

Épreuve de GÉNIE CHIMIQUE
Partie écrite

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

*Le sujet comporte 5 pages dont une annexe (page 4/5) à rendre avec la copie.
Calculatrice autorisée.*

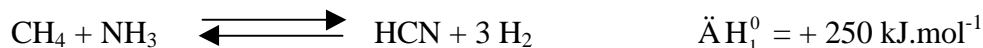
TECHNOLOGIE ET SCHEMA : FABRICATION DE L'ACIDE CYANHYDRIQUE

A-DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le schéma de principe est donné en annexe 2 (page 5/5)

1. Réacteur R1

L'acide cyanhydrique est préparé par réaction du méthane avec l'ammoniac, à 1373 K et sous une pression absolue de 2 bar selon l'équilibre suivant (toutes les espèces sont des gaz) :



On utilise comme catalyseur de la toile de platine.

La réaction est fortement endothermique, ce qui exige d'amener une grande quantité de chaleur dans le milieu réactionnel. Cet apport d'énergie se fait « in situ » en ajoutant de l'air au mélange CH₄/NH₃, ce qui provoque la réaction suivante avec le dihydrogène issu de la réaction précédente :



On suppose que la présence d'air n'entraîne pas d'autres réactions.

2. Colonne de lavage D

Après réaction, les effluents gazeux passent dans un échangeur à faisceau tubulaire **E1** puis dans une colonne de lavage **D**, sous pression atmosphérique. L'ammoniac qui n'a pas réagi est éliminé par une solution aqueuse d'acide sulfurique à contre-courant.

En tête de **D**, les effluents gazeux lavés sont dirigés vers la colonne d'absorption **Da** ; la solution obtenue est dirigée vers la colonne de rectification **Di** fonctionnant sous pression atmosphérique.

En pied de **D**, la solution de sulfate d'ammonium obtenue est envoyée vers la colonne de désorption **De**. En effet, la solution issue de **D** contient un peu d'acide cyanhydrique qu'il faut enlever par désorption. Celle-ci est réalisée à contre-courant par du diazote humide.

En tête de **De**, les gaz sont dirigés vers la colonne d'absorption **Da**.

En pied de **De**, la solution de sulfate d'ammonium est envoyée vers un récipient de stockage

3. Colonne de rectification Di

Cette colonne permet d'obtenir un distillat titrant 99,5 % en mole d'acide cyanhydrique. Le résidu est dirigé en tête de la colonne d'absorption **Da**.

B- TRAVAIL DEMANDÉ

I. Schéma

Caractéristiques physico-chimiques de l'acide cyanhydrique (sous 1,0 bar) :

- Température de fusion : - 13,3 °C
- Température d'ébullition : 25,7 °C
- Toxicité : poison violent
- Liquide extrêmement inflammable

Représenter sur l'annexe 1 (**page 4/5, à rendre avec la copie**) la partie de l'installation correspondant à la distillation, c'est à dire les appareils **Di, E2, E3, E4, E5** et **R2**, en tenant compte des indications données ci-dessous, en respectant les règles de sécurité et en assurant le bon fonctionnement de l'installation.

La colonne à distiller **Di** comporte 16 plateaux.

