

## **Equipements de séparation physique des phases :**

### **Equipements de séparation physique des phases :**

En pratique. Il arrive souvent qu'un procédé produise deux phases distinctes, qui peuvent alors être séparées ou moins facilement. On peut ainsi avoir une phase gazeuse et une liquide, deux phases liquides non miscibles, une phase avec du solide, etc.

Il existe divers principes de séparation des phases, le plus simple consistant à utiliser la différence de masse volumique des phases, on laisse alors agir les forces de gravité pour opérer la séparation. Souvent les masses volumiques étant peu différentes. On doit accélérer le processus de séparation en mettant en œuvre la force centrifuge.

#### **1. Séparation de deux phases fluides :**

Ce type d'opération est très souvent rencontré en pratique, dans la plupart des procédés. La séparation par gravité est alors très fréquemment utilisée. Du fait de sa simplicité et de faible coût.

En raffinerie se pose constamment le problème de séparer soit une phase vapeur d'une phase liquide, soit deux phases liquides immiscibles. Cette opération est réalisée dans des ballons verticaux ou horizontaux, dont le dimensionnement est tel qu'on puisse obtenir un temps de séjour suffisamment grand pour que la séparation s'effectue aussi complètement que possible et que les entrainements d'une phase dans l'autre soit réduit à une valeur minimale.

##### **1.1. Séparation gaz liquide :**

On trouve ce type de séparation dans les ballons de reflux des unités de distillation.

###### **1.1.1. Ballons de reflux :**

Le rôle de ballon de reflux est de recevoir l'effluent du condenseur de tête. De réaliser la séparation des phases qu'il collecte et de constituer une réserve de produits liquides pour assurer un débit régulier de reflux et de soutirage.

Les méthodes de calcul pour estimer les dimensions de ces ballons sont basées sur l'évaluation de temps de séjour tel que la séparation des phases soit suffisante pour réduire les entrainements à une valeur minimale acceptable et que, simultanément, le temps de séjour du liquide corresponde à une retenue correcte.

Deux cas sont à distinguer, suivant que la condensation est totale ou partielle.

Cependant, dans les deux cas le ballon joue le rôle d'accumulateur de liquide, afin

## Equipements de séparation physique des phases :

de donner à l'unité une certaine flexibilité de fonctionnement dans l'hypothèse d'une défaillance possible du matériel (pompe, instrument, vanne, ...)

### 1.1.1.1.1. Condensation totale de reflux :

Le ballon joue alors uniquement le rôle de tampon, donnant certaine constante de temps pour la réaction de système de supervision. Cette constante de temps souhaitable dépend de la structure de l'unité et son instrumentation, mais est généralement prise de l'ordre de 4 à 5 min. on fait parfois une distinction entre temps de séjour de reflux ( $t_r=2\text{ à }3\text{ min}$ ) et celui de soutirage ( $t_s=2\text{ à }3\text{ min}$ ).

Le volume de liquide à prendre en compte pour calculer le temps de séjour est donc, en première approximation, 40% du volume totale.

Le volume du ballon se calcule alors comme suit :

$$V = 2.5(Q_r t_r + Q_s t_s)$$

Suivant la pression de service, on adopte les rapports suivants pour L/D :

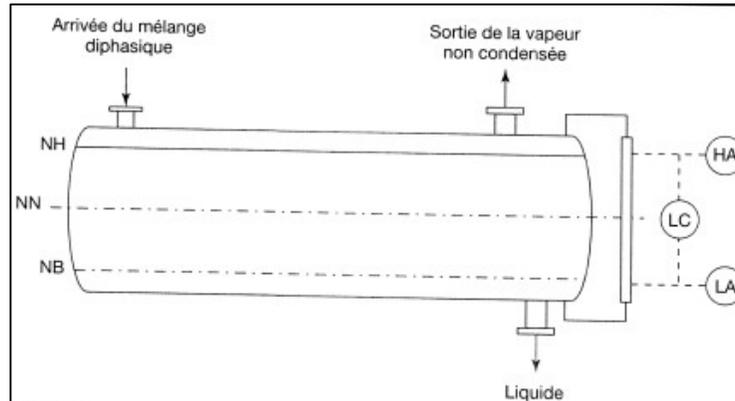
$$2 \leq \frac{L}{D} \leq 3 \text{ pour } p \leq 4\text{bar}$$

$$3 \leq \frac{L}{D} \leq 5 \text{ pour } P \geq 4\text{bar} .$$

### 1.1.1.1.2. Condensation partielle :

Dans ce cas, on a un mélange de gaz et de liquide à séparer. Les spécifications de retenue liquide restent valables, mais il faut y ajouter une condition supplémentaire concernant la section supérieure libre au-dessus du niveau haut. en effet, cette section de passage doit être suffisante pour que les gouttelettes liquide entraînés par la vapeur aient le temps de se séparer.

