

**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.*

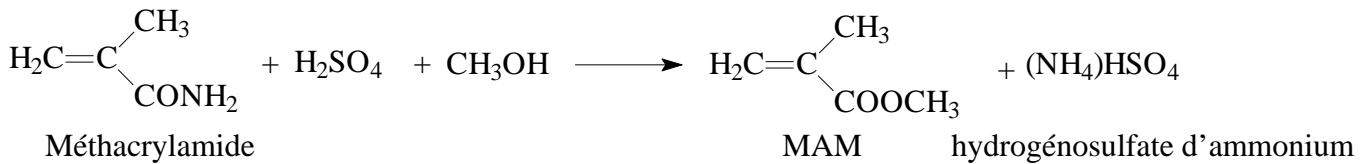
*Calculatrice autorisée.*

**TECHNOLOGIE ET SCHEMA : FABRICATION DE METHACRYLATE DE METHYLE**

**A - DESCRIPTION DU PROCEDE**

**1. Principe.**

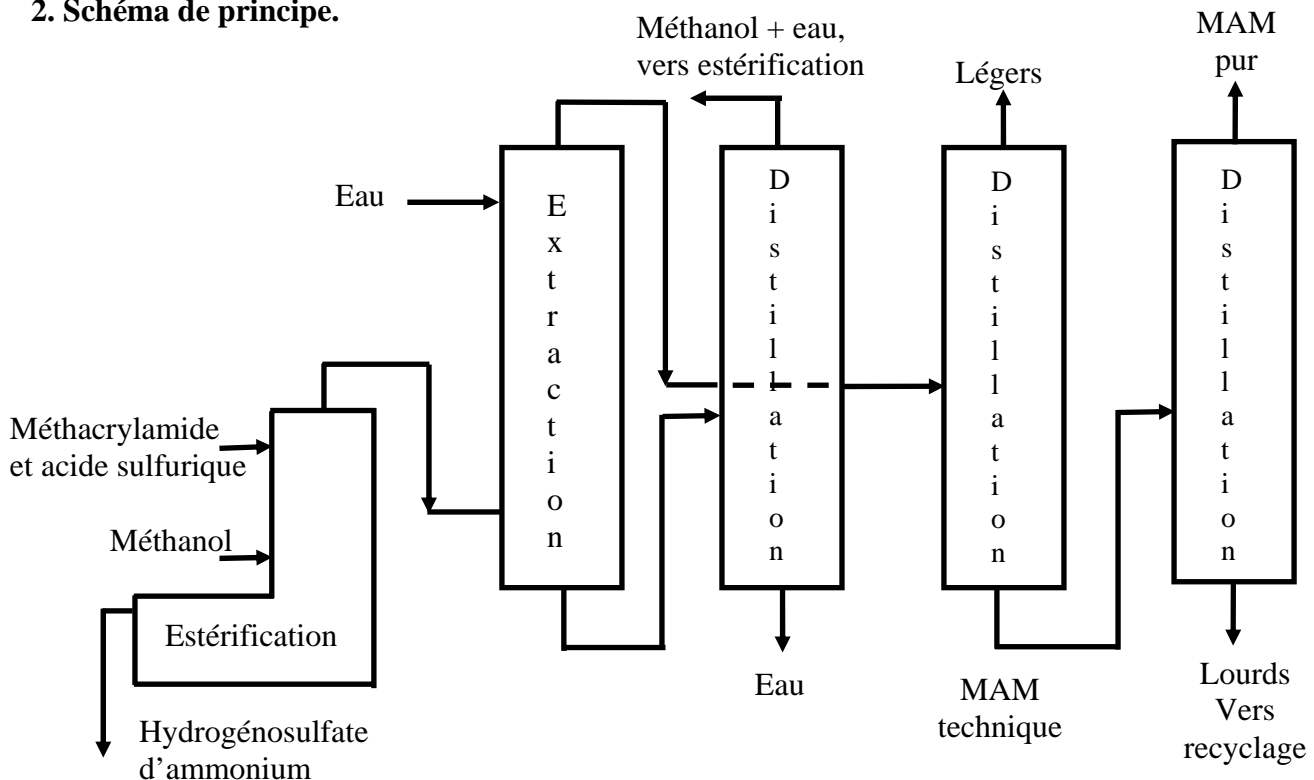
Le méthacrylate de méthyle (MAM) est obtenu par la réaction d'estérification suivante :



On sépare ensuite le MAM brut obtenu par extraction à l'eau puis par trois distillations successives :

- la première sert à récupérer le méthanol n'ayant pas réagi ;
- la deuxième sert à récupérer des produits légers et le MAM technique ;
- la troisième sert à récupérer le MAM pur.