- 1.** La solution à distiller provient de la colonne d'absorption **Da** ; elle est envoyée, par pompe centrifuge (**P2**), au 4^{ème} plateau de la colonne, en partant du bas. Avant son introduction dans la colonne, la solution à distiller est préchauffée (température réglée) dans un échangeur à faisceau tubulaire horizontal **E2** chauffé à la vapeur.
- 2.** Le chauffage de la colonne à distiller est assuré par un échangeur à faisceau tubulaire **E3** monté en thermosiphon. Le débit de vapeur est asservi à la pression différentielle mesurée entre la tête et le pied de la colonne.
- 3.** En tête de colonne se trouvent deux échangeurs tubulaires :
 - un condenseur partiel horizontal **E4** permettant de recueillir du liquide de reflux, d'abord stocké dans un réservoir tampon, avant d'être envoyé en tête de colonne à l'aide d'une pompe centrifuge **P3**. La température en tête de colonne dépend du débit de reflux ;
 - un condenseur total vertical **E5** produisant un distillat dont la température est réglée par le débit d'eau du condenseur et le débit est régulé par le niveau de liquide stocké dans le réservoir tampon.
- 4.** Le distillat est stocké dans un réservoir au sol **R2** sous atmosphère de diazote avec soupape hydraulique.
- 5.** Le résidu est soutiré par pompe centrifuge en pied de colonne par une régulation de niveau et est envoyé en tête de la colonne d'absorption (à ne pas représenter).

II. Questions de cours

- 1.** Expliquer le fonctionnement d'une pompe centrifuge ; on fera un schéma légendé.
- 2.** Expliquer pourquoi on préchauffe le mélange introduit dans la colonne.
- 3.** L'installation de distillation fonctionne-t-elle en continu ou discontinu ? Justifier.

III. Exercices

1. Échangeur E1

Les gaz sortant du réacteur à 1100 °C sont refroidis à 100 °C dans l'échangeur **E1**, l'énergie récupérée servant à produire de la vapeur d'eau saturante ($t = 120$ °C) à partir d'une eau de refroidissement à 20 °C. L'échangeur est utilisé à contre-courant.

On suppose que l'échangeur est adiabatique (pas de pertes de chaleur).

- 1.1. Calculer le flux thermique des effluents
- 1.2. Calculer le débit massique d'eau nécessaire.
- 1.3. Calculer l'aire de la surface d'échange.
- 1.4. En déduire le nombre de tubes de l'échangeur

Données :

- Débit massique des effluents gazeux sortant du réacteur : 1100 kg.h^{-1}
- Capacité thermique massique moyenne des effluents gazeux : $3,0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau : $4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Enthalpie massique de vaporisation de l'eau : L_v (en kJ.kg^{-1}) = $2535 - (2,9 \times t)$ avec t en °C
- Coefficient global de l'échange thermique : $540 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
- Diamètre d'un tube : 50 mm ; longueur d'un tube : 2,4 m

- Écart de température moyen logarithmique :
$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln\left(\frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}\right)}$$

2. Colonne de lavage D

Les gaz refroidis sont lavés par une solution d'acide sulfurique, afin d'éliminer l'ammoniac qui n'a pas réagi. La solution d'acide est stockée dans un réservoir au sol à niveau constant et respirant à l'atmosphère. La solution est envoyée par pompe centrifuge en tête de la colonne de lavage, qui fonctionne sous pression atmosphérique. La dénivellation entre le niveau dans le réservoir de stockage et la tête de colonne est de 18 m.