## Equipements de séparation physique des phases :



**Fig:** schéma d'un ballon de reflux avec condensation partielle.

Le problème est lors de calcul du diamètre la vitesse limite du gaz dans cette section, appelée vitesse critique d'entraînement, est donnée par des formules analogues, on utilise par exemple les relations suivantes :

Vitesse critique :

$$V_G^* = 0.381 \times K_v \sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_G)}{\rho_G}} \text{ (m/s)}$$

$$\log(K_v) = -0.876 - 0.837 \times \log(B) - 0.324 \times [\log(B)]^2 \quad (0.006 \leq B \leq 6)$$

Avec :

$$B = \frac{Q_{m_L}}{Q_{m_G}} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \quad \text{Sans dimension.}$$

Si  $B < 0.006$  prendre  $K_v = 0.2$

Si  $B > 6$  prendre  $K_v = 0.02$

$Q_{m_L}$  Et  $Q_{m_G}$  étant les débits massiques de liquide et de gaz.

Cette contrainte conduit à une section libre au-dessus du niveau du liquide égale à :

$$S_G = \frac{Q_G}{V_G^*}.$$

Le volume nécessaire pour la phase liquide, calculé sur les mêmes bases que précédemment, doit être additionné au volume  $V_G$  nécessaire au passage de la phase gaz, soit :

## Equipements de séparation physique des phases :

$$V_G = S_G \times L = L \frac{Q_G}{V_G^*}$$

On a ainsi le volume totale de ballon :

$$V = V_G + (Q_r t_r + Q_s t_s)$$

Le choix approprié du rapport  $L/D$  permet alors de calculer les dimensions du ballon.

### 1.1.2. Ballons séparateurs :

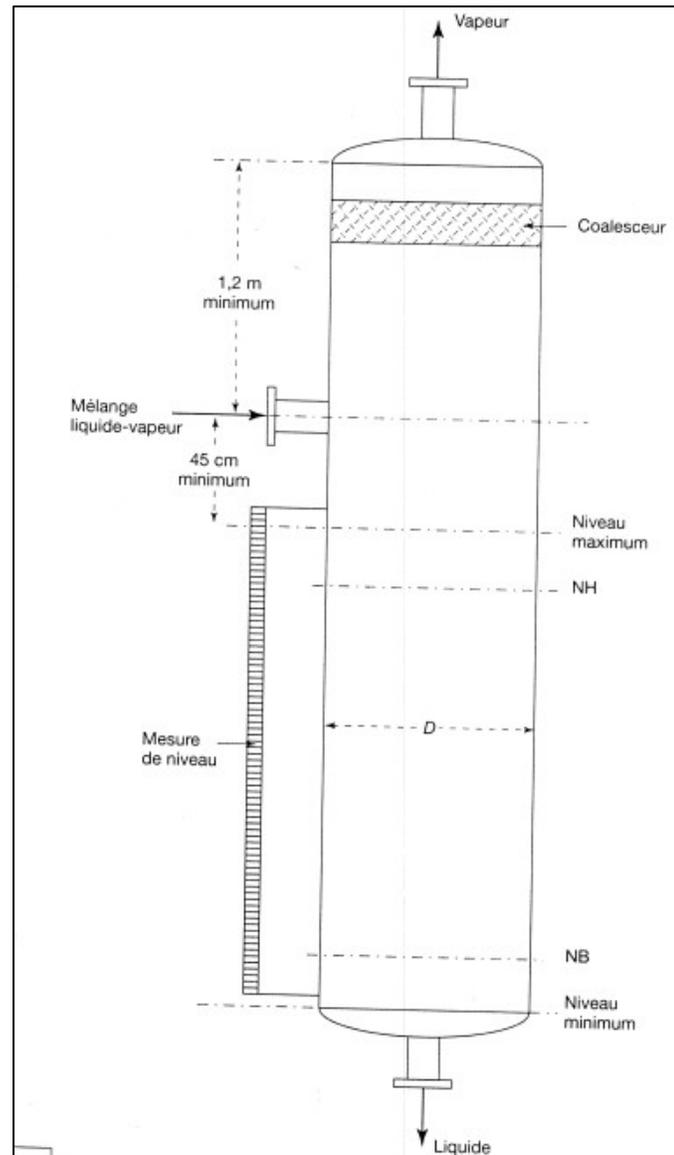
On trouve souvent dans les unités de raffinage des ballons verticaux dans lesquels on effectue une séparation liquide-vapeur. C'est le cas des ballons de détente placés sur des lignes où circule un mélange liquide-vapeur, qu'il faut séparer pour pouvoir traiter ensuite séparément chaque phase. On les trouve, par exemple, à la sortie des réacteurs de reformage catalytique et l'hydrotraitement, après refroidissement sous pression, le gaz riche en hydrogène est aussi séparé puis recyclé.

