

**Exercice 1 :**

La rectification continue de 10 tonnes par heure d'un mélange contenant 50 % de benzène et 50 % de toluène donne un distillat à 95 % de benzène et un résidu à 96 % de toluène (% massiques). La mesure des débits en tête de colonne indique un débit de 12 600 kg.h<sup>-1</sup> de vapeur. Une partie des vapeurs condensées est réintroduite en reflux et le reste est soutiré dans le distillat. Faire le bilan de la rectification et indiquer le taux de reflux (quotient de la quantité de vapeur condensée recyclée dans la colonne par la quantité de vapeur condensée soutirée).

**Exercice 2 :**

Deux constituants A et B forment une solution idéale. Lorsque la phase liquide contient 1 mole de A pour et une mole de B, le mélange a une pression de vapeur égale à 300 mmHg. Si on ajoute du liquide B pour que la proposition devienne 1 mole de A et 2 mole de B, cette pression de vapeur passe à 350 mmHg. Calculer les pressions de vapeur de A et de B à cette température.

**Exercice 3 :**

Soit un mélange de chloroforme et de benzène de composition molaire 65-35% dont les données d'équilibre sont les suivantes :

x	y	T(°C)	x	y	T(°C)
0,934	0,968	62,6	0,333	0,443	74,4
0,853	0,922	64,1	0,318	0,429	74,7
0,783	0,875	65,4	0,266	0,361	75,7
0,7	0,814	67	0,229	0,316	76,2
0,637	0,762	68,3	0,193	0,27	76,9
0,57	0,702	69,7	0,133	0,19	77,9
0,517	0,652	70,8	0,116	0,167	78,4
0,467	0,601	71,6	0,068	0,1	79
0,443	0,57	72,2	0,06	0,089	79,2
0,388	0,508	73,3			

On désire séparer ce mélange en une fraction riche titrant 95% en chloroforme et une fraction pauvre titrant 13 %.

- 1) Tracer le diagramme y vs x
- 2) Quel est le nombre minimal de plateaux requis pour cette séparation
- 3) Sachant que l'alimentation est un liquide saturé, quel est le taux de reflux  $\frac{L}{V}$  minimum ?
- 4) On se fixe le taux de reflux  $\frac{L}{V} = 0.75$ , quel est le nombre d'étages théoriques et la position optimale de l'alimentation (on prendra l'étage 1 en tête de colonne)
- 5) Quels sont les débits des courants récupérés en tête et en pied de colonne sachant que le débit d'alimentation est de 100 kmol/h ?
- 6) Quels sont les débits des courants liquide et vapeur qui se croisent dans les zones de rectification et d'épuisement ?
- 7) Quelles sont les températures en tête, en pied de colonne et à l'alimentation ?

**Exercice 4 :**

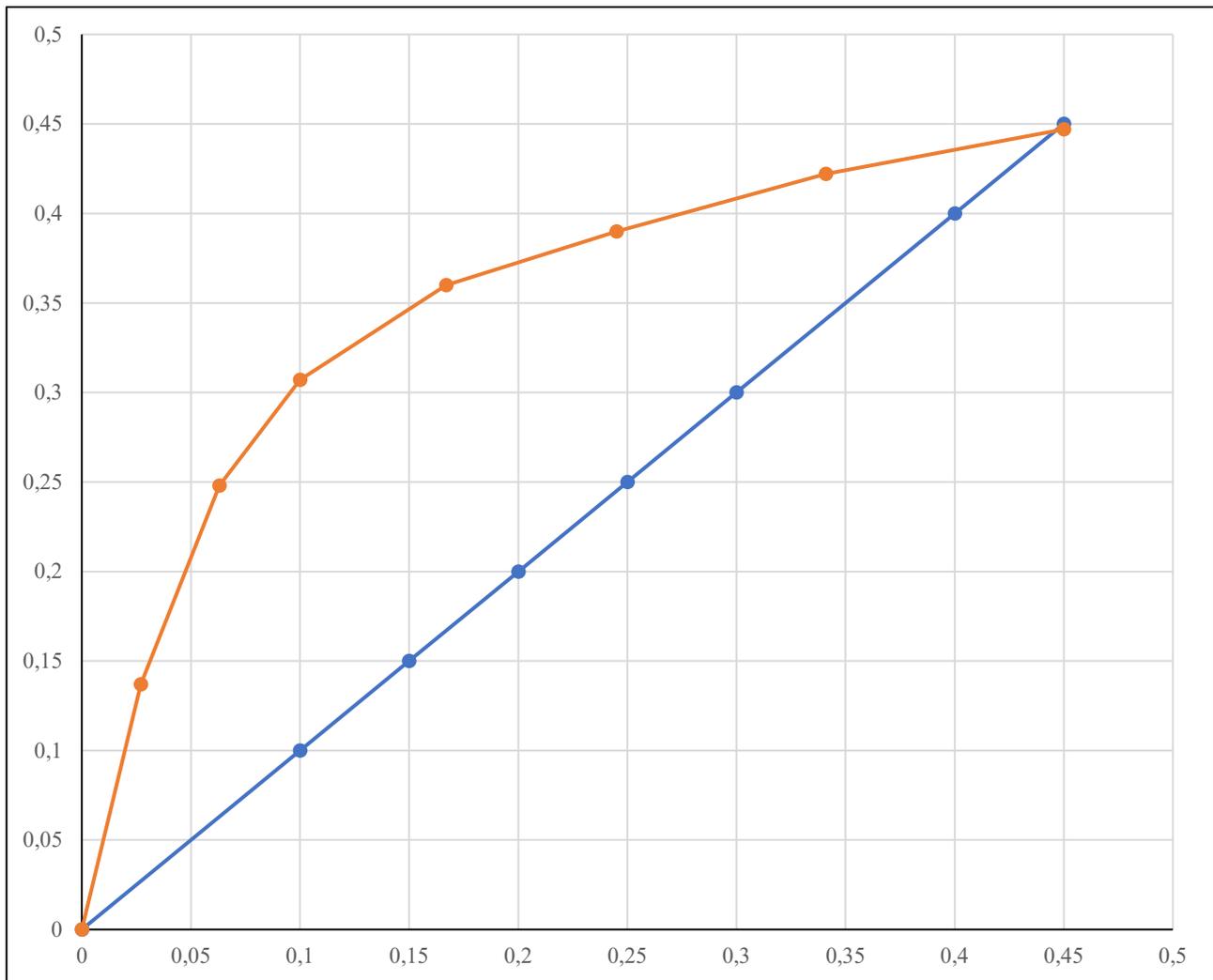
On souhaite séparer un courant de 250 moles/h d'un mélange benzène (80%) éthanol (20%). On utilisera une colonne munie d'un condenseur total et d'un rebouilleur partiel. L'alimentation est sous forme d'un mélange de deux phases dont 30% est vapeur et le reflux externe vaut 1. On souhaite récupérer un courant riche à 40% en éthanol et un autre courant riche à 97.5% en benzène.

