

Chapitre V- Procédés de séparation solide-liquide

V.1 Décantation

V.1.1 Principe

La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente de MES et colloïdes (rassemblés sous forme de floc après l'étape de coagulation/floculation). Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur.

Cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute, de décantation ou ascensionnelle) afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège.

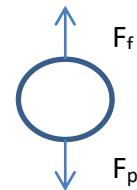
Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée.

V.1.2 Bilan des forces de décantation des particules

Lorsqu'une particule grenue est laissée dans un liquide au repos, elle est soumise à une force motrice F_p (pesanteur diminuée de la poussée d'Archimède) et à une force résistante F_f (traînée du fluide) résultante des forces de viscosité et d'inertie :

$$F_p = g \cdot v \cdot (\rho_p - \rho_l); \quad F_f = (C \cdot s \cdot \rho_l \cdot V^2) / 2$$

$(\rho_p - \rho_l)$: masses volumiques de la particule grenue et du fluide,
 d, s, V : diamètre, surface projetée et volume de la particule grenue,
 v : vitesse de décantation de la particule,
 g : accélération de la pesanteur,
 C : coefficient de traînée (adimensionnel).



Très vite un équilibre ($F_p = F_f$) s'établit et la décantation de la particule assimilée à une sphère se fait à vitesse constante V_p selon la loi de Stokes telle que :

$$V_p = \frac{g}{18 \cdot \mu} (\rho_p - \rho_l) d^2$$

V.1.3 Types de décantation

Selon la concentration en solide et la nature des particules (densité et forme), on distingue trois types de décantation :

V.1.3.1 La décantation de particules grenues (discrètes) : Les particules conservent leurs propriétés initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute. La vitesse de chute est alors indépendante de la concentration en solide.

V.1.3.2 La décantation diffuse des particules floculées : Ce type de décantation est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Les propriétés physiques de ces particules (forme, dimension, densité et vitesse de chute) sont donc modifiées pendant le processus.

V.1.3.3 La décantation en piston des particules floculées : Quand la concentration en particules floculées augmente, les interactions en particules ne sont plus négligeables, elles décantent en « piston ». La floculation et la décantation peuvent s'en trouver d'abord améliorées puis freinées au-delà d'une certaine concentration critique, on parle d'une « *décantation freinée* ».

Quand on réalise une décantation en piston dans un tube de hauteur et de diamètre suffisants, on laisse la suspension au repos. Au bout d'un moment apparaissent dans le récipient différentes couches, de hauteur variable avec le temps. On observe ainsi de bas en haut (**Figure 1**) :

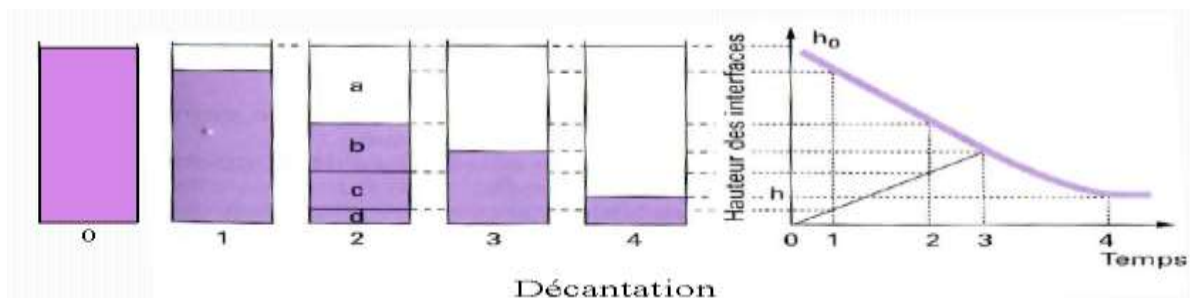


Figure 1 : L'évolution de la hauteur de l'interface la courbe de **Kynch**

Une couche supérieure (a) de liquide clair.

- une couche (b) de même concentration que la suspension initiale.
- une couche (c) dite de transition, de concentration intermédiaire entre celle de la couche précédente et celle de la suspension initiale.
- une couche inférieure (d), ou couche d'épaississement des boues dont le niveau augmente rapidement avant de diminuer lentement. La surface de séparation entre la couche de liquide claire (a) et le reste de la solution est en général très nette.

À partir d'un certain état, les zones b et c disparaissent, c'est le point critique. L'évolution de la hauteur de l'interface a-b en fonction du temps, constitue **la courbe de Kynch**.

