

Chapitre 7

Notions sur les équipements de distillation

7.1 Les différents types de colonnes à distiller

- les colonnes à plateaux:
 - a) plateaux perforés (sieve trays)
 - b) plateaux à cloches (bubble-cap trays)
 - c) plateaux à soupapes (valve trays)
- les colonnes à garnissage:
 - a) garnissage en vrac (random packing)
 - b) garnissage systématique (structured or stacked packing)

Fig 7-1 Plateaux perforés

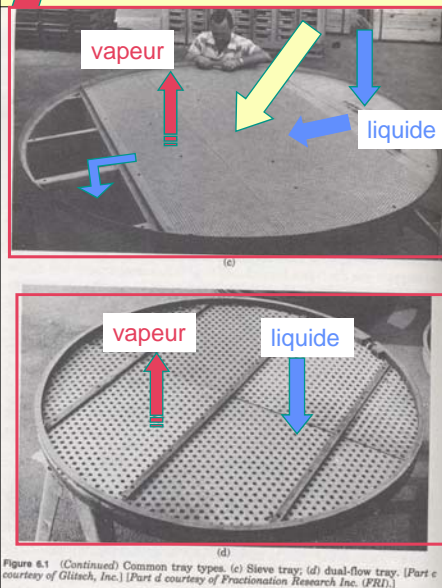


Figure 8.1 (Continued) Common tray types. (c) Sieve tray; (d) dual-flow tray. [Part c courtesy of Glitsch, Inc.] [Part d courtesy of Fractionation Research Inc. (FRI).]

Fig 7-2 Plateaux à cloches (ou à calottes)

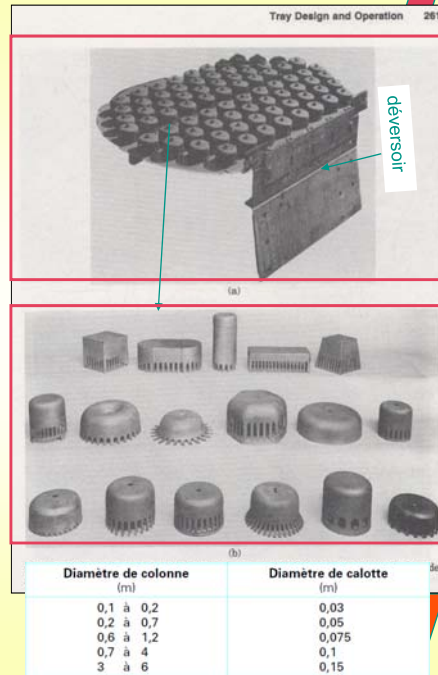


Fig 7-3 a et b Plateaux à soupapes (ou à clapets)

