

Chapitre 2

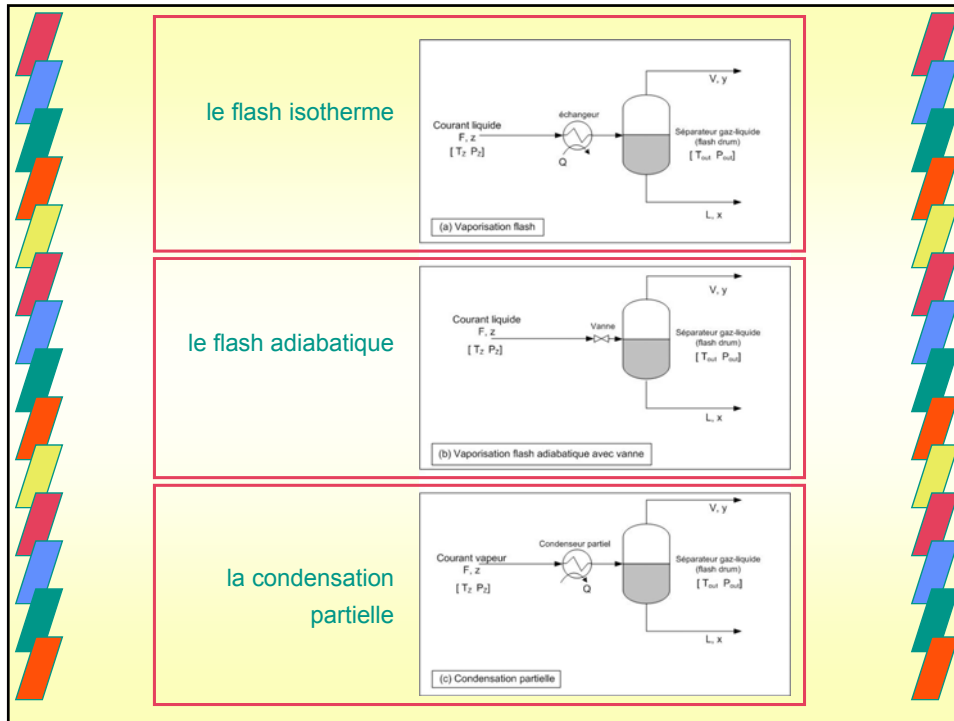
Distillation flash Points de bulle et de rosée de systèmes multicomposants

2.1 Vaporisation flash et condensation partielle

- La distillation flash est l'opération de distillation la plus simple qui consiste à amener le mélange à traiter sous certaines conditions de température et de pression telles que l'on obtienne un équilibre liquide-vapeur.

- L'appareil utilisé pour faire le flash est équivalent à **un étage théorique**. La vaporisation flash est très utilisée, tout particulièrement comme prétraitement des courants avant de les introduire dans les colonnes à distiller

- On distingue trois modes de fonctionnement de la distillation flash :
 - le flash isotherme,
 - le flash adiabatique
 - la condensation partielle.



2.2 Équations pour un flash binaire

Bilans matière $F = L + V$ $zF = xL + yV$

$$z = x \frac{L}{F} + y \frac{V}{F} = x \frac{F - V}{F} + y \frac{V}{F} = x(1 - \psi) + y\psi$$