V.1.4 Types de décanteur

Il existe plusieurs types de décanteurs. Selon la forme il peuvent être à section circulaire ou rectangulaire

V.1.4.1 Décanteurs statiques

Il est constitué d'un bassin rectangulaire ou circulaire où les boues se déposent. Les petits décanteurs sont munis de fonds inclinés de 45° à 60° pour permettre l'évacuation continue ou intermittente des boues au point le plus bas. Ce type de décanteur peut être à flux vertical (**Figure 2**) ou à flux horizontal.

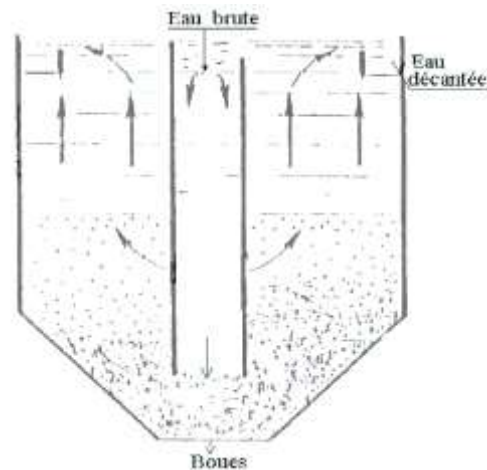


Figure 2: décanteur statique à section circulaire et à flux vertical

V.1.4.2 Décanteurs à contact de boues

L'idée est de mettre en contact l'eau flocculée avec des boues déjà formées. La décantation est améliorée. On peut distinguer les procédés à contact et à recirculation de boue (**Figure 3**).

Dans les décanteurs à recirculation, les boues sont séparées de l'eau clarifiée dans une zone de décantation. Elles sont ensuite en partie recyclées vers une zone de mélange munie d'une agitation mécanique ou hydraulique.

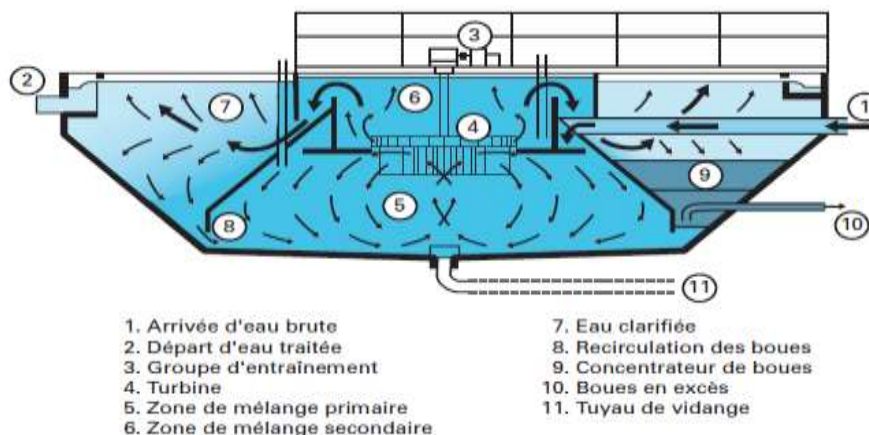


Figure 3: Décanteur à contact de boues

V.1.4.3 Décanteurs à lamelles

L'amélioration de la décantation passe par une évacuation du dépôt de boues plus rapide. Pour cela il suffit que la surface sur laquelle le floc se dépose soit inclinée pour que ce dernier puisse glisser vers le bas au fur et à mesure. D'où la réalisation de *modules lamellaires* inséré dans un décanteur, dont la surface S ($L \times l$) de chaque lamelle devient une surface de décantation (**Figure 4**), l'angle d'inclinaison étant un des éléments importants de ce système.

