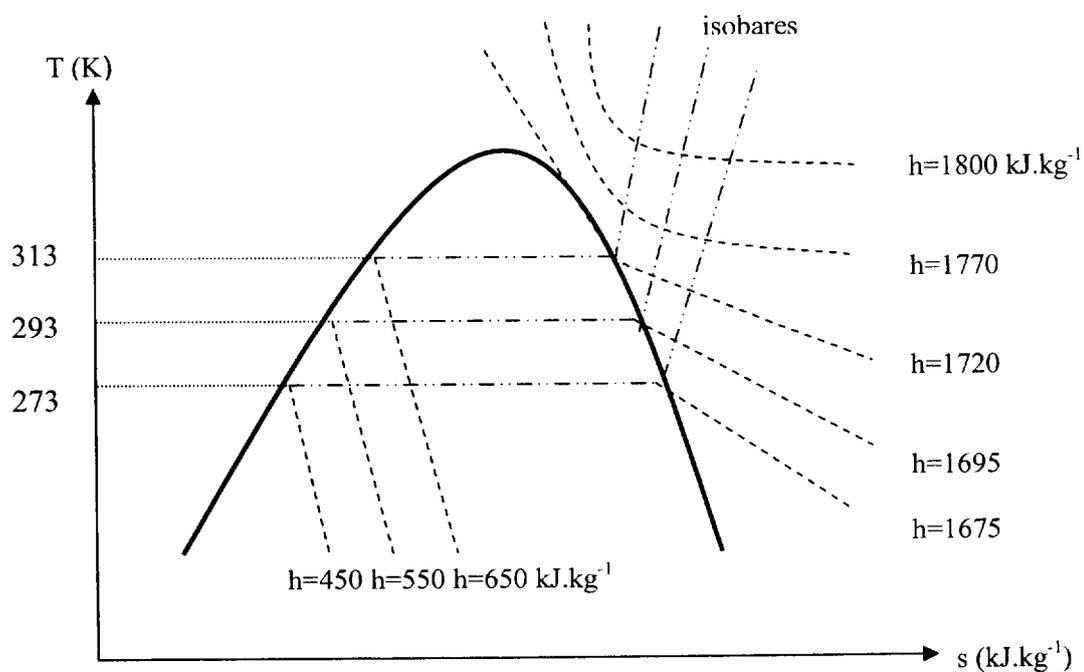


Diagramme entropique  $T(s)$  de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ )

**Schéma (4) : Cycle de la machine frigorifique**