

Épreuve de GÉNIE CHIMIQUE
Partie écrite

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

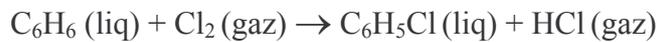
Le sujet comporte 5 pages dont une annexe (page 5/5) à rendre avec la copie.
Calculatrice autorisée.

TECHNOLOGIE ET SCHÉMA : CHLORATION DU BENZÈNE

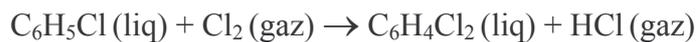
A- PRINCIPE

Lors de la chloration du benzène, deux réactions successives se produisent.

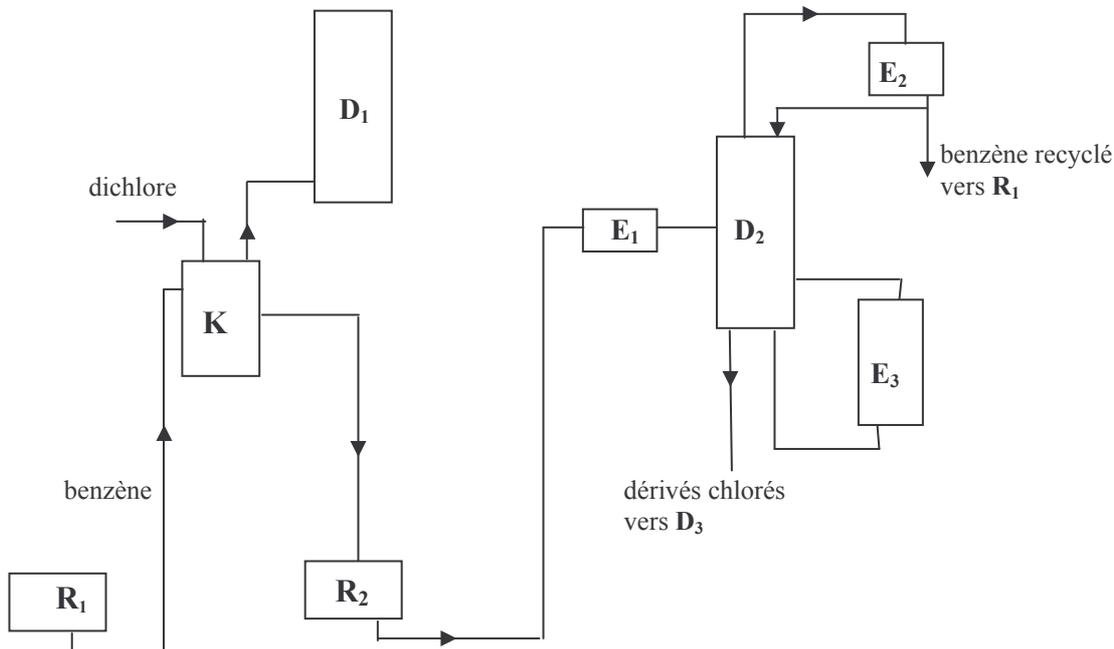
Réaction principale :



Réaction secondaire:



B – DESCRIPTION DU PROCÉDÉ



B.1 Réaction

On réalise en continu dans un réacteur **K** la chloration du benzène. Cette réaction s'effectue à la pression atmosphérique. Le benzène stocké dans **R₁** est introduit à 25° C en haut du réacteur, à débit constant, à l'aide d'une pompe centrifuge **P₁**. Le dichlore est injecté à 25°C par une rampe de pulvérisation, à débit constant également.

La réaction étant exothermique, on maintient la température à 55 °C par circulation d'une saumure dans la double enveloppe. La vapeur, uniquement constituée de chlorure d'hydrogène, est envoyée vers une tour de lavage **D₁**. Les dérivés chlorés et le benzène en excès récupérés sont envoyés vers **R₂** avant d'être traités dans des unités de rectification. Le niveau dans le réacteur **K** est maintenu constant.

B.2 Récupération du chlorure d'hydrogène

Le chlorure d'hydrogène est envoyé au bas de la tour de lavage à garnissage D_1 alimentée en eau déminéralisée. La solution d'acide chlorhydrique est envoyée au stockage (à ne pas représenter). Le niveau de liquide dans le bas de D_1 est maintenu constant grâce à un siphon.

B.3 Récupération des dérivés chlorés

Le mélange issu de R_2 est envoyé, à débit constant, par une pompe centrifuge P_2 , au tiers supérieur d'une colonne à plateaux D_2 , fonctionnant sous pression atmosphérique, après préchauffage dans un échangeur tubulaire E_1 horizontal alimenté en vapeur de chauffe 6 bar. La température du mélange à la sortie de E_1 est maintenue constante.

En tête de colonne, le benzène est récupéré dans un pot de recette (régulation de niveau) après condensation dans un échangeur tubulaire horizontal E_2 . Une partie est envoyée en reflux en tête de colonne grâce à une pompe centrifuge P_3 , l'autre est recyclée au niveau du réservoir de stockage R_1 après refroidissement à 25°C dans un échangeur à plaques (à ne pas représenter). Le débit de reflux permet de maintenir constante la température au niveau du plateau situé au-dessus du point d'alimentation.