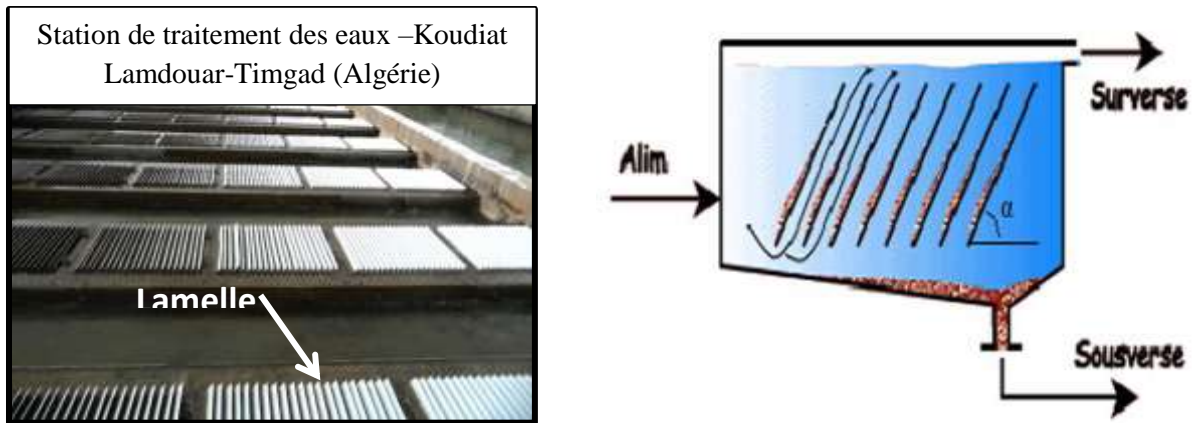


Figure 4 : Décanteur lamellaire

V.1.4.4 Décanteurs à tubes

On trouve sur le marché deux types de décanteurs à tubes : ceux dont les tubes sont légèrement inclinés par rapport à l'horizontale (7°) et ceux dont les tubes sont fortement inclinés par rapport à l'horizontale (60°). Ces deux types de décanteurs sont habituellement constitués d'un empilement de tubes de section carrée de 5 cm de côté (**Figure 5**).



Figure 5: Décanteur à tubes fortement inclinés

V.2-Filtration

V.2.1 Principes

C'est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (filtre à sable en générale) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau floculée et décantée. Selon le cas elle se met en œuvre dans des appareils ouverts (à écoulement gravitaire) ou fermés sous pression.

C'est un procédé disposé généralement après la décantation ou la flottation (notamment dans le cas des eaux de surface).

Le filtre à sable nécessite un nettoyage périodique afin d'éliminer les matières retenues entre les grains qui ralentissent le passage de l'eau. La filtration sur lit de sable, efficace, simple et peu coûteuse, s'est imposée, en raison des énormes volumes d'eau à filtrer.

D'une façon générale, on distingue deux types de filtration : filtration à ciel ouvert (**Figure 6** et **Figure 7**) et filtration sous pression (**Figure 8**).