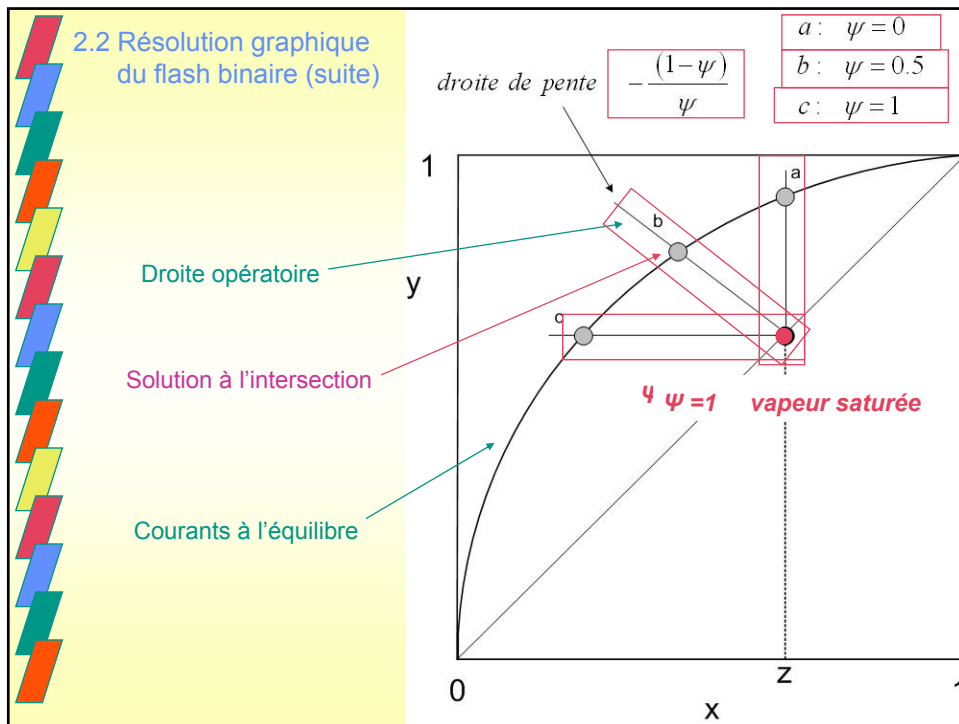
$$y = \frac{(1 - \psi)}{\psi} x + \frac{z}{\psi} \quad [2.3] \text{ droite opératoire}$$

Équilibre LV $K = \frac{y}{x} \quad [2.4] \text{ courants à l'équilibre}$

Résoudre le flash = Résoudre 2.3 et 2.4

$x=z$ et $y=z$ est un point particulier de la droite opératoire

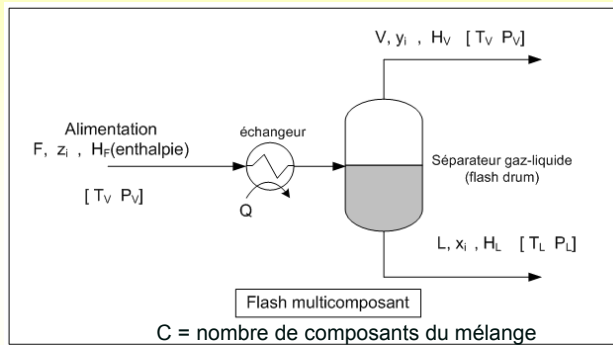
$$[2.3] \Rightarrow z = -\frac{(1 - \psi)}{\psi} z + \frac{z}{\psi} \Leftrightarrow \cancel{\psi} z = -(\cancel{1} - \cancel{\psi}) z + \cancel{z}$$



En pratique, dans la résolution graphique d'un flash, la pression étant fixée, on rencontre les cas suivants:

- on fixe la température T ,
et on trouve alors la fraction vaporisée ψ et les compositions x et y
- on se fixe la fraction vaporisée ψ ,
et on trouve alors x - y et la température (il y a une température associée à chaque point de la courbe d'équilibre)
- on se fixe une composition x (ou y)
et on trouve T et y (ou x)

2.3 Équations pour flash d'un mélange multicomposant



$$F, L, V, T_F, T_L, T_V, P_{in}, P_L, P_V, Q, [z_i, x_i, y_i]_{i=1 \text{ à } C}$$

