

BTS CHIMISTE

GENIE CHIMIQUE

Durée : 3 h

Coefficient : 3

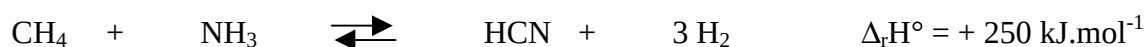
FABRICATION DE L'ACIDE CYANHYDRIQUE

A- DESCRIPTION DU PROCEDE

Le schéma de principe est donné en annexe 1 (page 5/6)

1. Réacteur (R₁)

L'acide cyanhydrique est préparé par réaction du méthane sur l'ammoniac, à 1373 K et sous une pression absolue de 2 bars selon l'équilibre suivant :



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 pour provoquer la réaction suivante :



(le dihydrogène est issu de la première réaction)

On suppose que cette addition d'air n'entraîne pas d'autres réactions.

2. Colonne de lavage (D)

Après réaction, les effluents gazeux passent dans un échangeur de chaleur (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 les effluents gazeux lavés sont dirigés vers la colonne d'absorption (Da).

En pied la solution de sulfate d'ammonium obtenue est envoyée vers la colonne de désorption (De).

3. 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 de l'azote humide.

En tête, les gaz sont dirigés vers la colonne d'absorption (Da).

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

4. Colonne d'absorption

Les effluents gazeux (contenant entre autres du méthane) issus de (D) et de (De) sont mélangés puis absorbés dans la colonne (Da) par le résidu de la colonne de rectification (Di).

En tête, les effluents gazeux sont collectés en vue d'un ultime traitement.

En pied, la solution est dirigée vers la colonne de rectification (Di) fonctionnant sous pression atmosphérique.

5. Colonne de rectification

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- ETUDE DU PROCEDE (les exercices 1, 2, 3, 4 sont indépendants)

1. Réacteur (R)

1.1. Sachant que l'on part d'un mélange équimolaire de dioxygène, méthane, ammoniac et que les gaz effluents du réacteur ne contiennent ni dioxygène ni dihydrogène mais contiennent 60 kmol.h^{-1} de diazote, calculer les débits molaires des différentes substances à l'entrée et à la sortie du réacteur (recopier les tableaux 1 et 2 de l'**annexe 2**, page 6/6, et les compléter après avoir justifié ces résultats). L'air contient, en volume, 20 % de dioxygène et 80 % de diazote.

1.2. Calculer le taux de conversion

2. Echangeur (E₁)

Les gaz sortant du réacteur à 1100 °C sont refroidis à 100 °C dans l'échangeur **E₁** (faisceau multitubulaire à simple passe), l'énergie récupérée servant à produire de la vapeur d'eau saturante ($t = 120 \text{ °C}$) à partir d'une eau de refroidissement à 20 °C. L'échangeur est utilisé à contre-courant. On suppose que l'échangeur est adiabatique.

2.1. Calculer le débit massique d'eau nécessaire.

2.2. Calculer l'aire de la surface d'échange.

2.3. En déduire le nombre de tubes de l'échangeur.

Données :

- Débit molaire des effluents gazeux sortant du réacteur : 110 kmol.h^{-1}
- Capacité thermique molaire moyenne des effluents gazeux : $30 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau : $4,20 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- 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

Formule donnant la moyenne logarithmique des écarts de température :

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$$

3. 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 : $F = 1225 \text{ kg.h}^{-1}$
- Masse volumique de la solution d'acide sulfurique : $\rho = 1145 \text{ kg.m}^{-3}$
- 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 : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

3.1. Calculer la vitesse d'écoulement dans la canalisation.

3.2. Exprimer les pertes de charge dans le circuit de pompage en mètres de liquide.

3.3. Calculer la hauteur manométrique de la pompe.

3.4. Calculer la puissance utile et la puissance électrique de la pompe sachant que le rendement de la pompe est égal à 0,7.