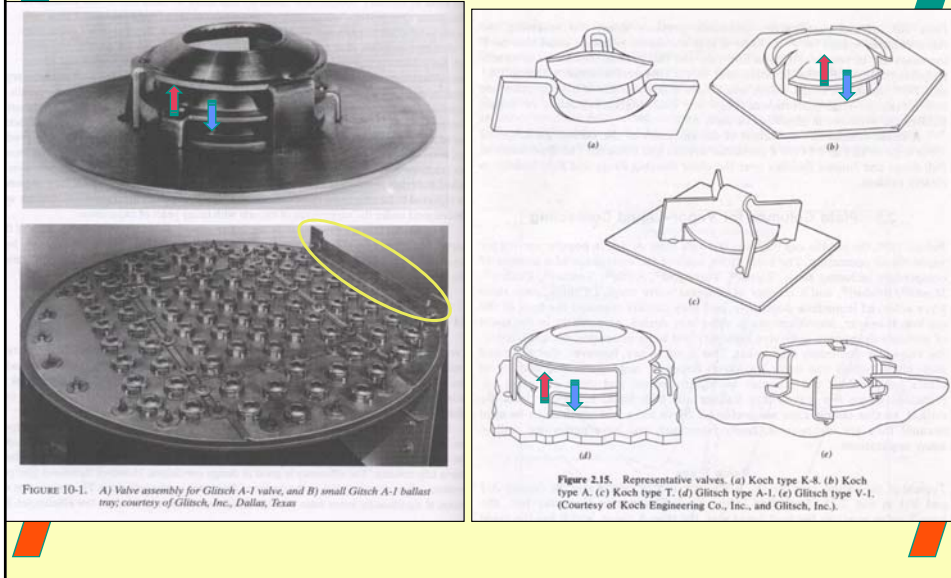
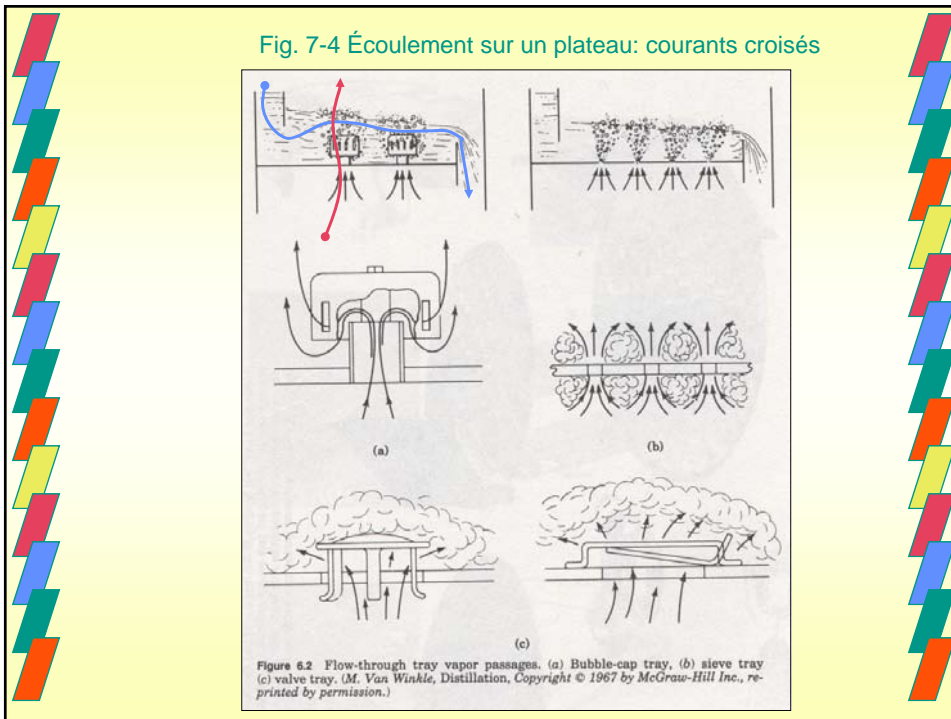
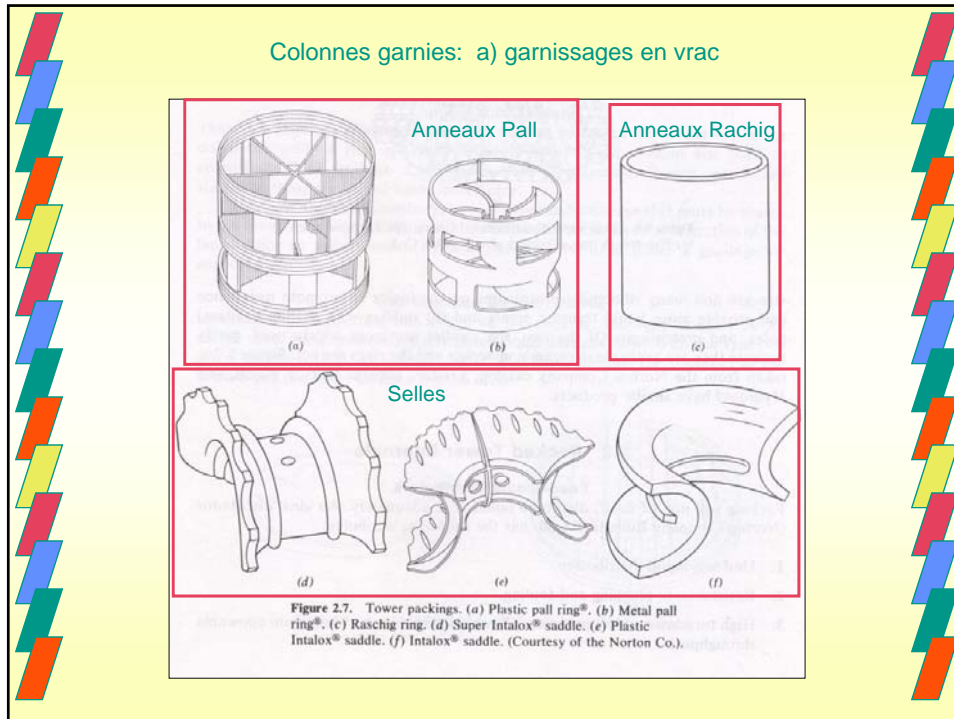