3 débits 3 Tempér. 3 pression. chal 3C compositions

Le nombre des variables du système sont: $(3C + 10)$

Les équations que l'on peut écrire sont au nombre de $(2C + 6)$

$$P_L = P_V$$

$$T_L = T_V$$

$$y_i = Kx_i \quad \text{de } i = 1 \text{ à } C$$

$$Fz_i = Lx_i + Vy_i \quad \text{de } i = 1 \text{ à } (C-1)$$

$$F = L + V$$

$$H_F F + Q = L H_L + V H_V$$

$$\sum_{i=1}^C z_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^C x_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^C y_i = 1$$

avec

$$K_i = K_i(P_V, T_V, x_i, y_i) \quad H_F = H_F(P_F, T_F, z_i)$$

$$H_L = H_L(P_L, T_L, x_i) \quad H_V = H_V(P_V, T_V, y_i)$$

$$\text{Nombre de variables} - \text{Nombre d'équations} = \text{Nombre de degrés de liberté}$$

$$(3C + 10) - (2C + 6) = (C + 4)$$

$(C + 2)$ variables de l'alimentation connues $\{F, T_F, P_F, z_i \text{ de } i = 1 \text{ à } (C-1)\}$

il reste donc 2 degrés de liberté qu'il faudra choisir afin de résoudre le flash

Spécifications du problème	
a)	on fixe P_V (ou P_L) et $\frac{V}{F}$ on calcule T_L, Q, x, y
b)	on fixe P_V (ou P_L) et T_L on calcule $\frac{V}{F}, Q, x_i, y_i$ [flash isotherme]
c)	on fixe P_V (ou P_L) et $Q=0$ on calcule $T_L, \frac{V}{F}, x_i, y_i$ [flash adiabatique]

2.4 Résolution du flash isotherme pour: $K_i = K_i(P_V, T_V)$
on fixe P_L et T_L (P_V et T_V) K_i indépendant des compositions

Bilans matières partiels : $Fz_i = Lx_i + Vy_i = Lx_i + VK_i x_i$

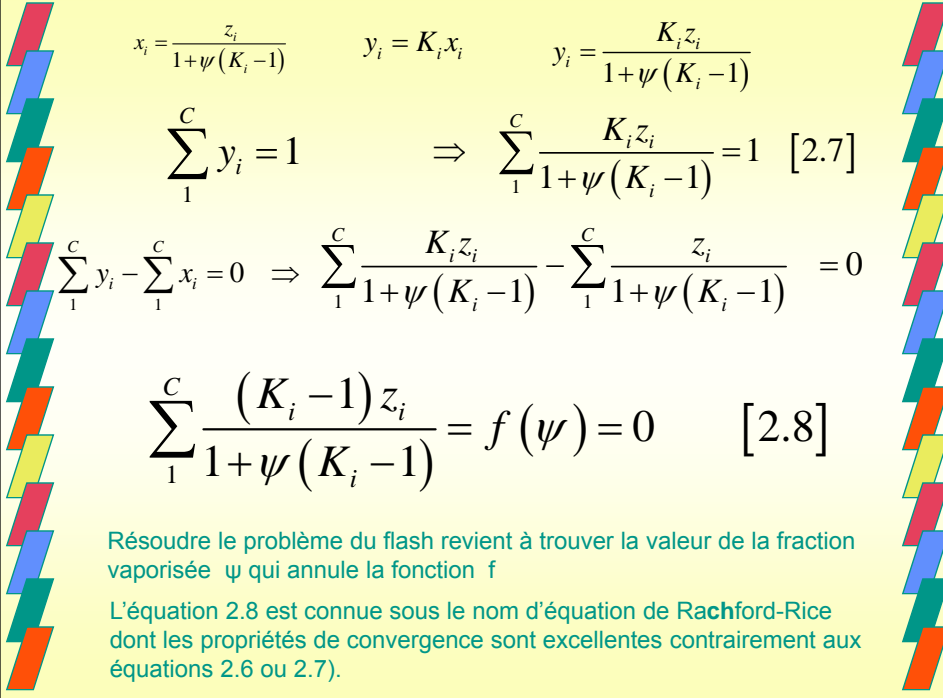
$$\Rightarrow x_i = \frac{F z_i}{L + V K_i} = \frac{F z_i}{(F - V) + V K_i}$$