- Quel est le nombre d'étages nécessaire à cette séparation et quelle est la position optimale de l'alimentation ?
- Quels sont les débits de distillat et de résidu ?

Données d'équilibre sous 101.3 kPa.

Binaire Ethanol (A) - Benzène (B).

T (°C)	76,1	72,7	70,8	69,2	68,4	68	67,9	68	68,7	69,5	70,4	72,7	76,9
$x_A$	0,0267	0,063	0,1	0,167	0,245	0,341	0,45	0,578	0,68	0,766	0,82	0,905	0,984
$y_A$	0,137	0,248	0,307	0,36	0,39	0,422	0,447	0,478	0,528	0,566	0,615	0,725	0,937



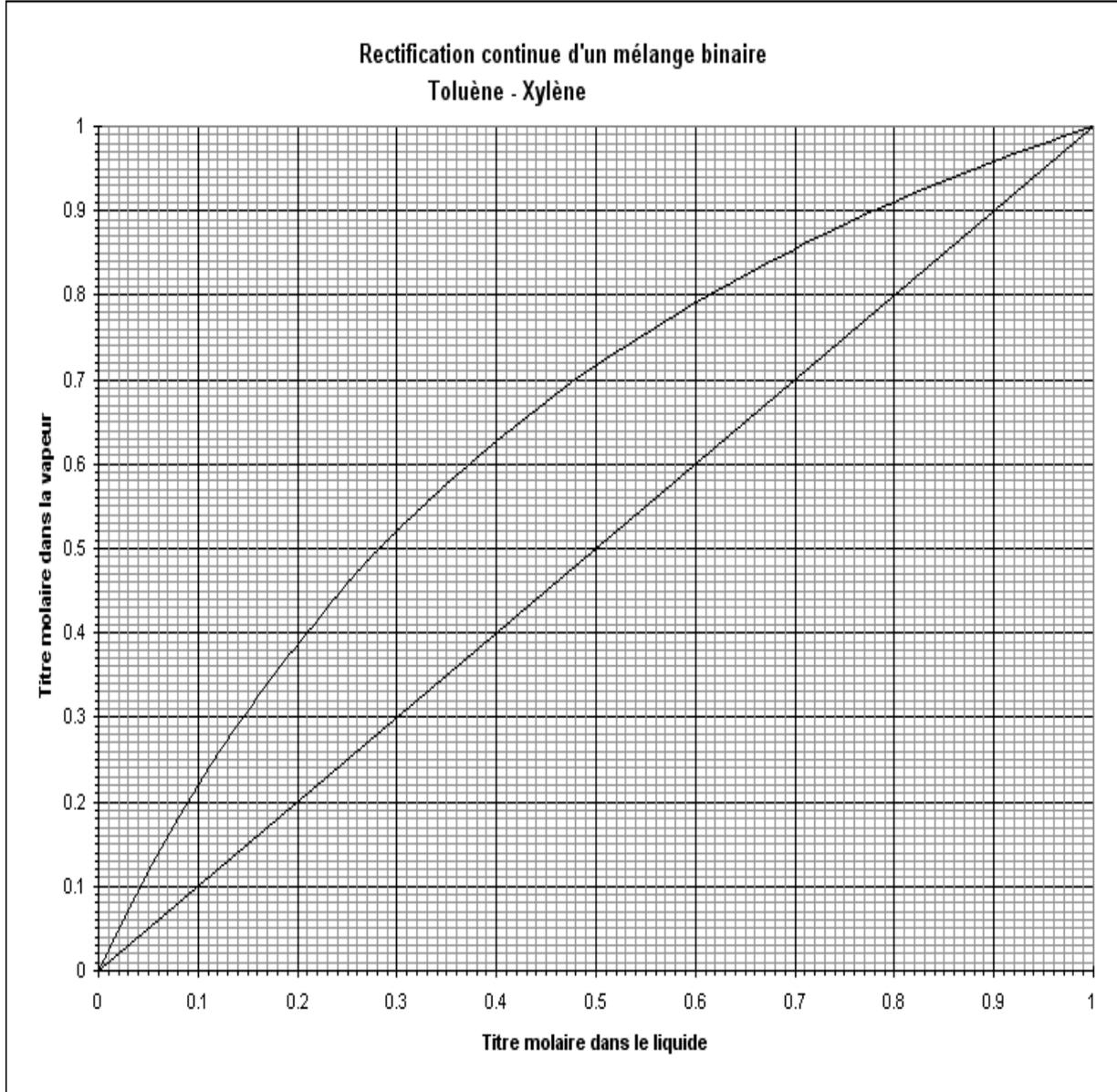
**Exercice 5 :**

Un mélange binaire **équimolaire** toluène-xylène est séparé dans une colonne de distillation continue. Les équations des droites opératoires sont :

$$Y_{n+1} = 0.663x_n + 0.32 \quad (\text{droite de la section d'enrichissement})$$

$$Y_m = 1.329x_{m+1} - 0.01317 \quad (\text{droite de la section d'épuisement})$$