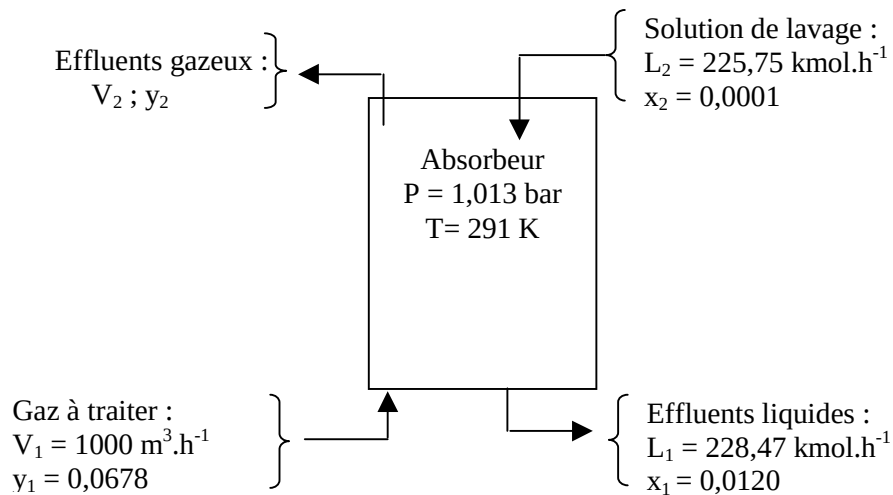
4. Colonne d'absorption (Da)

Les gaz issus de la colonne de lavage (D) et du désorbeur (De) sont mélangés et envoyés vers la colonne d'absorption (Da) pour que l'acide cyanhydrique soit en partie absorbé par une solution aqueuse qui est le résidu de la colonne de rectification (Di).

L'absorbeur fonctionne à 18 °C et sous pression atmosphérique ($P = 1,013 \text{ bar}$).

On désire que les effluents gazeux contiennent moins de 0,3 % en mole d'acide cyanhydrique et on souhaite enrichir la solution de lavage de 0,01 % à 1,2 % en mole d'acide cyanhydrique.

Les différents débits entrant et sortant sont donnés dans le schéma ci-dessous.



V_1 et V_2 : débits gazeux exprimés en mètres cube par heure ;

L_1 et L_2 : débits des solutions exprimés en kilomoles par heure.

y_1, y_2, x_1, x_2 : fractions molaires en acide cyanhydrique

4.1. Calculer le débit (V_2) des effluents gazeux en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et la fraction molaire (y_2) en acide cyanhydrique. On donne le volume molaire dans les conditions du procédé ($T = 291 \text{ K}$; $P = 1,013 \text{ bar}$) : $V_M = 23,9 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

4.2. A partir de la courbe d'équilibre $\text{HCN-H}_2\text{O-Inertes}$, fournie en **annexe 2 (page 6/6)**, estimer le nombre de plateaux théoriques nécessaire à l'absorption.

C- SCHEMA

Représenter (dessin format A4 quadrillé 5×5) la partie de l'installation correspondant à la distillation, c'est à dire les appareils **Di**, **E₂**, **E₃**, **E₄**, **E₅**, **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 15 plateaux.

1. L'alimentation : 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. Avant son introduction dans la colonne, la solution à distiller est préchauffée (température régulée) dans un échangeur à faisceau tubulaire horizontal (**E₂**) chauffé à la vapeur.

2. Le bouilleur est constitué par un faisceau tubulaire vertical externe (**E₃**) monté en thermosiphon chauffé par de la vapeur dont le débit est asservi à la perte de charge de la colonne.

3. Le système de rétrogradation est constitué de deux échangeurs tubulaires verticaux :

- un condenseur partiel (**E₄**) assurant un reflux en tête de colonne et dont le débit d'eau froide régule la température de tête de colonne ;
- un condenseur total (**E₅**) produisant un distillat dont la température est régulée par le débit d'eau du condenseur.

