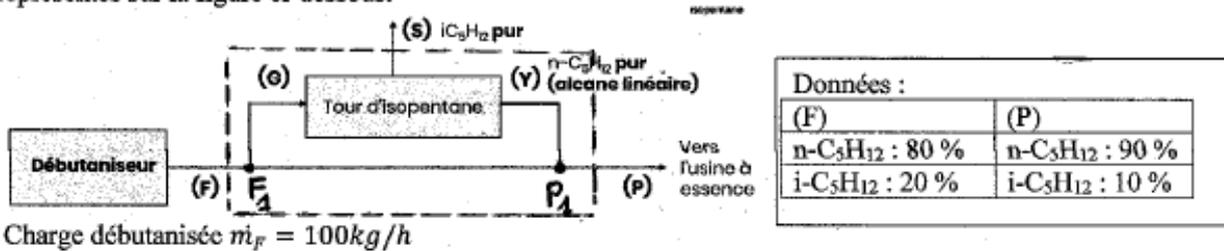


TD 7 : Procédés industriels continus / correction

Exercice Annexe cours

Exercice 4 :

Dans la préparation de la charge d'une usine de production d'essence, on enlève de l'isopentane de l'essence préalablement débutanisée. On suppose, pour des raisons de simplicité, que le procédé et les produits soient représentés sur la figure ci-dessous.



Quelle est la proportion d'essence débutanisée qui est passée dans la tour d'isopentane ?

• 5' approprier - Analyser ① l'essence débutanisée est constituée d'un mélange d'isopentane et de n-pentane. On désigne les débits massiques par les lettres utilisées pour caractériser les points du procédé.

② Bien comprendre le schéma de procédé

Au point F₁, la charge débutanisée est partagée entre 2 voies, sa composition est la même pour les 2 voies. Soit même composition pour les flux (F) et (G)

Au point P₁, on a la composition que l'on souhaite pour l'usine.

• Bilans de matière Δ Bien délimiter entrée et sortie

→ 1^{ère} section considérée : section globale entre F₁ et P₁
 A l'entrée : flux F ; A la sortie : flux S et P

$$\dot{m}_F = \dot{m}_S + \dot{m}_P$$
 (1)
 et pour l'isopentane
$$w_{i,F} \dot{m}_F = w_{i,S} \dot{m}_S + w_{i,P} \dot{m}_P$$
 (3)

2^{ème} section considérée : tour d'isopentane ou tour de séparation
 A l'entrée : flux G ; à la sortie : flux S et Y

$$\dot{m}_G = \dot{m}_S + \dot{m}_Y$$
 (2)
 et pour l'isopentane
$$w_{i,G} \dot{m}_G = w_{i,S} \dot{m}_S + w_{i,Y} \dot{m}_Y$$

On introduit les fractions massiques en isopentane : $w_{i,F} = 0,20 = w_{i,G}$
 $w_{i,S} = 1$; $w_{i,Y} = 0$; $w_{i,P} = 0,10$

On obtient le système d'équations :
$$\begin{cases} 0,20 \dot{m}_F = \dot{m}_S + 0,10 \dot{m}_P & (3) \text{ pour l'isopentane} \\ 0,20 \dot{m}_G = \dot{m}_S & (4) \end{cases}$$

Les bilans de matière relatifs au n-pentane s'écrivent de même :

$$\begin{cases} 0,80 \dot{m}_F = 0 \times \dot{m}_S + 0,9 \cdot \dot{m}_P & (5) \\ 0,80 \dot{m}_G = 0 \times \dot{m}_S + 1 \times \dot{m}_Y & (6) \end{cases}$$

On en déduit :

(5) \Rightarrow	$0,80 \dot{m}_F = 0,9 \dot{m}_P : \dot{m}_P = 0,89 \dot{m}_F = 89 \text{ kg h}^{-1}$
(1) \Rightarrow	$\dot{m}_D = \dot{m}_F - \dot{m}_P = 11 \text{ kg h}^{-1}$
(4) \Rightarrow	$\dot{m}_G = \frac{\dot{m}_D}{0,20} = 55 \text{ kg h}^{-1}$
(6) \Rightarrow	$\dot{m}_Y = 0,80 \dot{m}_G = 44 \text{ kg h}^{-1}$

Conclusion : la proportion d'essence qui est passée dans la tour peut s'exprimer selon :

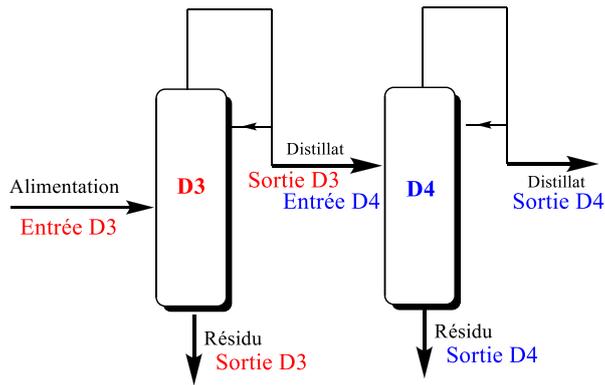
$$100 \times \frac{\dot{m}_G}{\dot{m}_F} = 100 \times \frac{55}{100} \quad \boxed{55\%}$$

