

OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES 3L Génie des procédés

Dr. SAKRI ADEL
Université de Biskra

OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES 01

Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de
Biskra

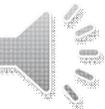
OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES

Exercice 1:

Soit le mélange M qui contient les produits suivants :

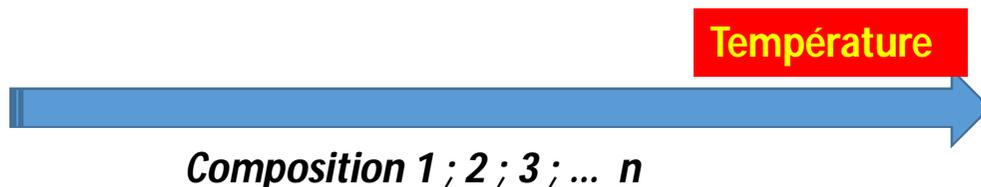
constituants	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
% en poids	0.5	1.5	20.0	30.0	40.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
T _{ébu} °C	30	55	40	120	80	150	50	132	130	150	175

- a/ Tracer le diagramme de température du mélange.
- b/ Proposer une installation de distillation en continue pour le mélange.
- c/ Quel moyen préconiser vous pour une distillation continue du mélange si les composants F, J, K sont des goudrons.
- d/ Tracer le diagramme de composition de ce mélange.



-a/ Tracer le diagramme de température du mélange.

*Mettre en ordre les composants selon la température

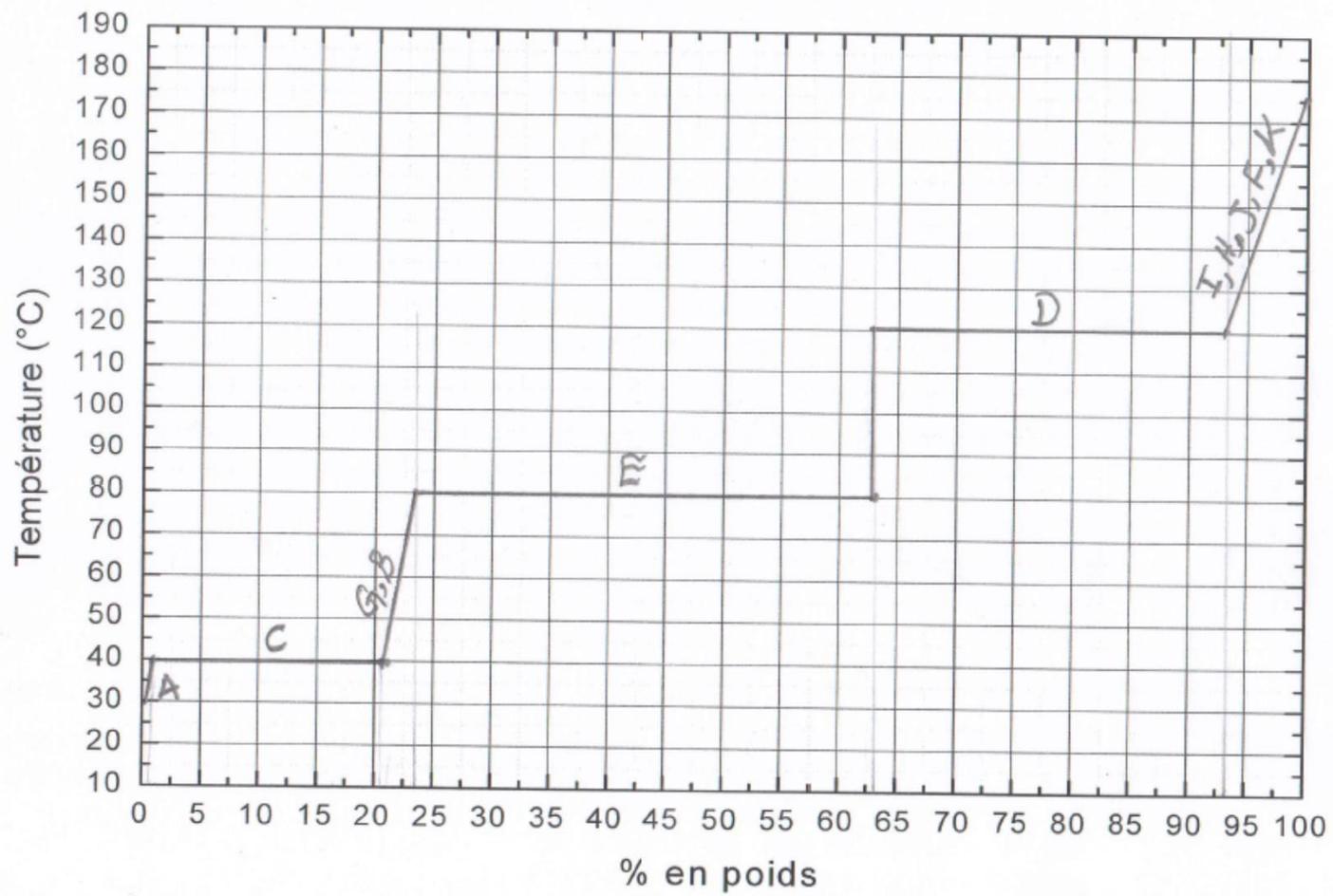


$T_{ébu} \text{ } ^\circ\text{C}$	30	40	50	55	80	120	130	132	150	150	175
<i>constituants</i>	A	C	G	B	E	D	I	H	J	F	K
<i>% en poids</i>	0.5	20.0	1.0	1.5	40.0	30.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0

* Déterminer les produits cœurs, tête, intermédiaire et résidu

$T_{ébu} \text{ } ^\circ\text{C}$	30	40	50	55	80	120	130	132	150	150	175
<i>constituants</i>	A	C	G	B	E	D	I	H	J	F	K
<i>% en poids</i>	0.5	20.0	1.0	1.5	40.0	30.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0

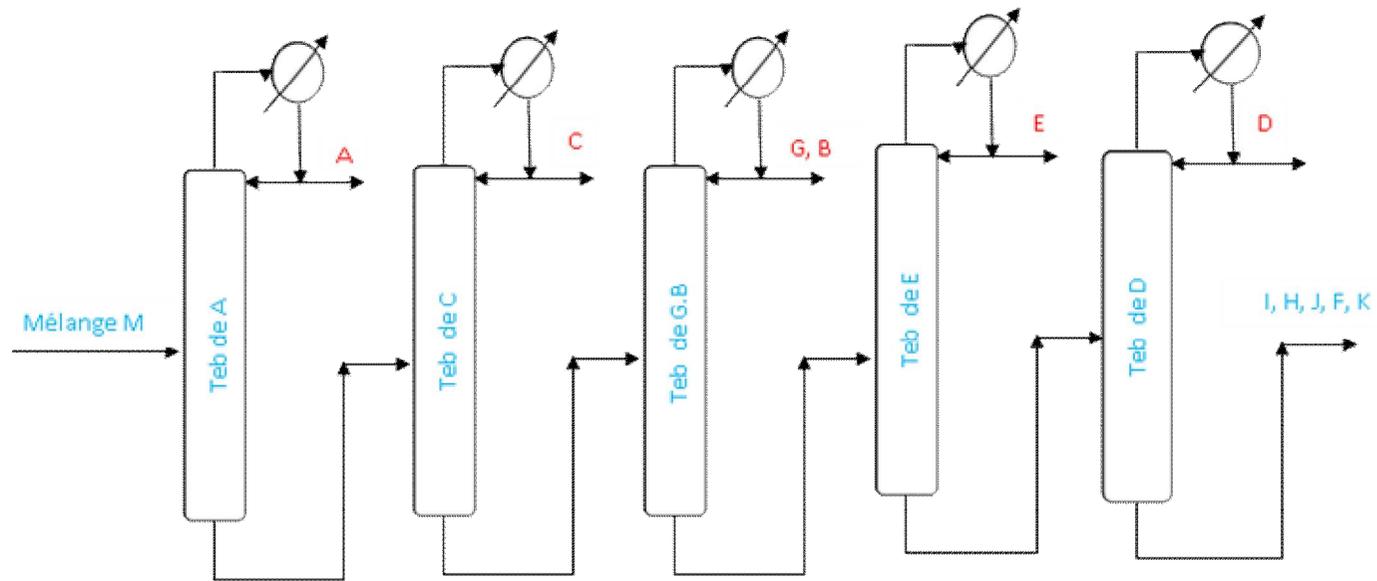




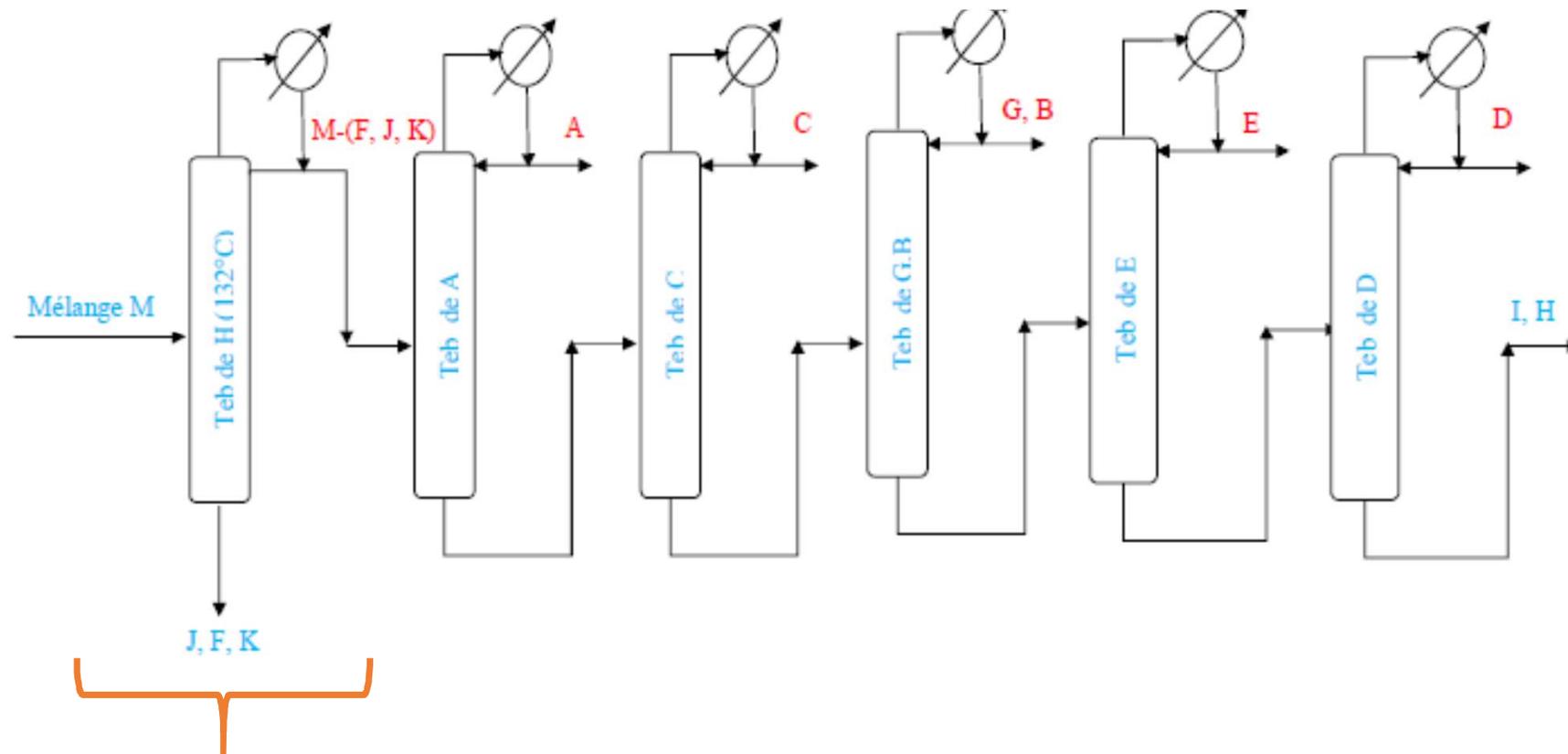
Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra



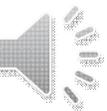
-b/ Proposer une installation de distillation en continue pour le mélange.



-c/ Quelle moyen préconiser vous pour une distillation continue du mélange si les composants F,J, K sont des goudrons.

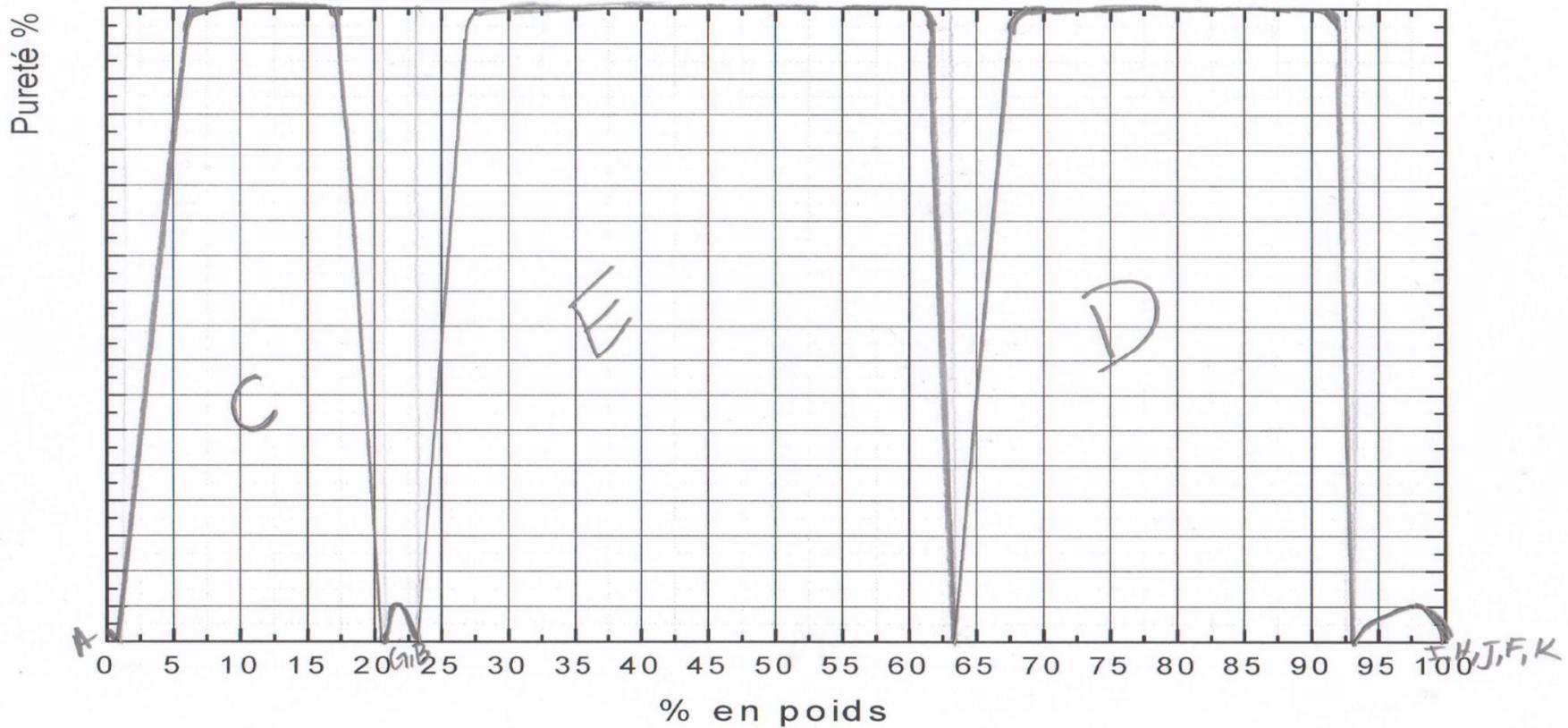


Colonne_équeutage

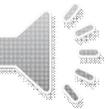


-d/ Tracer le diagramme de composition de ce mélange.