**2. Schéma de principe.**



## B – TRAVAIL DEMANDE.

### I. Schéma.

#### **Le méthanol est un produit toxique et inflammable et le MAM est inflammable.**

Représenter sur l'annexe (**page 5/5, à rendre avec la copie**) la partie de l'installation correspondant à la distillation du MAM pur, c'est à dire les appareils D, E1, E2, E3, E4, R1, R2 et R3, en tenant compte des indications données, en respectant les règles de sécurité et en assurant le bon fonctionnement de l'installation.

Le MAM technique alimente par pompe la colonne à distiller D fonctionnant sous dépression, au niveau du plateau n° 8. La colonne D comporte 26 plateaux numérotés à partir du bas, elle est calorifugée et le haut de la colonne est équipé d'une soupape de sécurité. La perte de charge de la colonne est mesurée.

Le débit d'alimentation est maintenu constant par une régulation de débit.

En tête de colonne D, les vapeurs sont condensées dans un échangeur thermique à faisceau tubulaire horizontal E1. L'eau de refroidissement circule à contre-courant à l'extérieur des tubes.

Le MAM pur s'écoule dans un pot de recette R1 par gravité.

Les vapeurs non condensées passent dans un second condenseur horizontal de sécurité, à faisceau tubulaire E2. La saumure servant au refroidissement circule à contre-courant à l'extérieur des tubes.

Le MAM pur s'écoule également par gravité dans le pot de recette R1.

De ce dernier une pompe renvoie une partie du MAM en reflux au-dessus du plateau n° 26 et l'autre partie vers un bac de stockage R2.

Le débit du reflux est maintenu constant par une régulation de débit et le niveau du pot de recette est maintenu constant en agissant sur le débit du MAM allant au stockage R2.

Avant son stockage le MAM pur doit être refroidi par de la saumure dans un réfrigérant E3 **pour limiter le risque de polymérisation qui est moins important lorsque la température est basse.**

La température avant stockage est régulée en agissant sur le débit de saumure.

Le MAM pur entre dans la cuve de stockage par un tube plongeant. La cuve est inertée par du diazote gazeux. La pression dans la cuve de stockage est régulée en agissant sur le débit d'entrée du diazote et sur le débit de sortie. Le diazote sortant est recyclé.

Les « incondensés » sortant du condenseur E2 sont aspirés par une pompe à vide. Une partie du refoulement de la pompe à vide est envoyée à l'atmosphère et l'autre partie est recyclée sur l'aspiration de la pompe à vide, ce qui permet de réguler la pression à 230 mm de mercure.

En pied de colonne, le chauffage est assuré par un bouilleur à faisceau tubulaire E4 fonctionnant en thermosiphon, alimenté par de la vapeur à 5 bar circulant à l'extérieur des tubes. Les condensats sont éliminés par un purgeur.

La température en pied de colonne est régulée en agissant sur le débit de vapeur de chauffe.

Les « lourds » sont soutirés latéralement par débordement et s'écoulent dans un bac R3 sous dépression.

Un tube d'équilibrage des pressions relie la partie supérieure de ce bac à la colonne juste en dessous du plateau n° 1.

Une pompe permet de recycler ces lourds de R3 vers l'estérification (à ne pas représenter).

Le niveau du bac de stockage des lourds est régulé en agissant sur le débit de refoulement de la pompe.

Tous les appareils sont reliés à une prise de terre.

Les données figurent en page 4/5.

## II. Cours.

1. Expliquer pour quelles raisons on effectue la distillation du MAM pur sous pression réduite de 230 mm de mercure.
2. Comparer les avantages et les inconvénients d'une distillation sous dépression et d'une distillation à pression atmosphérique.
3. Décrire et faire un ou plusieurs schémas détaillés et annotés d'un condenseur à faisceau tubulaire, expliquer ses fonctionnements possibles.

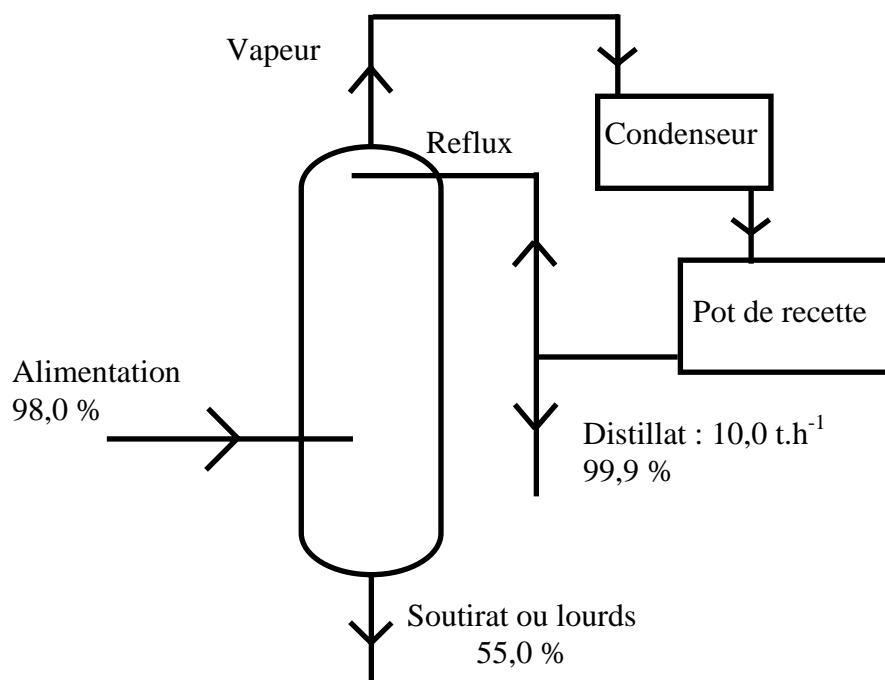
## III. Exercices.

