

### **Exercice N°1 (10pts)**

Un mélange gazeux  $H_2S$  - hydrocarbure à un débit de 45 kmole/h contenant 3,5% molaire d' $H_2S$  doit être traité dans une colonne d'absorption avec un solvant pur, afin d'éliminer 85% d' $H_2S$  entrant. La colonne d'absorption fonctionne à la température 25 °C et pression 1 atm. Le liquide sortant de la colonne contient 0,015 mole d' $H_2S$ /mole de solvant. La relation d'équilibre liq-vap est donnée par l'équation :  $y = 1,95.x$  ( $x$  et  $y$  sont des fractions molaires, et les solutions sont considérées comme infiniment diluées).

Déterminer : 1°) Le débit de solvant utilisé pour cette séparation.

2°) Le rapport molaire (L/G) min.

3°) Le nombre d'étages théoriques nécessaire pour un rapport molaire  $L/G = 1,5(L/G)_{min}$ ,

### **Exercice N°2 (10pts)**

On désire rectifier en continu 1000Kg/h d'un mélange à 80% molaire de benzène et 20% molaire de toluène, de façon à obtenir un distillat à 98% molaire de benzène et un résidu à 97% molaire de toluène. Le taux de reflux interne de la colonne  $L/V = 0,8$ .

1°) Calculer par un bilan de matière les débits molaires du distillat et résidu  $D$  et  $W$ , et le débit molaire du liquide refoulé vers la colonne.

2°) Déterminer le nombre de plateaux théoriques à reflux total.

3°) Si l'alimentation est préchauffée à son point d'ébullition, Déterminer le taux de reflux minimum ( $R_{min}$ ) à appliquer pour cette séparation.

4°) déterminer le nombre d'étages théoriques nécessaires pour cette rectification, ainsi que la position du plateau d'alimentation au taux de reflux appliqué.

5°) Déterminer le nombre de plateaux réels à installer si l'efficacité globale de la colonne est de 80%.

6°) Calculer les débits molaires internes du liquide et de la vapeur dans la section d'épuisement. En déduire le taux de rebouillage  $R$ .

8°) Si l'alimentation est un mélange liquide – vapeur contenant 40% de vapeur, calculer la nouvelle valeur de  $R_{min}$ .

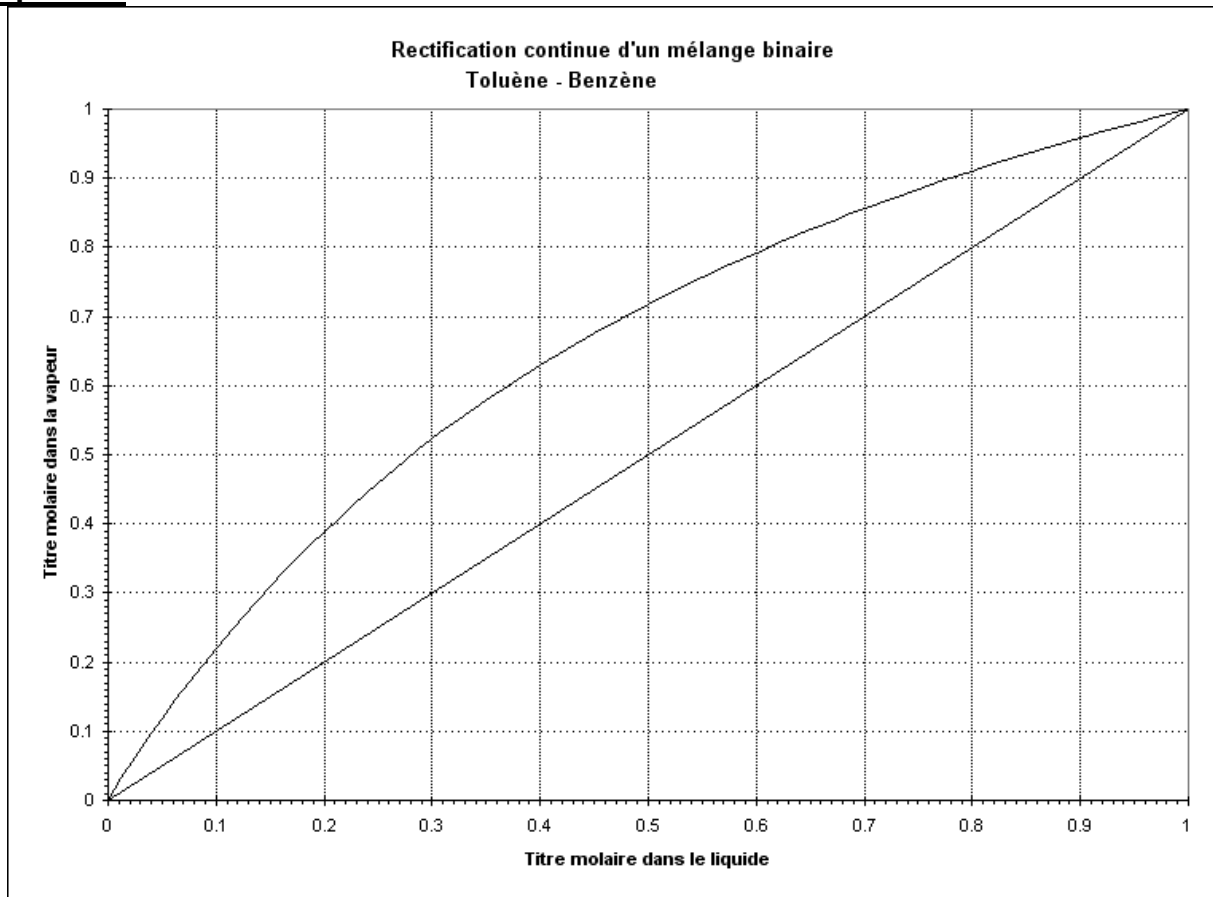
**Données : Courbe d'équilibre liq-vap pour le binaire Benzène - Toluène**

$$M_{\text{benzène}} = 78 \text{ g.mol}^{-1}, M_{\text{toluène}} = 92 \text{ g.mol}^{-1}.$$