La pureté est arbitraire dans cet exercice . . . Les produits cœurs sont plus purs que les autres produits



Dr. SAKRI ADEL / Département Chimie industrielle / Université de Biskra
Il faut noter que ce diagramme est très utile en industrie (Chromatographie)



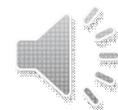
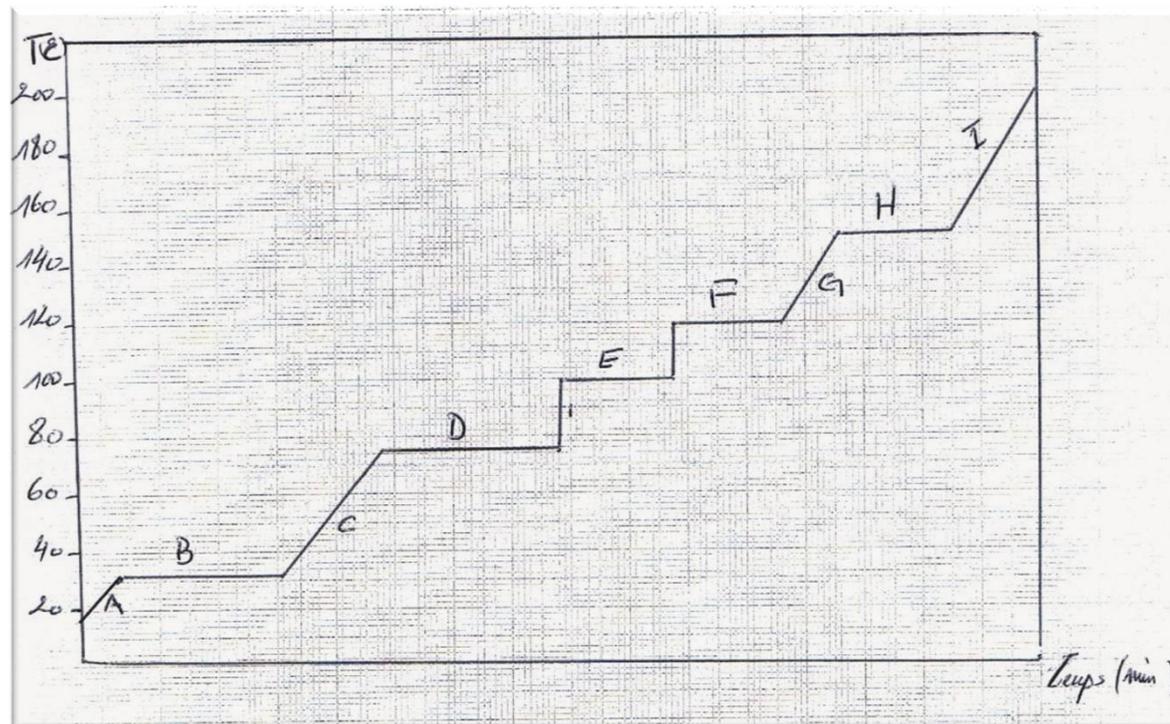
Exercice 2:

Soit le diagramme de température du mélange M qui contient les éléments suivants (A, B, C, D, E, F, G, H, I) :

a- Déterminer la composition massique du mélange.

b- Proposer une installation de distillation en continue équeutage et étêtage pour ce mélange.

c- Tracer le diagramme de composition de ce mélange.



a- Déterminer la composition massique du mélange.

Au cour d'une opération de distillation le temps écoulé est proportionnel au quantité séparée



Donc; Mesurer les distances et déduire le pourcentage de chaque composition du graphe

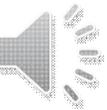
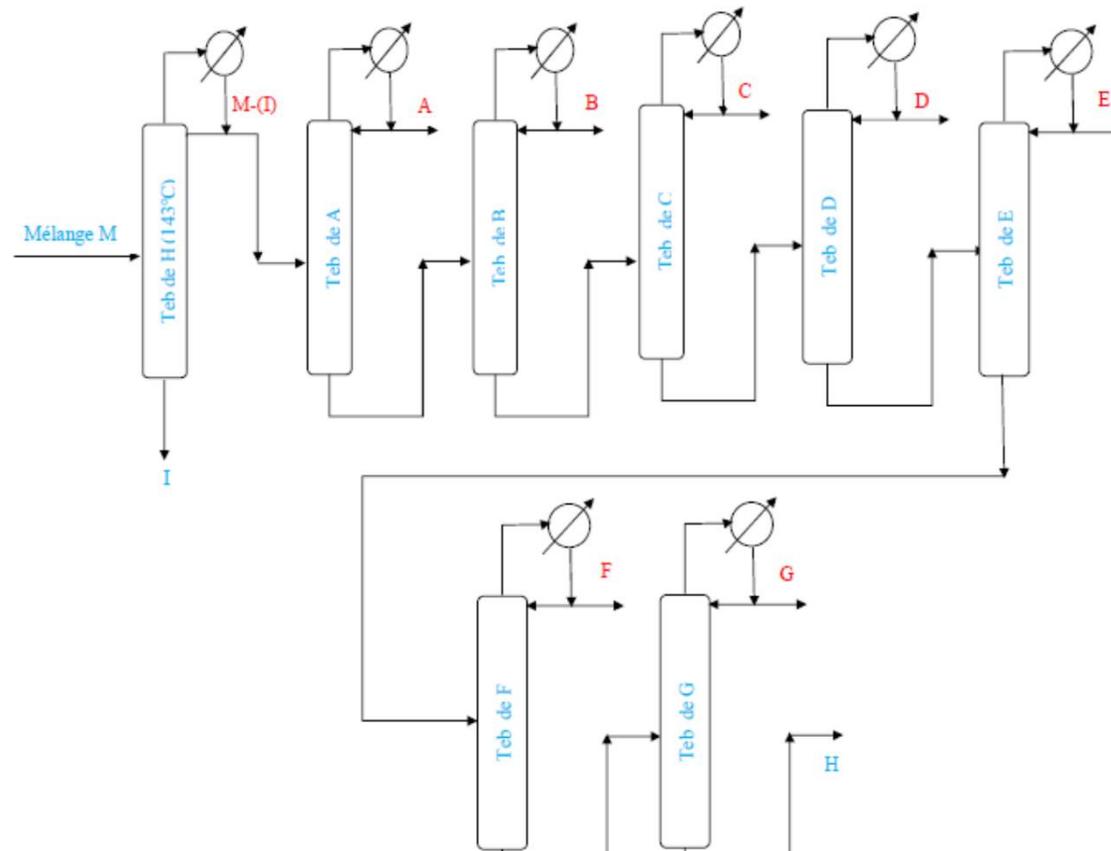
quantité séparée d'un produit I

Produit	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Distance en « cm »	0,6	2,5	1,5	2,6	1,8	1,6	0,8	1,7	1,4
%	4,13	17,24	10,34	17,93	12,41	11,03	5,51	11,72	9,69
Nature du produit T(Tête);CO(Cœur); Int(intermédiaire); R(résidus)	T	CO	Int	CO	CO	CO	Int	CO	R

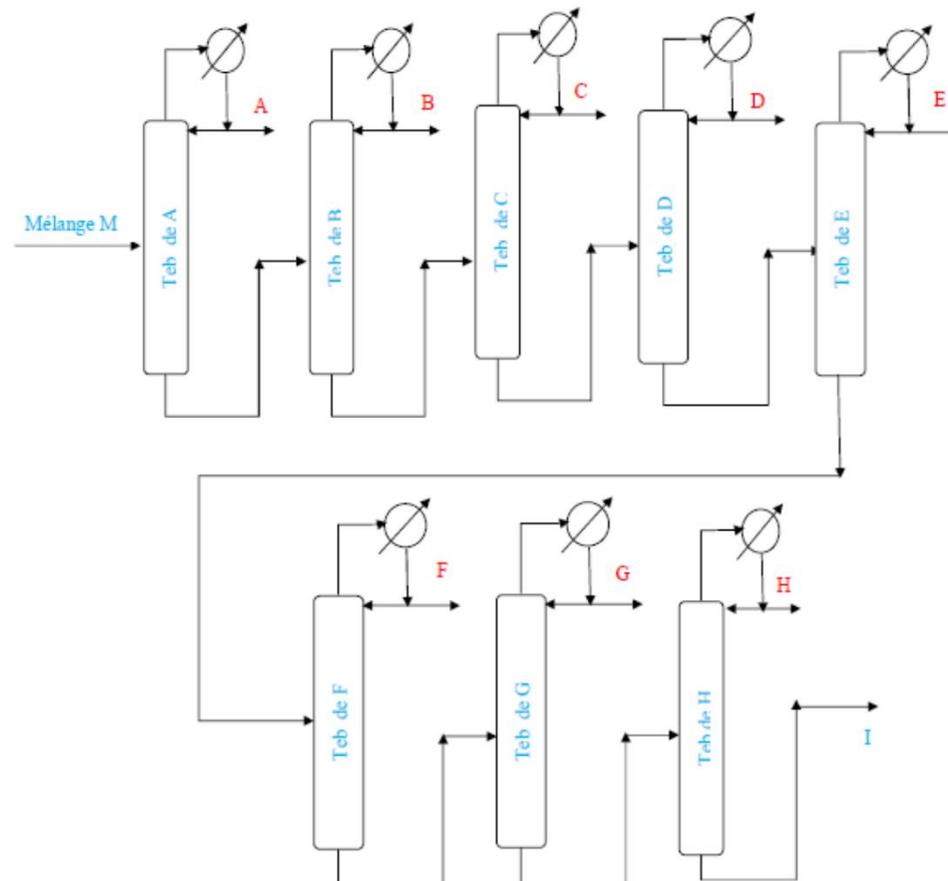


b- Proposer une installation de distillation en continue équeutage et étêtage pour ce mélange.

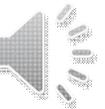
1- installation de distillation en continue équeutage



2- installation de distillation en continue étêtage

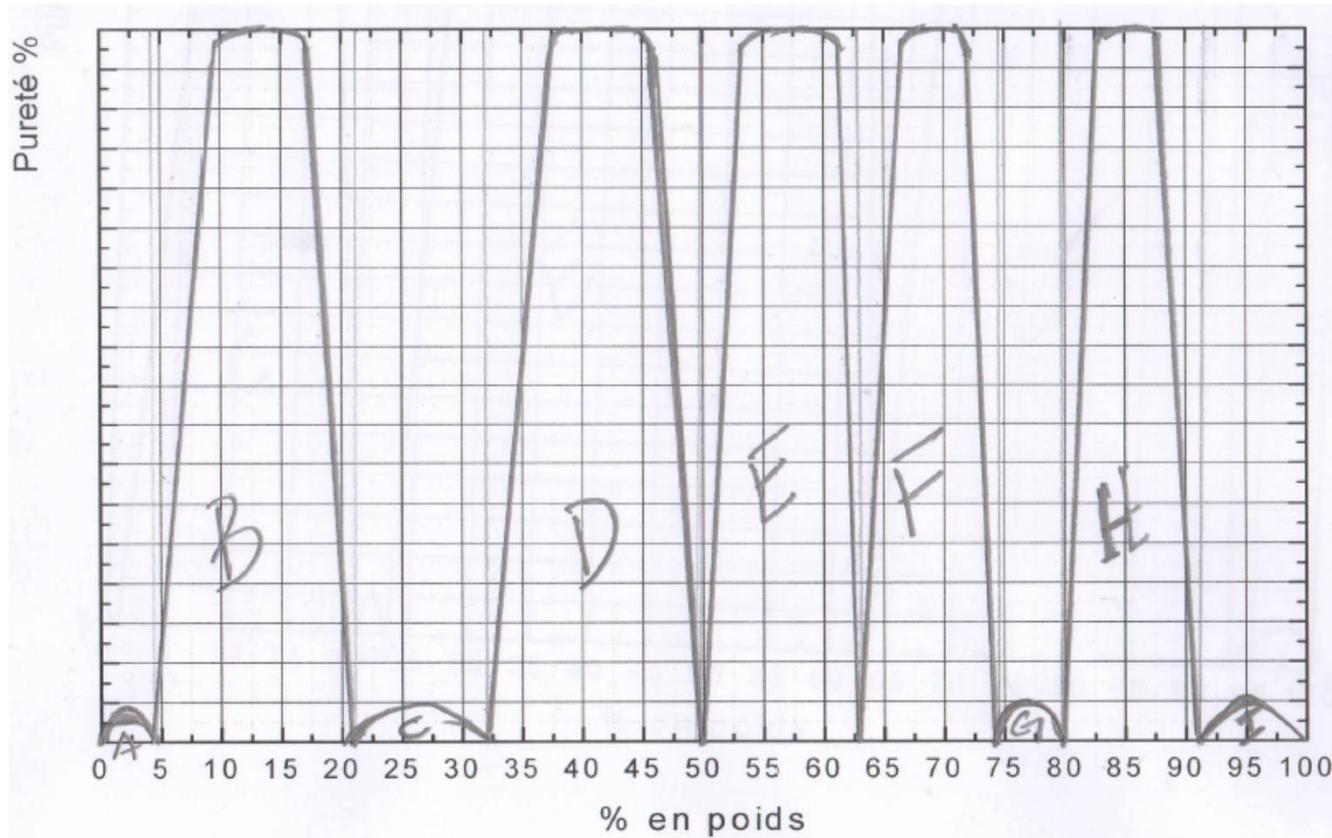


Dr. SAKRI ADEL / Département Chimie industrielle / Université de Biskra



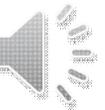
c- Tracer le diagramme de composition de ce mélange.

La pureté est arbitraire dans cet exercice . . . Les produits cœurs sont plus purs que les autres produits



Il faut noter que ce diagramme est très utile en industrie (Chromatographie)

Dr. SAKRI ADEL / Département Chimie Industrielle / Université de Biskra



OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES 02

Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de
Biskra

OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES

Exercice 1:

30 % en mole de A dans B , à la température d'ébullition sont distillés en continue pour produire un distillat à 95% de a et un résidu à 3% en A. Le taux de reflux trois fois du Taux de reflux minimal.

- Déterminer le nombre de plateau théorique dans ce cas.
- Déterminer le plateau d'alimentation?
- Tracer sur un diagramme l'évolution du nombre de plateau N pour les taux de reflux suivants : Φ_{\min} ,1,2,3,4 et ∞ .

On Donne:

X	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80
Y	0.00	0.38	0.58	0.71	0.79	0.90	0.96	0.98	0.99	0.995

a- Déterminer le nombre de plateau théorique dans ce cas.

On a :