Présentation

	Entre F et P	Tour d'isopentane
Bilan global	$\dot{m}_F = \dot{m}_S + \dot{m}_P$	$\dot{m}_G = \dot{m}_S + \dot{m}_Y$
Bilan pour n-pentane	$0,80 \dot{m}_F = 0 \times \dot{m}_S + 0,9 \dot{m}_P \quad (1)$	$0,80 \dot{m}_G = 0 \times \dot{m}_S + 1 \times \dot{m}_Y$
Bilan pour isopentane	$0,20 \dot{m}_F = 1 \times \dot{m}_S + 0,10 \dot{m}_P$	$0,20 \dot{m}_G = 1 \times \dot{m}_S + 0 \dot{m}_Y$

Exercice 1 :

1. Un bilan de matière concerne une espèce et traduit simplement la **conservation** de la masse de cette espèce entre l'entrée et la sortie d'une colonne .



On note Q_{mi} le débit massique de l'espèce i , Q_m^D le débit massique du distillat et Q_m^R le débit massique du résidu .

■Colonne D3

La totalité d'acétone (A) se trouve dans le distillat et la totalité du butanol (B) se trouve dans le résidu :

Bilan de matière pour l'acétone $Q_{mAe} = Q_{mAs} = Q_{mA}^D + Q_{mA}^R$ soit $w_A Q_m^e = w_A^D Q_m^D$
 Bilan de matière pour le butanol : $Q_{mBe} = Q_{mBs} = Q_{mB}^D + Q_{mB}^R$ soit $w_B Q_m^e = w_B^R Q_m^R$
 Bilan de matière pour l'éthanol : $Q_{mEe} = Q_{mEs} = Q_{mE}^D + Q_{mE}^R$ soit $w_E Q_m^e = w_E^D Q_m^D + w_E^R Q_m^R$

A partir des valeurs fournies pour les fractions massiques et la valeur du débit massique d'alimentation $Q_m^e = 150 \text{ kg h}^{-1}$, on obtient le système d'équations :

$$\begin{cases} 0,22Q_m^e = w_A^D Q_m^D \\ 0,61Q_m^e = 0,999Q_m^R \\ 0,17Q_m^e = (1 - w_A^D)Q_m^D + 0,001Q_m^R \end{cases}$$

On en déduit $Q_m^R = \frac{0,61}{0,999} Q_m^e = 91,6 \text{ kg h}^{-1}$ puis
 $0,17Q_m^e = Q_m^D - 0,22Q_m^e + 0,001Q_m^R \Rightarrow Q_m^D = 58,4 \text{ kg h}^{-1}$

$$\begin{aligned} Q_m^R &= 91,6 \text{ kg h}^{-1} \\ Q_m^D &= 58,4 \text{ kg h}^{-1} \end{aligned}$$

Et on peut déterminer aussi $w_A^D = 0,22 \frac{Q_m^e}{Q_m^D} = 0,565$

■Colonne D4

En adoptant la même démarche :

Bilan de matière pour l'acétone : $w_A Q_m^e = w_A^D Q_m^D + w_A^R Q_m^R$
 Bilan de matière pour l'éthanol : $w_E Q_m^e = w_E^D Q_m^D + w_E^R Q_m^R$

Ce qui conduit au système :

$$\begin{cases} 0,65Q_m^{D3} = 0,984Q_m^D + 0,037Q_m^R \\ (1 - 0,565)Q_m^{D3} = 0,016Q_m^D + 0,963Q_m^R \end{cases}$$

On obtient

$$\begin{aligned} Q_m^R &= 25,8 \text{ kg h}^{-1} \\ Q_m^D &= 32,6 \text{ kg h}^{-1} \end{aligned}$$

Q2. Le titre molaire en acétone x_A se déduit du titre massique w_A selon :

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_E} = \frac{\frac{m_A}{M_A}}{\frac{m_A}{M_A} + \frac{m_E}{M_E}} = \frac{1}{1 + \frac{M_A w_E}{M_E w_A}}$$

	Distillat	Résidu
w _A	0,984	0,037
x _A	0,980	0,030

Q3. La température en tête de colonne est celle pour laquelle la **phase vapeur** a une fraction molaire égale à celle du distillat et la composition de la phase vapeur est lue sur la courbe de rosée .

On lit sur le diagramme

$$\boxed{t \text{ (tete de colonne)} = 57^\circ\text{C}}$$

La température dans le bouilleur est celle pour laquelle la **phase liquide** a une fraction molaire égale à celle du résidu et la composition de la phase vapeur est lue sur la courbe d'ébullition .