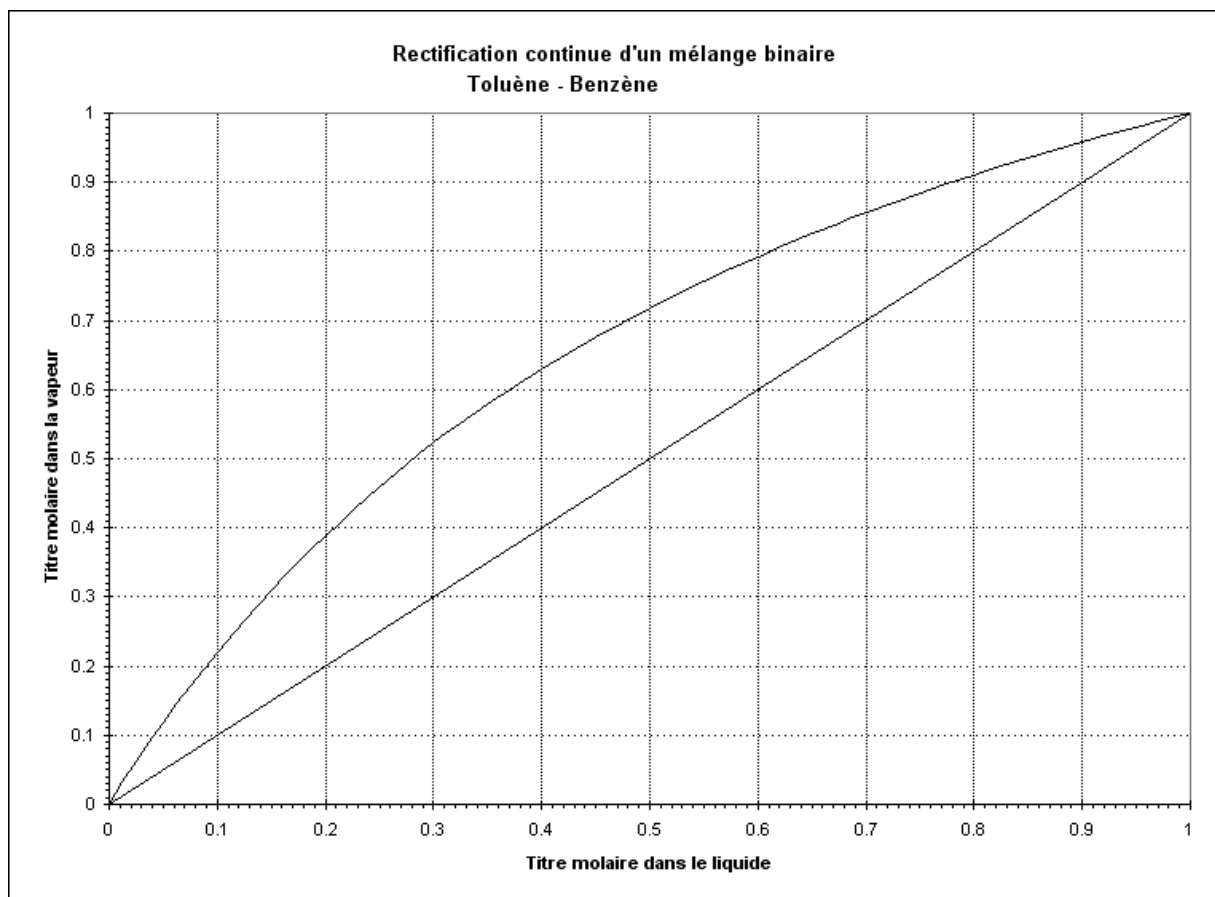
**Bon courage**  
**Mme N. DRICI**

**NOM :** ..... **PRENOM** ..... **GROUPE**.....

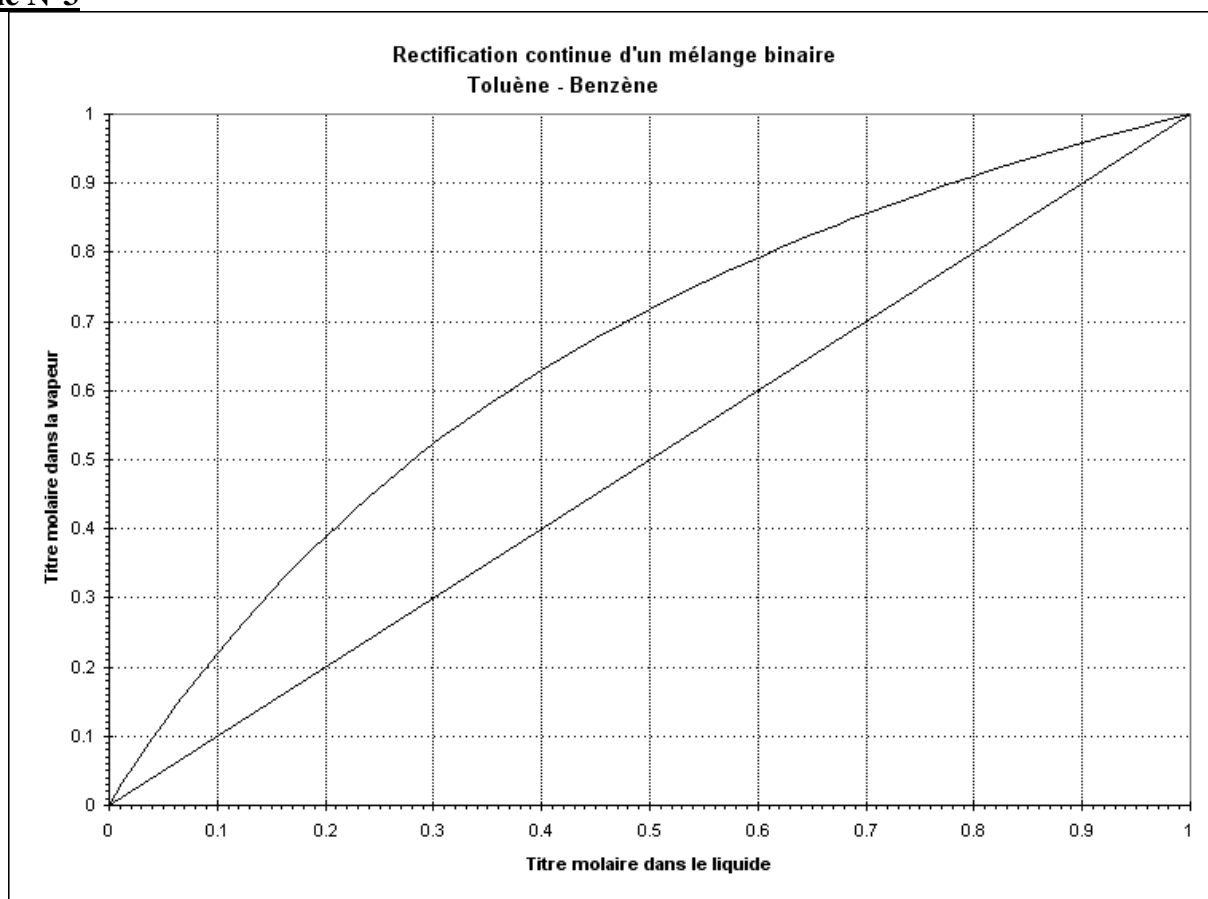
**Graphe N°1**



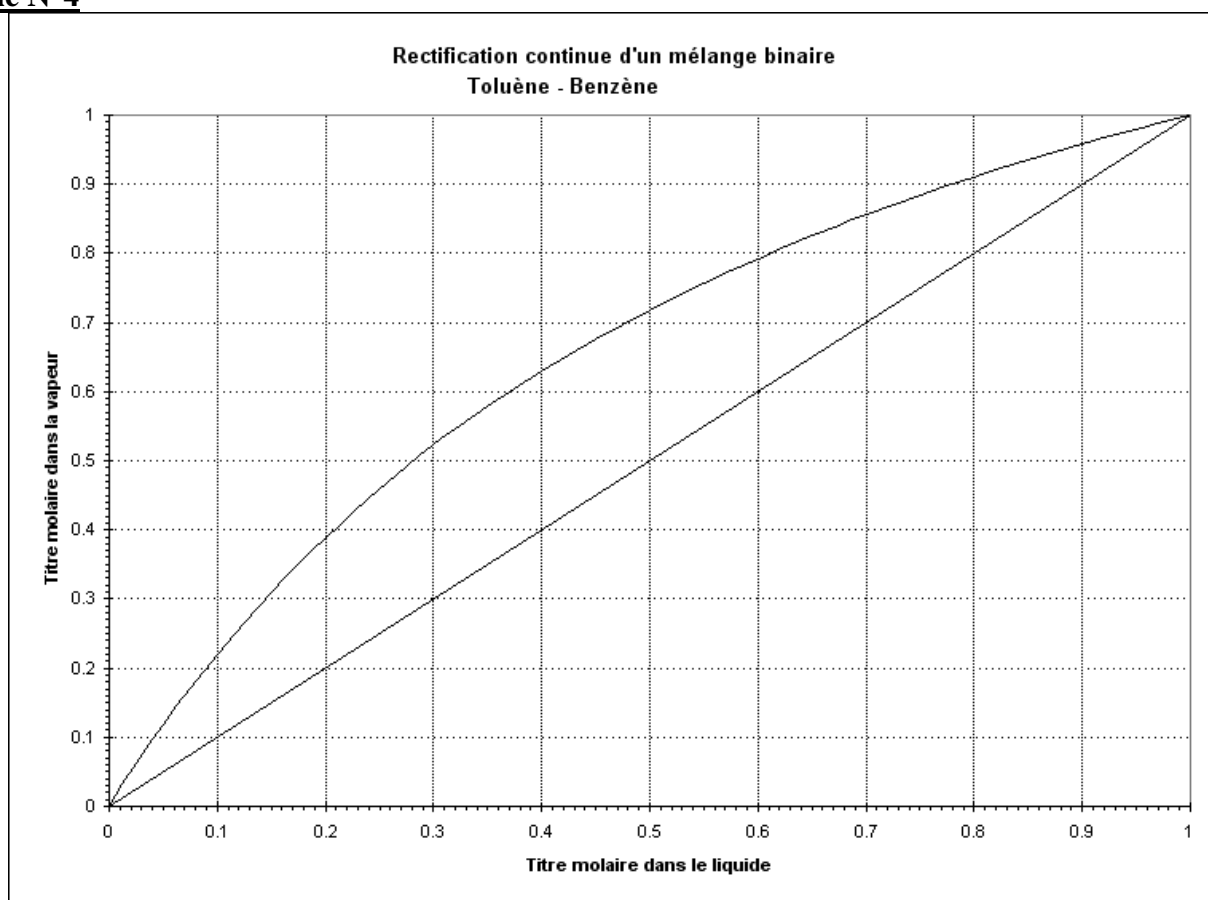
**Graphe N°2**



### Graphe N°3



### Graphe N°4



## Corrigé Examen OPU

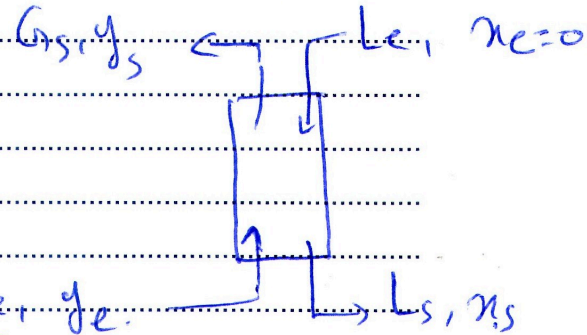
L3 GP (2020/2021).

Exercice N° 01

$$G_e = 45 \text{ kmol/h}$$

$$y_e = 0,035 \text{ molaire}$$

taux d'absorption = 85%



1) Débit de solvant utilisé - ?

$$a) \text{ Débit de } H_2S \text{ dans } G_e = G_e y_e \quad (0,5)$$

$$\text{Débit de } H_2S \text{ dans } G_e = 45 \times 0,035 = 1,575 \text{ kmol/h} \quad (0,5)$$

$$b) \text{ Débit de } H_2S \text{ absorbé} = \frac{1,575 \times 85}{100} \quad (0,5)$$

$$\text{Débit de } H_2S \text{ absorbé} = 1,338 \text{ kmol/h} \quad (0,5)$$