1. Tracer la droite de la section d'alimentation.
2. Calculer le nombre de plateaux nécessaire pour cette séparation.

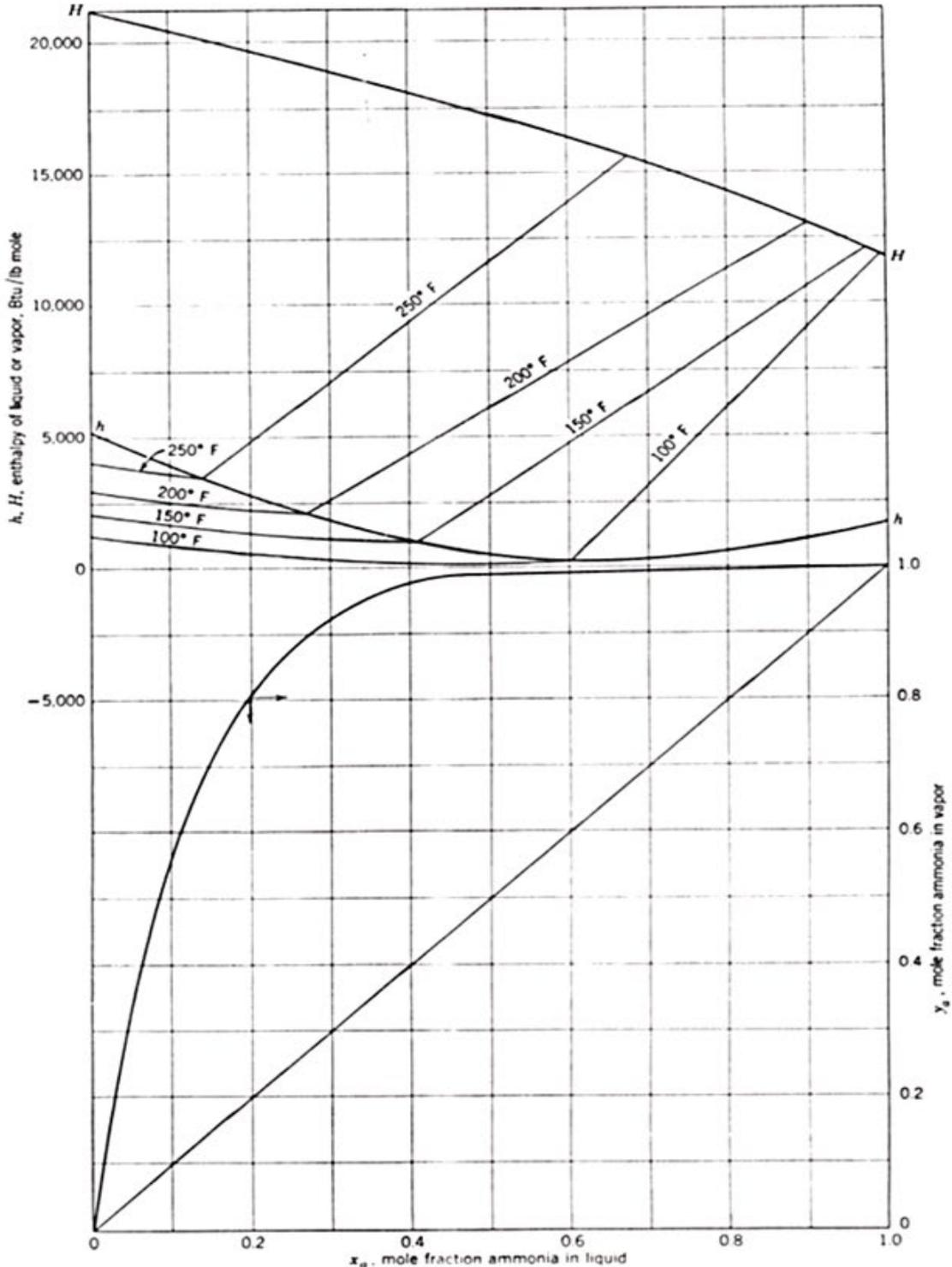


**Exercice 6 :**

Une solution aqueuse d'ammoniac contenant 27% molaire de  $\text{NH}_3$  alimente, de façon optimale, une colonne sous une pression de 100 psia équivalente à 5 étages théoriques. On souhaite récupérer 95% du  $\text{NH}_3$  de l'alimentation sous forme d'un distillat titrant 98%.

Sachant que la solution d'alimentation est un liquide sous refroidi de 20 °F, trouvez la valeur du reflux externe (L/D) à fixer afin d'obtenir la séparation demandée.  
 Les données d'équilibre sont ci-dessous :

Fig D-17b. ENTHALPY-COMPOSITION DIAGRAM FOR AMMONIA-WATER AT 100 PSIA (3). REFERENCE STATE: LIQUID WATER AT 32°F, LIQUID AMMONIA AT -40°F.



Série N°: 02:

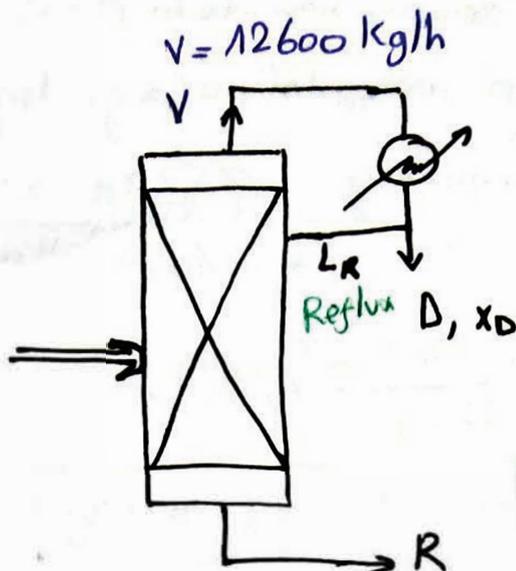
EXERCICE 01:

$A = 10\,000 \text{ kg/h}$

A

{ Benzène 50%

{ Toluène 50%



{ B 95%

{ T 5%

{ B 96%

{ T 4%

A partir le distillat le composé le plus volatil est: le benzène (95%)

$w_A = 0,5$        $w_D = 0,95$        $w_R = 0,04$

Bilan global de la colonne:  $A = D + R$ .

Bilan partiel par rapport le benzène pur:  $w_A \cdot A = w_D \cdot D + w_R \cdot R$ .

Bilan du condenseur:  $V = D + L_R$

$$R = A - D$$

$$w_A \cdot A = w_D \cdot D + (A - D) \cdot w_R$$

$$w_A \cdot A = w_D \cdot D + w_R \cdot A - D \cdot w_R$$

$$(w_A - w_R) A = (w_D - w_R) D$$

$$D = A \cdot \frac{w_A - w_R}{w_D - w_R}$$

$$L_R = 12600 - 5054,9$$

$$L_R = 7545,1$$

A.N:

$$D = 10\,000 \cdot \frac{0,5 - 0,04}{0,95 - 0,04} = 5054,9 \text{ Kg/h.}$$

$$R = 10\,000 - 5054,9 = 7545,1 \text{ Kg/h.}$$

$$r = \frac{L_R}{D} = \frac{7545,1}{5054,9} = 1,49.$$

exercice 02 Seriz 02

$$\textcircled{1} \begin{cases} n_A = 1 \text{ mole} \\ n_B = 1 \text{ mole} \end{cases} \Rightarrow \bar{a} p = 300 \text{ mmHg.} \quad \alpha_A = \alpha_B = 0,5$$

$$\textcircled{2} \begin{cases} n_A = 1 \text{ mole} \\ n_B = 2 \text{ mole} \end{cases} \Rightarrow \bar{a} p = 350 \text{ mmHg} \quad \begin{cases} \alpha_A = \frac{1}{1+2} = \frac{1}{3} \\ \alpha_B = \frac{2}{1+2} = \frac{2}{3} \end{cases}$$

$$P_A^\circ = ? \quad P_B^\circ = ?$$

lors que la loi de Raoult:  $P_i = \alpha_A \cdot P_A^\circ$

lors que la loi de Dalton:  $P_i = y_A \cdot P_T$

$$\text{on a: } P_T = \sum_i^n P_i \quad \text{ou } P_T = P_A + P_B$$

$$P_T = \alpha_A \cdot P_A^\circ + \alpha_B \cdot P_B^\circ$$

alors:

$$\begin{cases} 300 = 0,5 P_A^\circ + 0,5 P_B^\circ \\ 350 = \frac{1}{3} P_A^\circ + \frac{2}{3} P_B^\circ \end{cases}$$