En pied de colonne, on récupère les dérivés chlorés. Le bouilleur est constitué d'un faisceau tubulaire E_3 monté en thermosiphon. Le niveau dans le bouilleur est maintenu constant par soutirage en continu du résidu qui est dirigé vers une seconde unité de rectification où les dérivés chlorés sont séparés (à ne pas représenter). La pression différentielle de la colonne est réglée grâce au chauffage vapeur.

Benzène : liquide très inflammable, température d'ébullition $\theta_{eb} = 80^\circ\text{C}$, toxique par inhalation, contact ou ingestion.

Chlorobenzène : liquide inflammable, $\theta_{eb} = 132^\circ\text{C}$, nocif par inhalation, contact ou ingestion.

C – TRAVAIL DEMANDÉ

1. Schéma

Sur le support joint (**annexe à rendre avec la copie, page 5/5**), représenter, à l'aide des symboles fournis les parties **B.1**, **B.2** et **B.3** du schéma de fabrication en y plaçant tous les appareils de contrôle, de sécurité et de régulation permettant le bon fonctionnement de l'installation.

2. Cours : le froid

La saumure circulant dans la double enveloppe du réacteur, est refroidie à l'aide d'un groupe frigorifique à compression. Réaliser un schéma de principe clairement annoté et expliquer en quelques lignes son fonctionnement.

3. Exercices

3.1 Réactions

Les productions du chlorobenzène et du dichlorobenzène sont respectivement de $Q_1 = 2,00 \times 10^3 \text{ kg h}^{-1}$ et $Q_2 = 2,00 \times 10^2 \text{ kg h}^{-1}$.

On suppose que le dichlore est totalement consommé et que 70 % du benzène introduit dans le réacteur a réagi.

3.1.1 Calculer les débits molaires de chlorobenzène (Q_{n1}) et de dichlorobenzène (Q_{n2}).

3.1.2 Calculer le débit molaire de dichlore (Q_{n3}).

3.1.3 Calculer le débit massique de benzène introduit (Q_0).

- Masses molaires en g.mol^{-1} : benzène : 78 ; chlorobenzène : 112,5 ; dichlorobenzène : 147

3.2 Alimentation du réacteur

On prendra, dans cette partie, un débit de benzène Q_v égal à $2,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Le benzène stocké dans une cuve à pression atmosphérique dont le niveau est maintenu constant est acheminé par pompe centrifuge à la base du réacteur. La canalisation longue de 30 m et de diamètre 2,0 cm comporte des coudes, des vannes et un clapet anti-retour. L'ensemble des accidents correspond à une longueur équivalente à 15 m. La dénivellation entre la surface libre du liquide dans le réservoir et la base du réacteur est de 10 m. La pression au point d'introduction dans le réacteur est égale à 2,0 bar absolu.

3.2.1 Calculer, à l'aide de la relation de Darcy, les pertes de charges, J_{AB} .

3.2.2 Calculer la hauteur manométrique totale H_{MT} de la pompe.

3.2.3 Calculer la puissance absorbée P_a sachant que le rendement r de la pompe est de 70 %.

DONNÉES

- Relation de Darcy : $J_{AB} = \lambda \frac{Lu^2}{2gD}$, $\lambda = 0,025$ (coefficient de perte de charge).

avec :

D : diamètre de la canalisation (m)

L : longueur de canalisation (m)

u : vitesse moyenne du liquide ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

g : $9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

J_{AB} : perte de charge en mètre de fluide.

- Théorème de Bernoulli : $\frac{P_A}{\rho g} + z_A + \frac{u_A^2}{2g} + H_{MT} = \frac{P_B}{\rho g} + z_B + \frac{u_B^2}{2g} + J_{AB}$
- $\rho_{\text{benzène}} = 8,8 \times 10^2 \text{ kg m}^{-3}$
- Pression atmosphérique = 1,0 bar

T.S.VP.

3.3 Bilan thermique sur le condenseur E₂

Le benzène en excès est récupéré en tête de D₂. Le débit de condensat à la sortie de E₂ est $Q_B = 0,74 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. L'eau de refroidissement entre à une température de 10 °C et sort à 20 °C. On admet que le benzène ne fait que se condenser dans E₂.

3.3.1 Calculer le débit massique d'eau de refroidissement Q_e .

3.3.2 Calculer la surface d'échange S .

3.3.3 Calculer le nombre de tube de l'échangeur N .

DONNÉES

- Enthalpie massique de vaporisation du benzène, $L_v = 385 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Température d'ébullition du benzène, $\theta_{eb} = 80 \text{ °C}$
- $\rho_{\text{benzène}} = 8,8 \times 10^2 \text{ kg m}^{-3}$
- Longueur des tubes, $L = 1,5 \text{ m}$
- Diamètre des tubes, $D = 1,0 \text{ cm}$
- Coefficient global d'échange thermique, $K_S = 800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Écart de température moyen logarithmique : $\Delta\theta_{ml} = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$

ANNEXE (à rendre avec la copie)