$$1 \text{ mole de solvant} \rightarrow 0,015 \text{ mole/lh de } H_2S \quad (0,5)$$

$$x = L_e \rightarrow 1,338 \times 10^3 \text{ mole/lh de } H_2S \quad (0,5)$$

$$\Rightarrow L_e = \frac{1,338 \cdot 10^3 \times 1}{0,015} = 89250 \text{ mole/lh} \quad (0,5)$$

$$\Rightarrow L_e = \text{le débit de solvant} = 89,25 \text{ kmol/h} \quad (0,5)$$

2) Détermination de  $(L/G)_{\min}$ 

D'après l'équation de la droite opératoire :

$$y = \frac{L}{G} (x - x_s) + y_e \quad (0,5) \text{ pour } y = y_s = x = x_e$$

$$\frac{L}{G} = \frac{y_s - y_e}{x_e - x_s} \Rightarrow \frac{L}{G} \Big|_{\min} = \frac{y_s - y_e}{x_e - x_s \Big|_{\max}} \quad (0,5)$$



Dans le cas  $y_s = ?$  et  $x_{s/\max} = ?$ .

Pour  $y_s$  : on peut dire que  $G_e - G_s =$  le débit de  $H_2S$  absorbé

$$\text{Donc } G_e - G_s = 1,338 \text{ kmole/h}$$

$$\Rightarrow G_s = G_e - 1,338 = 45 - 1,338$$

$$G_s = 43,66 \text{ kmole/h}$$

Encore, on peut écrire  $G_s \cdot y_s = 1,575 - 1,338$

$$\Rightarrow G_s \cdot y_s = 0,236 \quad G_e \cdot y_e \quad H_2S \text{ absorbé}$$

$$\Rightarrow y_s = \frac{0,236}{G_s} = \frac{0,236}{43,66} = 5,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow y_s = 0,0054$$

graphiquement : et après le tracé de la courbe d'équilibre  $y = 1,95 \cdot x$  et le positionnement du point  $(x_e, y_e) = (0, 0,0054)$  : le point appartenant à la D.O. on aura

$$x_{s/\max} = 0,017$$

$$\Rightarrow \frac{L}{G/m} = \frac{0,0054 - 0,035}{0 - 0,017} = 1,74$$

Déterminer de NET pour  $\frac{L}{G} = 1,5 \frac{L}{G/m}$

$$\frac{L}{G} = 1,5 \times 1,74 = 2,61$$

$$\Rightarrow x_e - x_s = \frac{y_s - y_e}{\frac{L}{G}} = \frac{0,0054 - 0,035}{2,61} = -0,0113$$

