

II.1. Introduction

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. A partir d'une eau usée et grâce aux procédés de traitements, il est possible d'obtenir toute une gamme d'eaux de qualités différentes. A chacune de ces qualités peut correspondre un usage particulier. Ces procédés peuvent réduire les concentrations des polluants sous toutes leurs formes et à des coûts variables selon le niveau de qualité exigé par le milieu récepteur.

Ces procédés dépendent essentiellement de :

- L'importance de la charge polluante à traiter ;
- La qualité de l'effluent requis ;
- La disponibilité du terrain.

Dans le procédé d'épuration, il est à étudier :

- Traitement et épuration de l'eau usée.
- Traitement des boues.

II.2. Les techniques d'épuration des eaux usées

Après collecte et acheminement vers les stations d'épuration, le processus d'épuration des eaux usées peut débuter. Pour épurer l'eau, il faut généralement combiner plusieurs traitements élémentaires dont les bases peuvent être physiques, chimiques ou biologiques, et dont l'effet est d'éliminer tout d'abord les matières en suspension, ensuite les substances colloïdales, puis les substances dissoutes (minérales ou organiques). Il faut enfin corriger certaines caractéristiques.

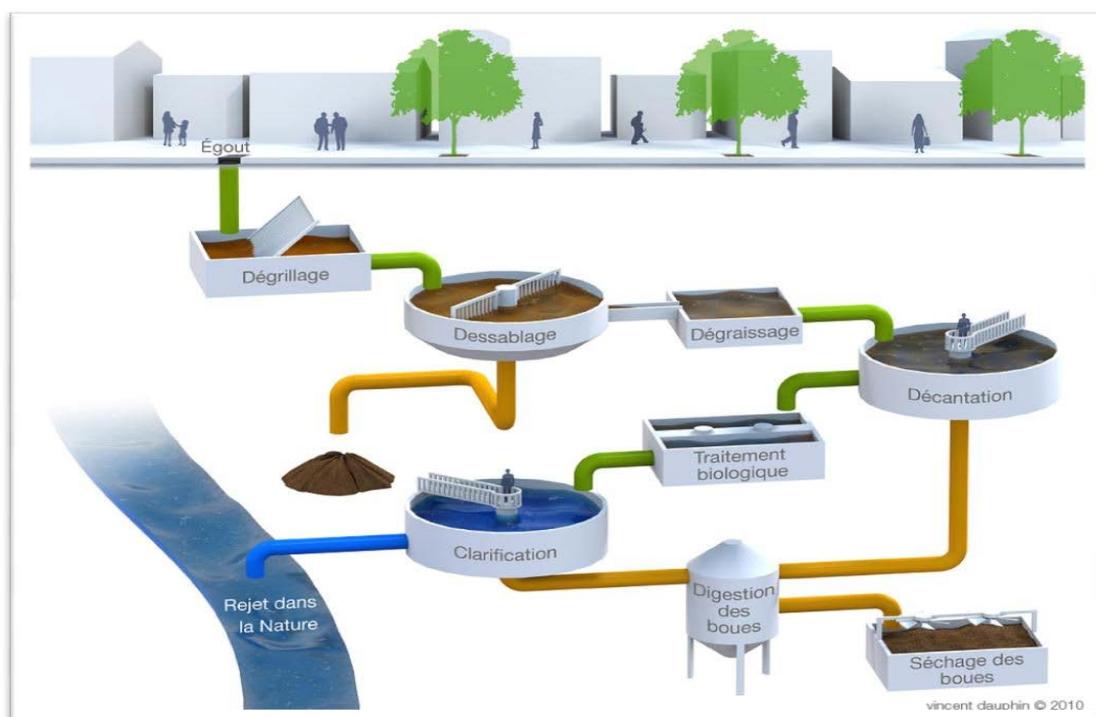


Figure II.1. Processus de traitement des eaux usées

II.2.1. Prétraitement

La première étape de traitement consiste en un prétraitement. Les prétraitements ou les traitements préliminaires consistent en un certain nombre d'opérations mécaniques et physiques. Ces dispositifs sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre en aval. Leur défaillance a une incidence négative sur le rendement épuratoire global. Les opérations de prétraitements physiques sont :

