

**BACCALURÉAT TECHNOLOGIQUE
STL - CHIMIE DE LABORATOIRE ET DE PROCÉDÉS INDUSTRIELS**

ÉPREUVE DE GÉNIE CHIMIQUE
Partie écrite

Durée de l'épreuve : 3 heures
Coefficient : 3

Le sujet comporte 6 pages numérotées de 1/6 à 6/6.
La page 6/6 est à rendre avec la copie.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Code sujet : GC1-10

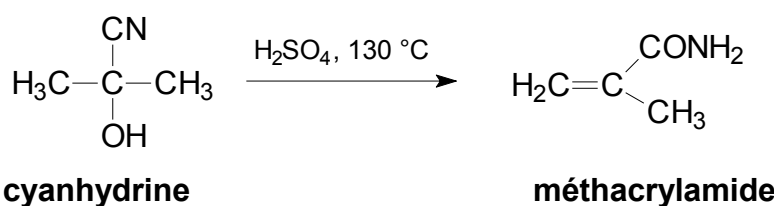
FABRICATION EN CONTINU DU MÉTHACRYLATE DE MÉTHYLE

A. Principe

Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) est un polymère obtenu à partir du méthacrylate de méthyle, monomère désigné sous le nom de **MAM**. C'est une matière plastique transparente connue sous le nom de plexiglas® (nom déposé).

On étudie ici la fabrication du monomère, le **MAM**. Le procédé étudié utilise comme produit de départ une cyanhydrine (obtenue à partir de propanone et d'acide cyanhydrique). Cette cyanhydrine est convertie (**réaction 1**) par l'acide sulfurique en méthacrylamide. Ensuite, l'action du méthanol en excès, en milieu acide sulfurique, sur la méthacrylamide fournit alors le méthacrylate de méthyle **MAM** (**réaction 2**).

Réaction 1



On obtient alors une solution de méthacrylamide en milieu acide sulfurique.

Réaction 2



On obtient alors un mélange gazeux MAM-eau-méthanol et une solution d'hydrogénosulfate d'ammonium en milieu acide sulfurique.

Propriétés physiques du **MAM** :

Température de fusion : - 48 °C

Température d'ébullition sous pression atmosphérique : 100,5 °C

Solubilité dans l'eau : 1,6 g/100 g d'eau à 20 °C

Densité $d = 0,94$

Le **MAM** est toxique et inflammable.

B. Description du procédé

Réaction 1

La cyanhydrine liquide et la solution d'acide sulfurique sont introduits à débits constants dans un réacteur **K** à pression atmosphérique. La réaction de conversion a lieu à 130 °C, elle est exothermique.

Le réacteur **K** est à pression atmosphérique, il est muni d'un échangeur **E1** permettant une circulation externe du mélange réactionnel.

Les produits résultants de la réaction sont soutirés de **K** par une pompe centrifuge **P1** et maintenus à température de 130 °C par circulation dans la calandre de l'échangeur **E1**, alimenté par de l'eau froide, et renvoyés partiellement dans **K**.

Le débit de sortie d'eau est asservi à la température dans **K**.

Ce système permet non seulement le refroidissement mais aussi une bonne homogénéisation. L'autre partie du mélange refroidi est injecté au tiers supérieur d'une colonne **D**, à débit constant (la réaction 2 se déroule dans **D**).

Réaction 2

D est une colonne à plateaux perforés, chauffée par un bouilleur **E3**.

E3 est chauffé par une épingle dans laquelle circule un courant de vapeur. La température est maintenue constante.

La solution sulfurique de méthacrylamide provenant de la réaction 1 lave le mélange gazeux constitué d'eau et de méthanol, qui monte dans la colonne : la réaction 2 se produit alors. Ce mélange gazeux est introduit à la base de la colonne **D** ; il provient d'une autre partie de l'installation.

On recueille en tête de colonne **D**, un mélange MAM-eau-méthanol qui est condensé dans un échangeur à faisceau tubulaire **E4**. Le débit d'eau de refroidissement est asservi à sa température de sortie.

Le mélange condensé est envoyé dans un réservoir tampon **R1**.

Une partie de ce condensat est renvoyé en tête de colonne **D** à l'aide d'une pompe centrifuge **P2**. Le débit de reflux est asservi à la température en tête de colonne.

L'autre partie des condensats est refroidie (température régulée) dans un échangeur à faisceau tubulaire **E5** avant d'être stockée dans un réservoir **R2**. Le niveau dans **R2** est asservi au débit de distillat.

Le contenu du bouilleur **E3**, est composé d'une solution d'hydrogénosulfate d'ammonium en milieu acide sulfurique.

Le niveau dans **E3** est maintenu constant par vidange de la solution.

Cette solution vidangée sera ensuite traitée afin de cristalliser le sulfate d'ammonium (étape à ne pas représenter).

