

BTS SESSION 1985 – 4h – Coefficient 3

Technologie – Génie chimique – Schéma

Le sujet comporte trois parties indépendantes

1 ^{ère} partie	20 points/60 points	: Etude d'un réacteur isotherme
2 ^{ème} partie	10 points/60 points	: Bilans matière d'une colonne d'absorption
3 ^{ème} partie	30 points/60 points	: Schéma

I - Etude d'un réacteur isotherme

Le méthanal peut-être obtenu par oxydation catalytique du méthanal par l'oxygène de l'air selon la réaction d'équation :



Cette réaction très exothermique libère 155 kJ par mole de méthanal formée. Elle est réalisée en phase gazeuse dans un réacteur catalytique à faisceau tubulaire vertical. Le catalyseur est placé dans les tubes. Le mélange air + méthanol pénètre dans le réacteur à la température de $\theta_0 = 300^\circ\text{C}$. Le catalyseur, à base d'oxydes de fer et de molybdène perdant toute efficacité pour des températures supérieures à 400°C , la masse réactionnelle circulant dans les tubes est maintenue à la température θ_0 par refroidissement à l'aide d'un thermofluide circulant à contre courant hors des tubes.

- I.1** - Calculer la quantité de chaleur à éliminer par heure du réacteur sachant que le débit de masse du méthanal à la sortie du réacteur est $F = 900 \text{ kg/h}$.
- I.2** - Le thermofluide utilisé est le Dowtherm A. Il est mis en œuvre en phase liquide sous la pression atmosphérique. Il pénètre dans l'enveloppe du réacteur à la température $\theta_e = 90^\circ\text{C}$ et ressort à la température $\theta_s = 250^\circ\text{C}$. Calculer le débit masse horaire de thermofluide nécessaire à la marche isotherme du réacteur dans ces conditions.
- I.3** - Le faisceau tubulaire contenant le catalyseur est formé de 1000 tubes identiques, de longueur L et de diamètre intérieur $d = 22\text{mm}$. Calculer la surface d'échange A nécessaire au transfert de chaleur entre la masse réactionnelle et le thermofluide sachant que le coefficient global d'échange rapporté à la surface intérieure des tubes est $K_i = 350 \text{ kJ}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.
- En déduire la valeur de L .

I.4 - La chaleur évacuée du réacteur par le thermofluide est utilisée pour produire de la vapeur sous une pression de 8 bars.

L'eau alimentant la chaudière produisant cette vapeur, pénètre dans celle-ci à la température $\theta' = 70^\circ\text{C}$.

Calculer la masse de vapeur produite par heure en supposant que toute la chaleur reçue par le thermofluide dans le réacteur est cédée par celui-ci dans la chaudière.

DONNEES :

- Masse atomique relatives (g/mol) : C = 12 O = 16 H = 1
- Capacité thermique massique du Dowtherm A $C_p = 2,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau $C_p = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau $L_v \text{ (kJ/kg)} = 2535 - 2,9.\theta \text{ (en } ^\circ\text{C)}$
- Relation liant la pression et la température d'ébullition de l'eau dans le domaine de température considéré : $P \text{ (en bars)} = \left(\frac{\theta}{100}\right)^4 \theta \text{ en } ^\circ\text{C}$

II - Colonne d'absorption

Le méthanal obtenu est commercialisé sous forme de solution aqueuse. Ces solutions sont obtenues en mettant en contact les gaz refroidis provenant du réacteur avec de l'eau dans une colonne d'absorption.

Le débit masse de gaz alimentant la colonne est $F = 13800 \text{ kg.h}^{-1}$.

La composition de ce gaz en titres massiques est :

- Méthanal : $x_a = 0,065$
- Eau : $y_a = 0,039$
- Oxygène : $z_a = 0,146$
- Azote : $u_a = 0,75$

La colonne est conçue de telle manière que l'absorption du méthanal par l'eau soit totale.

