

Épreuve de GÉNIE CHIMIQUE
Partie écrite

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

Le sujet comporte 4 pages dont une annexe (page 4/4) à rendre avec la copie.
Calculatrice autorisée.

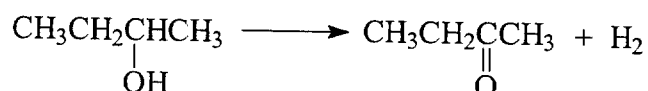
TECHNOLOGIE ET SCHÉMA : FABRICATION DE LA BUTANONE

La butanone est utilisée comme **solvant** dans les applications suivantes :

- peintures (cellulosiques, vinyliques, acryliques),
- colles et adhésifs,
- fabrication des bandes magnétiques,
- encres,
- déparaffinage des huiles.

A – PRINCIPE DU PROCÉDÉ

La butanone est obtenue par **déshydrogénation catalytique** en lit fixe du butan-2-ol, en continu, en phase gazeuse à pression atmosphérique :



La température à laquelle a lieu la réaction peut être fixée à des valeurs comprises entre 250 °C et 450 °C, selon la nature des catalyseurs mis en œuvre (oxyde de zinc, cuivre, alliage Zn-Cu, etc.).

La réaction est endothermique, avec une enthalpie standard ΔH_0 voisine de + 54 kJ.mol⁻¹.

B – DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le butan-2-ol, stocké dans le réservoir **R1** à niveau constant, est envoyé par une pompe centrifuge **P1** dans l'échangeur à faisceau tubulaire vertical **E1**, où il est vaporisé grâce à de la vapeur de chauffage. Le mélange liquide – vapeur sortant de l'échangeur **E1** est séparé dans le cyclone **S1**, dont le niveau est réglé. Le liquide retourne avant l'échangeur **E1** ; la vapeur est préchauffée dans l'échangeur à faisceau tubulaire **E2** horizontal par l'effluent réactionnel sortant de **K** puis introduit dans le bas du réacteur multitubulaire vertical **K** contenant le catalyseur. La température à la sortie du réacteur est réglée.

L'effluent réactionnel traverse l'échangeur **E2** pour réchauffer la vapeur avant d'être introduit dans le condenseur à faisceau tubulaire horizontal **E3** puis dans le cyclone **S2** (régulation de niveau) d'où l'on retire :

- du **dihydrogène** qui, après traitement, peut être utilisé comme matière première d'une autre fabrication,
- une phase liquide contenant essentiellement la butanone et le butan-2-ol non transformé.

Le condensat liquide est introduit par une pompe centrifuge **P2**, après préchauffage, dans la colonne de distillation **D**, fonctionnant à pression atmosphérique. Cette colonne est une colonne à garnissage comportant deux tronçons. Le mélange à séparer est introduit entre les deux tronçons. En tête de colonne, les vapeurs sont condensées dans le condenseur à faisceau tubulaire horizontal **E4**. Une partie du condensat est envoyée en reflux de manière à maintenir constante la température juste au dessus du point d'alimentation et le reste est refroidi dans l'échangeur à plaques **E5** puis stocké dans le réservoir **R2**. Ce distillat est de la butanone pure (teneur supérieure à 99,5 %).

En pied de colonne (régulation de niveau), le liquide est maintenu à ébullition par un bouilleur à faisceau tubulaire **E6** monté en thermosiphon, fonctionnant avec de la vapeur d'eau. La pression différentielle entre le bas et le haut de la colonne est régulée. Le butan-2-ol brut en pied de colonne est soutiré par une pompe centrifuge **P3** et est purifié dans une colonne de distillation puis recyclé à la réaction (ne pas représenter la purification et le recyclage).

Toxicité et risques d'incendie et d'explosion

- La butanone est un produit légèrement nocif, très inflammable, formant avec l'air des mélanges explosibles dans les limites de 1,8 à 11,5 % en volume.
- Le butan-2-ol est un produit nocif, liquide à température ambiante, très inflammable.