### 1. Bilan matière sur la réaction d'estérification.

Calculer le débit masse de méthanol nécessaire pour produire  $10,0 \text{ t.h}^{-1}$  de MAM, d'après l'équation de la réaction.

### 2. Bilan matière sur la colonne à distiller servant à récupérer le MAM pur.

Les pourcentages indiqués ci-dessous sont des pourcentages massiques en MAM.



- 2.1. Calculer le débit d'alimentation ainsi que le débit de soutirage des lourds.
- 2.2. Déterminer le débit du reflux de la colonne à distiller servant à récupérer le MAM pur, sachant que le taux de reflux est de 1,30 et que le débit masse de distillat est de  $10,0 \text{ t.h}^{-1}$ .
- 2.3. A partir de la question précédente, montrer que le débit masse de vapeur sortant de la colonne à distiller est de  $23,0 \text{ t.h}^{-1}$ .

### 3. Bilan thermique sur le condenseur.

3.1. Déterminer la puissance thermique nécessaire pour condenser 23,0 t.h<sup>-1</sup> de MAM supposé pur.

3.2. Calculer le débit masse d'eau de refroidissement nécessaire à la condensation dans E1, en admettant que les pertes thermiques sont nulles.

3.3. Calculer le coefficient d'échange thermique global du condenseur E1.

### 4. Etude de la pompe servant au reflux.

4.1. Calculer la hauteur manométrique totale de la pompe sachant que l'on néglige les énergies dues à la vitesse du liquide devant les autres termes et que l'on considère que la pression est la même en tête de colonne et dans le pot de recette du reflux.

4.2. Déterminer le rendement de la pompe sachant que la puissance qu'elle absorbe est de 1,25 kW.

### DONNEES

- Températures d'ébullition du méthacrylate de méthyle (MAM) en fonction de la pression : 101 °C à 760 mm Hg (pression atmosphérique) et 66 °C à 230 mm Hg (Hg : mercure)
- Masses molaires  
MAM : 100 g.mol<sup>-1</sup> Méthanol : 32,0 g.mol<sup>-1</sup>
- Débit masse de distillat (MAM pur) : 10,0 t.h<sup>-1</sup>
- Titre massique du distillat en MAM : 99,9 %
- Titre massique du soutirât ou des lourds en MAM : 55,0 %
- Titre massique du mélange d'alimentation en MAM : 98,0 %
- Chaleur latente de condensation du MAM : 3,60 × 10<sup>4</sup> J.kg<sup>-1</sup>
- Capacité thermique massique de l'eau : 4,18 × 10<sup>3</sup> J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>
- Aire de la surface d'échange thermique du condenseur E1 : 4,00 m<sup>2</sup>
- Température de condensation du MAM entrant et sortant du condenseur : 66,0 °C
- Température d'entrée de l'eau de refroidissement : 25,0 °C
- Température de sortie de l'eau de refroidissement : 30,0 °C
- Écart de température moyen logarithmique :  $\Delta\theta_{ml} = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$
- Relation de Bernoulli entre deux points A et B d'un circuit avec pompe
$$\frac{u_A^2}{2 \times g} + \frac{P_A}{\rho \times g} + z_A + H = \frac{u_B^2}{2 \times g} + \frac{P_B}{\rho \times g} + z_B + J$$
- z<sub>B</sub> - z<sub>A</sub> = 8,00 m : différence d'altitude supposée constante entre les deux points situés pour A à la surface du liquide se trouvant dans le pot de recette et pour B à l'extrémité de la conduite alimentant la colonne à distiller en reflux.
- Perte de charge entre les points A et B : J = 4,00 m de liquide.
- Accélération de la pesanteur : g = 9,81 m.s<sup>-2</sup>

ANNEXE (à rendre avec la copie)