$$350 - 300 = \left(\frac{1}{3} - 0,5\right) P_A^\circ + P_B^\circ \left(\frac{2}{3} - 0,5\right)$$

$$50 = -0,16 P_A^\circ + P_B^\circ \cdot 0,16$$

$$P_B^\circ = \frac{50 + 0,16 P_A^\circ}{0,16}$$

$$300 = 0,5 P_A^\circ + 0,5 \cdot \frac{50 + 0,16 P_A^\circ}{0,16}$$

$$300 = 0,5 P_A^\circ + 0,5 \frac{25 + 0,08 P_A^\circ}{0,16} = 0,5 P_A^\circ + 156,25 + 0,5 P_A^\circ$$

$$300 = P_A^\circ + 156,25 \Rightarrow P_A^\circ = 143,75 \text{ mmHg} \quad 150$$

$$P_B^\circ = 456,25 \text{ mmHg} \quad 456$$

### Exercice 3 :

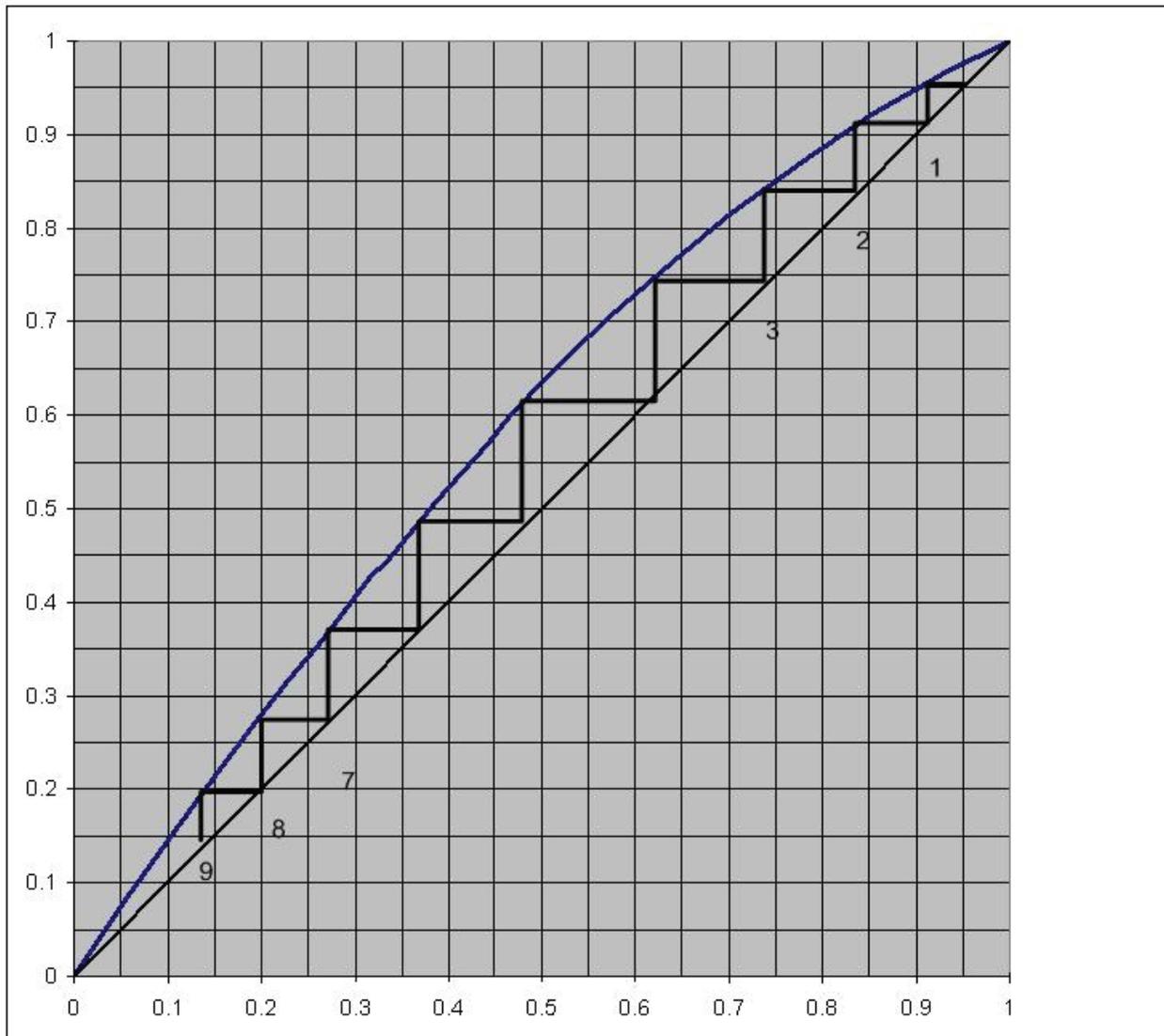
(Pour appliquer la méthode de McCabe et Thiele)

Soit un mélange de chloroforme et de benzène de composition molaire 65-35% dont les données d'équilibre sont les suivantes :

On désire séparer ce mélange en une fraction riche titrant 95% en chloroforme et une fraction pauvre titrant 13%.