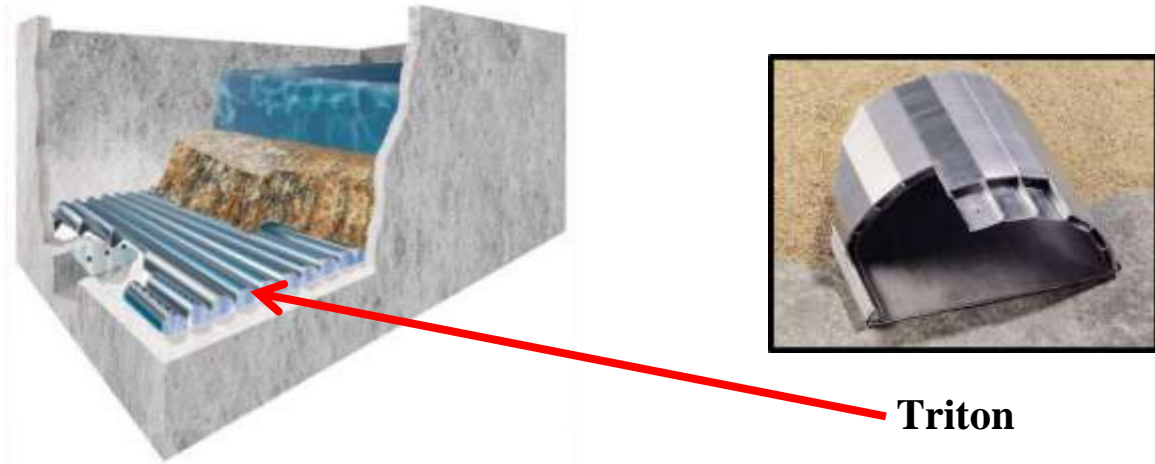


Figure 6 : Filtration sur sable à ciel ouvert à base de tritons

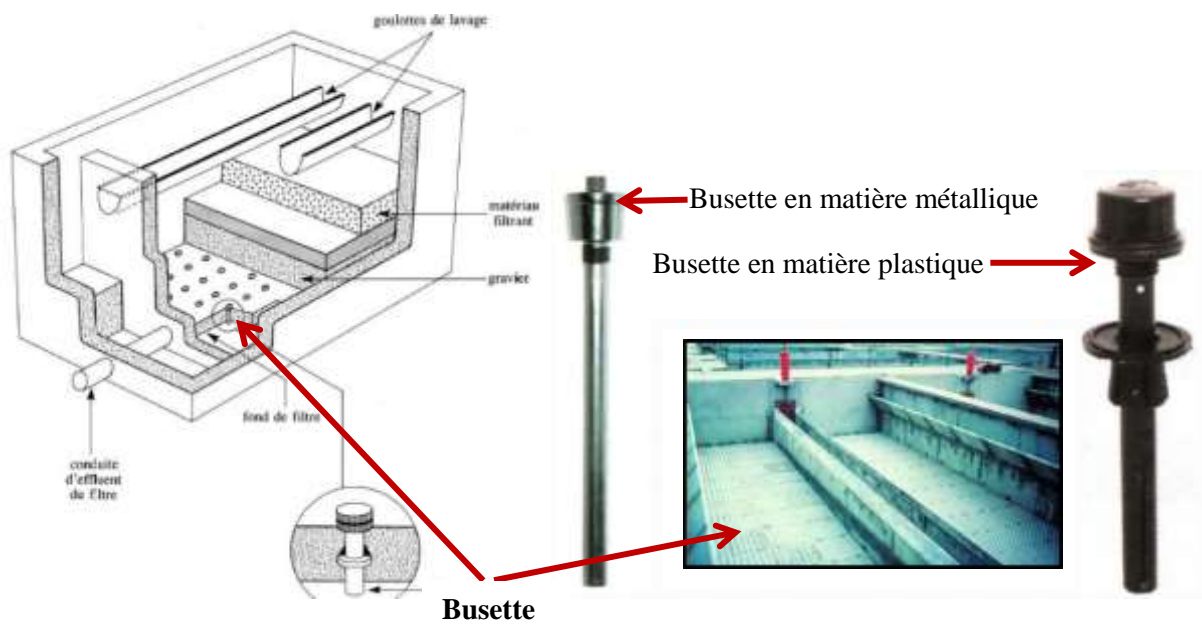


Figure 7 : Filtration sur sable à ciel ouvert à base de busette



Figure 8 : Filtration sous pression
appareil fermé

V.2.2 Types de filtration

1. **Filtration lente** : vitesse de filtration est de quelques mètres par jours (environ 7 m/J et ne dépasse pas 10 m/J).
2. **Filtration rapide** : vitesse est supérieure à 3 m/h (72 m/J). Le filtre à sable rapide à ciel ouvert est le type de filtre le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation.

- **Vitesse de filtration (V)** : $V = \frac{Q}{S}$

Q : Débit qui passe à travers du filtre

S : Surface horizontale du filtre

Porosité du filtre (e) : $e = \frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume total du filtre}} = \frac{1 - \text{Masse du sable}}{\text{Masse volumique de sable} \times \text{Volume totale}} = \frac{1 - M_s}{\rho_s \times V_T}$

- **Perte de charge d'un filtre (ΔH)** : La perte de charge d'un filtre, même quand il est propre, est due à la résistance au passage de l'eau. Loi de DARCY : $V = K \times \frac{\Delta H}{L}$

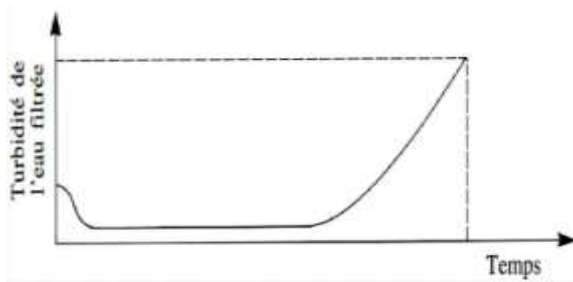
V : vitesse de filtration de l'eau (m/s), **ΔH** : Perte de charge en m ; **K** : Coefficient de perméabilité de la couche de filtration (m/s) ; **L** : Epaisseur du lit de filtration