$$\Rightarrow x_s = 0,0113 + x_e \Rightarrow x_s = 0,0113$$

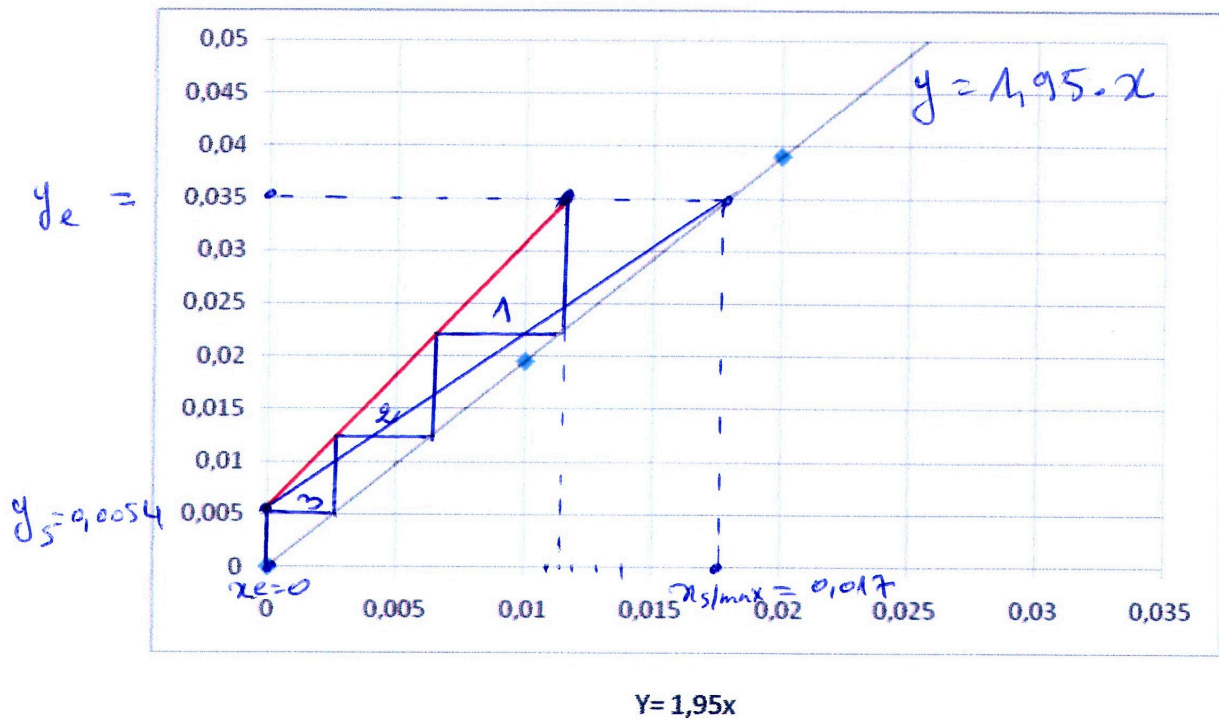
graphiquement NET = 0,3 (D.O.  $\rightarrow (x_e, y_e)$  et  $(x_s, y_e)$ )

+ (1) graphe.

$(0, 0,0054)$   $(0,0113, 0,035)$

N.M.

graphe ex 01



X	Y
0	0
0,01	0,0195
0,02	0,039
0,03	0,0585

Remarque :- Merci d'accepter toutes les réponses  
justes et logiques (il y a plusieurs  
possibilités pour résoudre l'exo 1).

- Si l'étudiant ne donne pas d'explications écrites en traçant juste, Merci de lui accorder la note complète pour le graphique. (Exo: 02)

*[Signature]*



# Corrigé examen OPU

L3 GP (2020/2021)

Exercice N° 02:

$F = 1000 \text{ Kg/h}$ ,  $z_F = 0,8$ ,  $x_D = 0,98$ ,  $x_W = 0,03$   
taux de reflux interne  $\frac{L}{V} = 0,8$

1) Calcul de  $D$ ,  $W$  et  $L$  (Débits molaires)

$$F = D + W \quad \text{et} \quad D = F - W$$

$$F \cdot z_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W \Rightarrow F \cdot z_F = (F - W) \cdot x_D + W \cdot x_W$$

$$F \cdot z_F = F \cdot x_D - W \cdot x_D + W \cdot x_W$$

$$F \cdot (z_F - x_D) = W(x_W - x_D)$$

$$\Rightarrow W = F \frac{(z_F - x_D)}{(x_W - x_D)} \quad \text{et} \quad F: \text{débit molaire}$$

$$n_F = \frac{m_F}{M_F}, \quad m_F = 1000 \text{ Kg/h}$$

$M_F$ : la masse molaire du mélange  
(benzène + Toluène).