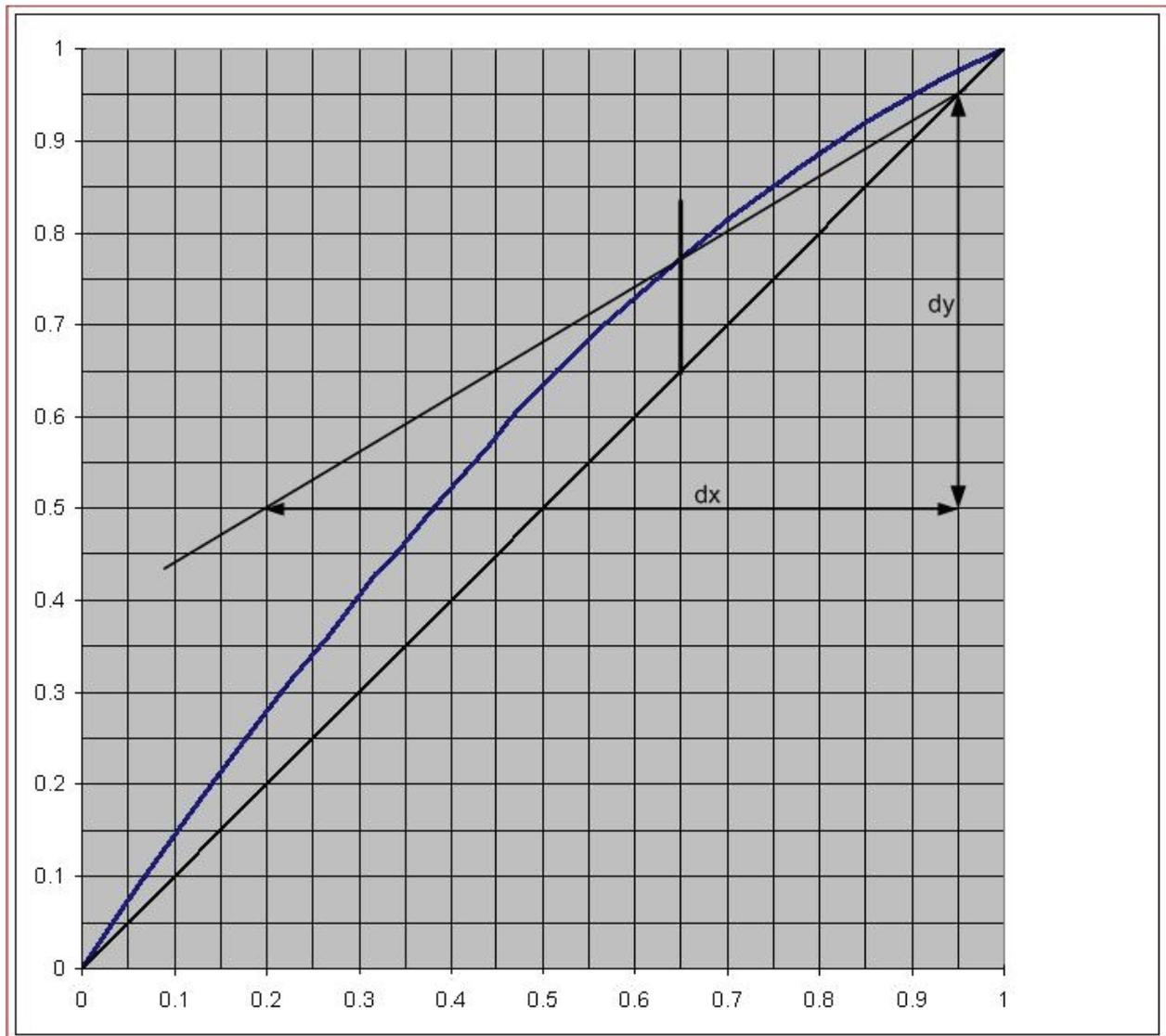
- 1) Tracer le diagramme  $y$  vs  $x$
- 2) Quel est le nombre minimal de plateau requis pour cette séparation

La construction avec la première bissectrice donne 9 plateaux



3) Sachant que l'alimentation est un liquide saturé, quel est le taux de reflux  $V$  minimum ?

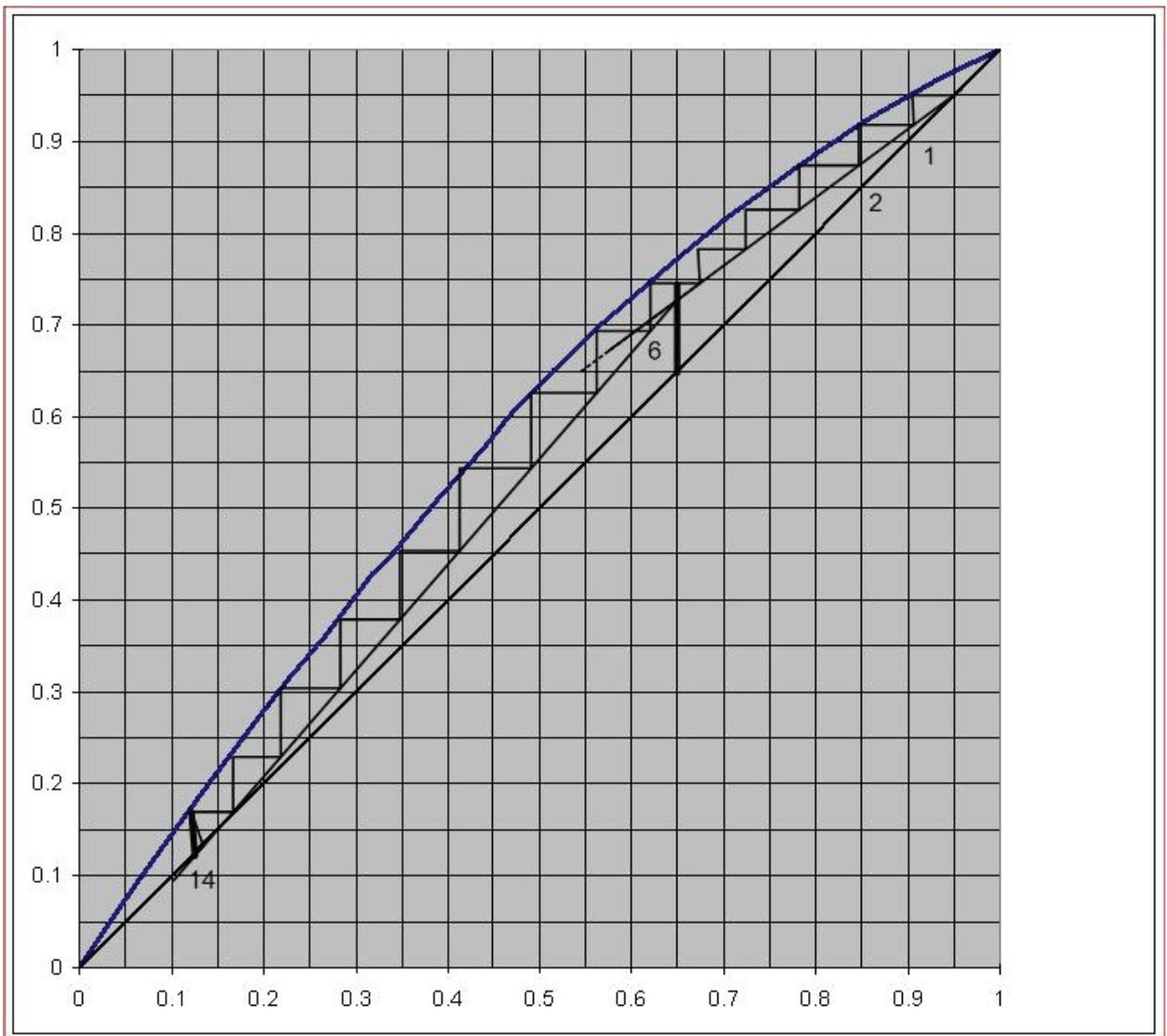
On trace la droite d'alimentation pour un liquide saturé (verticale) passant par  $x=y=z_F$ . On cherche l'intersection de la droite opératoire passant par  $x=y=X_D$  avec la courbe d'équilibre et la droite d'alimentation. La pente de cette droite vaut  $(dy/dx)=9/15=0.6$



4) On se fixe le taux de reflux ( $L/V$ )=0.75, quel est le nombre d'étages théoriques et la position optimale de l'alimentation (on prendra l'étage 1 en tête de colonne)

On trace la droite opératoire de la zone d'enrichissement  $L/V=0.75(=3/4=6/8)$

Il faut entre 13 et 14 plateaux ( $\approx 13.7$ ) et le plateau optimal pour l'alimentation est le no 6



- 5) Quels sont les débits des courants récupérés en tête et en pied de colonne sachant que le débit d'alimentation est de 100 kmole/heure?

$$F = D + B \quad z_F F = x_D D + x_B B$$

$$z_F F = x_D D + x_B (F - D) \Rightarrow (z_F - x_B) F = (x_D - x_B) D$$

$$D = \frac{(z_F - x_B)}{(x_D - x_B)} F \Rightarrow D = \frac{(0.65 - 0.13)}{(0.95 - 0.13)} 100 = 63.41 \quad B = F - D = 100 - 63.41 = 36.59$$

- 6) Quels sont les débits des courants liquide et vapeur qui se croisent dans les zones de rectification et d'épuisement ?