Le mélange **MAM**-eau-méthanol contenu dans **R2** est ensuite traité de manière à obtenir le **MAM** brut, puis rectifié (étape à ne pas représenter).

C. Travail demandé

I. Schéma

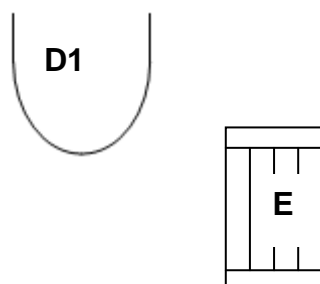
Représenter, sur le schéma d'implantation fourni (**annexe à rendre avec la copie, page 6/6**), la partie de l'installation permettant la production de **MAM** en tenant compte des indications données ci-dessus, en respectant les règles de sécurité et en assurant le bon fonctionnement de l'installation.

2. Cours

Le mélange **MAM** brut est purifié par rectification en continu dans une colonne à plateaux perforés **D1**.

Le bouilleur de cette colonne est constitué d'un échangeur à faisceau tubulaire **E** monté en thermosiphon.

2.1. Reproduire et compléter le schéma ci-dessous, en représentant le premier plateau et le bouilleur monté en thermosiphon.



2.2. Expliquer le fonctionnement du thermosiphon dessiné à la question **2.1**.

2.3. Le niveau en bas de colonne est régulé en fonction du débit de soutirage de la solution. Représenter cette régulation afin d'éviter la cavitation. Préciser quelle est la grandeur réglante et quelle est la grandeur réglée, en indiquant la définition de ces grandeurs.

3. Exercices.

3.1. Concentration du sulfate d'ammonium.

La solution d'hydrogénosulfate d'ammonium est traitée dans une unité de concentration, cristallisation et filtration.

On introduit 2025 kg.h^{-1} d'une solution diluée de sulfate d'ammonium à 47,9 % en masse dans une unité. On procède à la concentration de cette solution par évaporation du solvant eau, jusqu'à obtenir une solution à 51 % en masse.

La solution à 51 %, initialement à $104 \text{ }^\circ\text{C}$, est alors refroidie à $10 \text{ }^\circ\text{C}$ afin de cristalliser le sulfate d'ammonium anhydre.

3.1.1. Déterminer le débit massique de la solution concentrée de sulfate d'ammonium.

3.1.2. Calculer alors le débit massique de l'eau évaporée.

3.2. Bilan thermique sur la cristallisation.

On réalise la cristallisation du sulfate d'ammonium dans un échangeur à faisceau tubulaire dans lequel circule une saumure à contre courant. La saumure entre à $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ et sort à $+8 \text{ }^\circ\text{C}$, tandis que la solution de sulfate d'ammonium à 51 % entre à $+104 \text{ }^\circ\text{C}$ et sort à $+10 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.2.1. Montrer que la puissance thermique à évacuer par la saumure est de $5,4 \times 10^5 \text{ kJ.h}^{-1}$, si les échanges s'effectuent sans perte de chaleur.

3.2.2. Calculer l'écart moyen logarithmique des températures entre les deux fluides.

3.2.3. Déterminer la surface d'échange nécessaire à cette opération de cristallisation

3.2.4. En déduire le nombre de tubes nécessaires.

3.3. Pompe centrifuge.

La pompe centrifuge **P1**, en charge sous le réacteur **K** contenant le mélange des produits (on suppose le niveau constant), permet notamment d'alimenter **D** avec un débit de $4,2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$.

K et **D** sont placés à la pression atmosphérique.

La canalisation de diamètre intérieur constant $4,0 \text{ cm}$ mesure 40 m et présente trois coudes, une vanne et un robinet 3 voies. La dénivellation entre le niveau dans le réacteur **K** et l'entrée dans la colonne **D** est de $3,0 \text{ m}$.

3.3.1. Calculer la perte de charge totale.

3.3.2. Déterminer la vitesse de circulation du fluide à l'entrée de la colonne **D**.

3.3.3. Calculer alors la Hauteur Manométrique Totale de la pompe **P1**.

Données

Capacité thermique massique de la solution aqueuse de sulfate d'ammonium :

$$C = 3,0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Échangeur

Coefficient global d'échange de l'échangeur : $K = 1,05 \text{ kW.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Longueur d'un tube : $L = 1,15 \text{ m}$

Diamètre d'un tube : $d = 2,5 \text{ cm}$

Ecart de température moyen logarithmique :
$$\Delta\theta_{ml} = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\text{Ln} \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$$

Accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Équation de Bernoulli entre deux points A et B d'un circuit avec pompe :

$$H_{mx} + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B + J$$

Perte de charge régulière : 4,0 cm de hauteur de fluide par mètre de canalisation

Longueur équivalente pour une vanne : 0,5 m de canalisation droite

Longueur équivalente pour un coude : 1,5 m de canalisation droite

Longueur équivalente pour un robinet 3 voies : 5,0 m de canalisation droite