on divise par F :

$$x_i = \frac{z_i}{\frac{(F - V)}{F} + \frac{V}{F} K_i} = \frac{z_i}{(1 - \psi) + \psi K_i}$$

$$x_i = \frac{z_i}{1 + \psi(K_i - 1)}$$

$$\sum_1^c x_i = 1 \quad \left. \right\} \rightarrow \sum_1^c \frac{z_i}{1 + \psi(K_i - 1)} = 1 \quad [2.6]$$



$$x_i = \frac{z_i}{1+\psi(K_i-1)} \quad y_i = K_i x_i \quad y_i = \frac{K_i z_i}{1+\psi(K_i-1)}$$

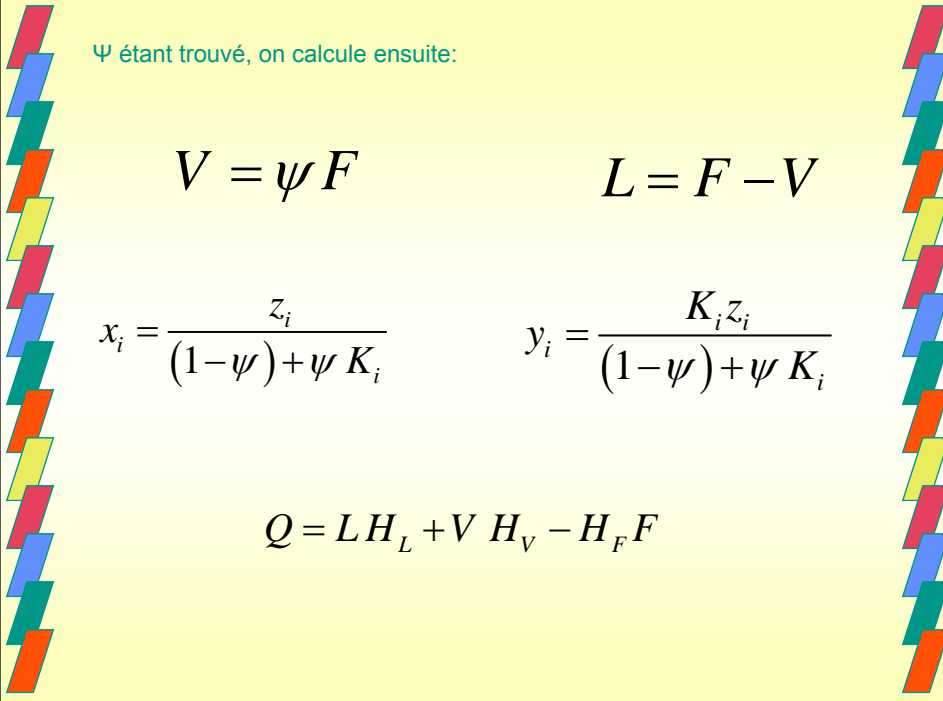
$$\sum_1^c y_i = 1 \quad \Rightarrow \quad \sum_1^c \frac{K_i z_i}{1+\psi(K_i-1)} = 1 \quad [2.7]$$

$$\sum_1^c y_i - \sum_1^c x_i = 0 \quad \Rightarrow \quad \sum_1^c \frac{K_i z_i}{1+\psi(K_i-1)} - \sum_1^c \frac{z_i}{1+\psi(K_i-1)} = 0$$

$$\sum_1^c \frac{(K_i - 1) z_i}{1+\psi(K_i - 1)} = f(\psi) = 0 \quad [2.8]$$

Résoudre le problème du flash revient à trouver la valeur de la fraction vaporisée ψ qui annule la fonction f

L'équation 2.8 est connue sous le nom d'équation de Rachford-Rice dont les propriétés de convergence sont excellentes contrairement aux équations 2.6 ou 2.7).