Ces ballons jouent donc un rôle analogue à un ballon de reflux et sont calculés d'une manière similaire.

La section droite du ballon se calcule sur base de vitesse critique de la phase gaz, qui s'exprime comme un ballon horizontal mais avec un coefficient légèrement différent, soit :

$$V_G^* = 0.3048 \times K_v \sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_G)}{\rho_G}}$$

## Equipements de séparation physique des phases :



**Fig :** schéma de ballon séparateur liquide-gaz.

### 1.2. Séparateur liquide-liquide :

Les appareils utilisés pour séparer deux phases liquide non miscibles sont généralement appelés décanteurs.

## Equipements de séparation physique des phases :

Ils peuvent être classés en deux groupes selon qu'ils servent à séparer des émulsions instables, dites primaires et brisant facilement, ou des émulsions beaucoup plus stables, dites secondaires qui persistent après une première séparation des phases. Les émulsions sont formées de gouttes d'environ 1 mm de diamètre ou plus, alors que dans les émulsions secondaires on trouve des gouttelettes dont la taille est de l'ordre de 1 µm ou moins.

Pour briser les émulsions primaires on a le plus souvent recours à des décanteurs fonctionnant par simple effet de gravité. Pratiquement, les dimensions des gouttes étant inconnues, on ne peut déterminer leurs vitesses de sédimentation et les calculs sont alors basés sur le temps de résidence, qui doit être supérieur au temps de décantation des phases. Les temps de séjour se situent ordinairement entre 15 min et 1 heure et sont déterminés par l'expérience.

En ce qui concerne, par exemple, les eaux usées polluées par des hydrocarbures, on met en œuvre des bassins de décantation pour récupérer les hydrocarbures et minimiser la pollution de l'eau rejetée.

Dans toutes ces applications, la décantation est basée sur le mouvement de particules dans un fluide.

### 1.2.1. Théorie de la décantation :

Considérons des particules de diamètre  $d_p$  au sein d'un liquide au repos, sans aucune interaction entre elles, qui tendent à leur vitesse limite  $V_y$ .

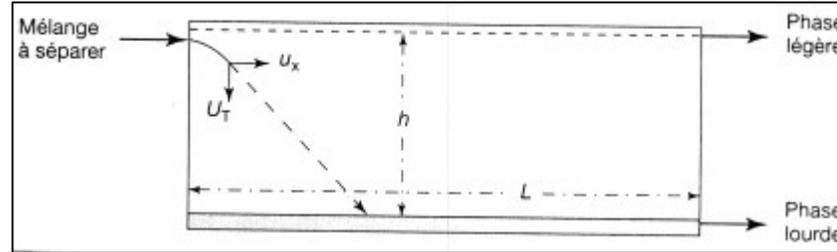
On peut calculer la vitesse  $V_y$  à partir de l'équation de Stokes et on obtient :

$$V_y = \frac{d_p^2 \times \Delta\rho \times g}{18\mu_c}$$

Considérons un décanteur continu ou l'alimentation constituée, par exemple, par une suspension d'eau dans un produit pétrolier, à un débit  $Q$ . Le problème serait d'ailleurs le même avec une suspension d'hydrocarbure dans l'eau, ou les gouttelettes auraient un mouvement ascendant, nous prenons en considération la vitesse relative des particules par rapport au fluide environnant.

Le décanteur est supposé de forme parallélépipédique, avec une hauteur  $h$ , une largeur  $l$  et une longueur  $L$ .

## Equipements de séparation physique des phases :



**Fig :**schema d'un décanteur liquide-liquide.

La vitesse verticale du liquide étant nulle, la vitesse absolue de chute des gouttelettes par rapport aux parois du décanteur est égale à la vitesse limite  $V_y$ , acquise presque instantanément et constante sur toute la hauteur  $h$ . L'ensemble du fluide s'écoule avec une vitesse horizontale  $V_x$  :

$$V_x = \frac{Q}{hL}$$

Cet écoulement étant supposé à faible vitesse et sans remous, la vitesse limite de chute est donnée par la loi de Stokes et le temps de décantation  $t$ , mis par une gouttelette pour atteindre le fond s'écrit :

$$t = \frac{h}{V_y} = \frac{18 \times \mu_c \times h}{\Delta\rho \times d_p^2 \times g}$$

La distance horizontale,  $X_d$ , parcourue par la particule est donc:

$$X_d = tV_x = \frac{18 \times \mu_c \times h \times Q}{\Delta\rho \times d_p^2 \times g \times l}$$

Pour obtenir la décantation des particules de diamètre égal ou supérieur à  $d_p$ , on devra donc choisir une longueur  $L$  supérieure à  $X_d$ . Pour un décanteur de profondeur donnée  $h$ , la longueur  $L$  est fonction du diamètre  $d_p$ , de la gouttelette.