Dans la zone de rectification :

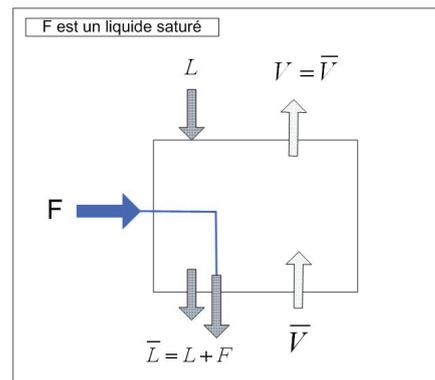
$$\frac{L}{D} = \frac{L}{V-L} = \left( \frac{V-L}{L} \right)^{-1} = \left( \frac{V}{L} - 1 \right)^{-1} = \left( \frac{1}{0.75} - 1 \right)^{-1} = 3 \quad L = 3 \times 63.41 = 190.23$$

$$\frac{L}{V} = 0.75 \Rightarrow V = \frac{L}{0.75} = \frac{190.23}{0.75} = 253.64$$

L'alimentation est un liquide saturé :

$$\bar{L} = L + F = 190.23 + 100 = 290.23$$

$$\bar{V} = V = 253.64$$



- 7) Quelles sont les températures en tête, en pied de colonne et à l'alimentation

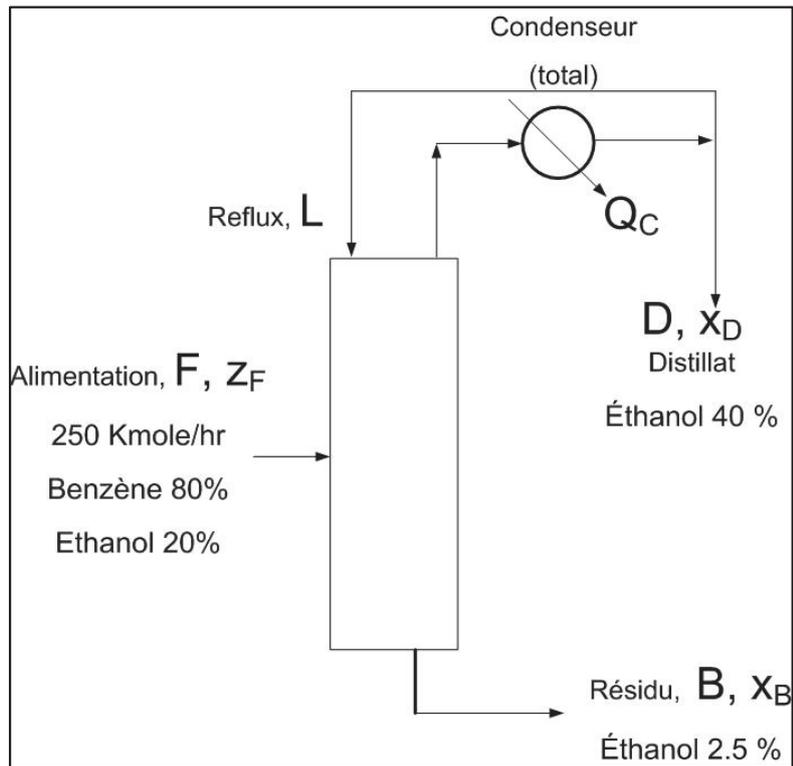
Avec le tableau des données d'équilibre on trouve :

En pied  $T \approx 78 \text{ }^\circ\text{C}$  en tête  $T \approx 63.2 \text{ }^\circ\text{C}$  à l'alimentation  $T \approx 68 \text{ }^\circ\text{C}$

### Exercice 4 :

a) Le schéma de la séparation est :

Commentaire : Attention de bien identifier que le courant à 40% en éthanol sort en tête : (température plus basse dans le tableau des données d'équilibre)



$$\text{reflux externe} = \frac{L}{D} = 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{L}{V} = \left(1 + \frac{D}{L}\right)^{-1} = (1+1)^{-1} = \frac{1}{2}$$

Pour la construction graphique :