$$\Rightarrow M_F = \sum x_i M_i \quad (M_F: M_{\text{mélange}})$$

$$M_F = 0,8 \times 78 + 0,2 \times 92 = 80,8 \text{ g/mole} = 80,8 \text{ Kg/Kmole}$$

$$\Rightarrow n_F = \frac{1000}{80,8} = 12,37 \text{ Kmole/h}$$

$$\Rightarrow F = 12,37 \text{ Kmole/h}$$

$$W = F \cdot \frac{(Z_F - x_D)}{(x_W - x_D)} = 12,37 \cdot \frac{(0,8 - 0,98)}{(0,03 - 0,98)}$$

$$W = 2,343 \text{ Kmoles / h}$$

$$D = F - W \Rightarrow D = 12,37 - 2,343 = 10,027$$

$$D = 10,027 \text{ Kmoles / h}$$

$$L = ? \text{ on sait que } R = \frac{L}{D} \Rightarrow L = R \times D \rightarrow \textcircled{1} \quad 0,25$$

et  $R = ?$

D'après l'équation de Dinite opératoire de rectification

$$y = \frac{L}{V} \cdot x + \frac{D}{V} \cdot x_D \quad (1^{\text{er}} \text{ forme})$$

$$\text{et } y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{1}{R+1} \cdot x_D \quad (2^{\text{e}} \text{ forme})$$

$$\text{on peut dire que } \frac{L}{V} = \frac{R}{R+1} = 0,8 \quad (\text{d'après l'exercice}) \quad 0,25$$

$$\text{Donc } R(1 - 0,8) = 0,8 \Rightarrow R = \frac{0,8}{0,2} = 4 \rightarrow \textcircled{2}$$

$\Rightarrow$  En remplaçant  $\textcircled{2}$  dans  $\textcircled{1}$ , on aura

$$L = 4 \times 10,027 = 40,108 \text{ Kmoles / h} \quad 0,25$$

2) Détermination de  $N_{ET}/\text{min}$  (à reflux total)

D'après le graphique  $N = 3$

$$N_{ET}/\text{min} = \text{5 étages} = 8 \text{ étages} \quad 0,5$$

3) Alimentation préchauffée à son point de bulle (liquide saturé)  $\Rightarrow q = 1$

Donc la D.O. d'alimentation est une verticale qui passe par  $(Z_F, Z_F) \Rightarrow$  par  $(0,8, 0,8)$   $0,25$



Détermination de  $R_{min}$ : (Voir graphique N° 04)  
graphiquement  $\frac{x_D}{R_{min}+1} = 0,64$  (0,25)

$$\Rightarrow R_{min} + 1 = \frac{x_D}{0,64} \Rightarrow R_{min} = \frac{x_D}{0,64} - 1$$

$$R_{min} = \frac{0,98}{0,64} - 1 = 0,53 \Rightarrow R_{min} = 0,53$$
 (0,25)

4/ Détermination de NET pour  $R=4$ .

Pour calculer NET, il faut tracer :

• la D.O. de rectification qui passe par :

(0,5)  $(x_D, x_D)$  et  $(0, \frac{x_D}{R+1}) \Rightarrow (0,98, 0,98)$  et  $(0, \frac{0,98}{4+1})$  (0,196)

• la D.O. d'épuisement qui passe par  $(x_W, x_W)$  et le point d'intersection entre D.O. d'alimentation et la D.O. de rectification.

(1) a/ Voir graphique N° 01 ( $NET \approx 9,3 \approx 10$  plateaux)

(0,5) b/ la position du plateau de l'alimentation et l'étage N° 4 (voir graphique N° 01).

5/  $NER = ?$  Sachant que l'efficacité  $\eta = 80\%$ .

(0,5)  $\eta = \frac{NET}{NER} \Rightarrow NER = \frac{NET}{\eta} = \frac{10}{0,8} = 12,5$  étages  
 $\approx 13$  étages.

m. amin

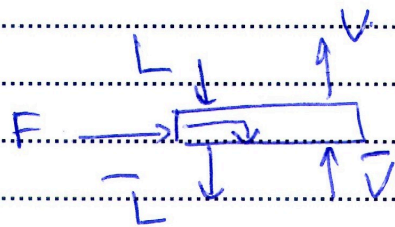


6/ Détermination de  $\bar{L}$  et  $\bar{V}$

a/ Selon notre cas : F et

liquide saturé ( $q=1$ )

$$\Rightarrow \bar{L} = L + F \text{ et } \bar{V} = V$$



$$\Rightarrow \bar{L} = 40,108 + 12,37 = 52,478 \text{ kmol/h}$$

$$\text{et } \frac{\bar{L}}{\bar{V}} = 0,8 \Rightarrow \bar{V} = \frac{\bar{L}}{0,8} = \frac{40,108}{0,8} = 50,135 \text{ kmol/h}$$

$$\text{puisque } \bar{V} = V \Rightarrow \bar{V} = 50,135 \text{ kmol/h}$$

b/ Détermination du taux de Refouillage  $R$

$$R = \frac{\bar{V}}{W} = \frac{50,135}{2,343} = 21,39$$

7/ Alimentation : mélange liq + vap (20% Vap.)

$\Rightarrow$  l'équation de la D.O. d'alimentation est :

$$y = \frac{q}{q-1} \cdot x + \frac{z_F}{1-q} \text{ et } q = 0,8$$

$$\Rightarrow y = \frac{0,8}{0,8-1} \cdot x + \frac{0,8}{1-0,8} \Rightarrow y = -1,5x + 2$$

Pour tracer cette droite, il suffit deux points  
 $(z_F, z_F) = (0,8, 0,8)$  et par exemple  $x = 0,7 \Rightarrow y = 0,95$

(Voir graphique N° 02)