On a par ailleurs  $S = I \cdot X_d$ , en appelant  $S$  la surface du fond.

Si l'on se donne le débit  $Q$  et le diamètre  $d_p$ , des particules à séparer, les équations ci-dessus

## Equipements de séparation physique des phases :

permettent de calculer la surface du fond du décanteur à réaliser :

$$\frac{S}{Q} = \frac{18\mu_c}{\Delta\rho \times d_p^2 \times g}$$

La profondeur  $h$  peut par contre être prise arbitrairement. Bien que l'on ait intérêt à la réduire pour diminuer l'encombrement, il faut se souvenir qu'elle conditionne directement la vitesse d'écoulement du liquide ; or cette vitesse doit rester faible, pour avoir un écoulement calme, sans remous ni tourbillons qui seraient susceptibles de remettre en suspension les gouttelettes déposées.

En réalité ces équations théoriques, élaborées grâce à de nombreuses simplifications, sont rarement utilisées telles quelles dans les calculs. Elles servent uniquement de base à des calculs empiriques qui permettront de fixer les dimensions d'un séparateur, car elles ne tiennent pas compte d'un certain nombre de facteurs tels que la diversité de tailles des gouttelettes et le rapport des phases.

Les gouttelettes ont souvent des tailles très différentes et leur concentration est élevée, de sorte qu'au cours de leur chute, les grosses gouttelettes vont plus vite que les petites et les absorbent, devenant encore plus grosses et accélérant leur mouvement. En outre, dans leur chute, les grosses gouttelettes déplacent non seulement la phase continue mais également les gouttelettes très fines, de sorte que l'on commet une erreur en utilisant les caractéristiques physiques de la phase continue,  $\mu_c$  et masse volumique, Il serait plus exact de prendre la masse volumique et la viscosité correspondant au mélange des deux phases.

### 1.2.2. Bassins de décantation :

Au cours de leur travail dans les différentes installations, les eaux de refroidissement ainsi que celles de lavage se chargent de matières huileuses qu'il faut récupérer avant de rejeter à la mer ou à la rivière un effluent qui doit répondre à des spécifications très strictes.

Le principe de fonctionnement des bassins est basé sur la différence des masses volumiques  $\rho_p$  et  $\rho_y$  de l'eau et des gouttelettes de matière huileuse, dont la vitesse ascensionnelle est donnée par la loi de Stokes :

$$V = \frac{g d_p^2 (\rho_p - \rho_y)}{18 \mu_c}$$

## Equipements de séparation physique des phases :

Le choix du diamètre moyen des gouttelettes a été arrêté à 0.015 cm par l'API

Dans ces conditions, l'équation de vitesse limite devient

$$V_y = 1.225 \times 10^{-8} \frac{\rho_e - \rho_h}{\mu_e} \quad (\text{en m/s})$$

La détermination des dimensions du bassin  $h$ ,  $l$  et  $L$  peut s'effectuer sur les bases suivantes, qui sont issues des recommandations de l'API

Le rapport de la surface du bassin au débit d'eau à traiter est d'abord calculé comme nous l'avons vu précédemment, en tenant compte des propriétés physiques des constituants, Par ailleurs les contraintes suivantes sont conseillées

- limitations de la vitesse d'écoulement horizontal,  $u$ , dans le bassin

$u$ , <1 cm/s:

- le rapport longueur/largeur doit être au moins égal à 5,
- profondeur minimum de 1,2 m:
- le temps de séjour devrait être au minimum d'une heure

## Equipements de séparation physique des phases :

### Exercices :

#### Exercice 01 :

Un ballon de séparation de pétrole brut avec un débit de 1200 m<sup>3</sup>/h dont le taux de vaporisation est 45%.

Calculer le diamètre de ballon afin d'assurer une bonne séparation des phases ?

*On donne : masse volumique de la phase liquide : 0,80 kg /L ; masse volumique de la phase gazeuse : 0,04 kg /L ; pression de service 30 bar ; constante de vitesse est 0,035; temps de retenue de la phase liquide 10s.*

#### Exercice 02 :

Un centre de traitement d'huile génère un débit d'eau salé  $Q_e=12000$  litres/min ; la société engage de traiter cette charge dans un bassin de décantation avant de rejeter à la mère.

1. Calculer la largeur  $\ell$  de ce bassin de décantation ?
2. Calculer la longueur L de ce bassin de décantation ?

*Les donnés : Viscosité cinématique d'eau  $\mu_e=0,0065$  Ps ; Masse volumique d'huile est 0,92 kg /l ; Hauteur de bassin  $h= 1,3m$ .*