1) on place les 3 points sur la première bissectrice

(P1)  $x=y=x_D$

(P2)  $x=y=x_B$

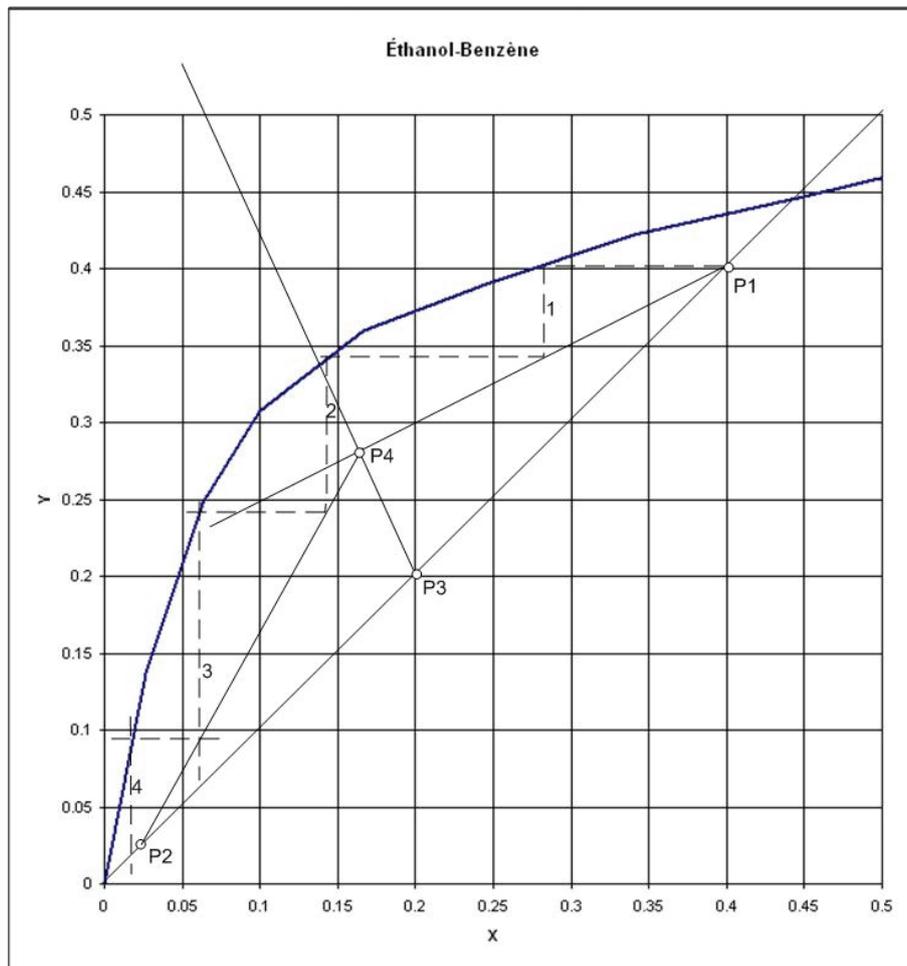
(P3)  $x=y=z_F$

2) on trace la droite opératoire de la zone de rectification (DR) de pente  $1/2$  passant par P1

3) on trace la droite de l'alimentation (DA) de pente  $-2.333$  passant par P3 et en utilisant son intersection (P4) avec la droite opératoire de la zone d'enrichissement

4) on trace la droite opératoire de la zone d'épuisement (DE) qui passe par P2

On trouve environ 3.8 étages et l'intersection des 3 droites DR-DA-DE se trouve sous l'étage no 2 qui est l'étage optimal de l'alimentation.



Commentaire : avec un rebouilleur partiel, équivalent à un étage, la colonne à installer pour cette séparation devrait comporter  $(3.8 - 1) = 2.8 \approx 3$  plateaux.

c)

$$\frac{D}{F} = \frac{(z_F - x_B)}{(x_D - x_B)} = \frac{(0.2 - 0.025)}{(0.4 - 0.025)} = 0.4672 \Rightarrow D = 116.79 \quad B = F - D = 133.21$$

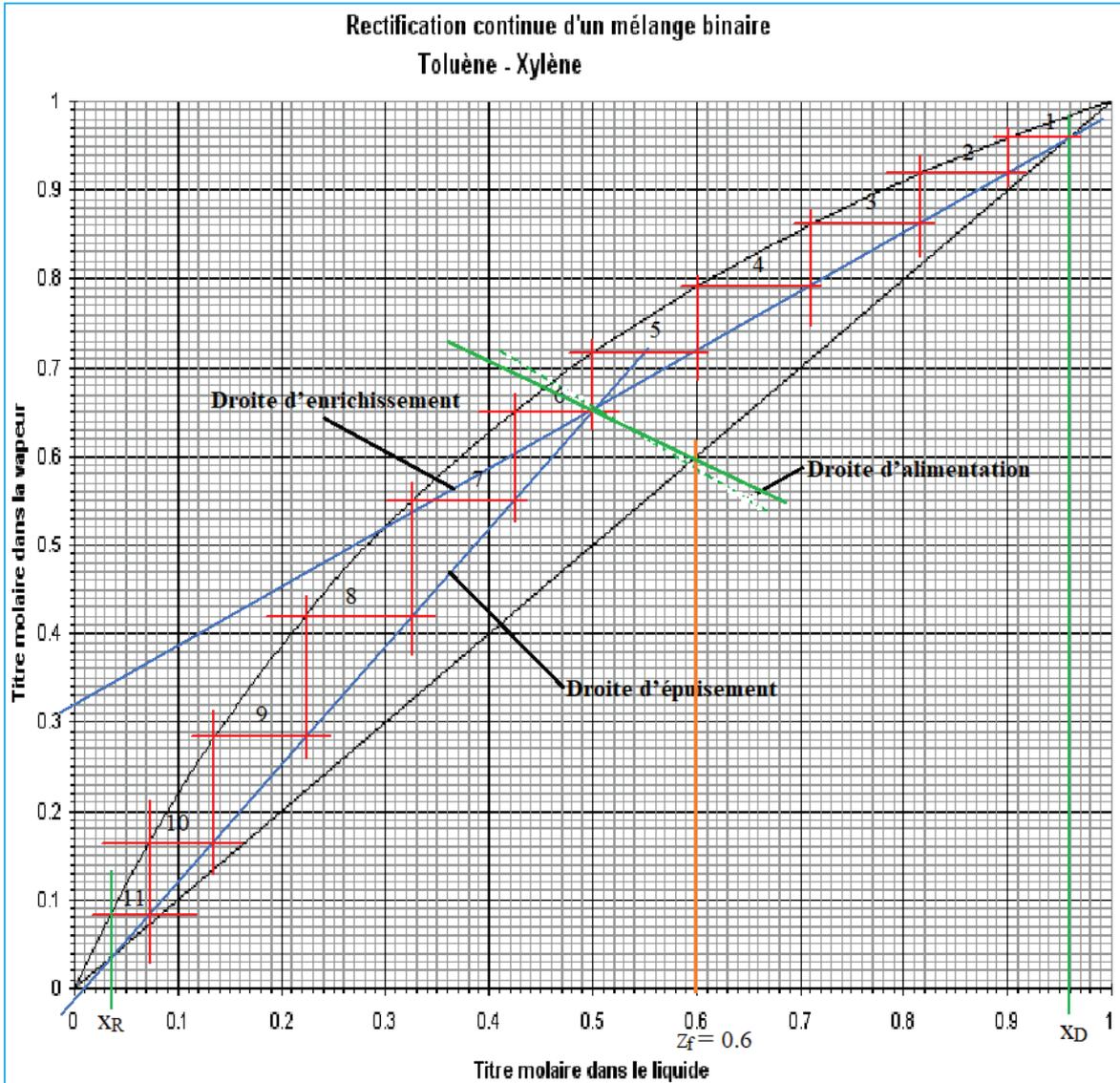
### Exercice 5 :

Un mélange binaire équimolaire toluène-xylène est séparé dans une colonne de distillation continue. Les équations des droites opératoires sont :

$$Y_{n+1} = 0.663x_n + 0.32 \quad (\text{droite de la section d'enrichissement})$$

$$Y_m = 1.329x_{m+1} - 0.01317 \quad (\text{droite de la section d'épuisement})$$