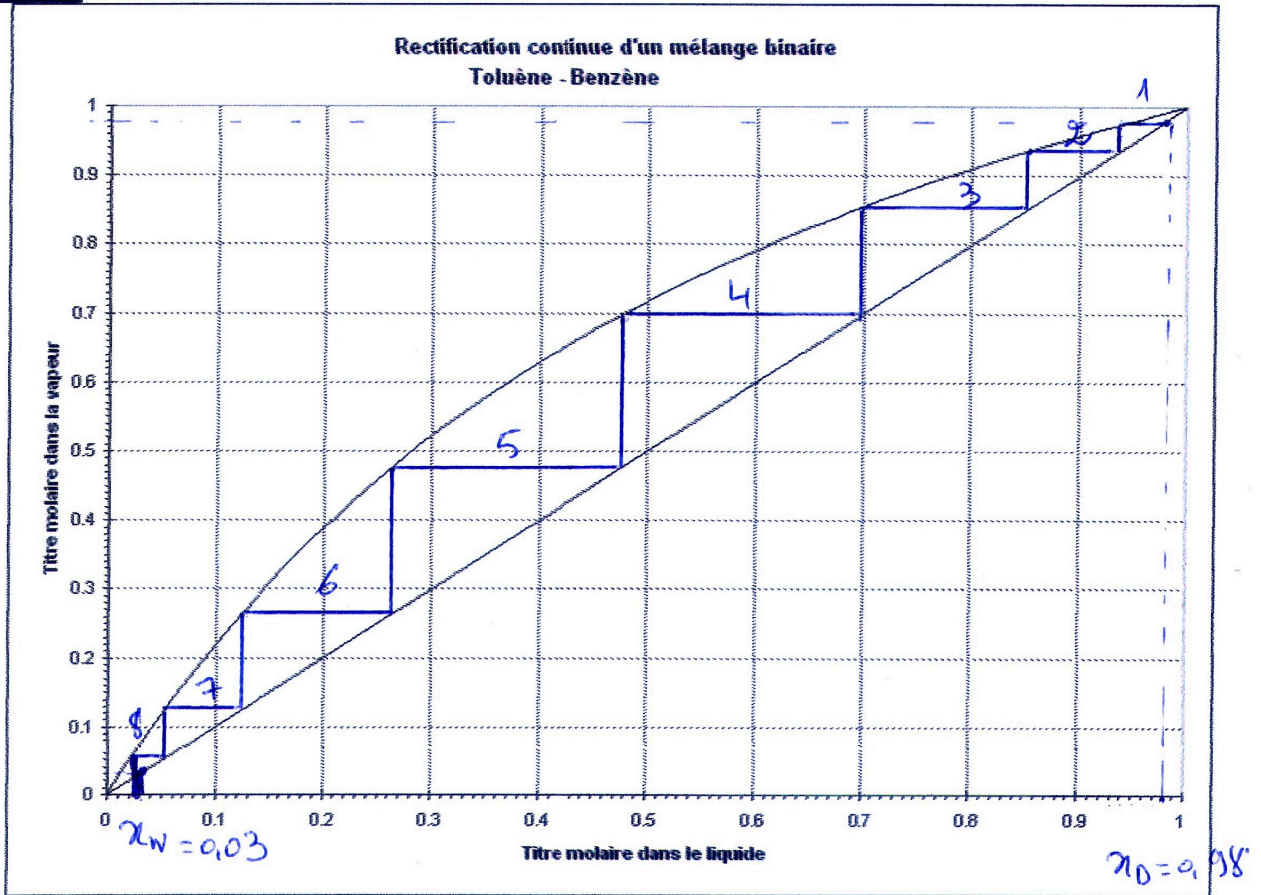
D'après le graphique N° 01  $\frac{x_D}{R_{\min} + 1} = 0,6$