On obtient :

- en pied de colonne une solution aqueuse de méthanol de titre massique $x = 0,4$ en méthanal.
- en tête de colonne un mélange gazeux constitué de la totalité de l'oxygène et de l'azote présents dans le mélange alimentant la colonne et d'eau entraînée à l'état de vapeur. Le titre massique de l'eau dans ce mélange est $y = 0,025$.

II.1 - Faire un schéma de la colonne en indiquant la nature et le sens de circulation des courants de matière mis en jeu.

II.2 - Calculer le débit masse horaire F de solution obtenue en pieds de colonne.

II.3 - Calculer le débit masse horaire d'eau entraînée par les gaz sortant en tête de colonne :

II.4 - En déduire le débit masse horaire d'eau de lavage nécessaire.

III - SCHEMA : Fabrication de l'acide cyanhydrique en continu (procédé Andrussov) - 30 points / 60 points

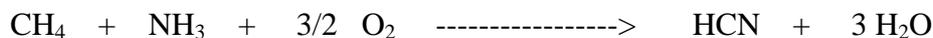
III.1 - PRINCIPE

L'acide cyanhydrique peut être obtenu par réaction de l'ammoniac sur le méthane selon :



Cette réaction étant fortement endothermique on réalise l'apport de chaleur nécessaire en procédant simultanément à la combustion de l'hydrogène formé par la réaction ainsi qu'à celle d'une partie de méthane utilisé.

Les réactions principales s'écrivent alors :



L'oxygène nécessaire à la combustion de l'hydrogène et du méthane provient de l'addition d'air au mélange des réactifs NH₃ et CH₄.

La réaction est effectuée en continu dans un réacteur catalytique, le catalyseur étant constitué par des toiles de platine rhodié.

III.2 - DESCRIPTION DU PROCEDE

III.2.1 - Mélange des réactifs : réaction

Les réactifs ammoniac, méthane, air, après avoir subi un certain nombre d'opérations préliminaires (préchauffage, dépoussiérage par lavage à l'eau) sont mélangés dans des proportions bien définies requises pour une marche optimale du réacteur.

Le mélange obtenu est introduit à la partie supérieure du réacteur et traverse le catalyseur constitué par plusieurs toiles de platine rhodié.

Le mélange obtenu au terme de la réaction, dont la température est de l'ordre de 1100°C, est rapidement refroidi dans une chaudière de trempe constituée par un faisceau tubulaire solidaire du réacteur (le fluide de refroidissement est de l'eau circulant hors des tubes).

III.2.2 - Elimination de l'ammoniac n'ayant pas réagi

Le mélange réactionnel froid provenant de la chaudière de trempe contient de l'ammoniac qui n'a pas réagi.

Celui-ci est éliminé par lavage à l'acide sulfurique dilué dans une colonne à garnissage. Le liquide de lavage est introduit en tête de colonne.

On obtient ainsi :

- en tête de colonne un mélange gazeux contenant la plus grande partie de l'acide cyanhydrique produit et des gaz incondensables (N₂, O₂, CH₄ et H₂).
- en pied de colonne une solution de sulfate d'ammonium.

Cette solution est soutirée par pompe, ce soutirage étant régulé afin de maintenir un niveau de liquide constant dans la colonne de lavage.

La solution ainsi soutirée est introduite au-dessus du garnissage de la colonne d'épuisement où elle rencontre un courant de vapeur ascendant qui entraîne l'acide cyanhydrique qu'elle contenait.

On obtient ainsi en pied de la colonne d'épuisement une solution de sulfate d'ammonium exempte d'acide cyanhydrique et en tête de l'acide cyanhydrique gazeux qui est mélangé aux gaz provenant de la colonne de lavage.

III.2.3 - Obtention de l'acide cyanhydrique pur

L'acide cyanhydrique contenu dans les gaz provenant des colonnes de lavage et d'extraction est séparé des autres constituants de ces gaz par absorption par l'eau, la solution aqueuse d'acide cyanhydrique obtenue étant ensuite rectifiée ce qui permet d'obtenir l'acide cyanhydrique pur.

