

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE - SESSION 2005
SÉRIE SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE
Spécialité : chimie de laboratoire et de procédés industriels

Épreuve de GÉNIE CHIMIQUE
Partie écrite

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

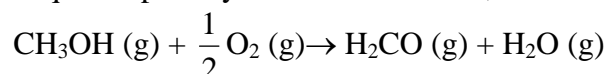
Le sujet comporte 5 pages dont une annexe (page 5/5) à rendre avec la copie.

Calculatrice autorisée.

TECHNOLOGIE ET SCHEMA : SYNTHÈSE DU FORMALDÉHYDE

A- PRINCIPE

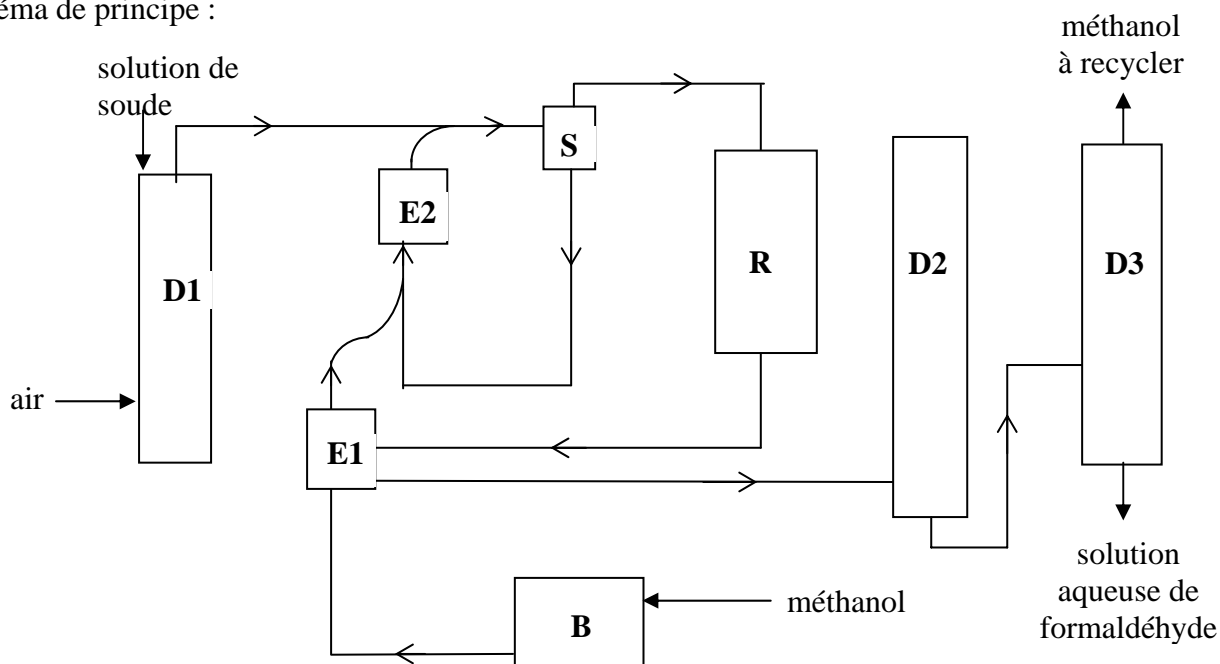
Le formaldéhyde (méthanal) est une matière première pour la fabrication de colles et de résines ; il peut être produit en solution aqueuse par oxydation du méthanol, selon la réaction ci-dessous :



La réaction a lieu à 200 °C en présence d'un catalyseur à base d'argent.

B- DESCRIPTION DU PROCÉDE

Schéma de principe :



- Le méthanol, stocké dans le réservoir **B** sous pression atmosphérique, est préchauffé dans l'échangeur **E1** dans lequel circulent les produits chauds de la réaction. Il est ensuite vaporisé dans l'échangeur **E2**, puis mélangé à de l'air lavé dans la tour **D1**.
- Le mélange gazeux air/méthanol est envoyé dans le séparateur **S** qui permet de renvoyer la phase non vaporisée au pied de **E2**. La phase gazeuse issue de **S** est envoyée dans le réacteur à garnissage **R** comportant le catalyseur à base d'argent. La réaction est exothermique.
- Les gaz sortant du réacteur **R** sont refroidis dans **E1** puis envoyés dans la tour d'absorption **D2** dans laquelle ils sont dissous dans l'eau.
- La solution aqueuse de formaldéhyde et de méthanol ainsi obtenue est ensuite distillée en continu dans la colonne **D3** ; le méthanol obtenu en tête de colonne est recyclé ; on obtient en pied de colonne, une solution aqueuse de formaldéhyde de titre massique 30 à 50 % en formaldéhyde.

C- TRAVAIL DEMANDE

I- SCHEMA

Représenter sur l'annexe (**page 5/5 à rendre avec la copie**) la partie de l'installation correspondant à l'obtention de la solution aqueuse de formaldéhyde et de méthanol, c'est à dire les appareils **D1**, **B**, **E1**, **E2**, **R**, **S** et **D2**, en tenant compte des indications données ci-dessous, en respectant les règles de sécurité et en assurant le bon fonctionnement de l'installation.