C – TRAVAIL DEMANDÉ

I – SCHÉMA

Sur le format A4 fourni, suivre les indications précédentes et compléter le schéma en respectant les règles de sécurité et en assurant le bon fonctionnement de l'installation.

II – COURS

1. Faire le schéma fonctionnel de la pompe centrifuge **P2**. Citer les équipements situés juste à la sortie de ce type de pompe ; expliquer en quoi chacun de ces éléments est nécessaire.
2. Indiquer quel est l'intérêt de l'utilisation d'un condenseur horizontal par rapport à un condenseur vertical, après avoir expliqué en quoi ils sont différents.

III – EXERCICES

1. Pompe centrifuge P2

On considère le circuit entre le cyclone **S2** et la colonne **D**. Le débit massique du mélange butanone – butan-2-ol est de $1,8 \text{ tonnes.h}^{-1}$. Le diamètre intérieur des canalisations utilisées est de 27 mm. La perte de charge unitaire est de 5,6 cm de liquide par mètre de canalisation. La longueur totale équivalente (canalisation et singularités) est de 8,6 m. La dénivellation entre le niveau de liquide dans le cyclone et le niveau d'arrivée du liquide dans la colonne est de 2,50 m. Les pressions dans le cyclone et en milieu de colonne sont respectivement 12 mbar et 20 mbar (en pression relative).

- 1.1. Calculer les pertes de charges dans le circuit considéré.
- 1.2. Calculer la hauteur manométrique totale de la pompe.
- 1.3. En prenant comme rendement de la pompe 45 %, calculer la puissance électrique de celle-ci.

2. Rectification du mélange butanone – butan-2-ol

La colonne **D** traite $1,8 \text{ tonnes.h}^{-1}$ de mélange butanone – butan-2-ol.

Avec un taux de reflux égal à 3, le distillat est de la butanone pure avec un débit massique de $1,0 \text{ tonne.h}^{-1}$.

Le résidu est du butan-2-ol brut ne contenant plus de butanone.

2.1. Déterminer le débit massique R du résidu et le titre massique de butanone dans l'alimentation de la colonne.

2.2. Déterminer le débit massique V de vapeur entrant dans le condenseur **E4**.

3. Condenseur à faisceau tubulaire horizontal E4

Le condenseur, supposé adiabatique, comporte 42 tubes de diamètre extérieur 27 mm. On prendra comme débit massique de vapeur entrant dans le condenseur $4,0 \text{ tonnes.h}^{-1}$. On considère que la butanone condensée sort à sa température d'ébullition. L'eau de refroidissement utilisée entre à $18 \text{ }^\circ\text{C}$ et on souhaite qu'elle sorte à $35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Le coefficient global d'échange K rapporté à la surface extérieure est égal à $2,13 \times 10^3 \text{ kJ.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

3.1. Déterminer le débit volumique q_{ER} d'eau de refroidissement nécessaire à la condensation.

3.2. Calculer la différence de température moyenne logarithmique.

3.3. Calculer la longueur de l'échangeur.

DONNÉES

- Température normale d'ébullition de la butanone : $79,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Masse volumique du mélange butanone – butan-2-ol : $\rho_b = 805 \text{ kg.m}^{-3}$
- Masse volumique de l'eau de refroidissement : $\rho_e = 1,04 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$
- Capacité thermique massique de l'eau de refroidissement : $c_e = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Enthalpie massique de vaporisation de la butanone : $L_v = 443 \text{ kJ.kg}^{-1}$ à $79,6 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.
- Pression atmosphérique : $P_{am} = 1,0 \text{ bar}$

FORMULES

- Équation de Bernoulli : $\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{u_1^2}{2g} - J + H_{mt} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{u_2^2}{2g}$.
- Écart de température moyen logarithmique : $\Delta\theta_{ml} = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$

ANNEXE (à rendre avec la copie)