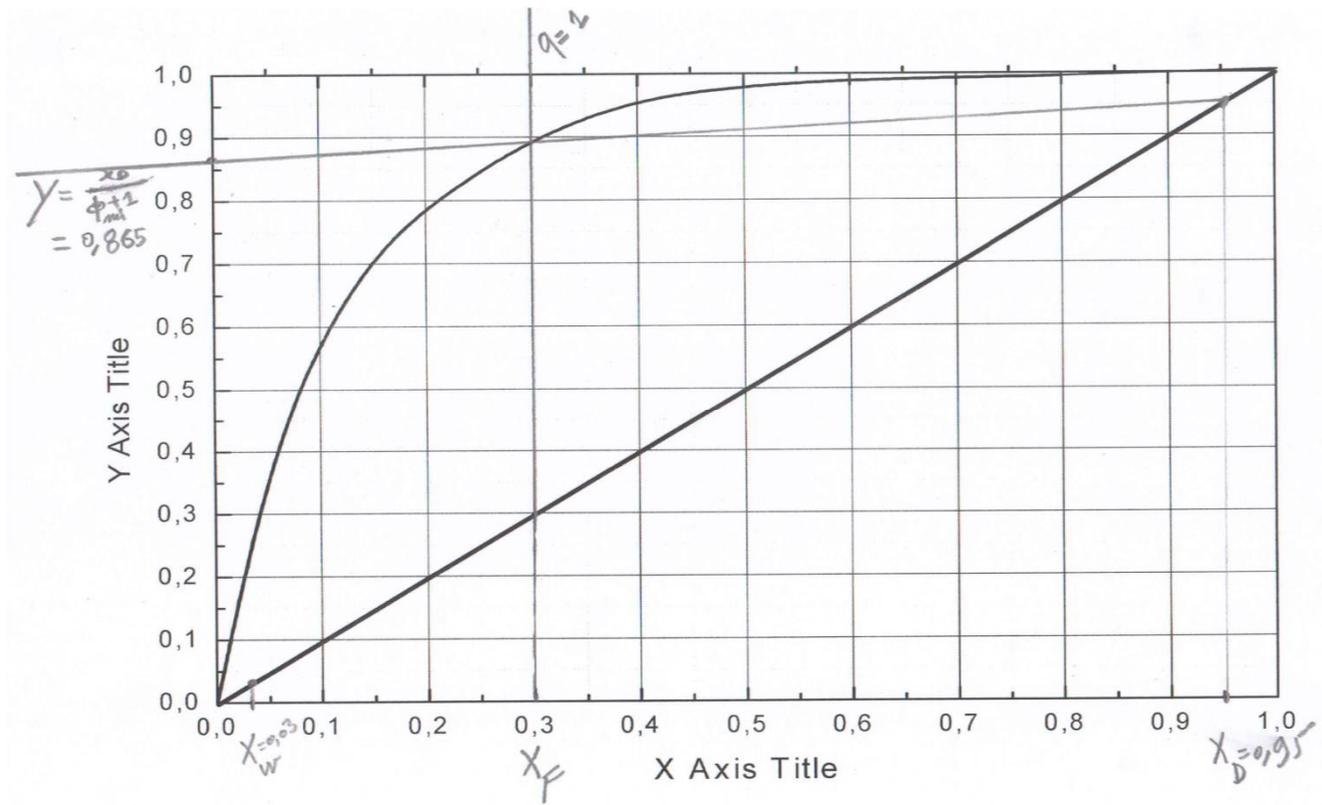
$$X_F=0,3$$

$$X_D=0,95$$

$$X_W=0,03$$

$$\Phi=3*\Phi_{\min}$$

Alimentation à l'ébullition  $q=1$



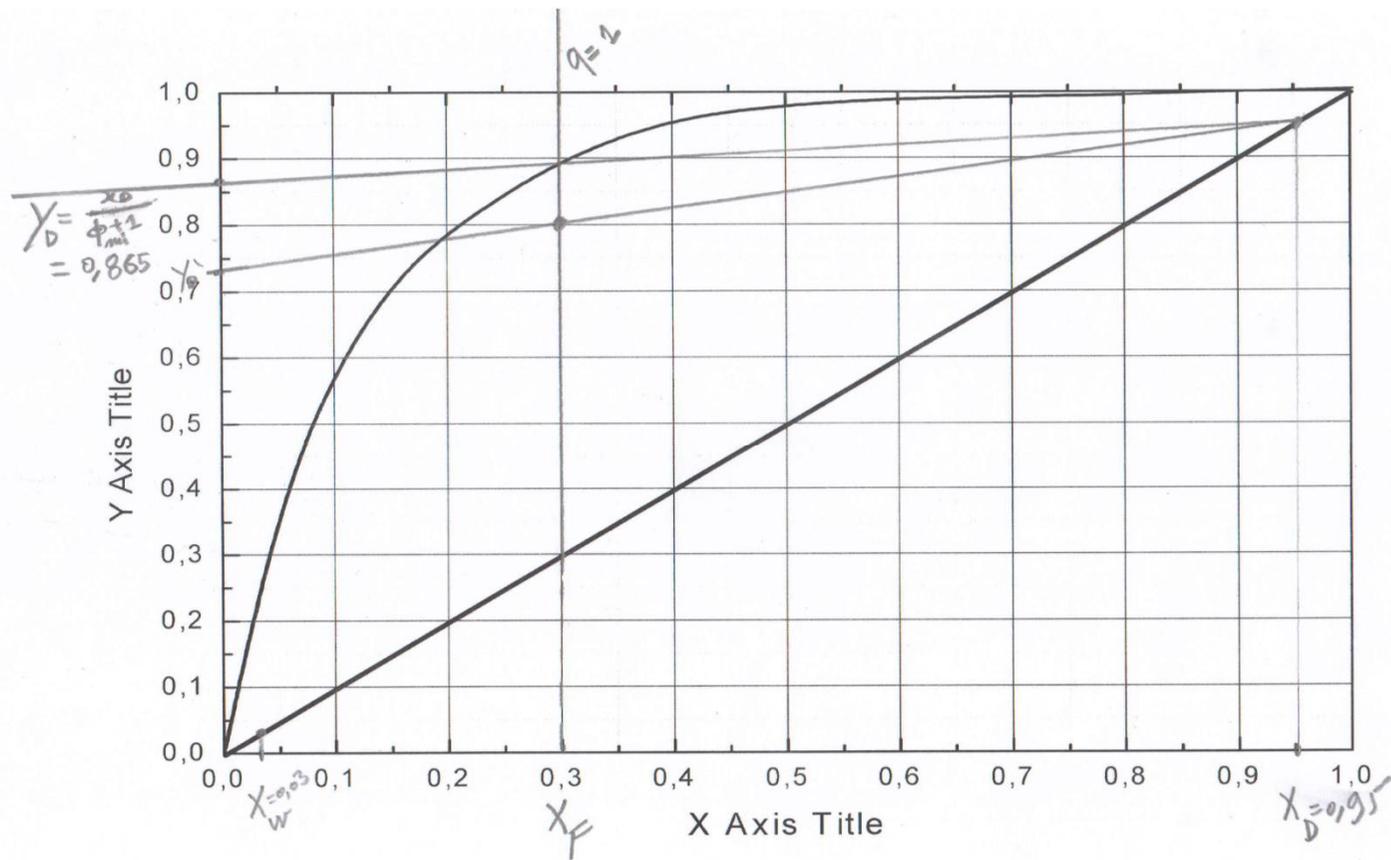
Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra

$$Y_D = \frac{X_D}{\phi_{min} + 1} = 0,865 \quad \longrightarrow \quad \phi_{min} = \frac{0,95}{0,865} - 1 = 0,098$$

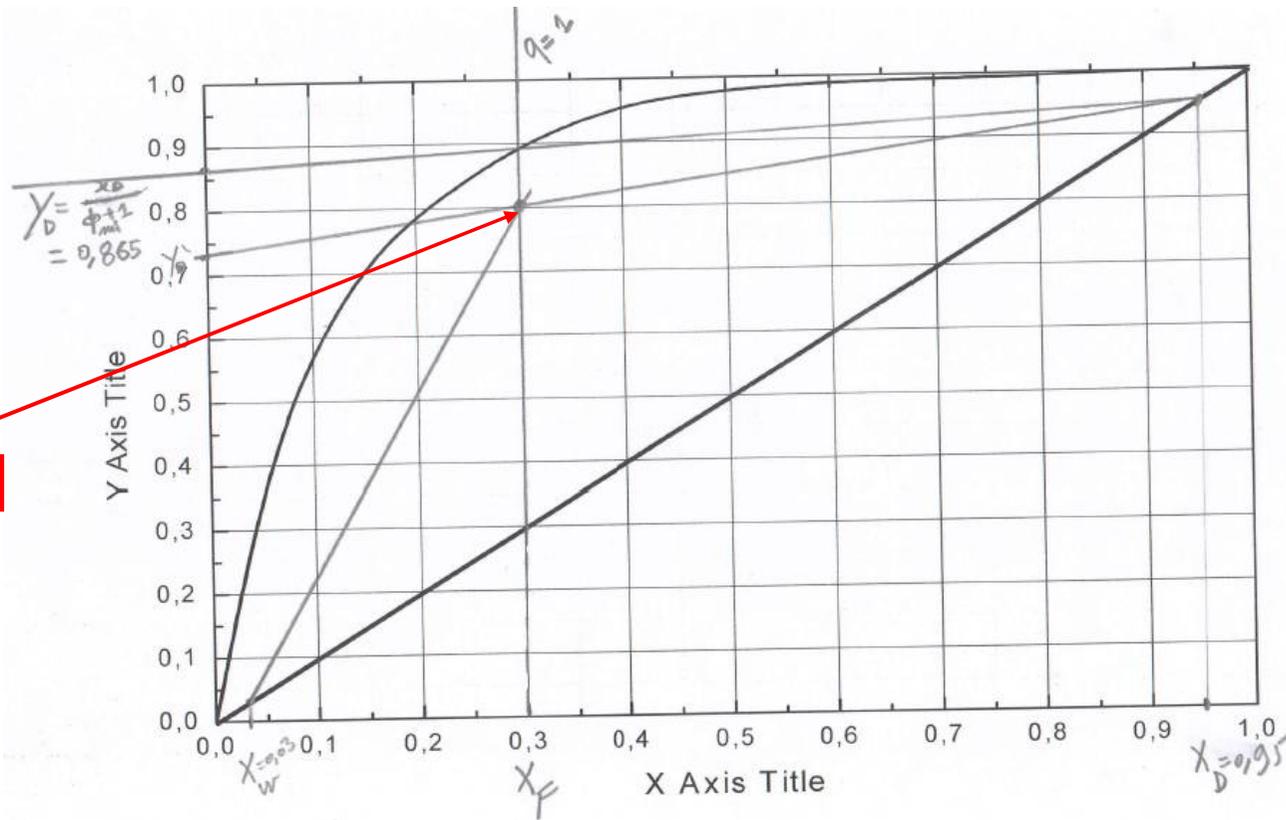
$$\phi = 3 * \phi_{min} \longrightarrow \phi = 3 * 0,098 = 0,294$$

La nouvelle valeur de Y_D . . .

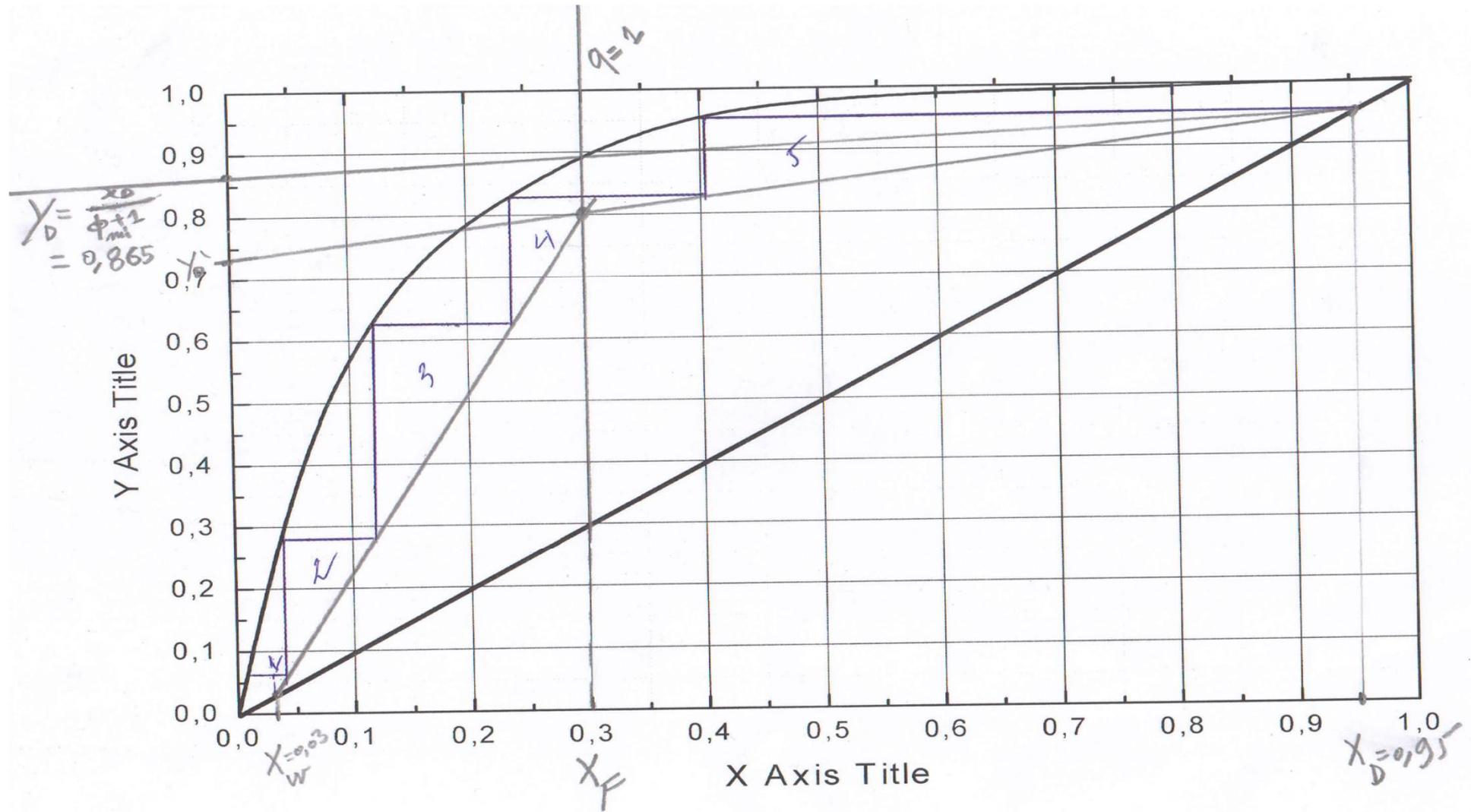
$$Y'_D = \frac{0,95}{0,294 + 1} = 0,734$$



- Les trois droites opératoires d'enrichissement, épaulement et alimentation passent par le même Le point d'intersection.



Point 'intersection



le nombre de plateau théorique dans ce cas égal à 5 (4 plateaux + le bouilleur)
 Université de Biskra

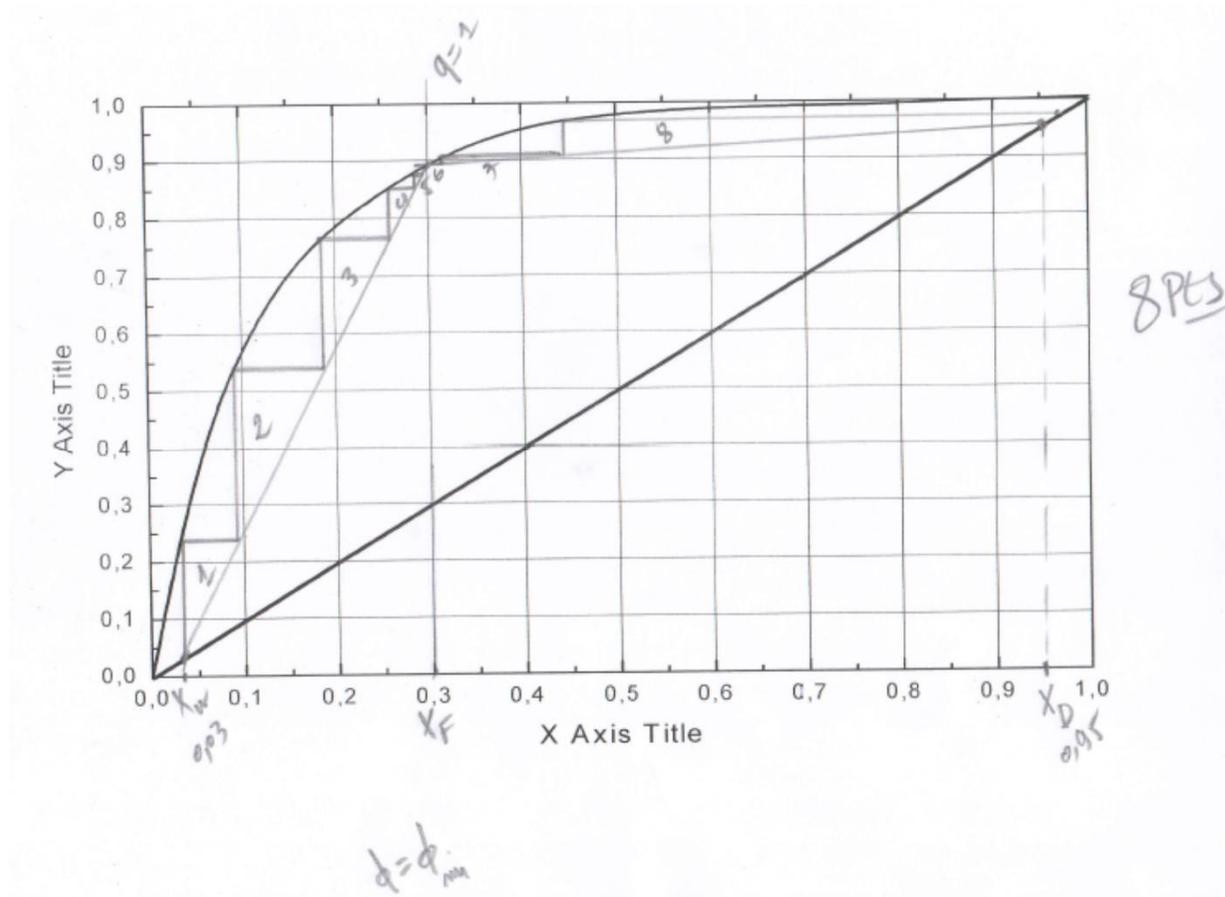
2- Déterminer le plateau d'alimentation?