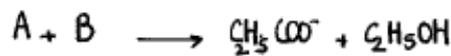
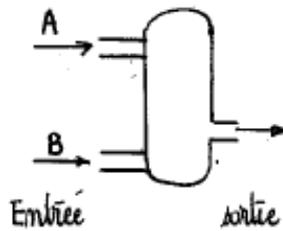
$$\boxed{t \text{ (bouilleur)} = 77-78^\circ\text{C}}$$

Q4. Il suffit de tracer les plateaux liés à l'évolution de la vapeur en partant d'une fraction molaire à 0,03 et en arrivant à une fraction molaire égale à 0,98 .

On dénombre **10 plateaux** .

Exercice 2

Réaction de saponification en RPAC



$$r = k [A]_s [B]_s = k \frac{F_{As}}{Q_s} \cdot \frac{F_{Bs}}{Q_s}$$

• Bilan de matière en A:

$$F_{Ae} - rV = F_{As} = F_{Ae}(1-X)$$

$$- k \frac{F_{As} F_{Bs}}{Q_s^2} V = - F_{Ae} X$$

• Q_s ? La réaction se produit en phase liquide; le débit volumique à la sortie s'identifie au débit volumique en entrée;
 Δ débit volumique total en entrée $Q_e = Q_{Ae} + Q_{Be} = Q_s$

• F_{Bs} ? D'après la stoechiométrie de la réaction $F_{Bs} = F_{Be} - F_{Ae} X$

D'où: $k \frac{F_{Ae}(1-X)(F_{Be} - F_{Ae}X)V}{(Q_{Ae} + Q_{Be})^2} = F_{Ae} X$

$$V = \frac{X (Q_{Ae} + Q_{Be})^2}{k(1-X)(F_{Be} - F_{Ae}X)}$$

A.N: $F_{Ae} = C_{A0} Q_{Ae} = 0,3 \times 0,5 = 0,15 \text{ mols}^{-1}$
 $F_{Be} = C_{B0} Q_{Be} = 0,45 \times 1 = 0,45 \text{ mols}^{-1}$
 $X = 0,80$

$$V = 475 \text{ L}$$

Temps de passage: τ défini à partir de A selon $\tau = \frac{V}{Q_{Ae}}$

$$\tau = 950 \text{ s} \approx 16 \text{ min}$$

Exercice 3.

Réacteur piston . Réaction en phase gazeuse

1)



Bilan de matière de A sur la tranche d'épaisseur dV

$$F_A(V) - r_A dV = F_A(V+dV) = F_A(V) + \frac{dF_A}{dV} \cdot dV$$

Soit $r_A = \frac{dF_A}{dV}$

r_A : vitesse à l'abscisse V.
 $\frac{dF_A}{dV}$: calculé à l'abscisse V

Par ailleurs: $F_A = F_{A0}(1-X)$ X : taux de conversion à l'abscisse V
 $dF_A = -F_{A0} dX$

$r_A = k [A]_{sortie} = k \frac{F_A}{Q} = k \frac{F_{A0}(1-X)}{Q}$

Q : débit volumique à l'abscisse V+dV qu'on assimile au débit volumique à l'abscisse V

⚠ Le débit volumique n'est pas constant: il faut tenir compte de l'expansion chimique des gaz.

A l'entrée: $P Q_e = F_{A0} RT$

A l'abscisse V: $P Q = (F_A + F_B) RT$; $F_A = F_{A0}(1-X)$ } $F_A + F_B = F_{A0}(1+X)$
 $F_B = 2F_{A0}X$

soit $\frac{Q}{Q_e} = \frac{F_A + F_B}{F_{A0}} = 1+X$

On obtient finalement: $k \frac{F_{A0}(1-X)}{Q_e(1+X)} = +F_{A0} \frac{dX}{dV} \Leftrightarrow \frac{k}{Q_e} dV = + \frac{(1+X)}{(1-X)} dX$

Par intégration entre l'entrée et la sortie: $+ \frac{k}{Q_e} V_T = \int_{x=0}^x \frac{1+X}{1-X} dX = \int_{x=0}^x \left(\frac{2}{1-X} - 1 \right) dX$

$+ \frac{k}{Q_e} V_T = [-2 \ln|1-X| - X]_{x=0}^x$

$V_T = \frac{Q_e}{k} [2 \ln|1-X| + X]$

$P_0: \text{Jm}^{-3}$

A.N. $Q_e = \frac{10^3 \times 8,314 \times 1219}{101325 \text{ Jm}^{-3}} = 100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ et

$V_T = 1,20 \text{ m}^3$

2) Ajout d'un gaz inerte; on a $P Q_e = (F_{A0} + F_I) RT$ et $P Q = (F_{A0}(1+X) + F_I) RT$

D'où $\frac{Q}{Q_e} = \frac{F_{A0}(1+X) + F_I}{F_{A0} + F_I} = \frac{F_{A0}(2+X)}{2F_{A0}} = \frac{2+X}{2}$; on obtient $\frac{k}{Q_e} dV = \frac{1+0,5X}{1-X} dX = \frac{1}{2} \left[\frac{3}{1-X} - 1 \right] dX$

le nouveau volume vérifié: $V_T = -\frac{Q_e}{2k} [3 \ln|1-X| + X]$

$Q_e' = 200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ $V_T = 2 \text{ m}^3$