Ψ étant trouvé, on calcule ensuite:

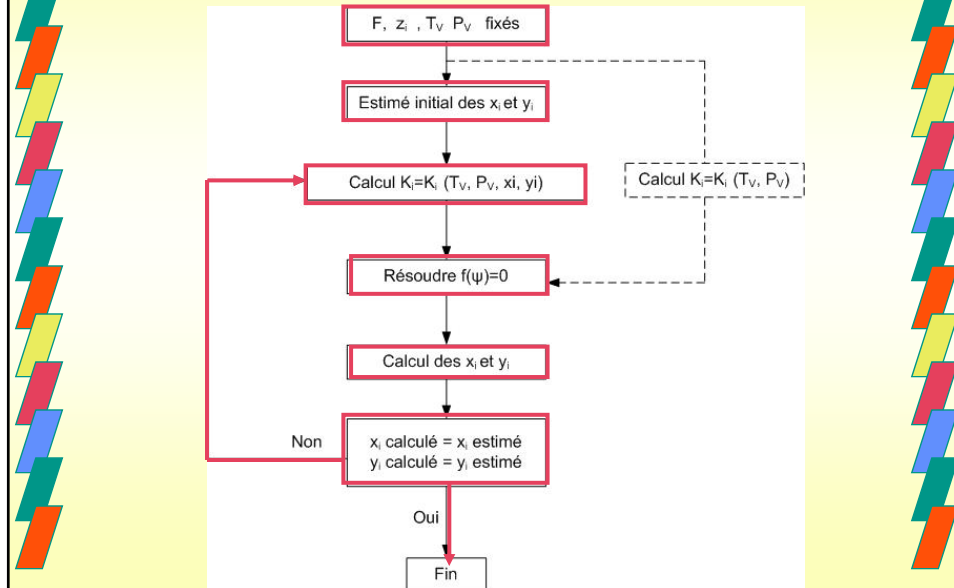
$$V = \psi F \quad L = F - V$$

$$x_i = \frac{z_i}{(1-\psi) + \psi K_i} \quad y_i = \frac{K_i z_i}{(1-\psi) + \psi K_i}$$