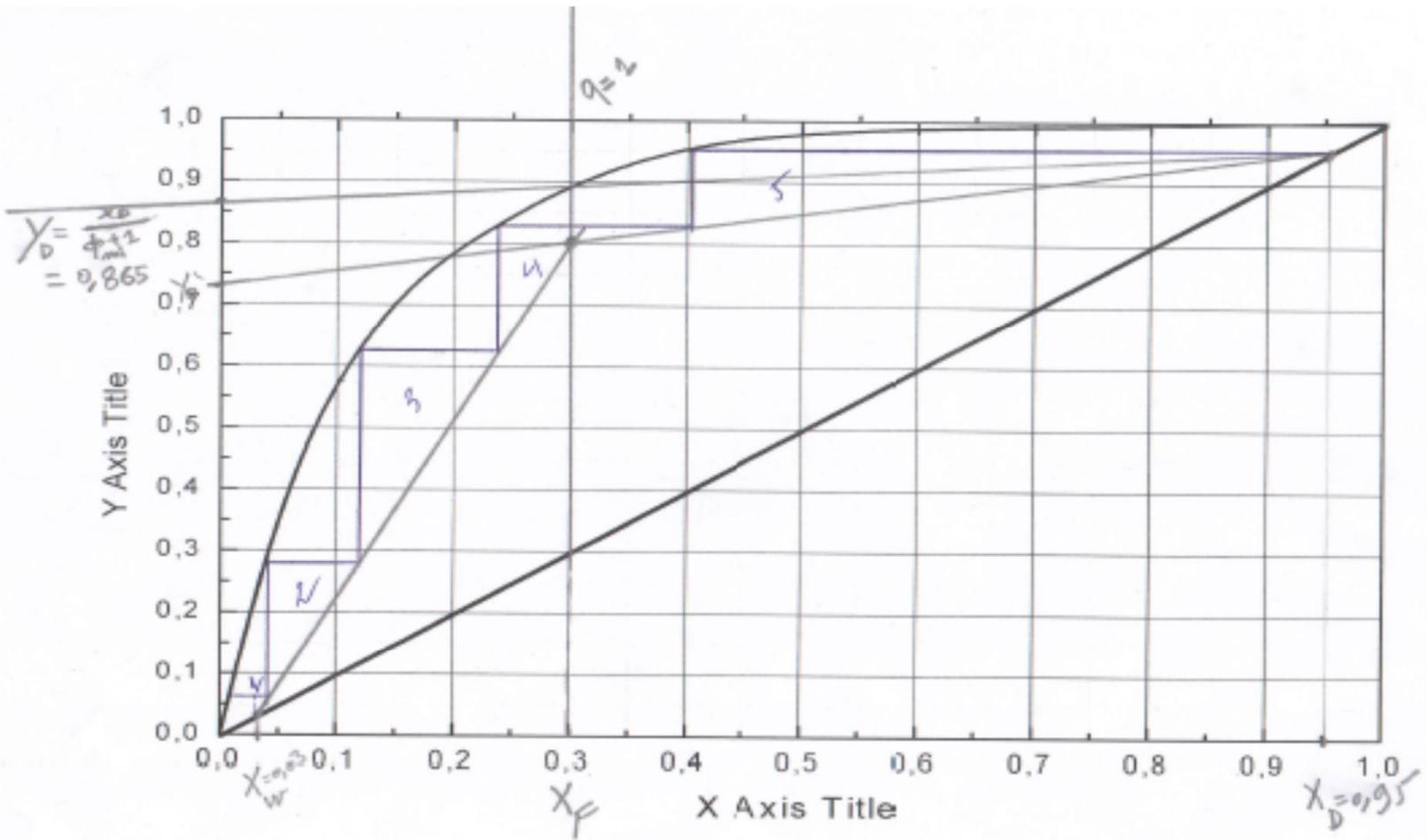
Le plateau d'alimentation est celui en intersection avec la droite opératoire d'alimentation



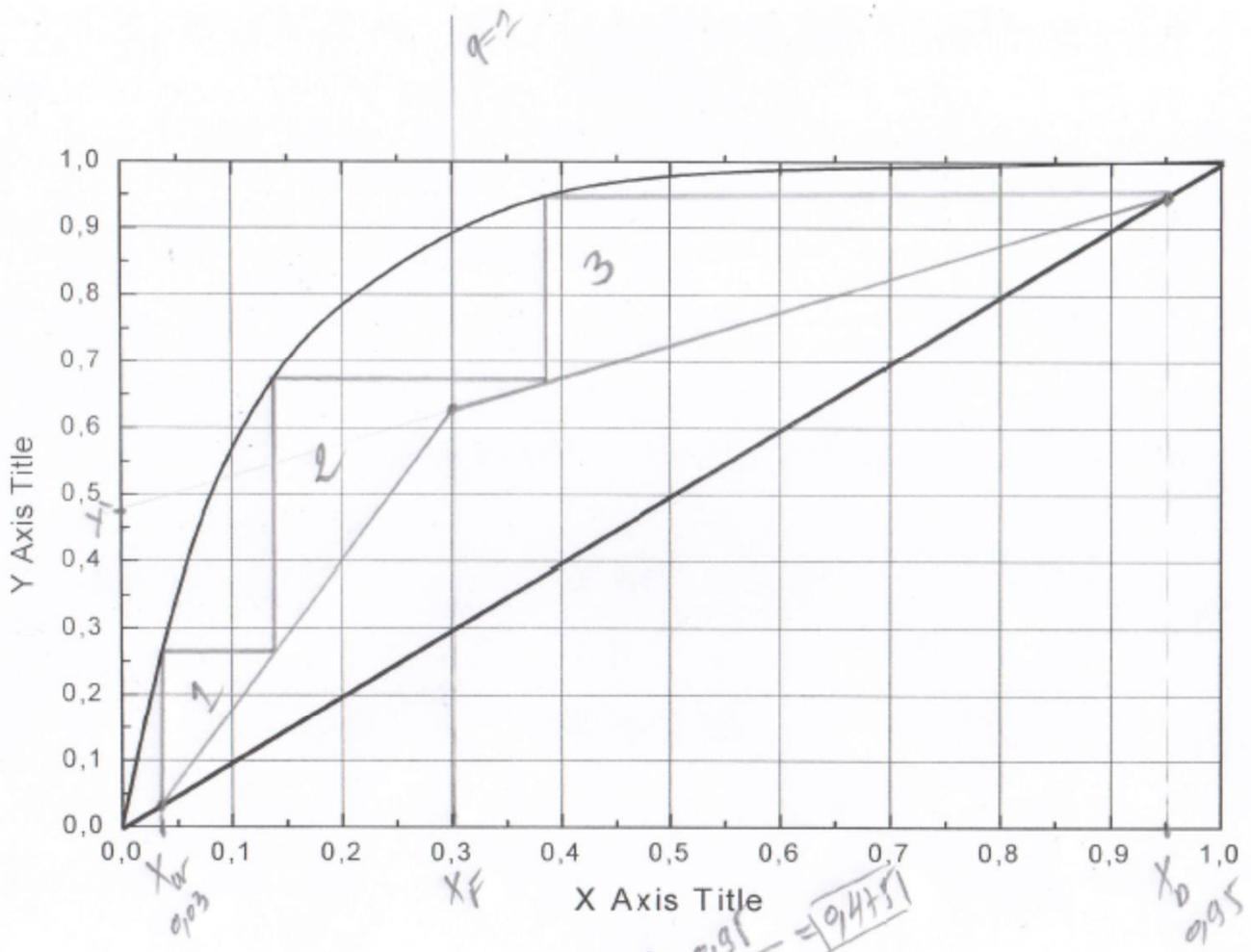
Plateau d'alimentation : N° 04

3- Tracer sur un diagramme l'évolution du nombre de plateau N pour les taux de reflux suivants : $\Phi_{min}, 1, 2, 3, 4$ et ∞ .

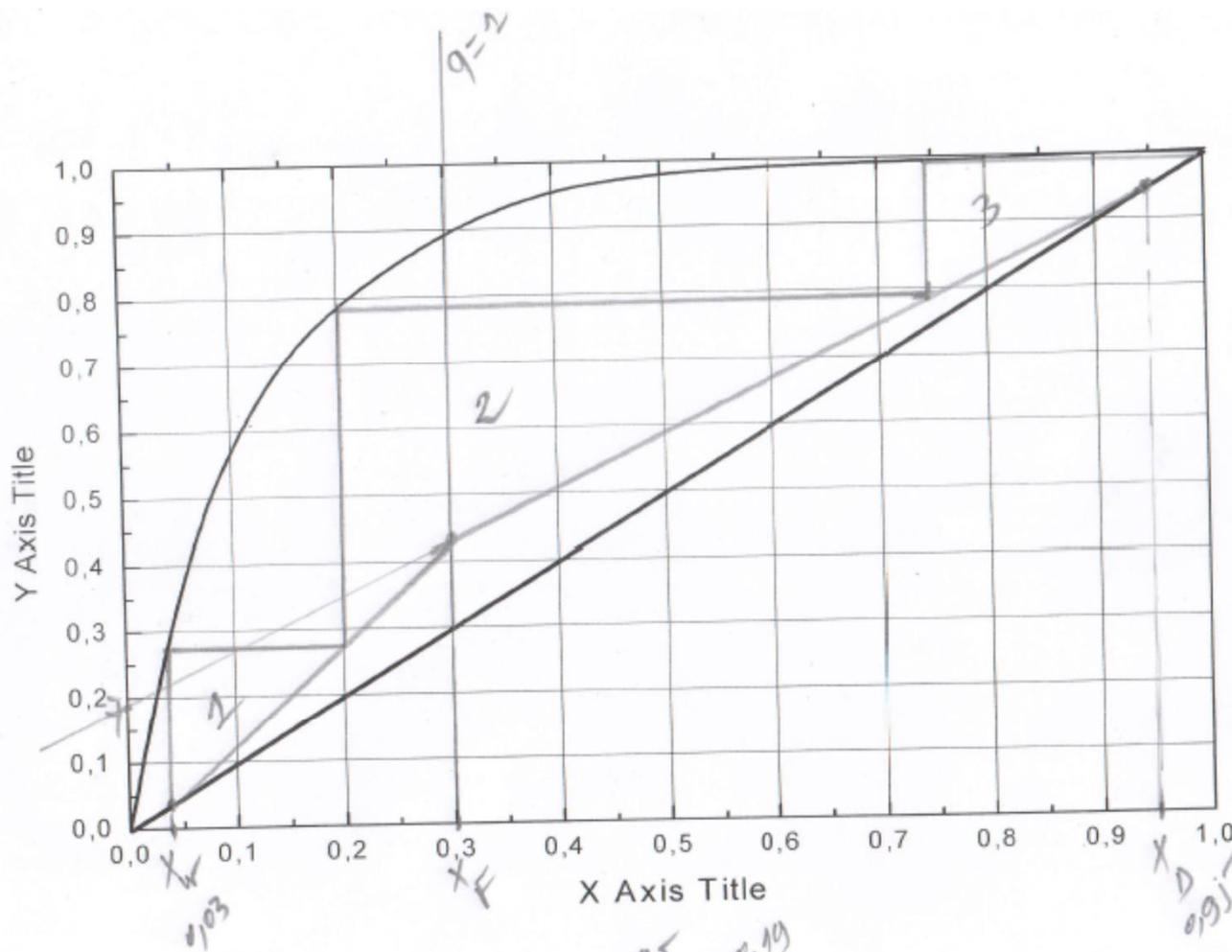




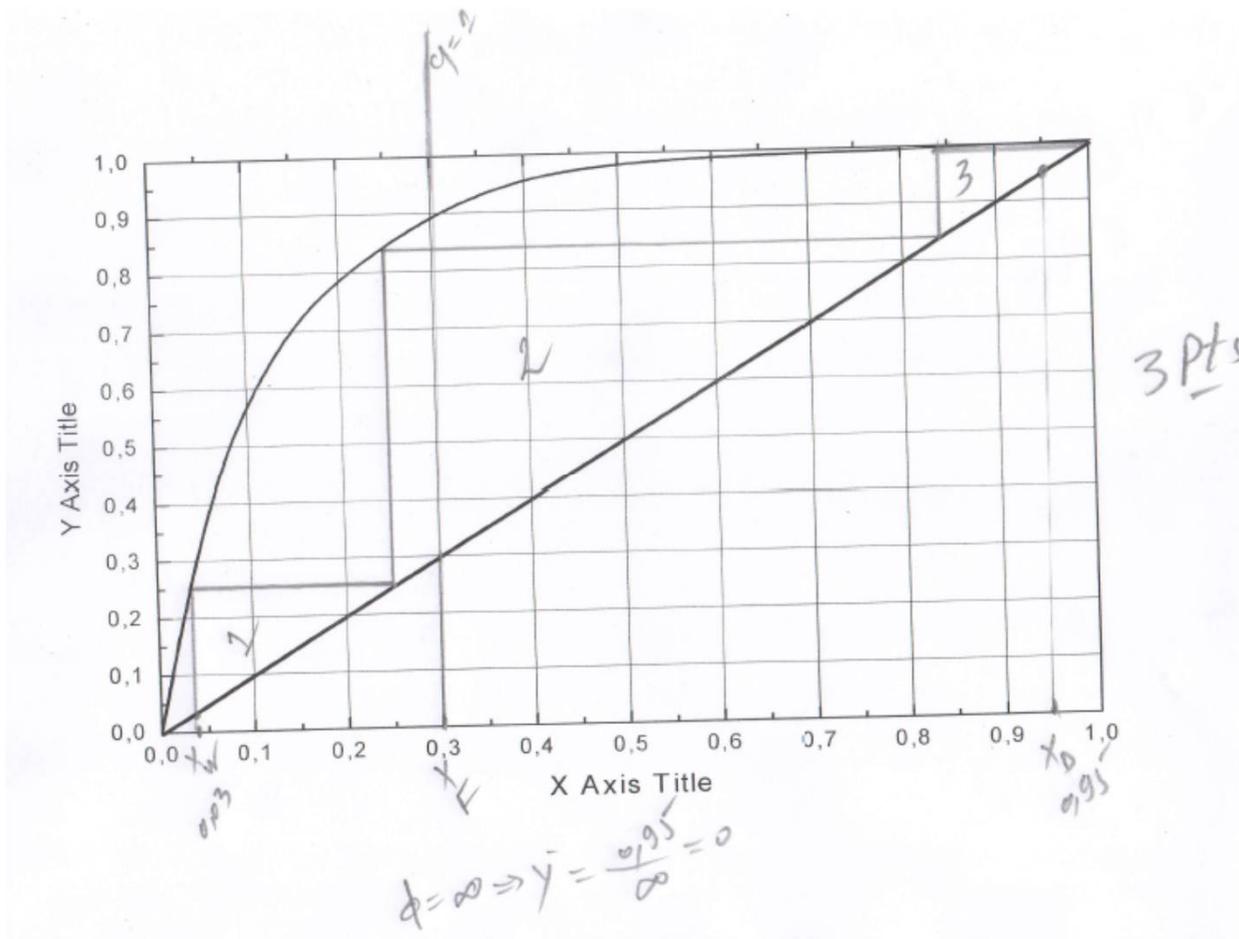
Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra



Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra

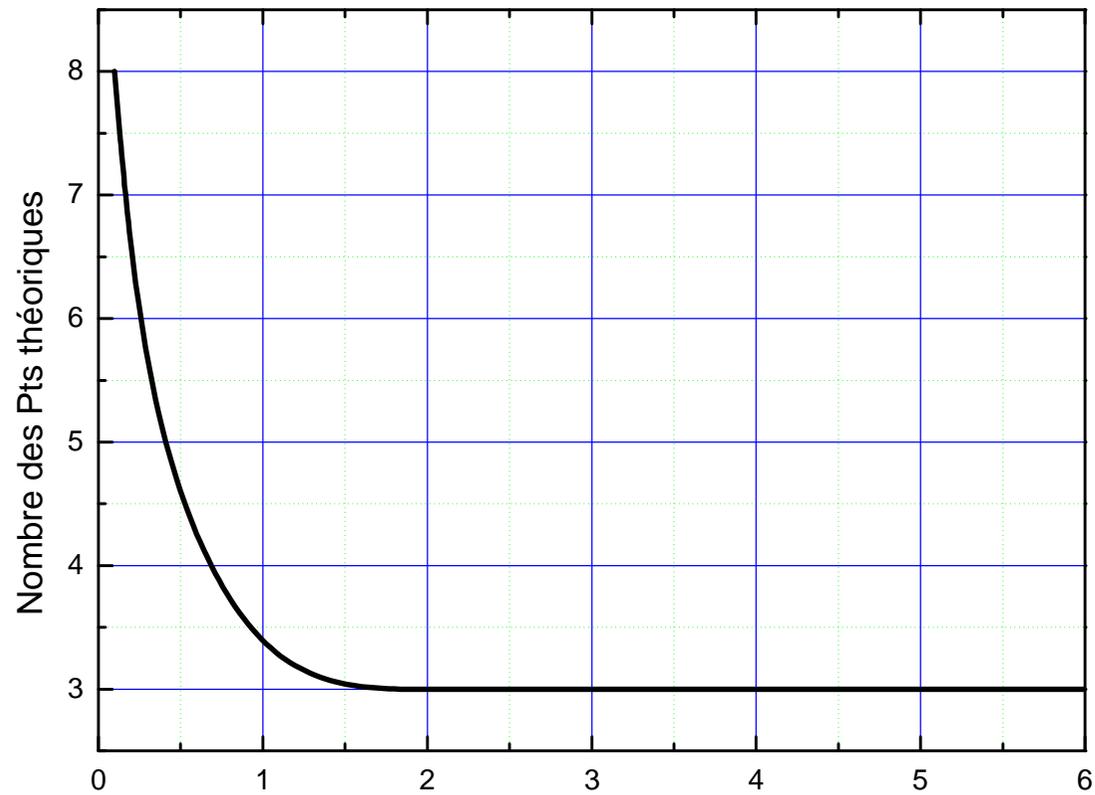


3pts



Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra

Φ	Φ_{min}	$3*\Phi_{min}$	1	2	3	4	∞
Nbre, Pts	08	05	03	03	03	03	03



Dr. SAKRI ADEL / Département de Chimie Industrielle/Université de Biskra

OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES

Exercice 2:

Un mélange de 50% de Benzène et 50% en poids de Toluène est traité dans une colonne de rectification avec un débit d'alimentation de 4 Kg/s. le distillat obtenue est de 97% de benzène et de résidu 98% de toluène, l'alimentation est à son point d'ébullition.

