

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 SCHÉMA : FABRICATION DE L'ISOPROPYLAMINE
(procédé Léonard)

L'isopropylamine (ou 2-aminopropane) est un intermédiaire de réaction pour la synthèse :

- d'herbicides et de fongicides
- de médicaments.

A – PRINCIPE DU PROCÉDÉ

L'isopropylamine est obtenue par réaction de l'ammoniac avec le propan-2-ol en phase gazeuse et en continu. La réaction est la suivante :



Cette réaction a lieu en présence d'un catalyseur d'hydrogénation à base de nickel, et en présence de dihydrogène. Elle s'effectue sous une pression comprise entre 3,0 et 20 bar et à une température comprise entre 140 et 200°C.

Elle est légèrement exothermique : $\Delta H^0 = - 7,0 \text{ kJ.mol}^{-1}$.

B – DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le mélange gazeux, propan-2-ol et ammoniac, arrive à débit constant dans un échangeur à faisceau tubulaire **E1**, où il est surchauffé grâce aux effluents sortant du réacteur **K**. Ces effluents circulent à co-courant du mélange. Le dihydrogène arrive à débit constant par la même canalisation que le mélange, dans l'échangeur **E1**.

Le réacteur **K** est un échangeur à faisceau tubulaire ; les tubes sont remplis de catalyseur. L'eau de refroidissement circule dans la calandre ; son débit maintient constant la température de sortie des effluents. Il est muni d'un indicateur de pression.

Une fois surchauffé, tout le mélange arrive par le bas du réacteur **K**. Les effluents gazeux sortant du réacteur, après avoir surchauffé le mélange initial, sont condensés dans un échangeur à faisceau tubulaire **E2**. La température de sortie de l'eau de refroidissement régule le débit de l'eau de refroidissement.

Les condensats ainsi obtenus sont envoyés dans le cyclone **S** d'où l'on tire :

- du dihydrogène quasiment pur qui est traité pour un recyclage (à ne pas représenter) ;
- une phase liquide contenant principalement de l'isopropylamine, du propan-2-ol non transformé, de l'ammoniac et de l'eau. Cette solution d'isopropylamine est envoyée dans le réservoir **R1**. Le niveau dans le cyclone est maintenu constant.

Une pompe centrifuge **P1** permet d'envoyer le liquide du réservoir **R1** dans un préchauffeur ; le liquide est préchauffé grâce à de la vapeur de chauffe, dans un échangeur à faisceau tubulaire vertical **E3**. Il est ensuite envoyé dans une colonne de rectification à plateaux **D**, fonctionnant sous une pression de 12 bar. Le réservoir **R1** est équipé d'un indicateur de niveau muni d'une alarme.

Le débit de vapeur de chauffe est contrôlé par la température du plateau d'entrée de la colonne **D**. L'introduction du liquide se fait au milieu de la colonne et à débit constant.

En tête de colonne, les vapeurs sont condensées dans un condenseur à faisceau tubulaire **E4**. Les condensats sont renvoyés en totalité dans la colonne. La température de sortie de l'eau de refroidissement régule le débit de l'eau de refroidissement.

Un régulateur de pression est placé après le condenseur **E4**, à la sortie des incondensables, qui sont principalement de l'ammoniac ; ceux-ci sont envoyés dans une installation pour les retraiter (à ne pas représenter).

En pied de colonne, le liquide est maintenu à ébullition par un bouilleur monté en thermosiphon **E5**. Le débit de vapeur, utilisée dans le thermosiphon, est contrôlé par la pression différentielle entre le bas et le haut de la colonne **D**. L'isopropylamine brute, est soutirée en maintenant le niveau de liquide dans la colonne constant, puis envoyée par une pompe centrifuge **P2** vers une seconde colonne pour la purifier (à ne pas représenter).

C – TRAVAIL DEMANDÉ

I. SCHÉMA

Sur le support joint (**annexe, page 5/5, à rendre avec la copie**), représenter l'installation décrite ci-dessus en respectant les règles de sécurité et en assurant son bon fonctionnement.

