

## BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

**CONTRÔLE INDUSTRIEL et  
RÉGULATION AUTOMATIQUE**
**SCIENCES PHYSIQUES**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

**Chimie-Physique industrielles U-31**

*Durée : 2 heures*

*Coefficient : 2,5*

	<b>Durée conseillée</b>
<b>Physique industrielle</b>	<b>1 h 15</b>
<b>Chimie industrielle</b>	<b>45 minutes</b>

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 6 pages numérotées de 1/6 à 6/6.*

- *Chimie industrielle* : *page 1 à page 2*
- *Physique industrielle* : *page 3 à page 6*

**ATTENTION : Le diagramme enthalpique (ANNEXE 1)**  
**est fourni en double exemplaire**  
**dont un seul sera à rendre avec la copie.**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

***Aucun document autorisé.***

***Calculatrice réglementaire autorisée.***

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

**La feuille à rendre sera agrafée à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.**

# CHIMIE INDUSTRIELLE

## Exercice 1 - Enthalpie de combustion du propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dans le dioxygène

- 1.1 - Écrire l'équation bilan de la combustion complète du propane dans le dioxygène.
- 1.2 - Calculer la variation d'enthalpie, de cette combustion, tous les corps étant à l'état gazeux.  
*Données numériques : enthalpies standard de formation à 25 °C.*  
 $\Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_8, \text{vap}) = -104 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{vap}) = -242 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  
 $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{vap}) = -393 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- 1.3 - A l'aide de la table de valeurs fournie ci-dessous, déterminer la variation d'enthalpie (en kJ.mol<sup>-1</sup>) de la combustion du propane gazeux à 25 °C, l'eau formée étant en phase vapeur. Comparez les valeurs obtenues en 1.2 et 1.3.
- 1.4 - L'énergie dégagée par la combustion complète à pression constante d'un normo-mètre cube de gaz (un mètre cube pris à 0 °C sous la pression de 101 300 Pa), l'eau formée étant sous forme de vapeur, s'appelle *pouvoir calorifique inférieur (PCI)*. Calculer le PCI du propane.  
*Données numériques :*  
 Le propane gazeux sera considéré comme un gaz parfait.  
 Constante des gaz parfaits :  $R = 8,32 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ .  
 $C = 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$   $H = 1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$   $O = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

### Enthalpies de combustion de quelques hydrocarbures à 25 °C

Hydrocarbure	Formule	H <sub>2</sub> O liquide dans les produits		H <sub>2</sub> O gazeux dans les produits	
		Hydrocarbure liquide kJ/kg	Hydrocarbure gazeux kJ/kg	Hydrocarbure liquide kJ/kg	Hydrocarbure gazeux kJ/kg
<i>Famille des alcanes</i>					
Méthane	CH <sub>4</sub>		- 55 496		- 50 010
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		- 51 875		- 47 484
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	- 49 975	- 50 345	- 45 938	- 46 353
Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	- 49 130	- 49 500	- 45 344	- 45 714
Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	- 48 071	-48 436	- 44 557	- 44 922

**Exercice 2 - Dureté d'une eau**

On appelle dureté d'une eau (degré hydrotimétrique français) la grandeur définie en fonction des concentrations molaires des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  par la formule :

$$([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

On considère qu'une eau est dure si la dureté est supérieure à 25.

1 - Citez quelque(s) inconvénient(s) de l'usage industriel ou domestique d'une eau dure.

2 - Influence de la température sur les dépôts de carbonate de calcium.

2.1 - Écrire l'équation de dissolution du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) dans l'eau.

2.2 - Calculer la solubilité du carbonate de calcium à 25 °C si  $\text{pK}_s = 8.4$

2.3 - La solubilité du carbonate de calcium est égale à  $4,1 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$  à la température de 85 °C. Peut-on affirmer que l'importance des dépôts calcaires dépend beaucoup de la température ?

3 - Détermination de la dureté d'une eau.

La détermination de la dureté s'effectue usuellement à partir d'une grande quantité d'eau dans laquelle on ajoute une solution tampon  $\text{pH} = 9$  et un indicateur coloré (NET).

En présence d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , la coloration est rouge due à la formation d'un complexe.

En l'absence d'ions, la couleur de l'indicateur est bleue.

On verse une solution d'EDTA de concentration  $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ , dans un volume de 100 mL d'eau. On observe le changement de couleur du rouge au bleu pour un volume d'EDTA versé de 22 mL. La réaction se fait mole à mole.

3.1 - Calculer la concentration totale en ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ .

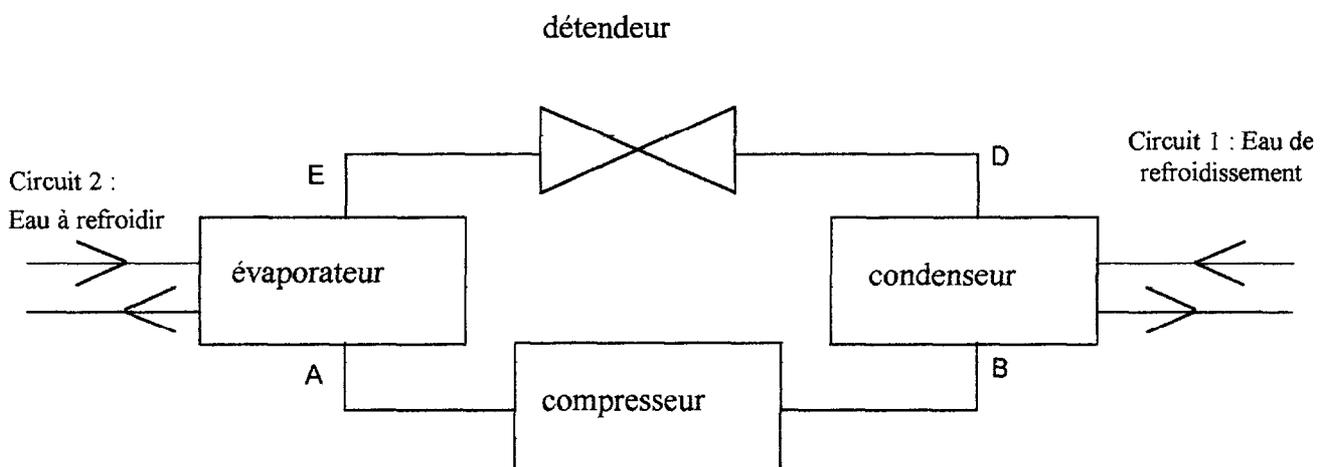
3.2 - Calculer la dureté de l'eau. Conclusion ?

# PHYSIQUE INDUSTRIELLE

## ÉTUDE D'UN GROUPE FRIGORIFIQUE

La réaction chimique de polymérisation permettant la synthèse industrielle du polychlorure de vinyle (PVC) est une réaction exothermique. Pour contrôler la température du milieu réactionnel, on utilise un circuit d'eau refroidie par le groupe frigorifique que l'on se propose d'étudier.

Dans ce groupe frigorifique, un fluide frigorigène (ici le fréon 22), décrit le cycle fermé de transformations suivant et schématisé sur la figure ci-dessous.



- Dans le compresseur, le fréon initialement dans l'état A sous forme de vapeur saturée (ou saturante sèche), subit une compression adiabatique **irréversible** jusqu'à l'état B. ( $P_B = 10 \text{ bar}$   $h_B = 450 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ).
- Dans le condenseur, la transformation est isobare. Le fréon est d'abord refroidi (jusqu'à l'état C) puis complètement liquéfié jusqu'à l'état de liquide saturant (état D). Le condenseur est un condenseur à eau : l'énergie est prise au fréon par l'eau du circuit de refroidissement (circuit 1 sur la figure).
- Dans le détendeur, le fréon subit une détente isenthalpique (jusqu'à l'état E).
- Dans l'évaporateur, il termine sa vaporisation lors d'une transformation isobare (retour à l'état A). L'échange thermique correspondant est effectué avec l'eau du circuit 2.

### Données :

$$p_A = 5,5 \text{ bar} ; p_B = 10 \text{ bar} ; h_B = 450 \text{ kJ.kg}^{-1}.$$

Puissance absorbée sur l'arbre du compresseur  $P_c = 1\,000 \text{ kW}$ .

Capacité thermique massique de l'eau  $c = 4\,185 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Masse volumique de l'eau :  $1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$ .

*Les questions 2, 3, 4 et 5 peuvent être traitées indépendamment l'une de l'autre.*

## CAE3CI

### 1) Questions préliminaires.

- 1.1) Placer sur le diagramme enthalpique joint en *annexe 1 (à rendre avec la copie)* les points A, B, C, D, et E. En déduire les valeurs numériques des enthalpies massiques  $h_A$ ,  $h_C$ ,  $h_D$ , et  $h_E$  correspondantes.
- 1.2) Sous quels état(s) physique(s) le fréon se trouve-t-il à la sortie du compresseur ? à la sortie du détendeur ? En utilisant le diagramme déterminer les proportions massiques des états physiques éventuellement coexistants.

### 2) Étude du compresseur.

- 2.1) Calculer le travail mécanique (technique)  $w_C$  échangé par unité de masse de fréon lors de sa compression.
- 2.2) Calculer le débit massique.

### 3) Étude du condenseur.

- 3.1) Calculer la quantité de chaleur  $Q_{BC}$  cédée par unité de masse de fréon lors de son refroidissement dans le condenseur. Lire sur le diagramme enthalpique la valeur de la température d'entrée  $t_B$  et la valeur de la température de fin de refroidissement  $t_C$ .

En déduire une valeur numérique de la capacité thermique massique du fréon gazeux, en admettant qu'il se comporte comme un gaz parfait.

- 3.2) Déterminer la valeur de la chaleur latente de vaporisation  $L_v$  du fréon sous 10 bar.

### 4) Étude de l'évaporateur.

- 4.1) Calculer la quantité de chaleur  $Q_{EA}$  échangée par unité de masse de fréon dans l'évaporateur.
- 4.2) L'eau du circuit à refroidir subit une baisse de température de  $5,7\text{ °C}$  lorsque son débit est de  $600\text{ m}^3$  par heure. En déduire la valeur du débit massique du fréon dans l'évaporateur.

### 5) Étude de l'efficacité thermique de l'installation.

- 5.1) Établir l'expression de l'efficacité thermique  $e$  de l'installation puis calculer sa valeur numérique.

# Exemplaire pouvant servir de BROUILLON

## DIAGRAMME PRESSION ENTHALPIE