V.2.3 Paramètres influençant la filtration

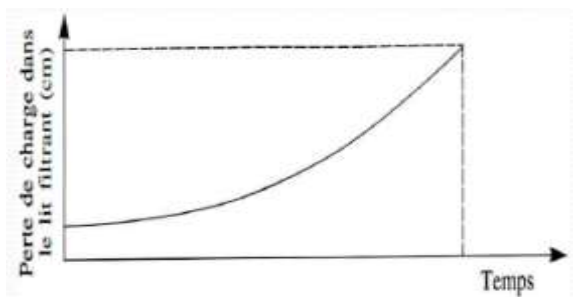
Pour optimiser l'utilisation d'un filtre, on doit le faire fonctionner de telle sorte que, lorsque la turbidité de l'effluent atteint la valeur maximale permise (normes), les pertes de charge atteignent, elles aussi, leurs limites maximales permises ($\Delta H \leq h$). L'utilisation d'un filtre n'est pas optimale lorsque les deux situations se produisent et un lavage du filtre devient nécessaire.

Le suivi du fonctionnement du filtre se fait par :

1. La turbidité de l'eau filtrée en fonction du temps



Surveillance de la turbidité de l'eau à la sortie du filtre. La turbidité de l'effluent atteint doit être $<$ la valeur maximale permise (normes)



Surveillance de la perte de charge par des prises de pression statiques à différents niveaux, du lit filtrant. Il faut que la perte de charge $\Delta H \leq h$ (h : hauteur d'eau au-dessus du sable).

Si $\Delta H > h$, on a une dépression et dégazage.

V.2.4 Lavage du filtre

Lorsque l'eau de lavage est injectée par le fond, le milieu filtrant prend de l'expansion et libère les particules arrêtées par le filtre. Ces particules, beaucoup moins denses que les grains de sable, sont aisément entraînées vers les goulottes de lavage (**Figure 9**, **Figure 10**).

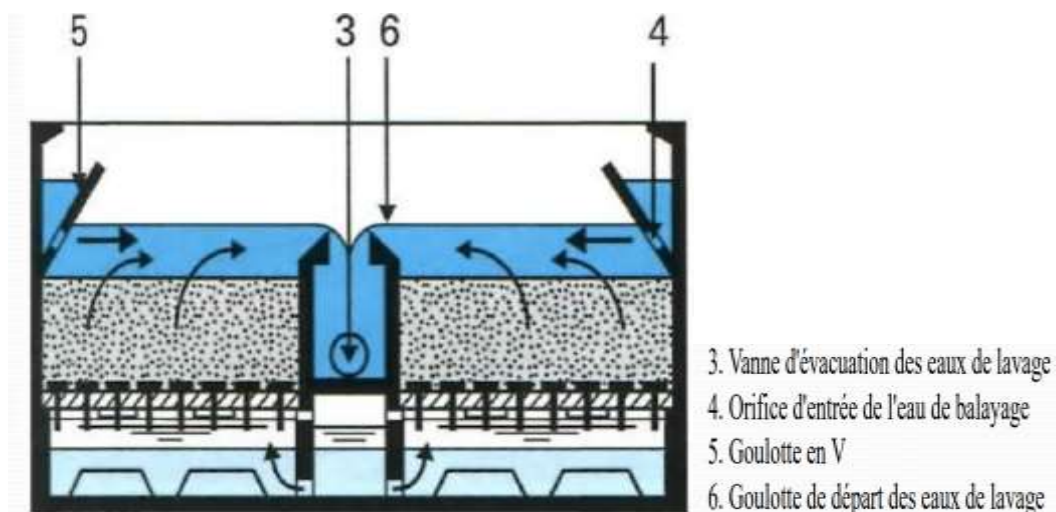


Figure 9: Lavage du filtre à sable à l'eau



Figure 10: Lavage du filtre à sable avec l'eau et l'air (Station de Traitement des eaux-Koudiet Lamdaouar, Timgad -Algérie)

V.2.5 Problème rencontrée pour un lit de filtration sur sable

Sur une installation qui a une trentaine d'années, on peut remarquer que les dalles auront tendance à se soulever lors des opérations de contre-lavage, ce qui pourra présenter des fissures et les busettes céderont (**Figure 11**).



Figure 11: Problèmes rencontrés après plusieurs cycles de lavage du filtre et des conditions de pression de lavage non contrôlées (béton fondu, et busettes détériorées)