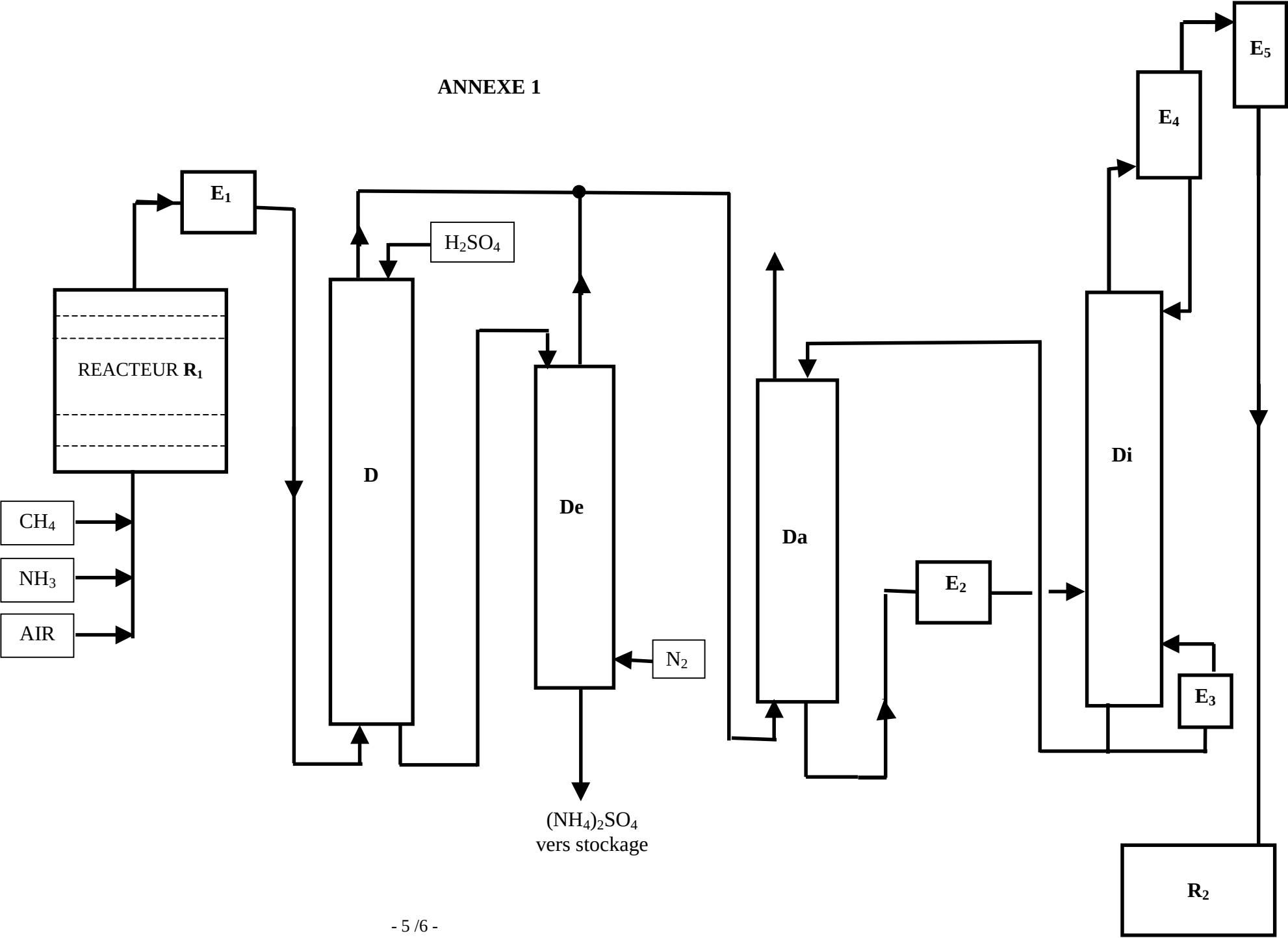
4. Le distillat est stocké dans un réservoir au sol (**R₂**).

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).

Caractéristiques physico-chimiques de l'acide cyanhydrique :

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

ANNEXE 1



ANNEXE 2

Tableau 1

Composé	Débit molaire (en kmol.h ⁻¹)
CH ₄	
NH ₃	
O ₂	
N ₂	



Tableau 2

Composé	Débit molaire (en kmol.h ⁻¹)
CH ₄	
NH ₃	
H ₂	
H ₂ O	
O ₂	
N ₂	
HCN	