- Le niveau de méthanol dans le réservoir **B** est constant (prévoir une régulation).
- Le méthanol du réservoir **B** est envoyé dans l'échangeur à faisceau tubulaire vertical **E1** par une pompe centrifuge **P1** montée en charge.
- Il est ensuite mélangé au méthanol venant du séparateur **S**, puis envoyé dans l'échangeur à faisceau tubulaire vertical **E2** alimenté en vapeur où il est vaporisé ; le débit de vapeur de chauffe est asservi à la température du méthanol vaporisé. Le débit du liquide entrant dans **E2** est régulé par action sur le débit de la pompe **P1**.
- L'air est filtré et envoyé en bas de la tour à garnissage **D1** pour y être lavé par une solution de soude ; la pression de sortie du compresseur est mesurée. Le liquide au bas de **D1** est évacué par un trop-plein, puis recyclé. L'air lavé sort de **D1** par le haut pour être mélangé au méthanol sortant du vaporisateur **E2**.
- Le mélange gazeux air/méthanol entre dans le séparateur de type cyclone **S**.
- La phase liquide sortant de **S** est envoyée par une pompe centrifuge **P2**, montée en charge, au pied du vaporisateur **E2**, après mélange avec le méthanol venant de **E1**. Le débit de la pompe **P2** est asservi au niveau de liquide dans le séparateur **S**.
- La phase gazeuse sortant de **S** passe dans le réacteur à lit catalytique **R** où la réaction exothermique a lieu.
- Le mélange issu de **R** est refroidi en circulant à l'extérieur des tubes de **E1** ; dans **E1**, les fluides circulent à contre-courant.
- La phase gazeuse ainsi refroidie dans **E1** est envoyée dans la tour d'absorption **D2**, munie d'une rampe d'arrosage d'eau déminéralisée. La tour **D2** est constituée de zones à garnissage et à plateaux alternées avec refroidissements internes et externes (ne pas représenter les refroidissements). Les résidus gazeux sont éliminés au toit.
- La solution aqueuse de formaldéhyde et de méthanol obtenue au pied de **D2** est envoyée vers la colonne **D3** par une pompe centrifuge **P3**, montée en charge, pour y être rectifiée (ne pas représenter **D3**). Le débit de **P3** est asservi au niveau de liquide dans **D2**.

Données

Méthanol	Très inflammable et toxique	Température de fusion : - 98 °C Température d'ébullition sous pression atmosphérique : 65 °C
Formaldéhyde	Toxique	Température de fusion : - 118 °C Température d'ébullition sous pression atmosphérique : - 19 °C

II- QUESTIONS DE COURS

La colonne de rectification **D3** est une colonne à plateaux, chauffée par un bouilleur à faisceau tubulaire **E3** monté en thermosiphon. En haut de la colonne, on utilise un dispositif permettant d'obtenir un reflux à l'intérieur de la colonne.

1. Donner la définition du taux de reflux.
2. Justifier l'utilisation du reflux.
3. Préciser le rôle des plateaux de la colonne.
4. À l'aide d'un schéma détaillé qui représentera le pied de colonne et le bouilleur, expliquer le fonctionnement du bouilleur.

III- EXERCICES

1. Pompe centrifuge P1

La pression relative à la sortie de l'échangeur **E1** est de 0,35 bar.

La puissance absorbée par la pompe **P1** est de 65 W.

La perte de charge entre le réservoir **B** et la sortie de **E1** est de 0,50 m de méthanol.

Le débit de la pompe **P1** est de 2500 kg.h⁻¹.

- 1.1. Calculer la hauteur manométrique de la pompe.
- 1.2. Calculer la puissance utile de la pompe.
- 1.3. Calculer le rendement de la pompe.

Données :

– Relation de Bernoulli entre un point 1 et un point 2 :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 + H_{MT} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 + J$$

Les termes en vitesses ne seront pas pris en compte.

- La sortie de l'échangeur **E1** est à 3,0 m du sol
- Le niveau de méthanol dans le réservoir **B** est à 0,80 m du sol
- Densité du méthanol : 0,79
- Accélération de la pesanteur : 9,8 m.s⁻²
- Pression atmosphérique : 1,0 bar

2. Préchauffeur E1

Les 2500 kg.h⁻¹ de méthanol venant du réservoir **B** sont chauffés de 15 °C à 65 °C (sans être vaporisés) par les gaz sortant du réacteur **R** à 200 °C, l'échange s'effectuant à contre-courant. La température de ces gaz, à la sortie de **E1**, est de 170 °C.

2.1. En admettant que l'échange thermique a un rendement de 100 %, calculer le flux thermique échangé.

2.2. Calculer le coefficient global d'échange thermique de l'échangeur.

Données :

- Capacité thermique massique du méthanol liquide : 2,5 kJ.kg⁻¹.K⁻¹
- L'échangeur **E1** est constitué de 14 tubes
- Chaque tube de **E1** a une longueur de 2,0 m et un diamètre de 20 mm
- Écart de température moyen logarithmique :
$$\Delta\theta_{ml} = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$$

3. Vaporisateur E2

Le méthanol est vaporisé dans **E2** par chauffage par de la vapeur saturante, de pression relative égale à 5 bars.

3.1. Calculer le flux thermique nécessaire pour vaporiser 2500 kg.h⁻¹ de méthanol à 65 °C.

3.2. Calculer le débit massique de vapeur nécessaire, sachant que l'échange thermique a un rendement de 90 %. On considérera que les condensats sont éliminés dès leur formation.

Données :

- Formule de Duperray : $p = (\theta/100)^4$ avec p, pression absolue en bar et θ , température en °C
- Enthalpie massique de vaporisation du méthanol, à 65 °C : $L_v = 1100$ kJ.kg⁻¹
- Enthalpie massique de vaporisation de l'eau : L_v (en kJ.kg⁻¹) = 2535 – (2,9 × θ) avec θ en °C
- Pression atmosphérique : 1,0 bar

**ANNEXE A RENDRE
AVEC LA COPIE**

