



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**Campagne 2009**

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

CRDP Aquitaine

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

# CONTRÔLE INDUSTRIEL et RÉGULATION AUTOMATIQUE

E-3 SCIENCES PHYSIQUES

## U-31 CHIMIE-PHYSIQUE INDUSTRIELLES

*Durée : 2 heures**Coefficient : 2,5*

	Durée conseillée
Chimie industrielle	45 minutes
Physique industrielle	1 h 15

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.*

- *Chimie industrielle* : page 2 à page 3
- *Physique industrielle* : page 4 à page 8

**ATTENTION :**

**L'ANNEXE 2 (pages 7/8 et 8/8) est fourni en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

**Aucun document autorisé.**

**Calculatrice réglementaire autorisée.**

**Tout autre matériel est interdit.**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼



# CHIMIE INDUSTRIELLE

## EXERCICE n° 1 : combustion, calcul d'un pouvoir calorifique inférieur PCI (9 points)

### Données :

Enthalpies standards de formation  $\Delta_f H^\circ$  à 298 K d'espèces chimiques gazeuses en  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  :

CO : -110,4      O<sub>2</sub> : 0      CO<sub>2</sub> : -393,1      CH<sub>4</sub> : -74,80      H<sub>2</sub>O : -241,6

Volume molaire à 298 K :  $V_m = 24,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ .

On désire calculer le PCI du mélange CO, CH<sub>4</sub> combustible utilisé pour le chauffage d'une chaudière utilisée pour chauffer et transformer de l'eau liquide en vapeur destinée aux turbosoufflantes alimentant en air un haut-fourneau.

CRDP de MONTPELLIER

RÉSERVÉ AU SERVICE

### I. Le monoxyde de carbone CO

1. Écrire l'équation de la réaction n°1 entre le monoxyde de carbone CO et le dioxygène de l'air O<sub>2</sub> sachant qu'il se forme du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>.
2. Calculer l'enthalpie standard de réaction  $\Delta_r H^\circ(1)$  à 298 K associée à cette réaction pour une mole de monoxyde de carbone CO.
3. Après avoir rappelé la définition du PCI, calculer le PCI pour la combustion de CO en  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ .

### II. Le méthane CH<sub>4</sub>

1. Écrire l'équation de la réaction n° 2 entre le méthane CH<sub>4</sub> et le dioxygène O<sub>2</sub>, sachant qu'il se forme cette fois du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> et de l'eau vapeur H<sub>2</sub>O.
2. En déduire l'enthalpie standard de réaction  $\Delta_r H^\circ(2)$  pour une mole de méthane CH<sub>4</sub>.
3. Calculer son PCI en  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ .

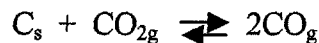
### III. Étude du mélange

Sachant que le mélange contient, en volume, 60 % de CO et 40 % de CH<sub>4</sub>, calculer le PCI d'un mètre cube de ce mélange.

**EXERCICE n° 2 : équilibre de BOUDOUARD****(11 points)**

Lors de la combustion incomplète du carbone, il se forme du monoxyde de carbone CO. C'est un gaz toxique, mais néanmoins très utile, par son caractère réducteur, pour réagir avec les oxydes de fer dans un haut-fourneau et obtenir de la fonte.

1. Écrire l'équation de combustion complète du carbone avec le dioxygène de l'air  $O_2$ , sachant qu'il se forme du dioxyde de carbone  $CO_2$ .
2. Quel problème environnemental important pose actuellement le dioxyde de carbone ?
3. Dans un haut-fourneau, par défaut de dioxygène, le carbone réagit à haute température avec le dioxyde de carbone, selon l'équilibre de BOUDOUARD :