- Calculer les débits de distillat et de résidu.
- Si le taux de reflux est de 3.5 et $\alpha_{\text{moy}}=2.46$, déterminer le nombre de plateaux théorique par calcul et par méthode graphique de McCabe et Thiel, vous pouvez utiliser les relations suivantes:

$$y_n = \left(\frac{\Phi}{\Phi+1} \right) \cdot x_{n+1} + \frac{x_D}{\Phi+1}$$

$$y_m = \left(\frac{R'}{R'-w} \right) \cdot x_{m+1} - \frac{w \cdot x_w}{R'-w}$$

$$\left(\frac{1}{x_n} - 1 \right) = \alpha \cdot \left(\frac{1}{y_n} - 1 \right)$$

- Calculer le nombre de plateaux réels si l'efficacité des plateaux est de 60%.

- *Calculer les débits de distillat et de résidu.*

$$X_F=0,5 ; \dot{F} = 4 \text{ kg/s} ; X_D = 0,97 ; X_W = 0,02$$

D'après le bilan on a :

$$\begin{cases} \dot{F} = \dot{D} + \dot{W} \\ x_F \cdot \dot{F} = x_D \cdot \dot{D} + x_W \cdot \dot{W} \end{cases} \quad \longrightarrow \quad \dot{D} = \frac{\dot{F}(x_F - x_W)}{(x_D - x_W)}$$

En déduire $\dot{W} = \frac{\dot{F}(x_F - x_D)}{(x_W - x_D)}$ (Où bien $\dot{W} = \dot{F} - \dot{D}$)

Application numérique: $\dot{D} = 4 \cdot \frac{(0,5 - 0,02)}{(0,97 - 0,02)} = 2,02 \text{ kg/s}$

$$\dot{W} = 4 \cdot \frac{(0,5 - 0,97)}{(0,02 - 0,97)} = 1,978 \text{ kg/s} \approx 1,98 \text{ kg/s}$$

- Si le taux de reflux est de 3.5 et $\alpha_{moy}=2.46$,,

Déterminer le nombre de plateaux théorique par méthode graphique de McCabe et Thiel,(et par calcul)

Pour la méthode graphique McCabe et Thiel :

La courbe d'équilibre du système $\longrightarrow \left(\frac{1}{x_n} - 1\right) = \alpha \cdot \left(\frac{1}{y_n} - 1\right)$

La droite opératoire de la section d'enrichissement $\longrightarrow y_n = \left(\frac{\Phi}{\Phi+1}\right) \cdot x_{n+1} + \frac{x_D}{\Phi+1}$

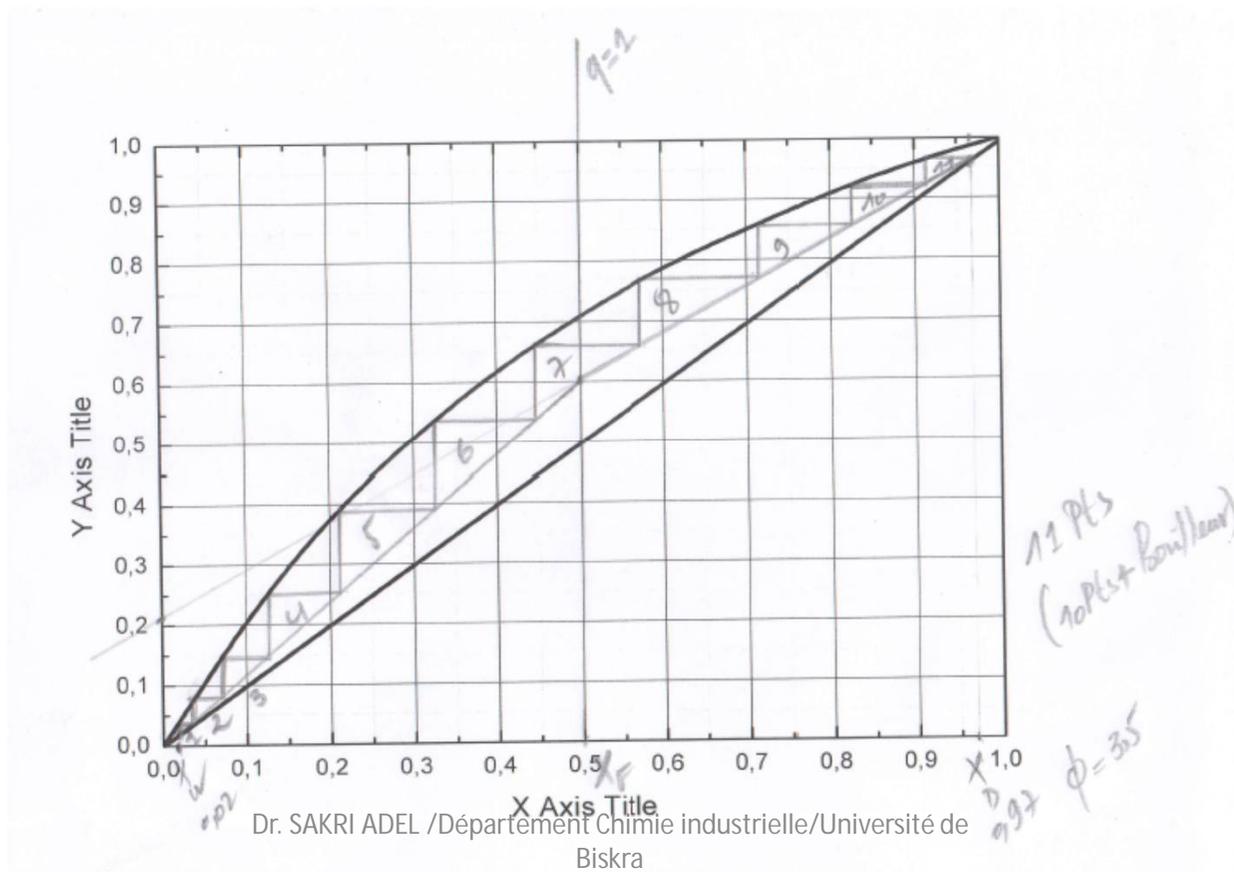
La droite opératoire de la section d'épuisement $\longrightarrow y_m = \left(\frac{R}{R-w}\right) \cdot x_{m+1} - \frac{w \cdot x_W}{R-w}$

... La courbe d'équilibre Y-X:

X proposé	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Y	0	0,21	0,38	0,51	0,62	0,71	0,79	0,85	0,91	0,96	1

La droite opératoire de la section d'enrichissement $\rightarrow Y = 0,78 \cdot X + 0,215$

L'alimentation est à son point d'ébullition. $\rightarrow q = 1$

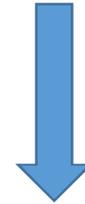


Pour la méthode numérique par calcul (Fensck) :

$$\left(\frac{1}{X_W} - 1\right) = \alpha^n \cdot \left(\frac{1}{X_D} - 1\right)$$



$$\alpha^n = \frac{\left(\frac{1}{X_W} - 1\right)}{\left(\frac{1}{X_D} - 1\right)} \Rightarrow n = \frac{1}{\ln \alpha} \cdot \ln \left(\frac{\left(\frac{1}{X_W} - 1\right)}{\left(\frac{1}{X_D} - 1\right)} \right)$$



=8,17 ≈ 9 Pts

- Calculer le nombre de plateaux réels si l'efficacité des plateaux est de 60%.

$$\text{Efficacité } \eta = \frac{\text{Nombre des Pts théoriques}}{\text{Nombre des Pts réels}} \Rightarrow \text{Nombre des Pts réels} = \frac{\text{Nombre des Pts théoriques}}{\text{Efficacité } \eta}$$



$$\text{Nombre des Pts réels} = \frac{11}{0,6} = 18,33 \approx 19 \text{ Pts}$$

OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES

Exercice 3: Un mélange à 60% en moles en acide l'aurique (composant 1) et 40% en mole d'acide myristique (composant 2) est séparé par distillation à $7.5 \text{ mmHg} = 1000 \text{ Pa}$, pour produire un distillat et un résidu à 90% et 15% en moles d'acide l'aurique. L'alimentation est à son point d'ébullition à 1000 Pa . Les pressions de vapeur des composants pur sont données par les équations suivantes:

$$\ln P_1^o = 20,8375 - \frac{2210}{T} - \frac{1715400}{T^2} \quad \ln P_2^o = 19,9356 - \frac{1467}{T} - \frac{2072300}{T^2}$$

- P en Pa , T en K
- On supposant que la loi de Raoult est valable :
 - a) Tracer le diagramme des isobares du système.
 - b) Tracer la courbe (Liquide-Vapeur).
 - c) Déterminer le nombre plateaux théorique minimal pour les deux cas.
 - d) Déterminer le taux de reflux minimal.

a) Tracer le diagramme des isobares du système.

$$T = f(x, y) ? , , ,$$

$$1 - T_{eb}^1 ; T_{eb}^2 ?$$

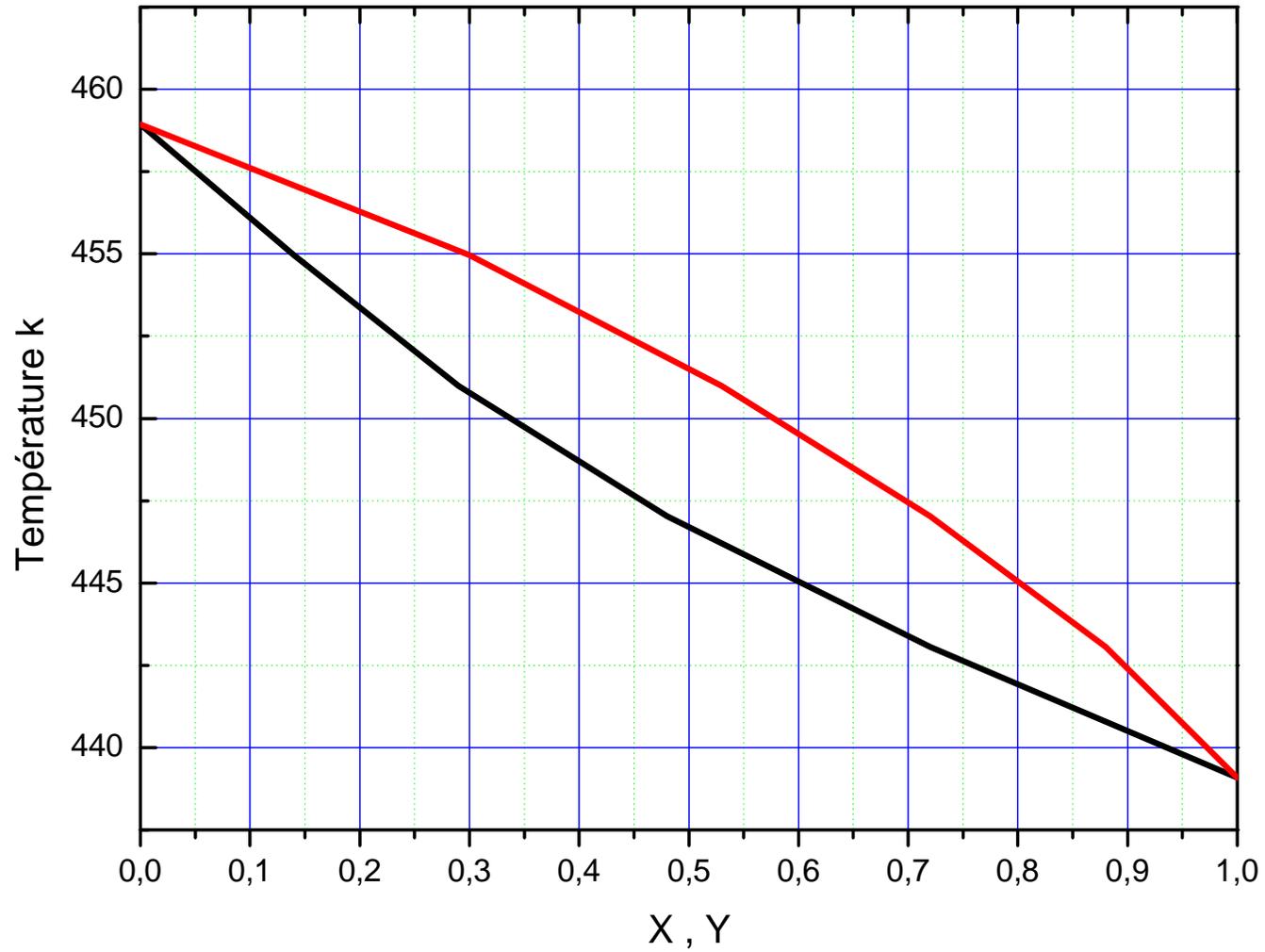
$$\begin{array}{l}
 * \text{ Pour } T_{eb}^1 \Rightarrow \text{ on suppose } X_1 = 1 \text{ et } X_2 = 0 \\
 * \text{ Pour } T_{eb}^2 \Rightarrow \text{ on suppose } X_2 = 1 \text{ et } X_1 = 0
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{cases}
 \ln P_1^0 = \ln P_T = \ln 1000 = 20,8375 - \frac{2210}{T} - \frac{1715400}{T^2} \\
 \ln P_2^0 = \ln P_T = \ln 1000 = 19,9356 - \frac{1467}{T} - \frac{2072300}{T^2}
 \end{cases}$$

$$\Rightarrow
 \begin{cases}
 T_{eb}^1 \approx 439,09 \text{ k} \\
 T_{eb}^2 \approx 458,93 \text{ k}
 \end{cases}
 \Rightarrow (T_{eb}^2 - T_{eb}^1)/5 \Rightarrow 5 \text{ points pour présenter les courbes}$$



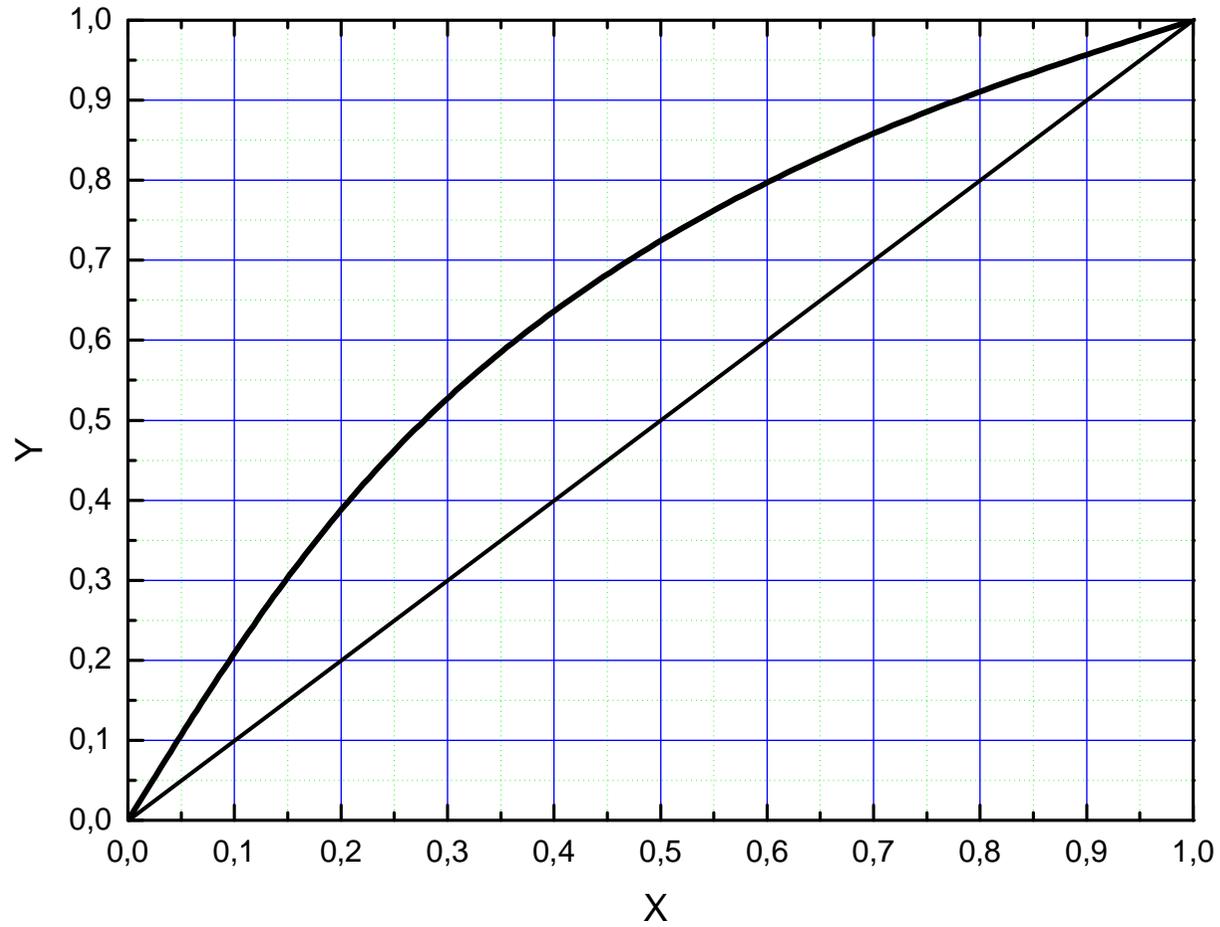
Il faut déterminer les valeurs de X, Y

<i>T</i>	<i>P1°</i>	<i>P2°</i>	$X1=(PT-P2°)/(P1°-P2°)$	$Y1=P1°·X1/PT$
439,09	999,31	345,90	1,00	1,00
443,06	1225,12	431,70	0,72	0,88
447,03	1494,45	535,77	0,48	0,72
450,99	1814,20	661,34	0,29	0,53
454,96	2192,09	812,07	0,14	0,30
458,93	2636,74	992,11	0,00	0,00



Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra

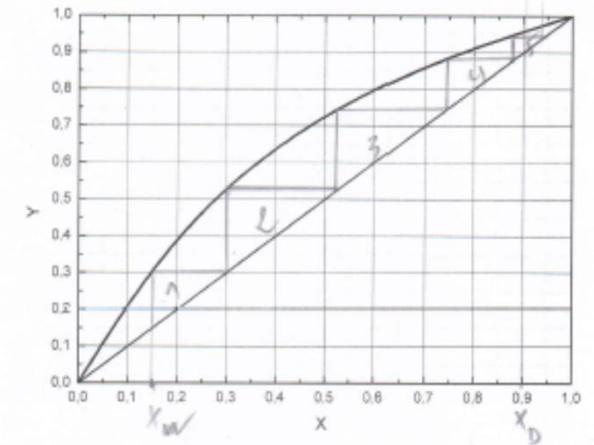
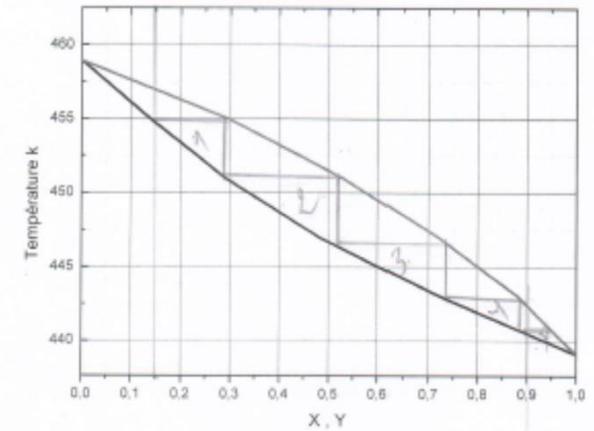
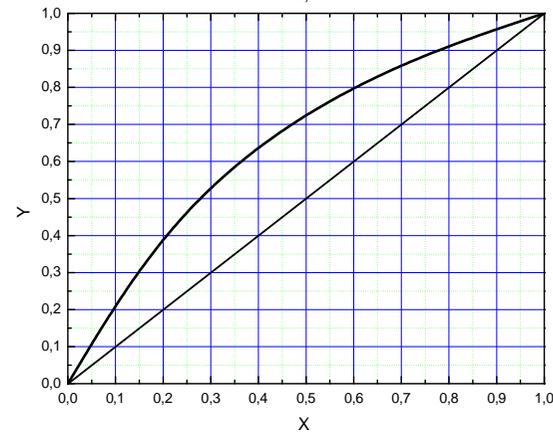
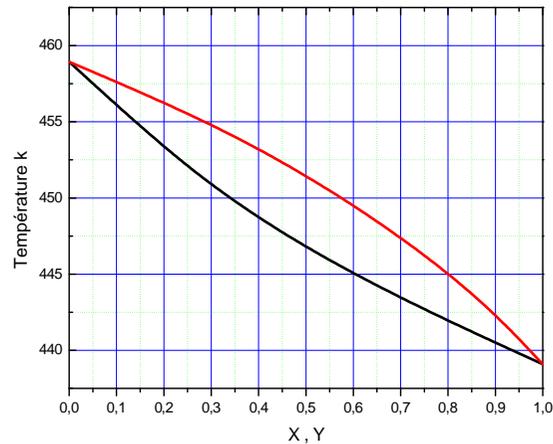
b) Tracer la courbe (Liquide-Vapeur).



c) Déterminer le nombre plateaux théorique minimal pour les deux cas

le nombre plateaux théorique minimal

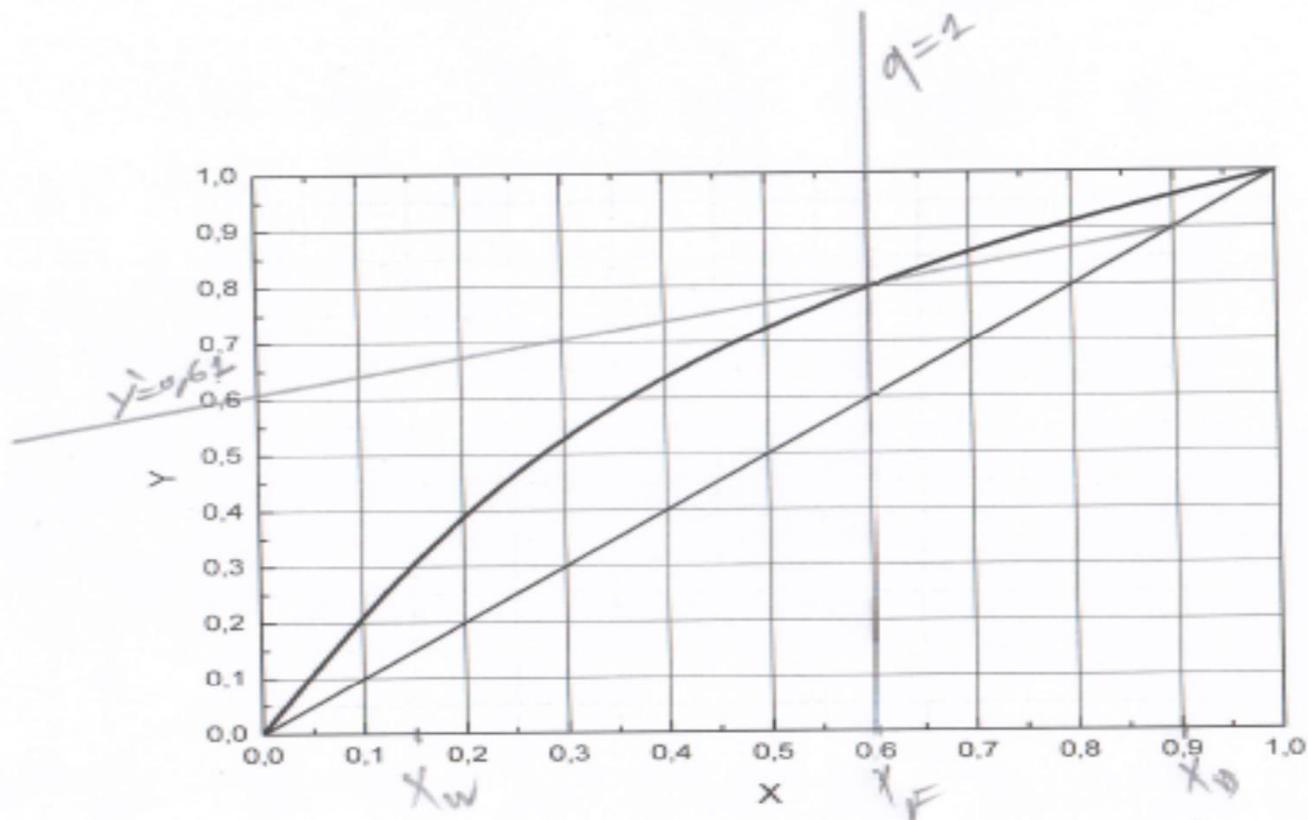
Taux de reflux maximal



Nombre de Pts théoriques ~ 05 plateaux

Biskra

d) Déterminer le taux de reflux minimal.



$$y = 0,62 = \frac{x_D}{\phi_{min} + 1} \Rightarrow \phi_{min} = \frac{x_D}{y} - 1 = \frac{0,9}{0,62} - 1 = 0,4375$$

$$\phi_{min} = 0,4375$$

Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra

OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES

Exercice 4:

Utiliser le tableau suivant avec $P_T=10\text{KN/m}_2$

T°C	X_A	Y_A	α
387.1	1	1	1.298
387.9	0.837	0.87	1.309
388.7	0.691	0.746	1.315
389.6	0.555	0.622	1.317
390.3	0.436	0.506	1.324
391.1	0.319	0.383	1.324
391.9	0.200	0.248	1.319
392.7	0.085	0.109	1.325
393.3	0.000	0.000	1.330

-Le débit d'alimentation est de 240kmol/s d'un mélange binaire 30% de A et 70% de B (en moles), la concentration de B dans le bouilleur est de 95%.

-Déterminer graphiquement la composition du distillat si on fait la distillation dans une colonne de 11 plateaux étages (y compris le bouilleur) fonctionnant avec un taux de reflux infini.

-Quelles sont les débits sortants vers le condenseur et vers le bouilleur.

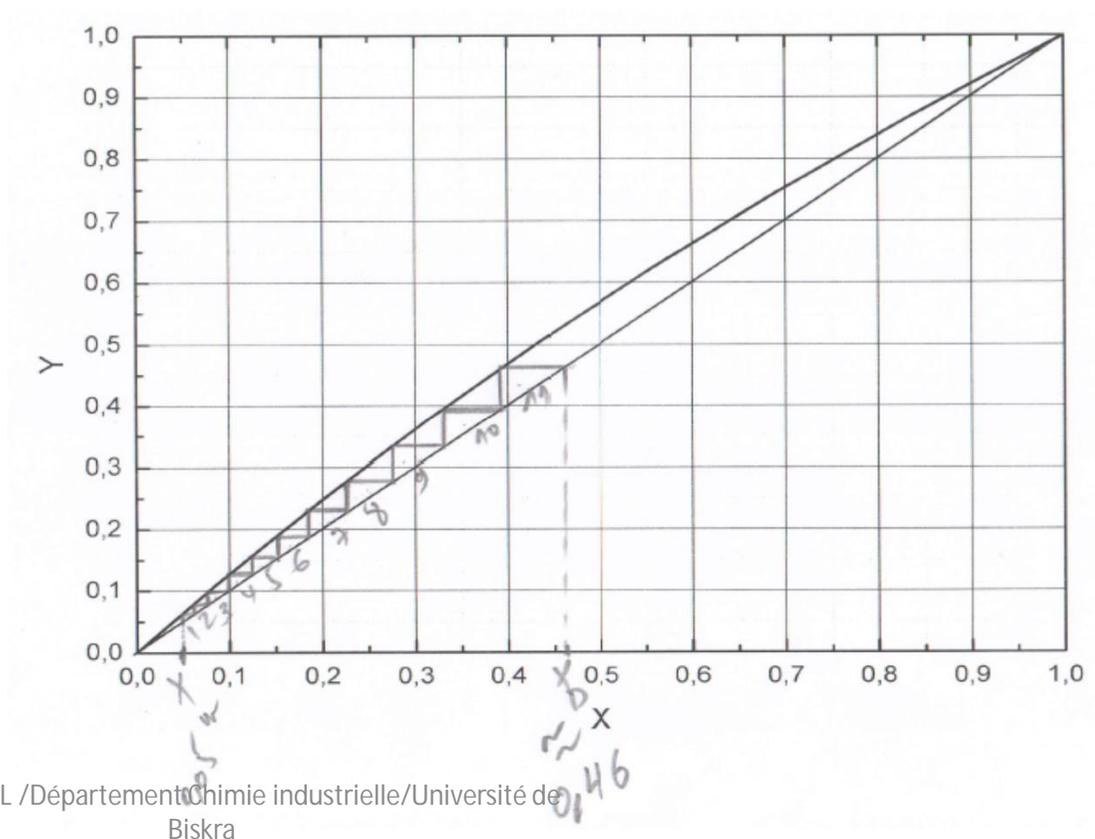
-Faites les mêmes calculs avec le diagramme des isobares

-Déterminer graphiquement la composition du distillat si on fait la distillation dans une colonne de 11 plateaux étages (y compris le bouilleur) fonctionnant avec un taux de reflux infini.

La concentration de B dans le bouilleur est de 95% $\longrightarrow X_W = 0,05$

fonctionnant avec un taux de reflux infini

$$X_D \approx 0,46$$



-Quelles sont les débits sortants vert le condenseur et vers le bouilleur.

D'après le bilan on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{F} = \dot{D} + \dot{W} \\ x_F \cdot \dot{F} = x_D \cdot \dot{D} + x_w \cdot \dot{W} \end{array} \right. \quad \longrightarrow \quad \dot{D} = \frac{\dot{F}(x_F - x_w)}{(x_D - x_w)}$$

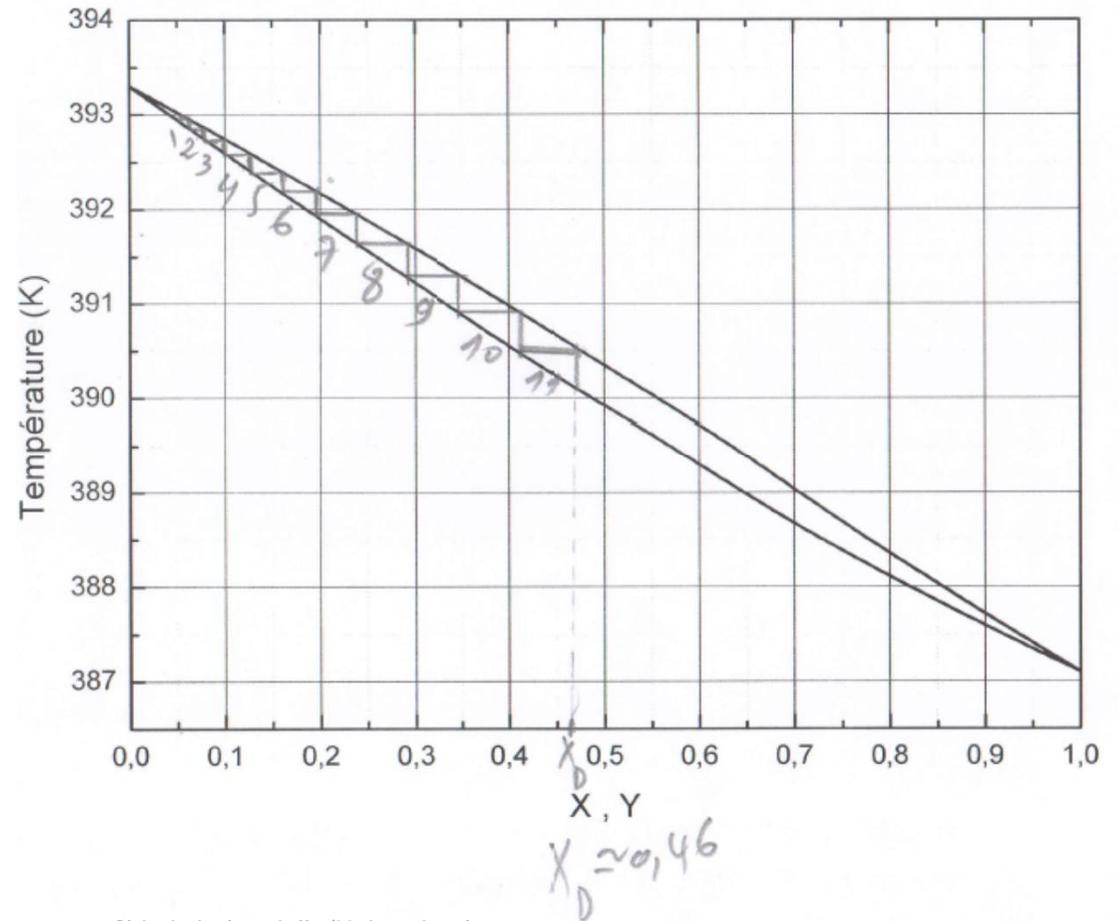
En déduire $\dot{W} = \frac{\dot{F}(x_F - x_D)}{(x_w - x_D)}$ (Où bien $\dot{W} = F - \dot{D}$)