Fig. 7-4 Écoulement sur un plateau: courants croisés





Prix relatifs des garnissages (ordre de grandeur pour 1 m³ de garnissage)
(Techniques de l'ingénieur J 2626-20)

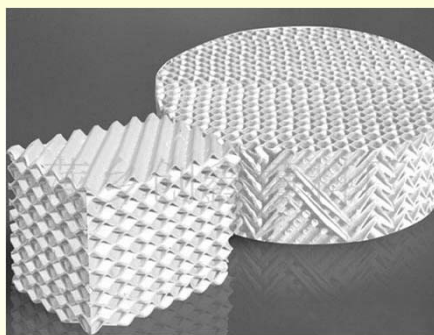
| Garnissage | Dimension nominale (m) | | | |
|------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| | 0,025 4 | 0,038 1 | 0,050 8 | 0,076 2 |
| — Anneaux Raschig | | | | |
| • en céramique | 1 | 0,82 | 0,75 | 0,62 |
| • en porcelaine (1) | 1,08 | 0,87 | 0,80 | 0,66 |
| • en acier au carbone | 2,5 | 1,63 | 1,4 | 1,15 |
| • en acier inoxydable | 9 | 6,8 | 6 | |
| • en carbone (1) | 3,4 | 3 | 2,2 | 2 |
| — Selles (2) | | | | |
| • en céramique | 1,5 | 1,1 | 1,0 | 0,9 |
| • en porcelaine (3) | 1,6 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| • en polypropylène (3) | 1,8 | | 1,12 | 0,58 |
| — Anneaux Pall | | | | |
| • en acier au carbone | 2 | 1,36 | 1,24 | |
| • en acier inoxydable | 7,6 | 5,8 | 5 | |
| • en polypropylène | 1,8 | 1,22 | 1,12 | |

Les caractéristiques de ces garnissages sont données dans le tableau 2.
 (1) Mêmes caractéristiques que les anneaux Raschig en céramique.
 (2) Selles de Berl et selles Intalox ont sensiblement le même prix.
 (3) Mêmes caractéristiques que les selles en céramique.

Colonnes garnies: b) Garnissages structurés



Métallique Mellapak®



Céramique

Turndown ratio:
= $Q_g(\text{engorgement}) / Q_g \text{ minimum}$

Critères de sélection des colonnes

Table 7.1 Performances de différents types de contacteurs pour la distillation

| | Tray | | | Dual flow | Packing | |
|-----------------|------------|-------|-------|-----------|-----------|--------|
| | Bubble-cap | Sieve | Valve | | High void | Normal |
| Vapor capacity | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 2 |
| Liquid capacity | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 |
| Efficiency | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 2 |
| Flexibility | 5 | 3 | 5 | 1 | 2 | 2 |
| Pressure drop | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 2 |
| Cost | 3 | 5 | 4 | 5 | 1 | 3 |
| Reliability | 4 | 4 | 3+ | 2 | 2 | 3 |

1 = poor, 2 = fair, 3 = good, 4 = very good, 5 = excellent.
Source: Fair et Bolles (1968)