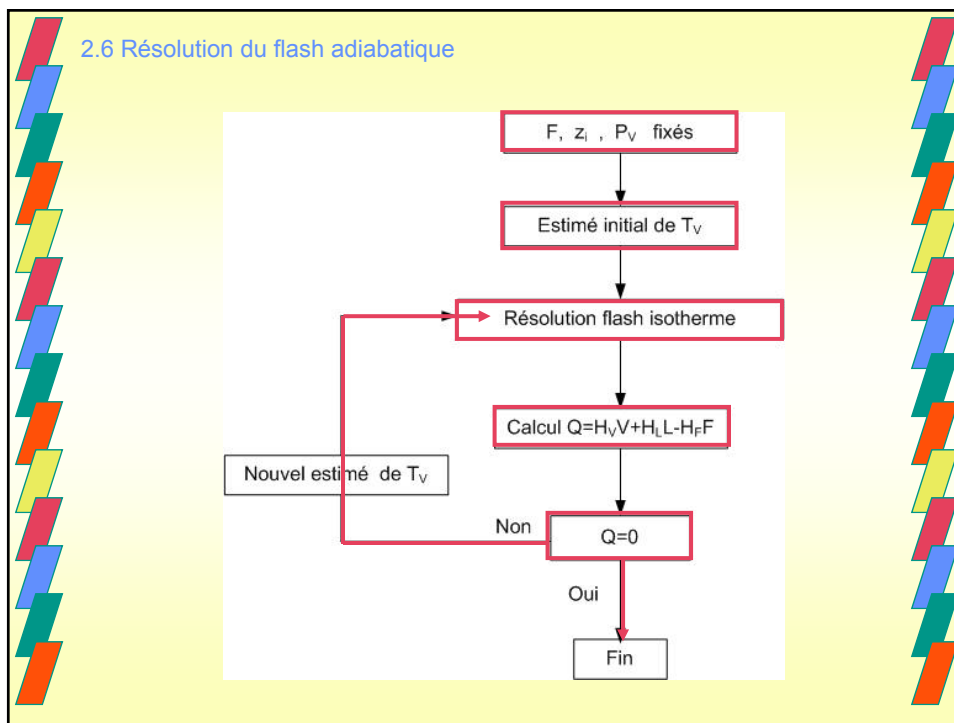
$$Q = L H_L + V H_V - H_F F$$

2.5 Résolution du flash isotherme pour: $K_i = K_i(P_V, T_V, x_i, y_i)$

Une procédure itérative doit être utilisée:



2.6 Résolution du flash adiabatique



2.7 Points de bulle et de rosée des mélanges

Dans tout problème de distillation, il est important de connaître les conditions de pression et de température sous lesquelles **les phases liquide et vapeur coexistent**. Les conditions limites du domaine d'opération correspondent aux **points de bulle et de rosée** du mélange à traiter.

2.7.1 Point de bulle:

Au point de bulle, le mélange est donc un liquide saturé en équilibre avec les premières bulles de vapeur. La composition du liquide (x_i) est celle du mélange initial (z_i).

$$\boxed{x_i = z_i} \quad \boxed{y_i = K_i z_i} \quad \boxed{\sum_1^c y_i = 1} \Rightarrow \boxed{\sum_1^c K_i z_i = 1}$$

Critère du point de bulle

2.7.1 Point de bulle (suite)

a) Dans le cas où la température est connue, on détermine la pression sous laquelle les premières bulles de vapeur vont apparaître.

Si les lois de Dalton et Raoult sont applicables, on obtient une relation très simple pour la pression au point de bulle:

$$\boxed{K_i = \frac{P_i^{sat}}{P}} \quad \boxed{\sum_1^c K_i z_i = 1} \Rightarrow \boxed{\sum_1^c \frac{P_i^{sat} z_i}{P} = 1} \Rightarrow \boxed{P_{BULLE} = \sum_1^c P_i^{sat} z_i}$$

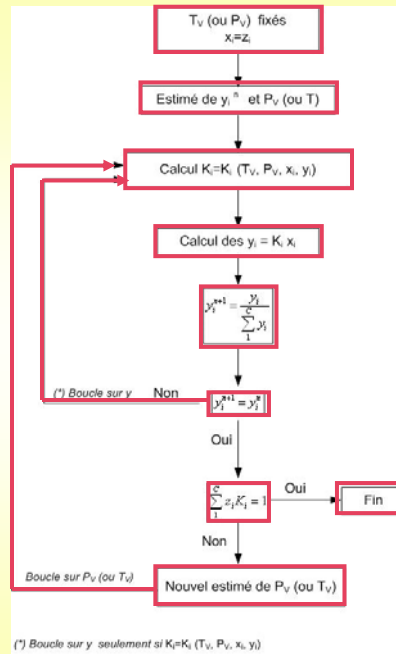
Dans le cas général où $K_i = K_i(P_V, T_V, x_i, y_i)$

il faut trouver de façon itérative la valeur de P_V telle que le critère du point de bulle soit respecté:

$$\sum_1^c K_i z_i = 1$$

b) Dans le cas où la pression est connue, on détermine la température de bulle. La résolution nécessite une procédure itérative.

Algorithme pour trouver
Le point de bulle



2.7.2 Point de rosée

Au point de rosée, le mélange est donc une vapeur saturée en équilibre avec les premières gouttes de liquide. La composition de la vapeur est celle du mélange initial.

$$y_i = z_i \quad x_i = \frac{z_i}{K_i} \quad \sum_1^C x_i = 1 \quad \Rightarrow \quad \sum_1^C \frac{z_i}{K_i} = 1$$

- a) Dans le cas où la température est connue, on détermine la pression sous laquelle les premières gouttes de liquide vont apparaître.