II.2.1.1. Dégrillage

En entrée de station d'épuration, l'eau usée passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement, courbés ou inclinés : **les dégrilleurs**. Ces dégrilleurs assurent la séparation des éléments grossiers contenus dans les effluents à traiter, afin de prévenir des risques de colmatage des installations en aval. Ce sont les déchets issus de cette étape que nous appelons les « refus de dégrillage ».

a. Les caractéristiques générales d'une installation de dégrillage

➤ Espacement des barreaux

L'espacement entre les barreaux permet de fixer la taille des déchets à éliminer ; pour cela, on distingue trois types de dégrillage, en fonction de la taille des détritus à éliminer. On parle donc:

- d'un dégrillage grossier (ou pré-dégrillage) pour des mailles supérieures à 50 mm ;
- d'un dégrillage (ou dégrillage moyen) pour des mailles comprises entre 10 et 50 mm ;
- d'un dégrillage fin pour des mailles comprises entre 3 et 10 mm ;

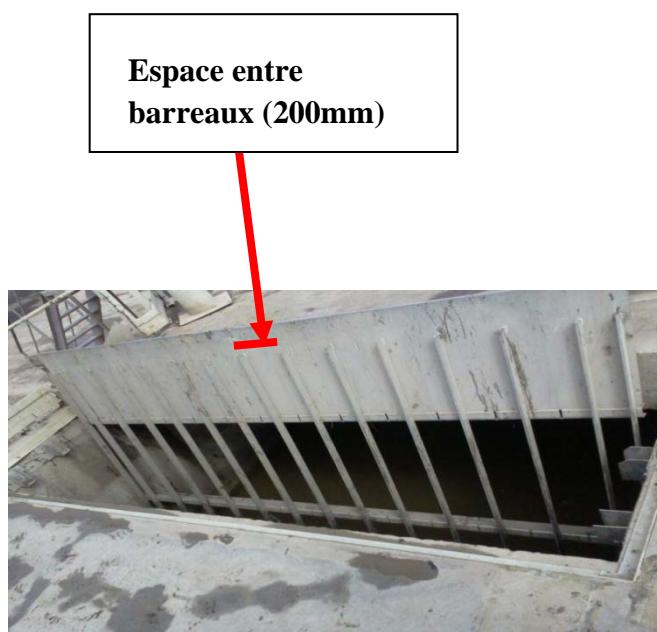


Figure II.2. Pré-dégrilleur



(a)

(b)

Figure II.3. (a) Dégrilleur moyen , (b) Dégrilleur fin

Le choix de la maille dans les stations d'épuration est fonction de la filière de traitement en aval du prétraitement (**Tableau II.1**). Pour des procédés sensibles au colmatage (décantation lamellaire, biofiltration, ...) on va privilégier de faibles écartements. La tendance actuelle est de réduire l'écartement en raison des nouvelles technologies mises en place sur certaines filières de traitement. Par exemple, en traitement de type boue activée, les écartements, dans les années 1990, se situaient entre 30 et 40 mm et sont maintenant de 10 mm en raison de la mise en place de diffuseurs dans le réacteur biologique

Tableau II.1. Classification des dégrilleurs et des tamis selon la maille de dégrillage et le procédé de traitement des eaux usées associé.