L'ensemble de ces opérations est réalisé à l'aide de deux colonnes du type colonne à garnissage, dont le fonctionnement est étroitement lié.

L'une de ces colonnes est la colonne d'absorption, l'autre la colonne de rectification.

a) Fonctionnement de la colonne d'absorption

Les gaz provenant de la colonne de lavage à l'acide sulfurique et de la colonne d'épuisement sont introduits au tiers inférieur de la colonne d'absorption.

Le solvant d'absorption est de l'eau introduite à la partie supérieure de la colonne d'absorption et provenant de la colonne de rectification.

Le niveau de liquide dans la colonne d'absorption est maintenu constant par soutirage d'une petite quantité d'eau juste avant son introduction dans cette colonne.

Les gaz insolubles dans l'eau sont éliminés en tête de colonne d'absorption.

La solution aqueuse d'acide cyanhydrique obtenue est soutirée en pied.

b) Fonctionnement de la colonne de rectification

Cette colonne est alimentée par la solution aqueuse d'acide cyanhydrique provenant de la colonne d'absorption.

Avant d'être introduite dans la colonne de rectification de cette solution est préchauffée par l'eau soutirée en pied de cette colonne.

Les vapeurs obtenues en tête de la colonne de rectification sont condensées dans un échangeur refroidi par circulation de saumure.

Le condensât obtenu, formé d'acide cyanhydrique à 99,5 % de pureté est dirigé vers un atelier de fabrication de cyanhydrine de l'acétone.

En pied de la colonne de rectification on obtient de l'eau contenant une petite quantité d'acide cyanhydrique.

Cette eau est soutirée de manière à maintenir un niveau de liquide constant en pied de la colonne de rectification, refroidie dans le préchauffeur de l'alimentation puis dans un échangeur à circulation d'eau froide.

Elle est ensuite introduite dans la colonne d'absorption. Le bouilleur de la colonne de rectification est du type à faisceau tubulaire externe, monté en thermosiphon et chauffé à la vapeur.

III.3 - Travail demandé

III.3.1 - Représenter le schéma des installations décrites dans LES PARTIES III-2-2 et III-2-3 EXCLUSIVEMENT sur bristol quadrillé, format A3. Respecter les précisions données dans la description du procédé.

Représenter tous les appareils de stockage, contrôle et régulation nécessaires à la bonne marche de l'installation.

L'ACIDE CYANHYDRIQUE EST UN PRODUIT EXTREMEMENT DANGEREUX.

III.3.2 - Questions complémentaires

Justifier brièvement le fait que toute la partie de l'installation se trouvant en aval du réacteur fonctionne sous pression légèrement réduite.

Pourquoi utilise-t-on dans la colonne d'absorption l'eau provenant de la colonne de rectification au lieu d'alimenter cette colonne d'absorption en solvant frais ?

III.4 - DONNEES

Matières premières :

- Méthane : pureté supérieure à 91% en masse.
Hydrocarbures en C2 et supérieurs : moins de 1% en masse. Totalement exempt de soufre.
- Ammoniac : pureté 99,8 % en masse. Exempt d'huiles et de fer.
- Air : dépoussiéré par lavage à l'eau.

Produit :

- Acide cyanhydrique : Masse molaire 27,03
Odeur caractéristique d'amande amère s'il est dilué.
Température de fusion : - 13,3°C Température d'ébullition (pression atmosphérique normale) : 25,7°C
Très soluble dans l'eau. Liquide extrêmement inflammable
- TOXICITE : POISON VIOLENT DU SYSTEME NERVEUX CENTRAL.

Concentration maximale autorisée dans l'air (contact prolongé) : II mg/m³.

Stockage dans des locaux séparés, abondamment ventilés et à l'abri de toute source d'ignition.