- a. Exprimer la constante d'équilibre  $K$  en fonction des pressions partielles des gaz présents à l'équilibre (seuls les gaz interviennent dans l'expression de  $K$ ).
  - b. Soit un mélange initial composé d'une mole de carbone  $C$  solide et d'une mole de dioxyde de carbone  $CO_2$  gazeux. L'équilibre étant établi à une température donnée, dresser un tableau d'avancement de la réaction.  
En déduire le nombre total de moles de gaz en fonction de l'avancement  $x$ .
  - c. Exprimer les pressions partielles de ces gaz en fonction de l'avancement  $x$  de la réaction et de la pression totale  $P_T$ .
  - d. En déduire l'expression de  $K$  en fonction de l'avancement  $x$  et de la pression totale  $P_T$ . Montrer que  $K = \frac{4x^2}{1-x^2} P_T$
  - e. Calculer la valeur de l'avancement  $x$ , sachant qu'à la température de 1 000 K et pour la pression  $P_T = 1,0$  bar, la constante d'équilibre vaut  $K = 1,9$ .
4. Sachant que la réaction de formation du monoxyde de carbone CO est endothermique, indiquer dans quel sens il faut faire varier la température  $T$  pour augmenter la quantité de monoxyde de carbone CO, nécessaire à la réduction des oxydes de fer.

CRDP de MONTPELLIER

RÉSERVÉ AU SERVICE

# PHYSIQUE INDUSTRIELLE

## Étude d'une chaudière : Cycle de HIRN (30 points)

*La partie III est indépendante.*

Les gaz sortant d'un haut-fourneau sont récupérés et réutilisés grâce à leur combustion, pour le chauffage des chaudières.

Celles-ci ont pour but de chauffer de l'eau liquide et de la vaporiser afin d'obtenir de la vapeur sous pression, destinée à alimenter des turbosoufflantes. Ces dernières doivent ensuite envoyer l'air nécessaire à la réduction des oxydes de fer, dans le haut-fourneau, selon le schéma simplifié de l'annexe n° 1, figure n° 1, page 6/8.

La chaudière comporte trois parties : - un économiseur - un ballon vaporisateur - un surchauffeur représentés sur la figure n° 2 de l'annexe n° 1, page 6/8.

L'eau qui alimente la chaudière se vaporise en décrivant un cycle de HIRN.

Ce cycle peut être résumé par les transformations décrites ci-dessous.

Au point de départ en A : l'eau liquide se trouve à l'état saturant : pression initiale  $P_A = 0,3$  bar  
température  $t_A = 70$  °C.

- **AB** : compression adiabatique réversible du liquide saturant grâce à une pompe, jusqu'à la pression  $P_B = 30$  bar, sans changement notable de température :  $t_B = t_A = 70$  °C.
- **BC** : en B, le liquide n'est plus saturant, on l'échauffe à la pression constante de 30 bar dans l'économiseur, jusqu'à la température  $t_C = 236$  °C. Le point C appartient à la courbe de saturation.
- **CD'** : l'eau saturante se vaporise totalement dans le ballon, sous pression et température constantes  $P_C = P_{D'} = 30$  bar et  $t_C = t_{D'} = 236$  °C.
- **D'D** : la vapeur saturante sèche est alors surchauffée, toujours sous la pression constante de 30 bar, jusqu'au point D de température  $t_D = 400$  °C.
- **DE** : l'eau est admise dans la turbine sous forme de vapeur surchauffée et subit une détente adiabatique réversible jusqu'à la pression  $P_E = P_A = 0,3$  bar.
- **EA** : l'eau est totalement condensée à la pression de départ  $P_A = 0,3$  bar.

### I - Calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser 1 kg d'eau liquide en vapeur surchauffée

1. Exprimer puis calculer la quantité de chaleur  $Q_{BC}$  nécessaire à chauffer 1 kg d'eau dans l'économiseur.  
On donne la chaleur massique de l'eau :  $c = 4\,180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
2. Exprimer puis calculer la quantité de chaleur  $Q_{CD'}$  nécessaire à vaporiser totalement 1 kg d'eau liquide dans le ballon.  
On donne la chaleur latente de vaporisation de l'eau  $L_v = 1\,800 \text{ kJ.kg}^{-1}$  à 236 °C.