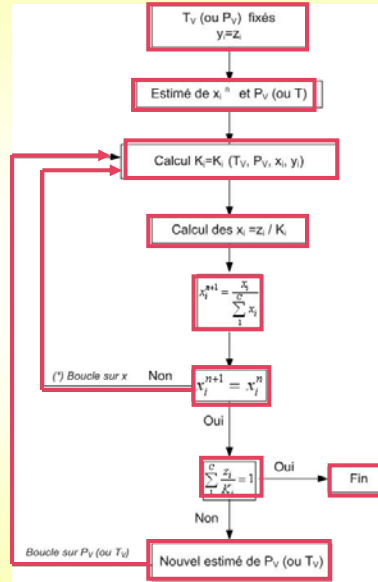
Si les lois de Dalton et Raoult sont applicables, on obtient une relation très simple pour la pression au point de rosée:

$$K_i = \frac{P_i^{sat}}{P} \quad \Rightarrow \quad \sum_1^C \left[\frac{z_i}{\frac{P_i^{sat}}{P}} \right] = 1 \quad P_{ROSÉE} = \frac{1}{\sum_1^C \left[\frac{z_i}{P_i^{sat}} \right]}$$

Dans le cas général où $K_i = f(T, P, x_i, y_i)$, il faut trouver de façon itérative la valeur de P telle que le critère du point de bulle soit respecté.

b) Dans le cas où la pression est connue, on détermine la température de rosée.

Algorithme pour trouver le point de rosée (P ou T)