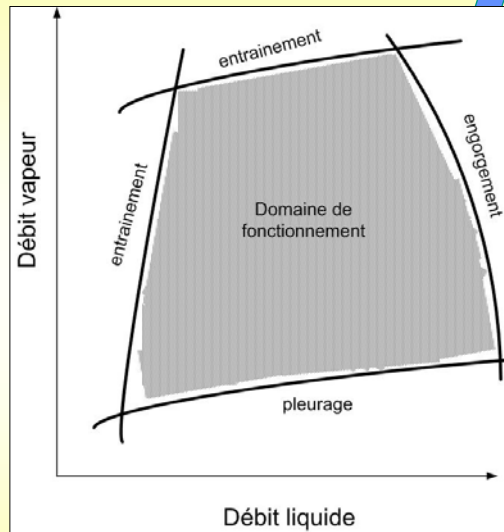
Table 7.2 Guide de sélection pour l'intérieur de la colonne

| | Trays | | Dual flow | Packing | |
|----------------------------|--------------|------------|-----------|---------|---------|
| | Sieve /valve | Bubble cap | | Random | Stacked |
| Pressure (low) | 2 | 1 | 0 | 2 | 3 |
| (moderate) | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| (high) | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| High turndown ratio | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| Low liquid flow rates | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| Foaming systems | 2 | 1 | 2 | 3 | 0 |
| Internal tower cooling | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| Suspended solids | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 |
| Dirty/polymerized solution | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 |
| Multiple feeds/sidestreams | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| High liquid flow rates | 2 | 1 | 3 | 3 | 0 |
| Small diameter columns | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| Column diameter 1 - 3 m | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Larger-diameter columns | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| Corrosive fluids | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| Viscous fluids | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 |
| Low pressure drop | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Expanded column capacity | 2 | 0 | 2 | 2 | 3 |
| Low cost | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Reliability of design | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 |

0 = do not use, 1 = evaluate carefully, 2 = usually applicable, 3 = best selection
Source: Frank (1977)

7.3 Critères hydrodynamiques de fonctionnement d'une colonne.

- **l'engorgement (flooding)**: l'écoulement de la vapeur bloque celui du liquide; ou engorgement dans les déversoirs
- **une mauvaise distribution** des fluides dans la colonne (il y a des chemins préférentiels pour la vapeur et/ou pour le liquide entraînant une baisse d'efficacité)
- **le moussage (foaming)**
- **le pleurage (weeping)**: une fraction du liquide ne passe pas par les déversoirs mais utilise les orifices normalement utilisés par la vapeur
- **le primage (priming)** ou l'entraînement: le désengagement gaz-liquide se fait mal et du liquide remonte avec la vapeur dans la colonne.



7.4 Estimation du diamètre d'une colonne

La vitesse de la vapeur est la grandeur qui va déterminer le diamètre de la colonne. La valeur optimale de la vitesse doit se situer en dessous de la valeur pour laquelle on aurait engorgement. La vitesse de la vapeur à l'engorgement, U_F , peut se calculer avec la corrélation de Fair:

$$U_F = C \left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{0.5}$$

$$C = F_{ST} F_F F_{HA} C_F$$

$$F_{ST} = \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0.2} \quad \sigma = \text{tension de surface (dynes / cm)}; \quad F_F \quad \text{facteur de moussage} \leq 1$$