3. Soit  $Q_{DD}$  la quantité de chaleur nécessaire à surchauffer 1 kg de vapeur d'eau saturante. Le diagramme de Mollier est donné à l'annexe n° 2, pages 7/8 et 8/8.
  - 3.1 Placer le point D' sur le diagramme de Mollier, relever la valeur  $H_{D'}$  de l'enthalpie massique correspondante.
  - 3.2 Placer le point D sur le diagramme de Mollier, relever la valeur de  $H_D$ .
  - 3.3 En déduire la valeur de  $Q_{DD}$ .
4. Déduire enfin la quantité de chaleur totale  $Q_T$  nécessaire à la vaporisation de 1 kg d'eau liquide en vapeur surchauffée sachant que l'on part du point B.
5. Sachant que les gaz récupérés à la sortie du haut-fourneau sont complétés par du gaz naturel et forment un mélange possédant un pouvoir calorifique inférieur PCI égal à  $20\,000\text{ kJ.m}^{-3}$ , déduire le débit volumique  $q_{v(\text{mélange})}$  du mélange gazeux nécessaire pour vaporiser un débit massique d'eau  $q_{m(\text{eau})} = 20\,000\text{ kg.h}^{-1}$ .

## II - Étude de la turbine

1. Sur le diagramme de Mollier, placer le point E de la sortie de la turbine et représenter la transformation DE en justifiant. En déduire l'enthalpie  $H_E$ .  
Quel est l'état physique de l'eau en E ? Indiquer le pourcentage d'eau vapeur.
2. Calculer le travail  $W_{DE}$  échangé par 1 kg de vapeur avec la turbine.
3. En déduire la puissance totale échangée, pour un débit massique d'eau  $q_{m(\text{eau})} = 20\,000\text{ kg.h}^{-1}$ .

CRDP de MONTPELLIER  
 RÉSERVÉ AU SERVICE

## III - Étude de l'économiseur

L'économiseur est un échangeur à tubes fonctionnant à co-courant et permettant de récupérer de la chaleur provenant des fumées de la chaudière. Cette chaleur permet de chauffer l'eau liquide de  $70\text{ °C}$  à  $236\text{ °C}$ .

Les fumées sortent de la cheminée de la chaudière à une température moyenne de  $300\text{ °C}$  qui reste constante pendant le transit dans l'échangeur, grâce à un débit important.

1. En admettant que la valeur de la chaleur massique nécessaire à chauffer l'eau est  $q_{BC} = 700\text{ kJ.kg}^{-1}$ , calculer la puissance thermique nécessaire au chauffage de l'eau pour un débit d'eau de  $20\,000\text{ kg.h}^{-1}$ .
2. La puissance thermique d'un échangeur a pour expression  $P = K S \Delta T$ , avec  $\Delta T$  moyenne logarithmique de la température et  $S$  surface de l'échangeur. On rappelle l'expression de  $\Delta T$  :

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{\text{entrée}} - \Delta T_{\text{sortie}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{entrée}}}{\Delta T_{\text{sortie}}}}$$

Faire un schéma simplifié de l'échangeur fonctionnant à co-courant, en faisant apparaître les trois températures ( $70\text{ °C}$ ,  $236\text{ °C}$  et  $300\text{ °C}$ ). Calculer la valeur numérique de  $\Delta T$ .

En déduire la surface  $S$  de cet échangeur sachant que  $K = 560\text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

3. En déduire le nombre de tubes de l'économiseur sachant qu'un tube a un diamètre  $d = 10\text{ cm}$  et une longueur de  $L = 10\text{ m}$ .

