

Chapitre I : Méthodes de séparation

Décantation

1) Décantation (sédimentation)

La décantation est une technique de séparation entre les phases solides-liquides, utilisée soit dans les procédés industriels, soit dans les méthodes analytiques, c'est donc un procédé permettant de séparer à séparer d'un liquide les particules en suspension en utilisant les forces gravitaires, soit une phase solide des matières en suspension dans un liquide de masse volumique moindre, soit deux phases liquides non miscibles des densités différentes.

2. Principe

La décantation consiste à **laisser reposer** un mélange hétérogène suffisamment longtemps pour que les particules solides en suspension sous l'action de la pesanteur et de la poussée d'Archimède tombent **au fond** du récipient ou à remonter à la surface selon leur densité et leur taille. On peut ensuite verser délicatement dans un autre récipient le mélange qui **surage** : on obtient un mélange quasiment homogène.

La décantation fonctionne particulièrement bien pour séparer des constituants qui tombent facilement au fond du liquide, comme le sable ou la boue. Elle est d'ailleurs utilisée lors du traitement des eaux usées.

Elle est souvent très lente. Toutefois, il est possible d'agir sur plusieurs paramètres pour augmenter la vitesse de sédimentation : • le diamètre des particules, en utilisant des flocculants. • la différence de densité. • la viscosité du fluide, qui diminue avec l'élévation de la température. • la surface de base du bac.

3 Types de décantation

3.1 Décantation de matières solides

Elle consiste à laisser reposer un mélange hétérogène suffisamment longtemps pour que les particules en suspension tombent au fond du récipient. On obtient un mélange quasiment homogène. On appelle le liquide surnageant et les particules solides dépôt (figure.1)

3.2 Séparation des liquides

La décantation est un processus qui permet de séparer des liquides non miscibles qui n'ont pas la même masse volumique (densité) à l'instar l'huile et l'eau. On laisse reposer les deux liquides dans une ampoule à décantation. Le liquide qui possède la masse volumique la plus grande se déplace alors vers le fond de l'ampoule. Lorsque les deux phases sont bien distinctes, on peut séparer les deux liquides (figure 2).

4. Principes généraux

1) Force d'entraînement F_e

Une particule en suspension dans une eau stagnante est sous l'action des ;

- Forces de gravité qui l'entraînent vers le bas
- Poussée d'Archimède qui a tendance à freiner ce mouvement

Cette force agit sur :

Les particules solides dans un liquide, La phase lourde dans une décantation liquide/liquide

Elle pousse les particules vers le bas (ou vers le haut si leur densité est plus faible que celle du liquide).

La force de pesanteur, qui est la principale force d'entraînement en décantation gravitaire.

Voici la formulation complète :

$$F = \rho \cdot g \cdot V$$

Avec :

- ρ : masse volumique (kg/m^3)
- g : accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- V : volume de la particule ou de la phase (m^3)

Cette expression provient de la relation fondamentale : $F = m \cdot g$

$$\Rightarrow F = \rho \cdot V \cdot g$$

Cependant, une autre force s'oppose : la poussée d'Archimède

$$F_A = \rho_f \cdot V \cdot g$$

Donc la force nette qui entraîne la décantation est :

$$F_e = (\rho_p - \rho_f) \cdot V \cdot g$$

2) Régime hydraulique

2.1) nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds (Re) est un critère sans dimension fondamentale en mécanique des fluides , qui permet de déterminer le régime d'écoulement d'un fluide en comparant les forces d'inertie aux forces visqueuses

Le nombre de Reynolds est défini par la relation selon la loi de Stokes :

$$Re = \rho v d / \mu$$

où :

- ρ est la masse volumique du fluide (kg/m^3), v la vitesse moyenne d'écoulement (m/s),
- d le diamètre de la conduite (m), μ la viscosité dynamique ($\text{Pa}\cdot\text{s}$).

Il compare les **forces d'inertie** aux **forces de viscosité** dans un écoulement. Les forces d'inertie sont liées à la masse et à la vitesse du fluide, tandis que les forces de viscosité se rapportent à sa résistance interne contre la déformation.