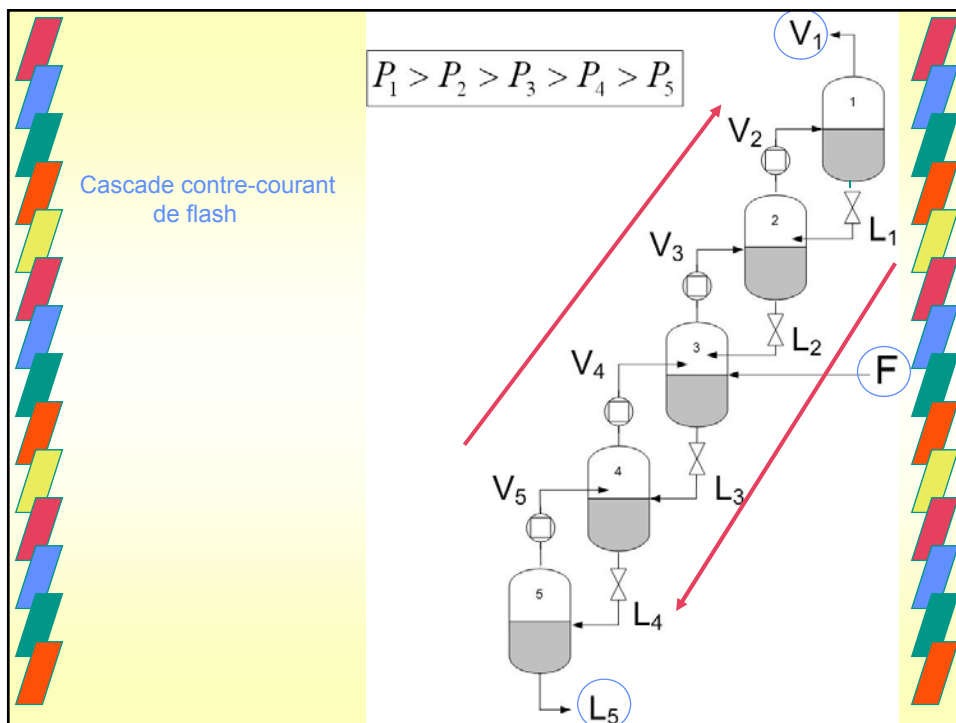
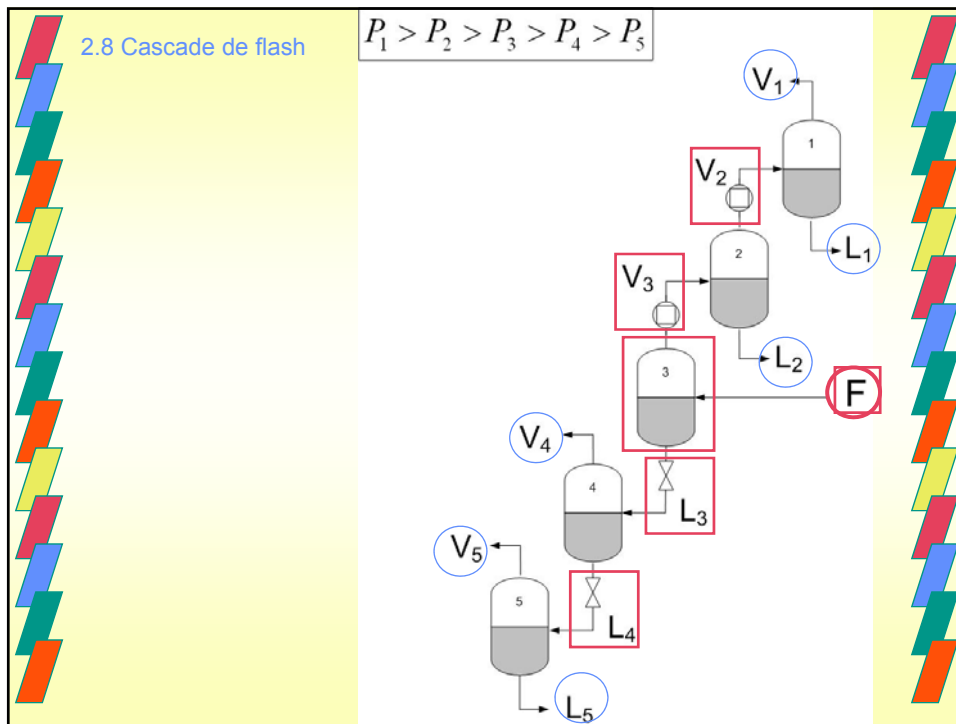
(*) Boucle sur x: seulement si $K_i \neq K_i(T_v, P_v, x_i, y_i)$

2.7.3 Détermination des phases d'un courant

	$\sum_i^c K_i z_i$	$\sum_i^c \frac{z_i}{K_i}$
liquide sous-refroidi	< 1	> 1
liquide saturé	= 1	> 1
mélange liquide-vapeur	> 1	> 1
vapeur saturée	> 1	= 1
vapeur surchauffée	> 1	< 1

Remarque:

Dans les résolutions itératives des conditions de bulle et de rosée, les critères ci-dessus nous indiquent dans quelle direction il faudra faire varier T (ou P) pour se rendre au point de bulle ou de rosée.



$$Q = LH_L + V H_V - H_F F$$

2.9 Estimation des enthalpies des courants:

Dans le cas d'un mélange idéal, on peut exprimer les enthalpies des phases liquide ou vapeur à l'aide des relations (*):

$$H_L = \sum_{i=1}^C x_i C_{PL,i} (T - T_{ref})$$

$$H_V = \sum_{i=1}^C y_i [C_{PV,i} (T - T_{ref}) + \Delta H_{LV,i}]$$

$C_{PL,i}$ capacité calorifique de i en phase liquide

$C_{PV,i}$ capacité calorifique de i en phase vapeur

$\Delta H_{LV,i}$ chaleur latente de vaporisation de i à T_{ref}

T_{ref} température de référence

(*) P. Wankat, Separation Process Engineering 2 ed. (2007) Prentice Hall, page 21