Application numérique:

$$\dot{D} = 240 * \frac{(0,3-0,05)}{(0,46-0,05)} = 146,34 \frac{\text{kmole}}{\text{s}} \Rightarrow \dot{W} = 240 - 146,34 = 93,66 \text{ kmole/s}$$

-Faites les mêmes calculs avec le diagramme des isobares ?

$$X_D \approx 0,46$$



OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES 03

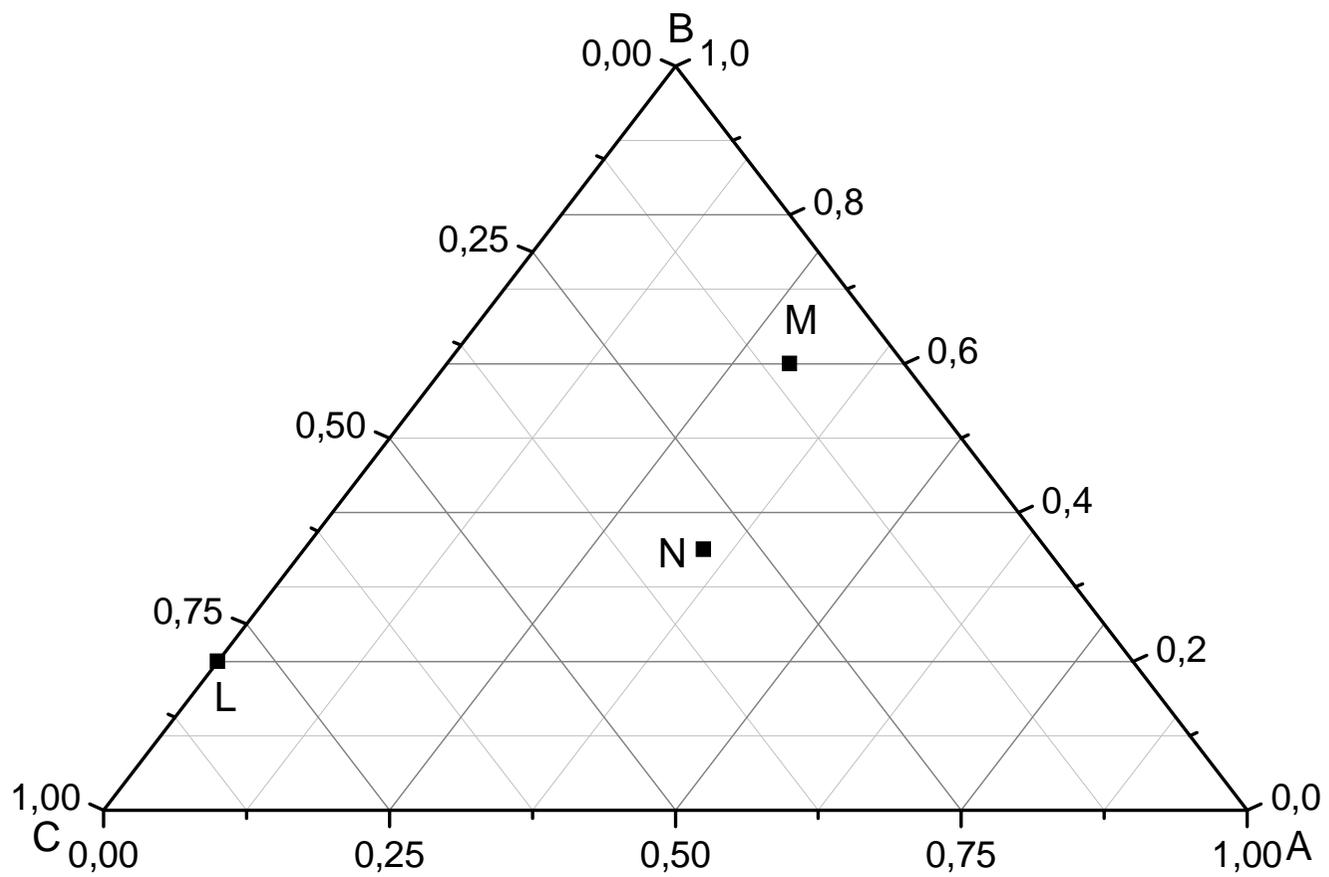
Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de
Biskra

OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES

Exercice 1:

Placer les points suivants qui représentent les mélanges miscibles dans un diagramme ternaire :

	A%	B%	C%
M	30	60	10
N	35	35	30
L	0	20	80



Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra

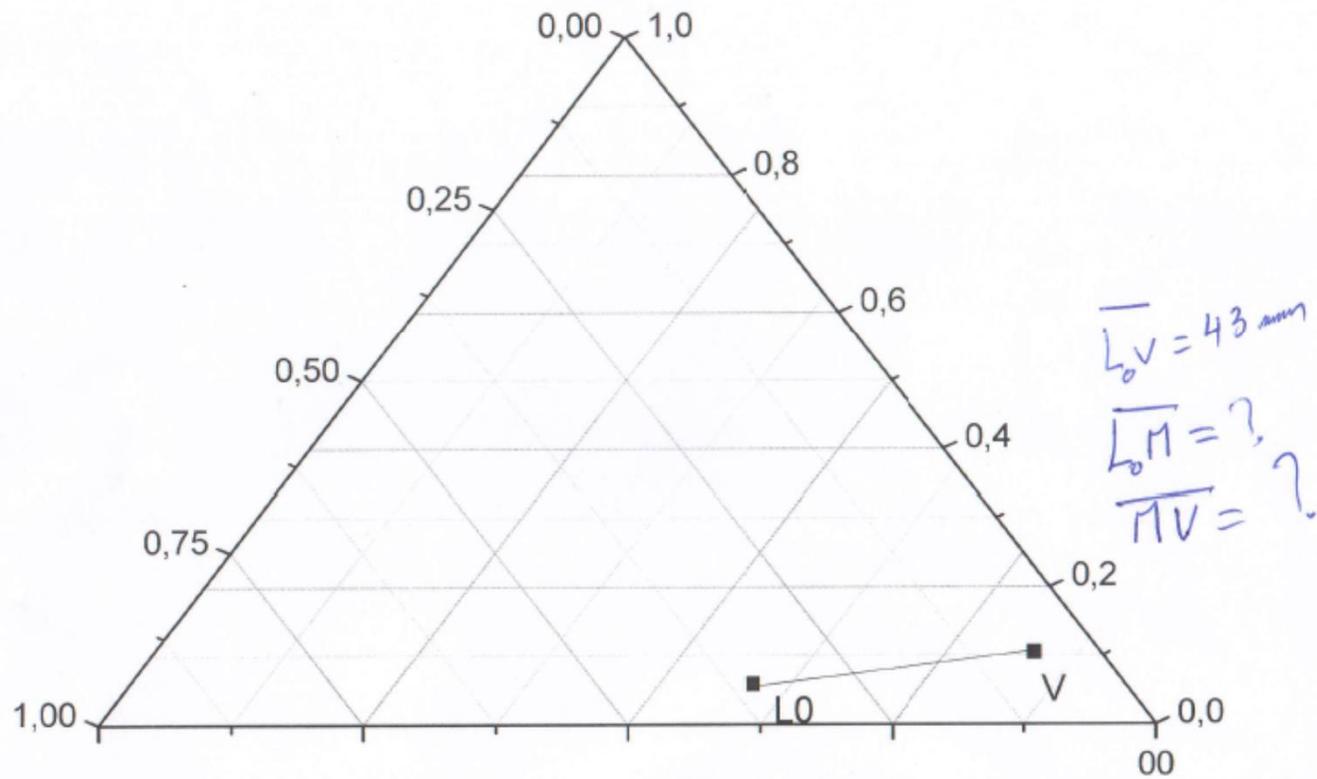
OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES

Exercice 2:

Déterminer graphiquement la composition d'un mélange M, préparer à partir de 45 kg d'une solution L0 et 160 kg d'une solution V, dans les cas suivants :

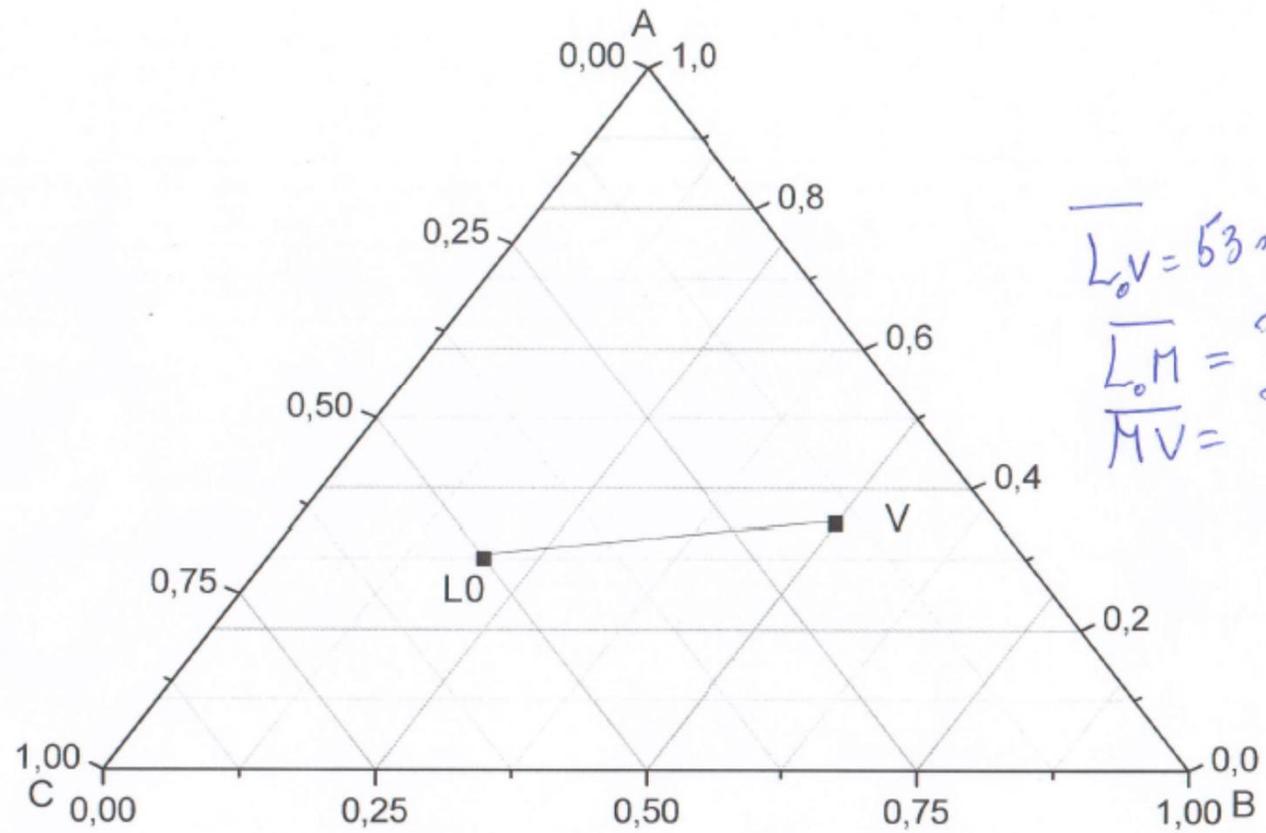
	S%	A%	B%
L0	00	40	60
V	60	25	15
L0	20	30	50
V	50	35	15
L0	27	44	29
V	38	35	27