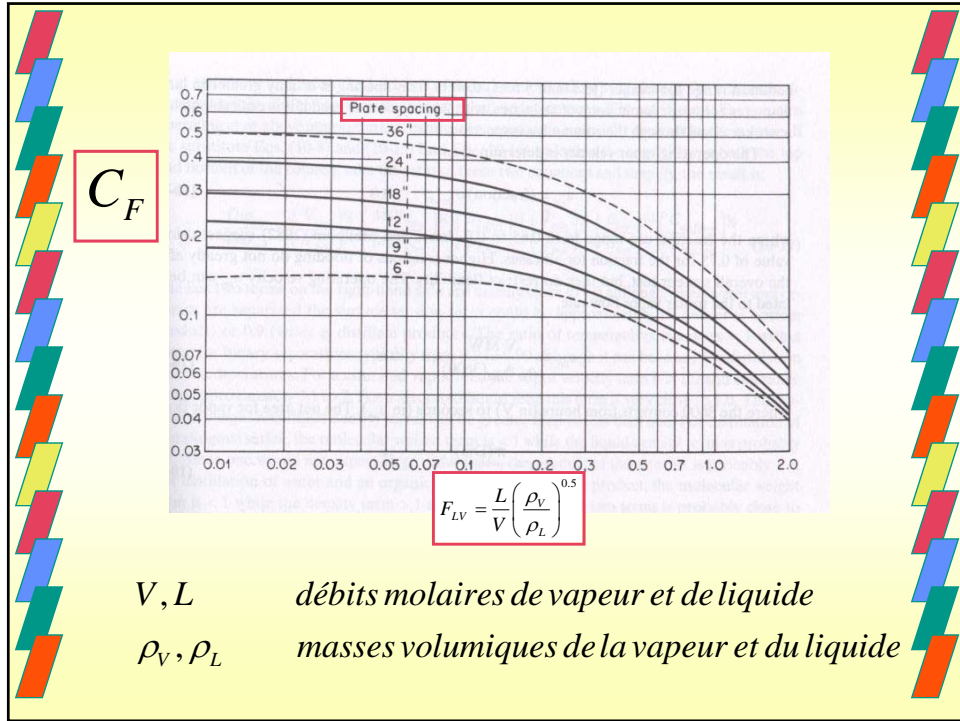
F_{HA} facteur correctif pour l'aire des trous;

C_F facteur lu sur la figure 7.8

$$F_{HA} = 1 \quad \text{si} \quad \frac{A_h}{A_a} \geq 0.10; \quad F_{HA} = 5 \left(\frac{A_h}{A_a} \right) + 0.5 \quad \text{si} \quad 0.06 \leq \frac{A_h}{A_a} \leq 0.10$$

A_h aire des trous disponibles pour la vapeur

A_a aire active du plateau = aire totale (A) - aire du déversoir (A_d)



La vitesse d'engorgement étant déterminée, on choisit en général d'opérer à 85% des conditions d'engorgement. Le diamètre de la colonne s'obtient alors en reliant le débit molaire de vapeur (V) à la vitesse choisie (soit $0.85 U_F$) et à la section active ($A - A_d$)

$$V = (0.85 U_F) (A - A_d) \frac{\rho_V}{M_V} = (0.85 U_F) A \left(1 - \frac{A_d}{A} \right) \frac{\rho_V}{M_V}$$

A : aire totale A_d : aire du déversoir $A = \frac{\pi D^2}{4}$

Si le rapport $\frac{A_d}{A}$ est fixé, alors on obtient le diamètre de la colonne :

$$D = \sqrt{\frac{4 V M_V}{0.85 U_F \pi \left(1 - \frac{A_d}{A} \right) \rho_V}}$$

Olivier suggère les valeurs suivantes du rapport $\frac{A_d}{A}$ en fonction de paramètre F_{LV}

| | |
|--|--------------------------------|
| $\frac{A_d}{A} = 0.1$ | pour $F_{LV} \leq 0.1$ |
| $\frac{A_d}{A} = 0.1 + \frac{F_{LV} - 0.1}{9}$ | pour $0.1 \leq F_{LV} \leq 1.$ |
| $\frac{A_d}{A} = 0.2$ | pour $F_{LV} \geq 1.$ |

$$F_{LV} = \left(\frac{L}{V}\right) \left(\frac{M_L}{M_V}\right) \left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)^{0.5}$$

V, L débits molaires de vapeur et de liquide
 M_V, M_L masses molaires de la vapeur et du liquide
 ρ_V, ρ_L masses volumiques de la vapeur et du liquide

Rappel: Les valeurs des masses volumiques du liquide et de la vapeur dépendent des compositions des phases, de la température et de la pression.

Le calcul du diamètre présenté précédemment nécessite la connaissance des débits de liquide et vapeur ainsi que des propriétés de chacune de ces phases.

Comme ces grandeurs changent dans la colonne, l'estimation du diamètre doit se faire à plusieurs hauteurs afin d'identifier la valeur critique du diamètre.

En général, il suffit de faire les calculs à 4 niveaux dans la colonne :

- en pied,
- en tête
- en dessous de l'alimentation.
- au dessus de l'alimentation.