- Si Re est faible, cela signifie que les forces de viscosité dominent et l'écoulement est généralement lisse et ordonné (laminaire). Dans un **régime laminaire**, le fluide s'écoule en couches parallèles et non perturbées. Les particules de fluide suivent des trajectoires droites et uniformes. S'il s'agit des petites particules en chute ou en décantation $Re < 1$, si c'est un fluide $Re < 2000$
- Un Re élevé indique que les forces d'inertie prédominent, générant ainsi des turbulences. Le **régime turbulent** se manifeste pour l'écoulement désordonné et les particules de fluide changent continuellement de direction et de vitesse.

Cas d'une particule en chute ou décantation $Re > 1000$ si le Cas d'un **fluide dans une conduite** (tuyau, canal, tube) $Re > 4000$

3) Force de traînée

La force de traînée (F_d) est la force de résistance qu'exerce un fluide (eau, air, huile...) sur un corps en mouvement à l'intérieur de ce fluide. Elle s'oppose toujours au mouvement.

Selon le régime d'écoulement si le régime est laminaire $Re < 1$,

Quand les particules sont petites et le mouvement lent, on a la formule simplifiée : selon la loi de Stokes $F_d = 3\pi \mu d v$ OU $F_d = 6\pi r \mu v$

Avec :

- μ : viscosité dynamique du fluide
- d : diamètre de la particule ou r = rayon
- v : vitesse

Cas turbulent ($Re > 1000$)

On utilise à nouveau la formule générale : $F_d = \frac{1}{2} \rho_f v^2 A C_d$

$C_d = 0.47$ si la particule est une sphère

Avec :

- C_d : coefficient de traînée (dépend du régime d'écoulement)
- ρ_f : masse volumique du fluide
- v : vitesse relative entre la particule et le fluide
- A : aire projetée

4) Vitesse de chute limite

La vitesse de chute limite (ou vitesse terminale) d'une particule en décantation est la vitesse maximale et constante que la particule atteint lorsqu'elle tombe dans un fluide, une fois que toutes les forces en jeu sont en équilibre.

Formule en régime laminaire ($Re < 1$) — Loi de Stokes

Pour une particule sphérique : à l'équilibre $F_D = F_e$ donc

$$v_t = \frac{(\rho_p - \rho_f) g d^2}{18 \mu}$$

Où :

- v_t : vitesse de chute limite (m/s)
- ρ_p : masse volumique de la particule (kg/m^3)
- ρ_f : masse volumique du fluide
- g : $9,81 \text{ m/s}^2$
- d : diamètre de la particule (m)
- μ : viscosité dynamique du fluide (Pa·s)

Équation de la vitesse limite en régime turbulent

En égalant $F_D = F_e$

$$v_t = \sqrt{\frac{4 g d (\rho_p - \rho_f)}{3 C_D \rho_f}}$$

où :

- g = accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$),
- d = diamètre de la particule (m),
- ρ = densité de la particule (kg/m^3),
- ρ_f = densité du fluide (kg/m^3),
- C_D = coefficient de traînée, souvent proche de 0,44 en régime pleinement turbulent

5. Types de décanteurs

En principe on a deux types des décanteurs : le type vertical et le type horizontal ; toutefois on les classifie par leur mode de fonctionnement : discontinu et continu ; bien qu'il soit aussi identifié selon leur rôle d'épaississeur ou clarificateur.

- **En fonctionnement discontinu**, la suspension est laissée au repos dans un récipient. Dans de telles conditions, une suspension homogène des solides bien calibrés sédimente progressivement. Au bout d'un moment apparaisse les différentes phases de sédimentation comme à la Figure II-0 ci-dessus.
- **En fonctionnement continu**, l'alimentation en pulpe et le soutirage du liquide clair s'effectuent sans interruption, l'évacuation du sédiment pouvant être intermittente ou continue. Tels les décanteurs cylindro-coniques