1. Ont tracent la droite de l'alimentation avec  $z_f = 0.6$  dans le graphique ci-dessous.



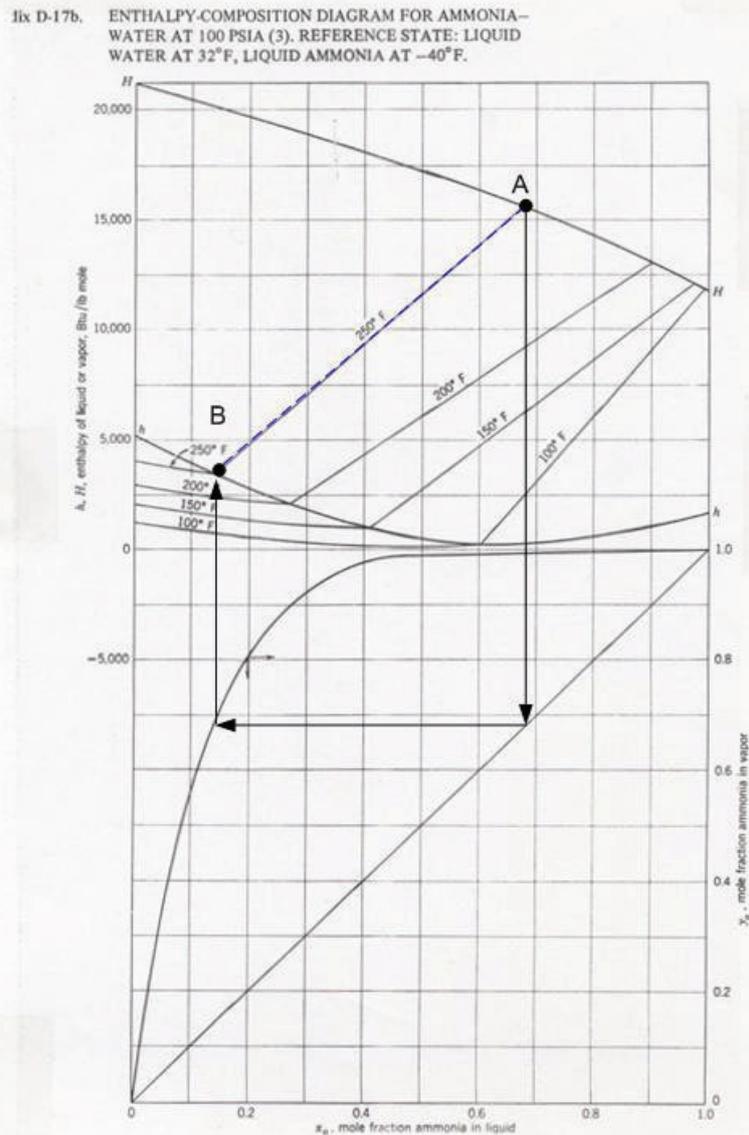
2. A partir du graphique le nombre des plateaux nécessaire pour cette séparation est 11 plateaux.

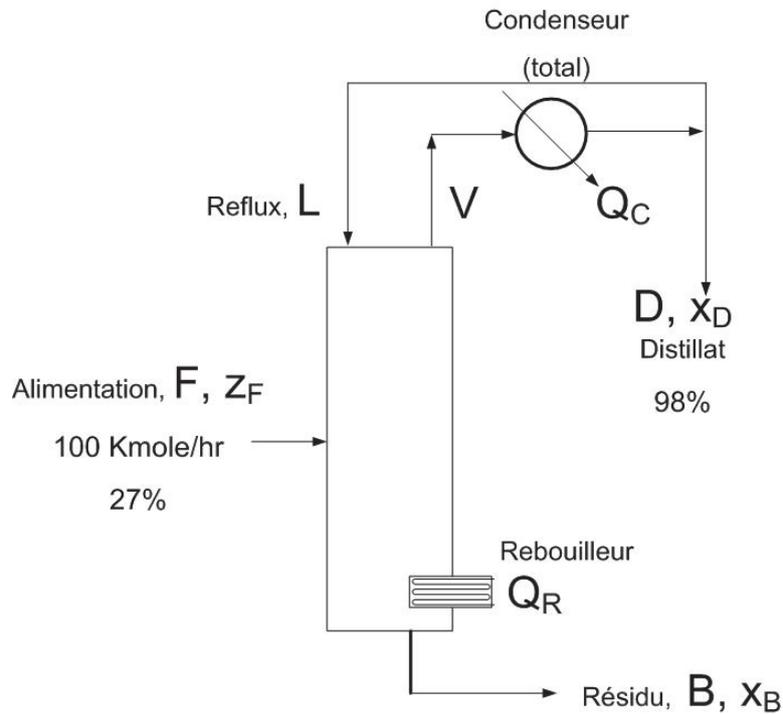
## Exercice 5.1

Une solution aqueuse d'ammoniac contenant 27% molaire de  $\text{NH}_3$  alimente, de façon optimale, une colonne sous une pression de 100 psia équivalente à 5 étages théoriques. On souhaite récupérer 95% du  $\text{NH}_3$  de l'alimentation sous forme d'un distillat titrant 98%. Sachant que la solution d'alimentation est un liquide sous refroidi de  $20^\circ\text{F}$ , trouvez la valeur du reflux externe (L/D) à fixer afin d'obtenir la séparation demandée.

Remarque préliminaire sur l'utilisation des graphiques.

L'intérêt de présenter les deux graphiques H vs x (ou y) et y vs x est de permettre la construction de toute conodale connaissant x (ou y). Le tracé ci-contre indique comment trouver la conodale reliant une vapeur A (de composition y) en équilibre avec le liquide B (de composition x). La construction peut aussi être faite en sens inverse : connaissant B, on trouve A.





On détermine les concentrations et débits des courants de distillat et de résidu.

$$F = D + B \quad 0.95 \times (0.27 \times F) = 0.98 \times D \quad F = 100$$

$$D = \frac{0.95 \times 0.27 \times 100}{0.98} = 26.17 \quad B = F - D = 100 - 26.17 = 73.83$$

$$z_F F = x_D D + x_B B \quad x_B = \frac{z_F F - x_D D}{B} = \frac{0.27 \times 100 - 0.98 \times 26.17}{73.83} = 0.0183$$

Sur le diagramme on peut donc tracer les deux verticales à  $x_D$  (98%) et à  $x_B$  (1.83%) sur lesquelles les pôles P' et P'' seront placés. On place l'alimentation F (liquide sous refroidi de 20 °F). La recherche de la solution nécessite une **procédure itérative sur la position du pôle P'** afin de permettre une construction donnant exactement 5 étages en partant de  $x_D$  et en arrivant à  $x_B$ . L'alimentation étant optimale, on change de pôle lorsque que la conodale coupe la ligne P'FP''. La construction pertinente est donnée page suivante.

$$\frac{L}{D} = \frac{AP'}{AB} \approx \frac{19 \text{ mm}}{36 \text{ mm}} = 0.53$$

Fig D-17b. ENTHALPY-COMPOSITION DIAGRAM FOR AMMONIA-WATER AT 100 PSIA (3). REFERENCE STATE: LIQUID WATER AT 32°F, LIQUID AMMONIA AT -40°F.