ANNEXE 1

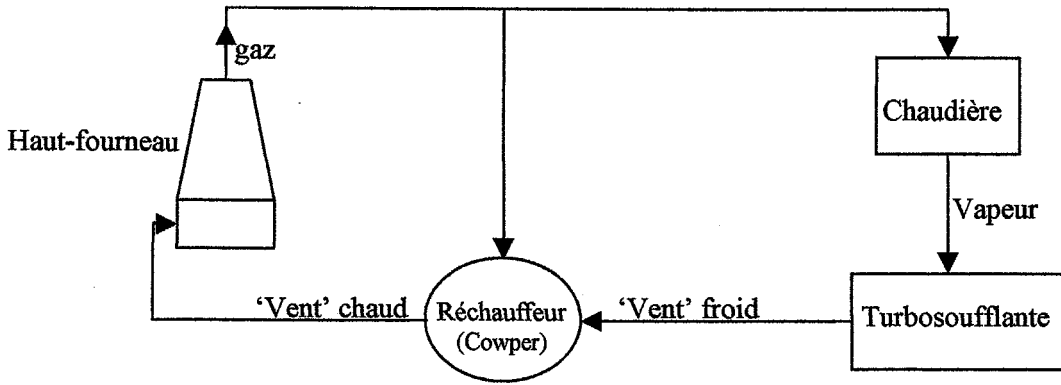


Figure n° 1

CRDP de MONTPELLIER  
RÉSERVÉ AU SERVICE

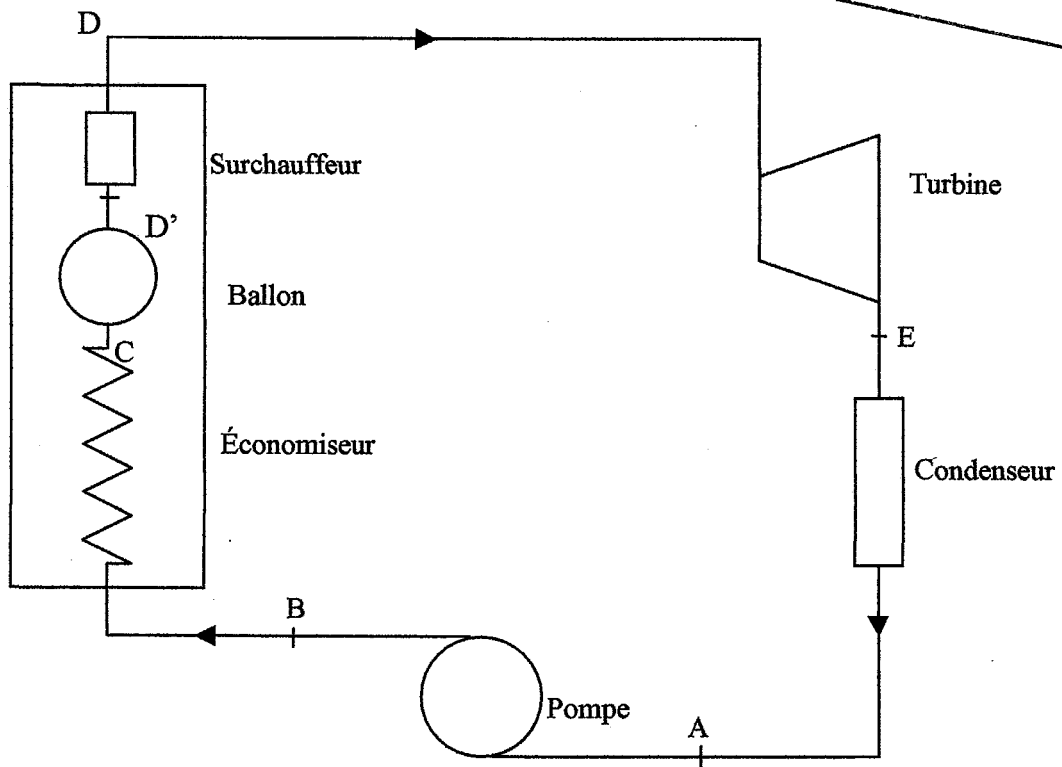


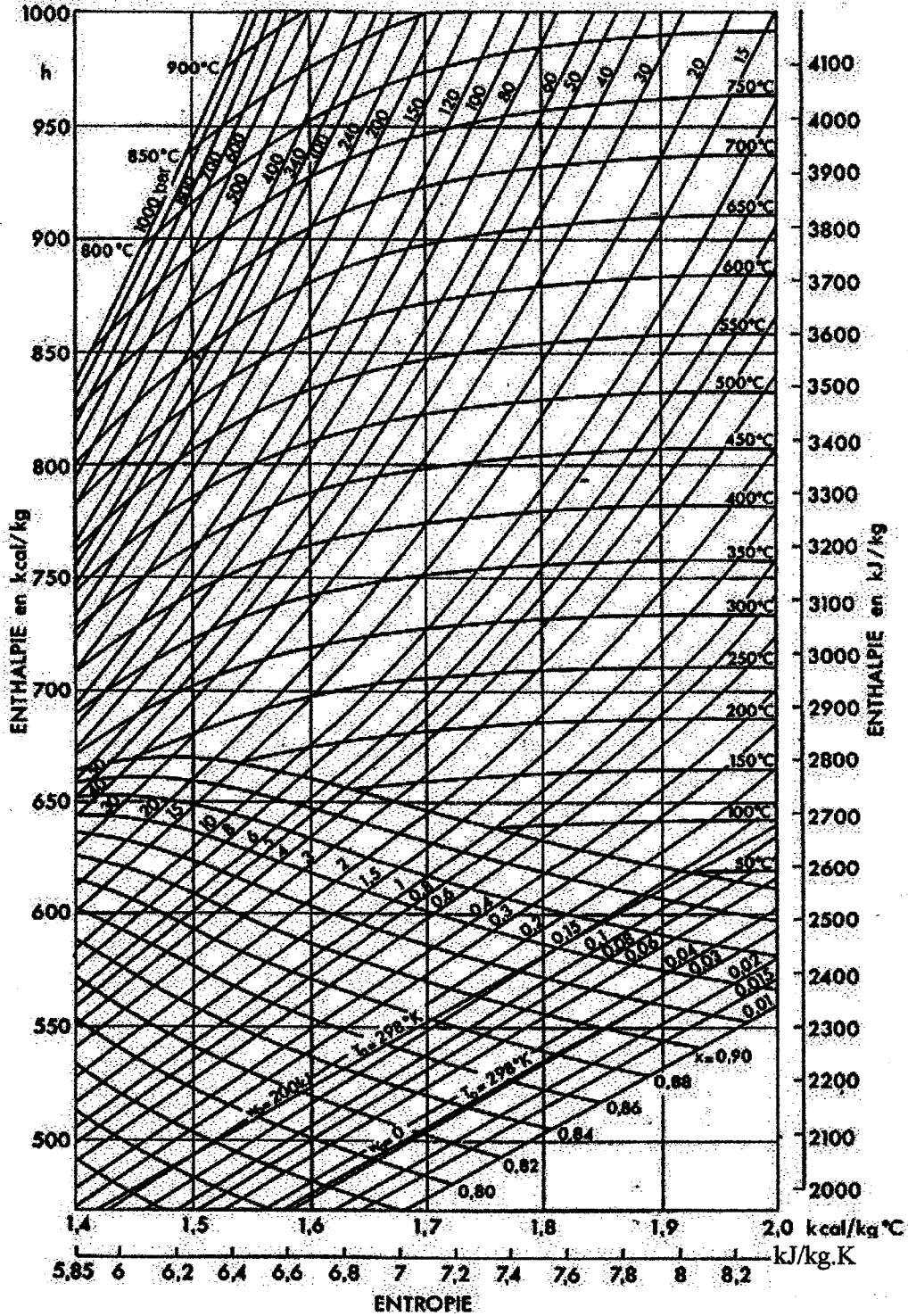
Figure n° 2

CRDP de MONTPELLIER

RÉSERVÉ AU SERVICE

ANNEXE 2

Diagramme de Mollier de la vapeur d'eau





ANNEXE 2

Diagramme de Mollier de la vapeur d'eau

CRDP de MONTPELLIER  
RÉSERVÉ AU SERVICE