cas 01

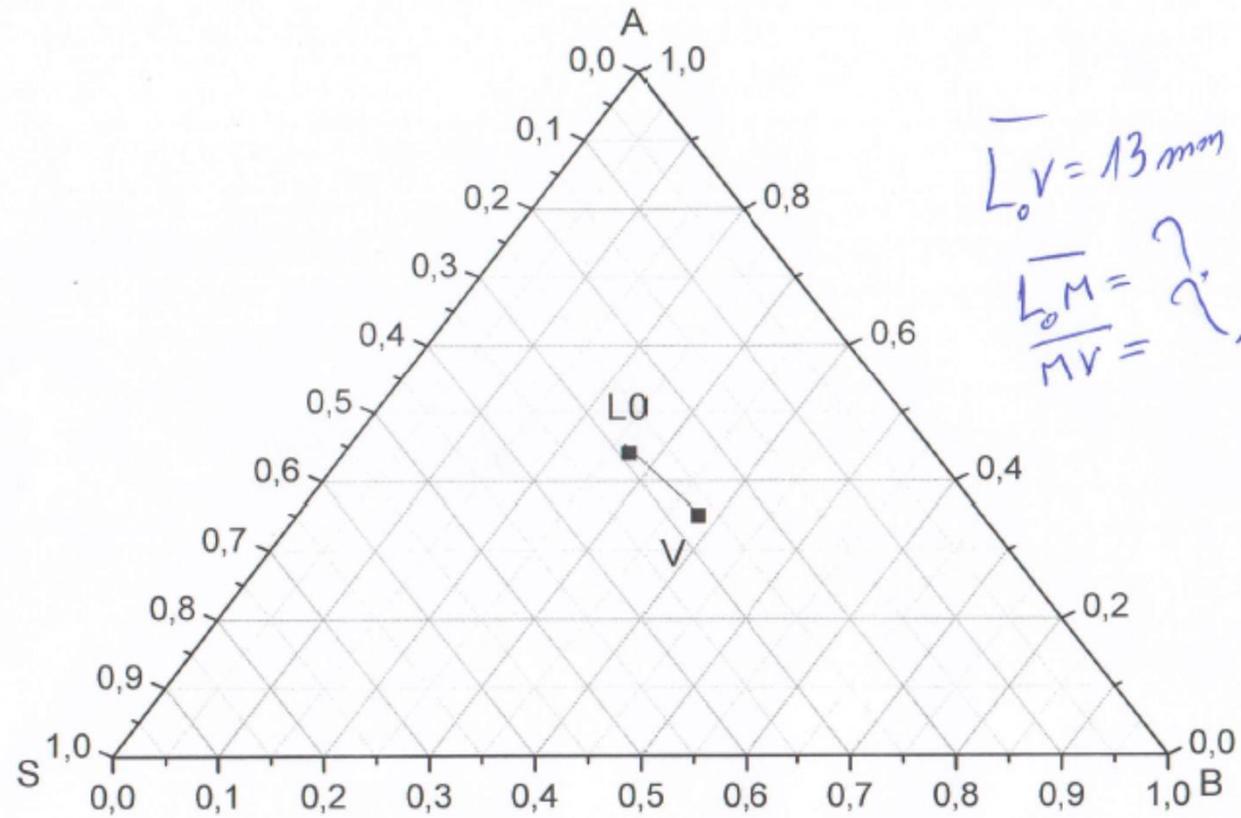


Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra

Cas 02



Cas 03

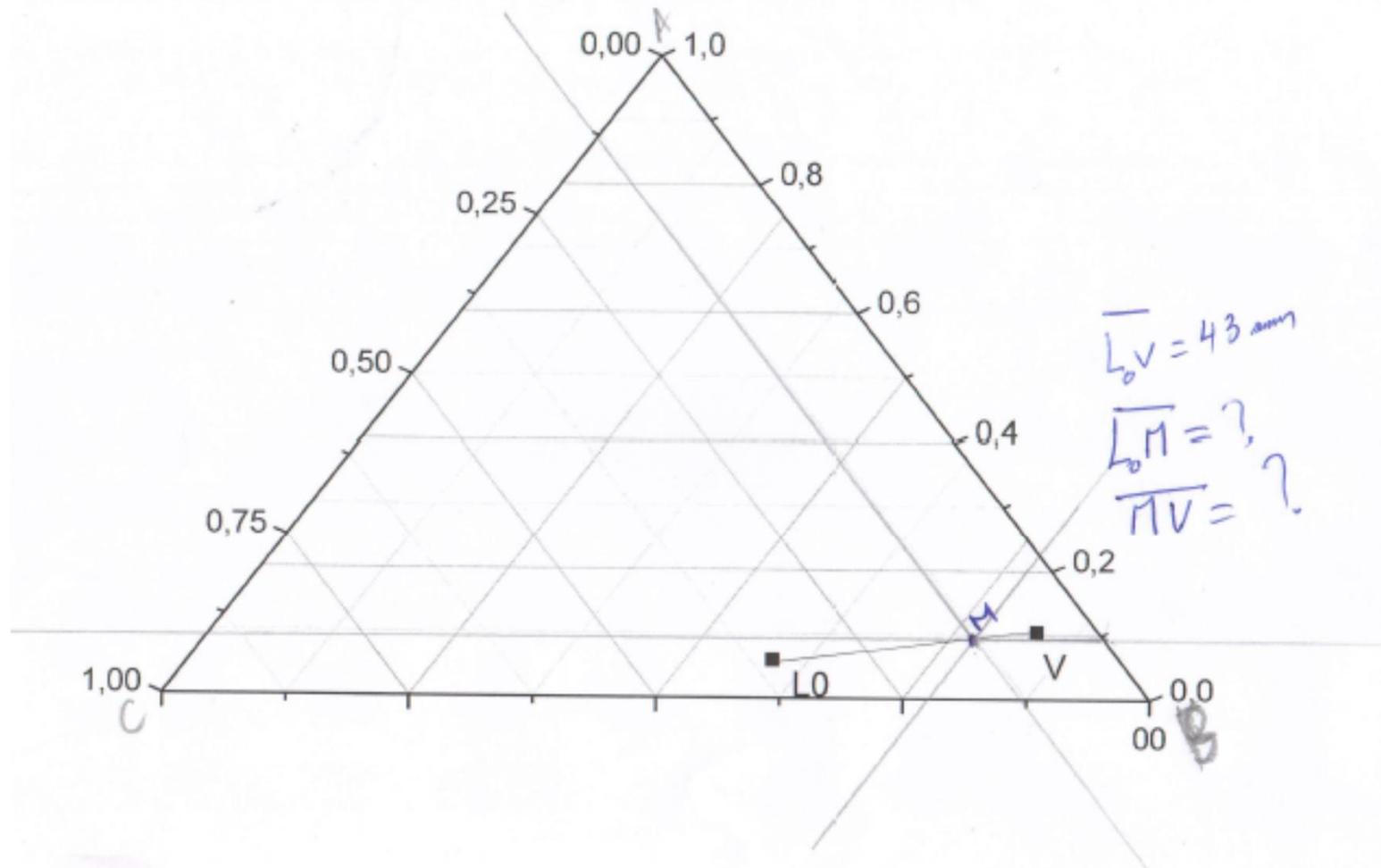


mélange M = 45 kg d'une solution L0 + 160 kg d'une solution V = 205 kg

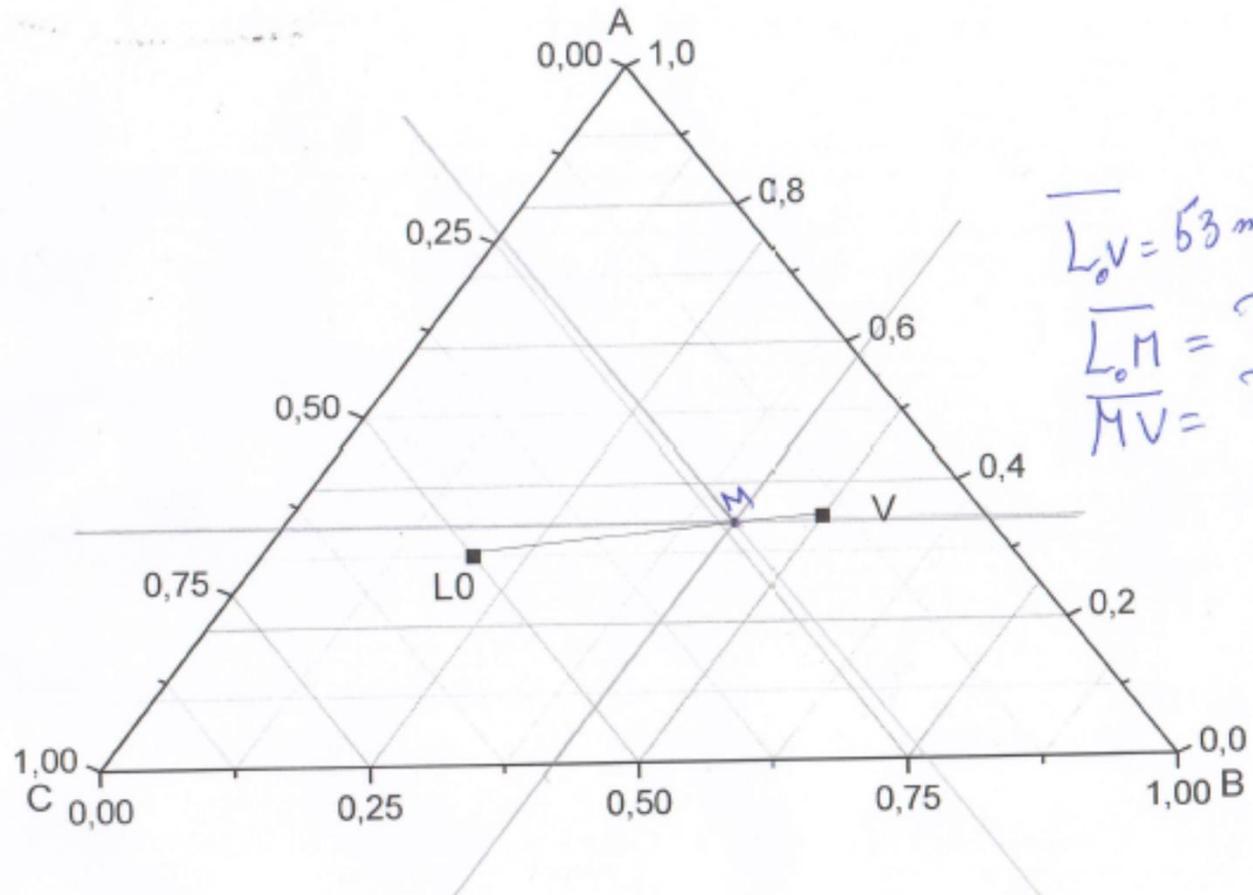

$$\left. \begin{array}{l} L0 \% = 45/205 = 21,95\% \\ V \% = 160/205 = 78,05\% \end{array} \right\}$$

	Cas 01	Cas 02	Cas 03
\overline{LOV}	43 mm	53 mm	13 mm
\overline{LOM}	33,56 mm	41,37 mm	10,15 mm
\overline{MV}	9,43 mm	11,63 mm	2,85 mm

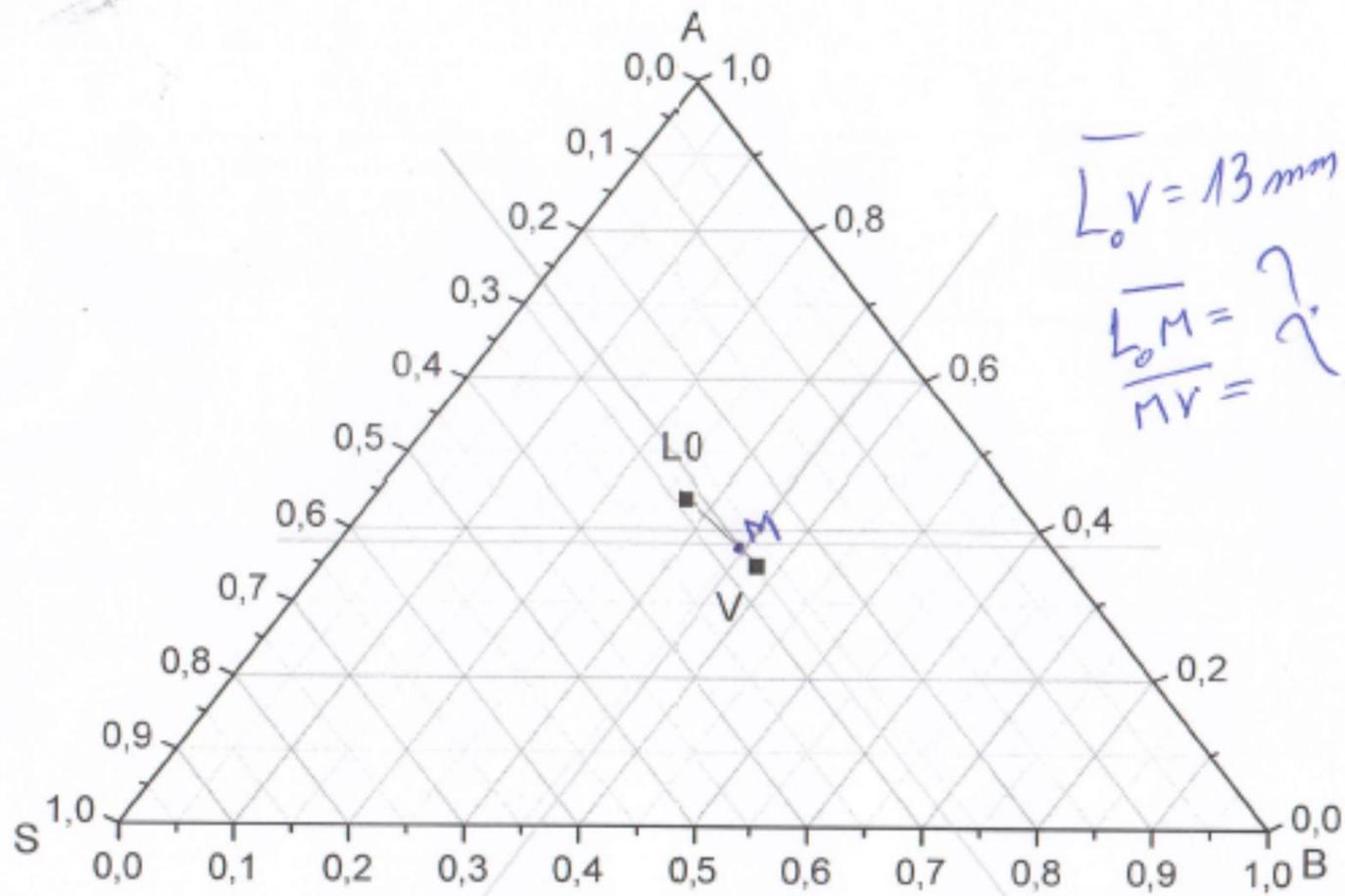
cas 01



Cas 02



Cas 03

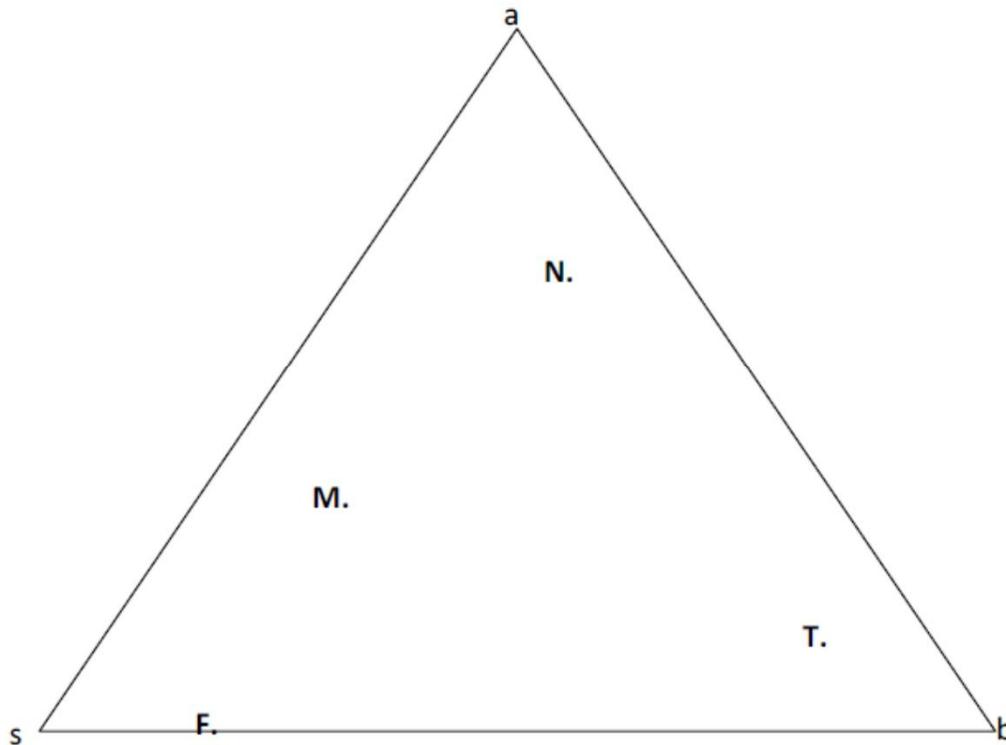


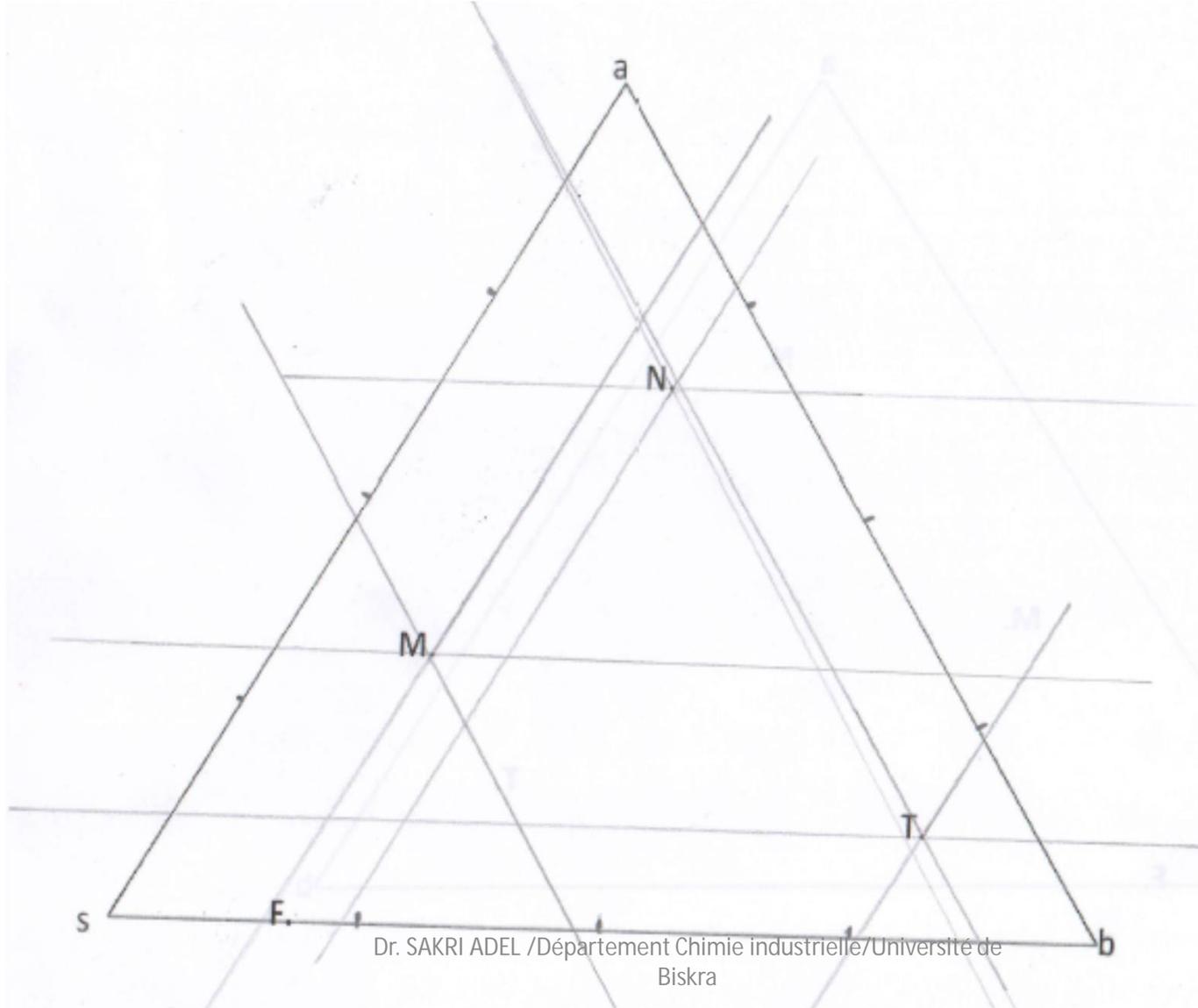
	A	B	S ou C
Cas 01	10%	78%	12%
Cas 02	34%	42%	24%
Cas 03	37%	37%	26%

OPERATIONS UNITAIRES TRAVAUX DIRIGES

Exercice 3:

Déterminer la composition des mélanges M,N,T,F de deux manières différentes.





Dr. SAKRI ADEL /Département Chimie industrielle/Université de Biskra

	A%	B%	C%
<i>M</i>	31,8%	15,6%	52,6%
<i>N</i>	66,25%	24%	9,75%
<i>T</i>	12,5%	77,5%	10%
<i>F</i>	0%	19%	81%