$$\Rightarrow R_{\min} = \frac{0,98}{0,6} - 1 = 0,633$$

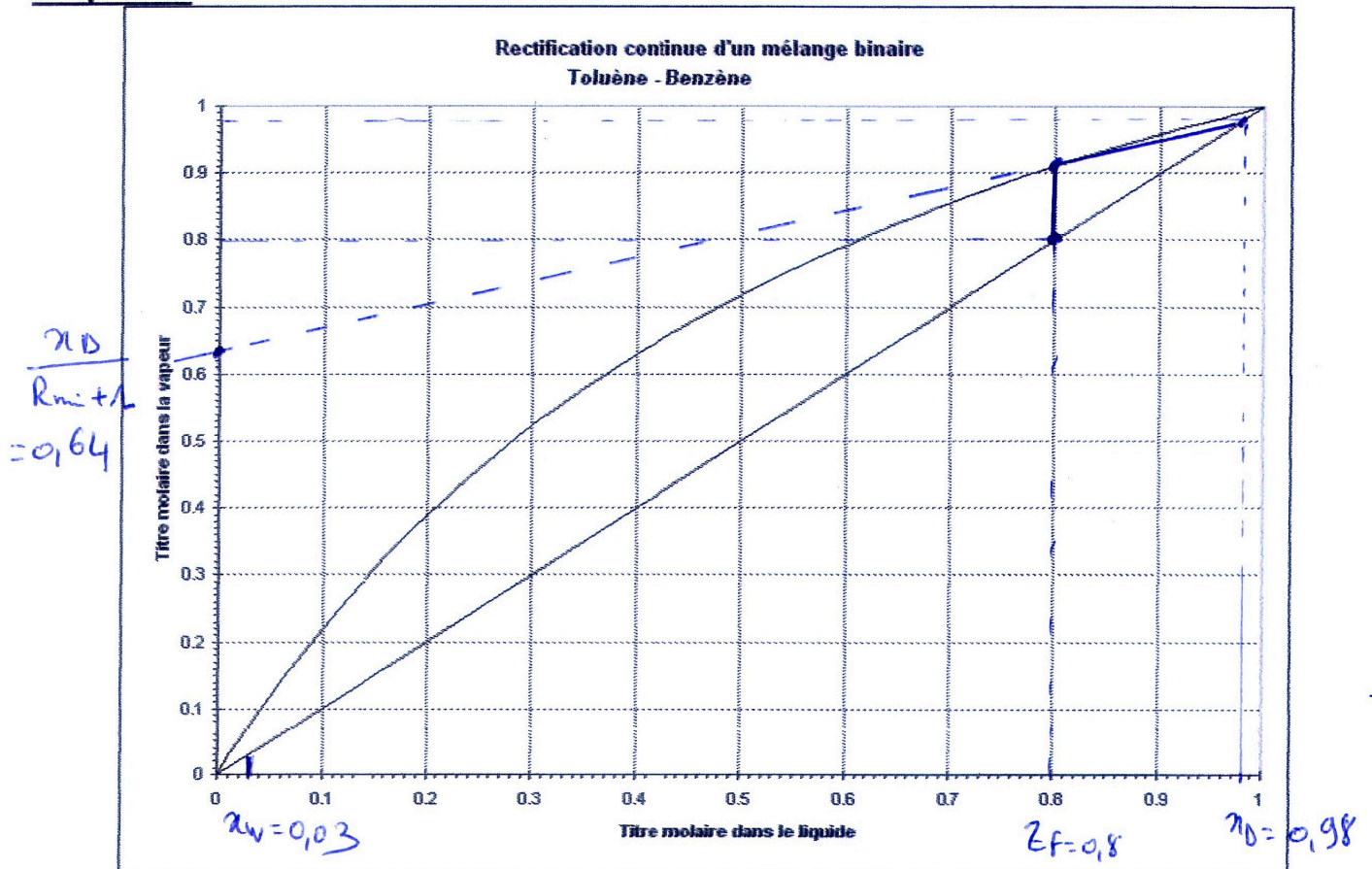
N. H. H.



Graphe N°3



Graphe N°4

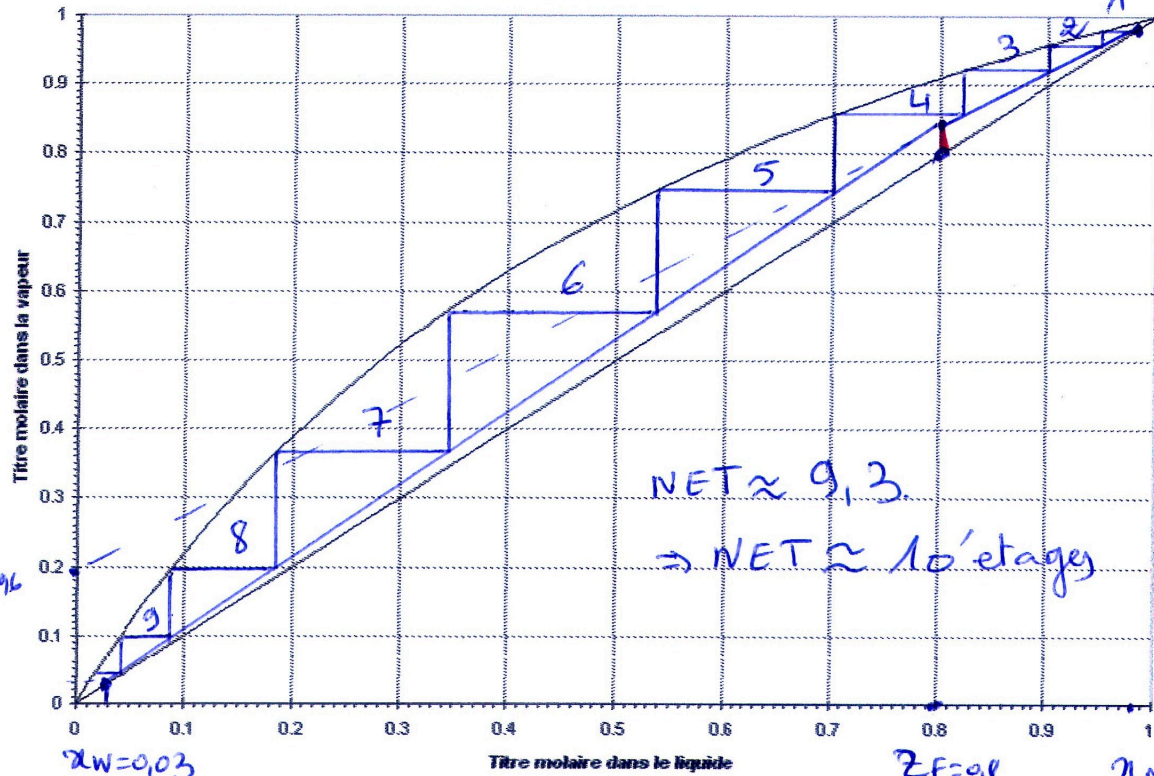


$$q = \frac{d}{d - 1} + \frac{z_F}{1 - d}$$

NOM : ..... PRENOM ..... GROUPE.....

Graph N°1

Rectification continue d'un mélange binaire  
Toluène - Benzène



NOM : .....

PRENOM .....

GROUPE.....

Graphe N°2