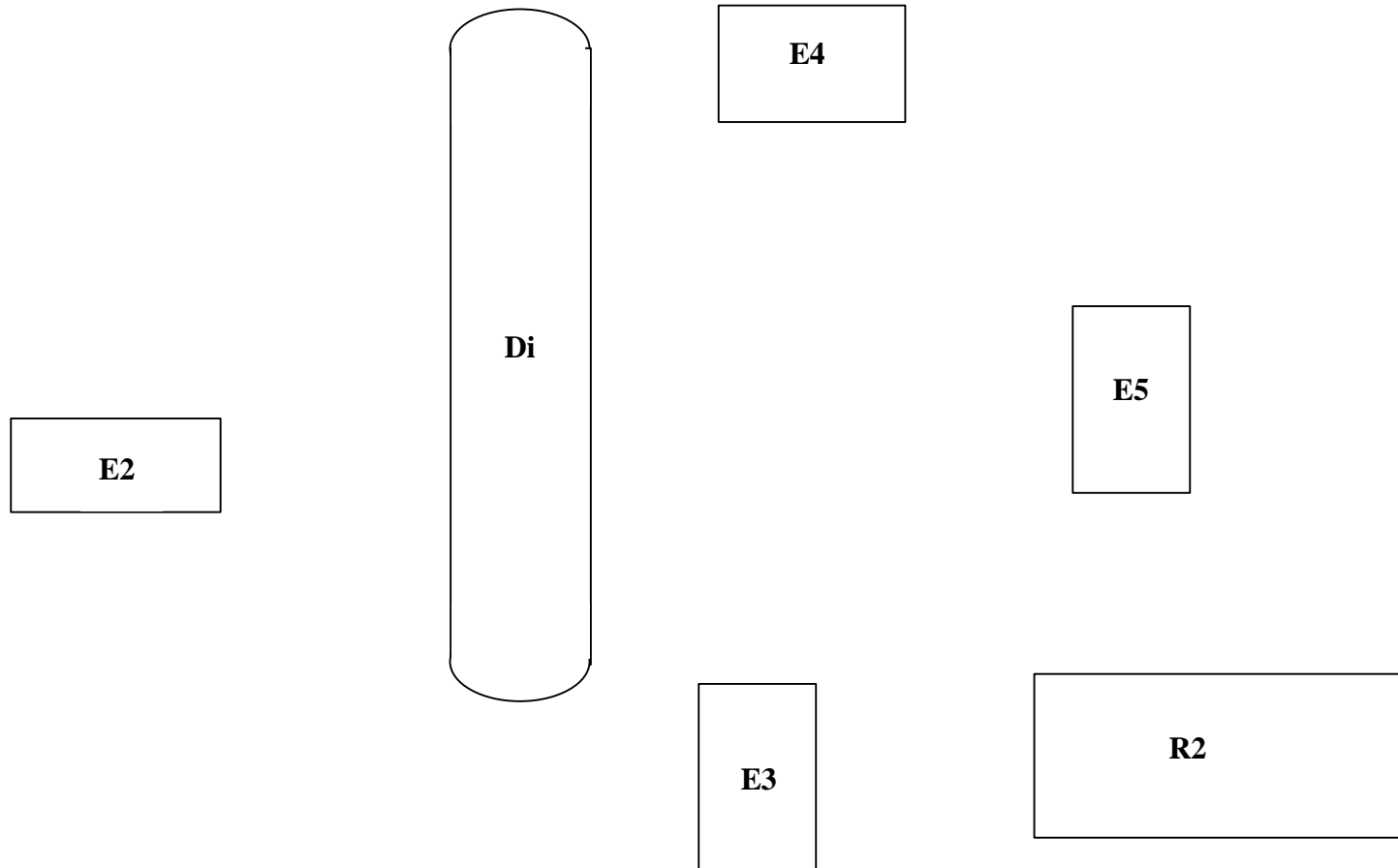
Données :

- Débit massique de la solution d'acide sulfurique : $Q_m = 1225 \text{ kg.h}^{-1}$
- Masse volumique de la solution d'acide sulfurique : $\tilde{n} = 1145 \text{ kg.m}^{-3}$
- Diamètre des canalisations : $d = 2,0 \text{ cm}$
- Pertes de charge totales du circuit : $\Delta P = 6,0 \times 10^4 \text{ Pa}$
- Accélération de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$
- Relation de Bernoulli entre deux points A et B :

$$H_{MT} + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{u_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{u_B^2}{2g} + z_B + J$$

- 2.1. Calculer la vitesse d'écoulement dans la canalisation.
- 2.2. Exprimer les pertes de charge dans le circuit de pompage en mètres de liquide.
- 2.3. Calculer la hauteur manométrique de la pompe.
- 2.4. Calculer la puissance utile et la puissance électrique de la pompe sachant que le rendement de la pompe est égal à 0,7.

Annexe 1 (à rendre avec la copie)



Annexe 2