II. COURS

1. Pour faire de la vapeur saturée, on utilise une chaudière à tubes d'eau, en faire un schéma légendé et expliquer le fonctionnement. Préciser les différents organes de mesure et de sécurité nécessaires en expliquant le rôle des régulations utilisées.

2. Quelle est la qualité de l'eau utilisée dans une chaudière ? Pourquoi ?

III. EXERCICES.

1. Étude de la pompe **P₁**

Le débit massique de la solution d'isopropylamine est égal à $1,10 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$.

La pompe centrifuge **P1** permet d'amener la solution d'isopropylamine d'un réservoir dont le niveau est supposé constant et fonctionnant à pression atmosphérique, jusqu'à la colonne **D** dans laquelle la pression relative est égale à 12 bar.

La longueur totale de la canalisation, de diamètre égal à 25 mm, est de 12,0 m. La différence de hauteur entre le niveau du réservoir et l'entrée de la colonne est de 3,5 m. La longueur équivalente due aux accessoires présents est de 8,0 m. Les pertes de charges unitaires sont égales à 0,05 mètre de liquide par mètre de canalisation linéaire.

1.1. Calculer la vitesse de circulation de la solution.

1.2. Calculer les pertes de charges totales.

1.3. Déterminer la hauteur manométrique H_{MT} de la pompe **P1**.

1.4. Sachant que le rendement de la pompe est de 55 %, calculer la puissance électrique de celle-ci.

2. Étude du préchauffeur E3

Le débit massique de la solution d'isopropylamine est égal à $1,10 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$; cette solution entre dans le préchauffeur E3 à une température de 28 °C et en ressort à une température de 65 °C, sans changer d'état. Pour ce préchauffage, on utilise de la vapeur saturée à 4,0 bar (pression absolue).

On considère que la vapeur ne fait que se condenser.

Le préchauffeur est supposé adiabatique.

2.1. Calculer le flux thermique reçu par le liquide.

2.2. En déduire le débit massique de vapeur utilisé.

2.3. Cet échangeur est constitué de 10 tubes de diamètre de 2,5 cm et de longueur de 1,0 m. Calculer le coefficient global d'échange thermique.

3. Étude de la colonne D

Le débit d'alimentation q_m de la colonne est égal à $1,10 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$. Son titre massique en ammoniac est de 2,0 %.

On suppose que le gaz sortant de la colonne D est de l'ammoniac pur et que le résidu n'en contient pas.

3.1. Calculer le débit massique q_D du gaz qui sort de la colonne D.

3.2. En déduire le débit massique q_R du résidu.

DONNÉES

- ISOPROPYLAMINE : - Produit très volatil, nocif par ingestion, inflammable et formant avec l'air des mélanges explosifs.
- Masse molaire $M = 59,1 \text{ g.mol}^{-1}$
- PROPAN-2-OL : - Produit très inflammable, légèrement irritant pour les yeux, la gorge et le nez.
- Masse molaire $M = 60,1 \text{ g.mol}^{-1}$
- AMMONIAC : - Produit très corrosif et très toxique.
- Masse molaire $M = 17,0 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masse volumique de la solution d'isopropylamine : $\rho = 695 \text{ kg.m}^{-3}$
- Pression atmosphérique : $1,0 \text{ bar} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$
- Accélération de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$
- Capacité massique thermique de la solution d'isopropylamine : $2,77 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau (en kJ.kg^{-1}) :
 $L_v = 2535 - 2,9 \times \theta$, avec θ , température en $^{\circ}\text{C}$
- Formule empirique de Duperray :
$$p = \left(\frac{\theta}{100} \right)^4$$
 avec p , pression absolue en bar et θ , température en $^{\circ}\text{C}$
- Formule de Bernoulli : $p_A + \rho g z_A + \frac{\rho v_A^2}{2} + \rho g H_{MT} = p_B + \rho g z_B + \frac{\rho v_B^2}{2} + \rho g J_{A \rightarrow B}$
- Écart de température moyen logarithmique :
$$\Delta\theta_{ml} = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$$