Type de dégrillage / tamisage	Maille (mm)	Procédé de traitement des eaux usées
Dégrillage grossier	60 mm jusqu'à 20 mm	Boue activée
Dégrillage moyen	20 mm jusqu'à 10 mm	
Dégrillage fin	10 mm jusqu'à 2 mm	Biofiltre
Tamisage grossier	≥ 1 mm	Bioréacteur à membranes (BRM)
Tamisage fin	< 1 mm	
Microtamisage	≤ 0.05 mm	

➤ Forme et position de la grille

On distingue deux types de grilles :

1. Grilles manuelles

Elles sont composées de barreaux droits de section circulaire ou rectangulaire, généralement inclinées sur l'horizontale (60° à 80°). Ces grilles sont réservées aux très petites stations d'épuration car le nettoyage de celles-ci s'effectue manuellement et nécessite ainsi l'intervention du personnel de la STEP à plusieurs reprises dans une journée. Ce type de grille est également installé dans le canal de by-pass des stations d'épuration.

2. Grilles mécaniques

Les grilles mécaniques, sous-entendu « à nettoyage mécanisé », sont indispensables dès que la capacité de traitement de la station augmente (au-delà de 2000 équivalents habitants), ou pour réduire les interventions manuelles dans les petites stations. Le nettoyage des grilles peut s'effectuer par l'amont (le mécanisme de nettoyage se situe à l'amont du champ de grille) ou par l'aval, qui présente le risque de chute des déchets collectés après les dégrilleurs.

Les grilles mécaniques se classent en deux catégories :

- Les grilles droites ;
- Les grilles courbes.

❖ Grilles droites

Les grilles droites, dont le champ de grille est généralement incliné de 80° sur l'horizontale, sont principalement utilisées pour le dégrillage grossier ou moyen (**Figure II.4**). Le dispositif de nettoyage est du type à râteau ou à grappin alternatif, commandé par câbles, permettant d'obtenir une grande hauteur de relèvement des refus. Ce type de dégrilleur est particulièrement adapté aux stations de moyenne à grande capacité de traitement.

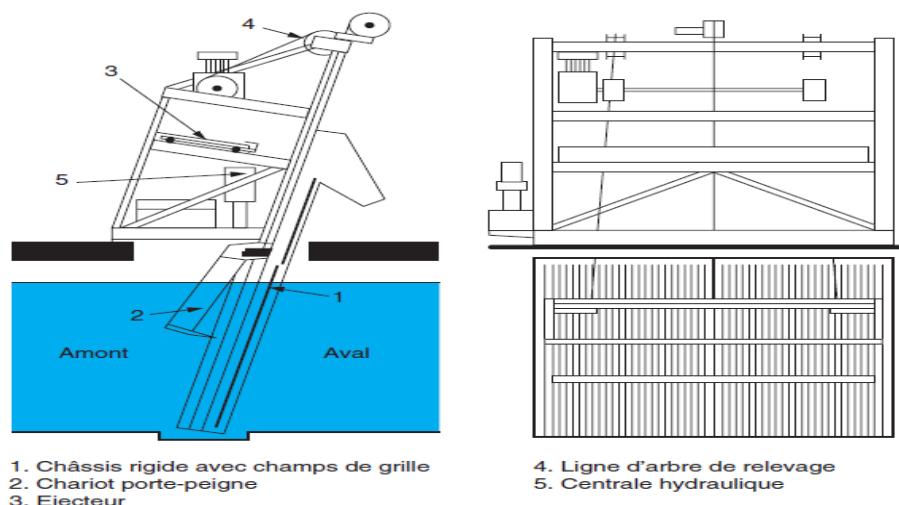


Figure II.4. Schéma de principe d'une grille droite

❖ **Grilles courbes**

Les grilles courbes, avec un ou deux bras diamétraux rotatifs de nettoyage, sont équipées de peignes (éventuellement de brosses pour des grilles fines), avec éjection automatique des détritus dans une goulotte de réception (**Figure II.5**). Ces grilles, qui sont prévues pour des canaux ayant une profondeur inférieure à deux mètres, sont adaptées aux stations de petite à moyenne capacité. Le débit d'eaux usées à traiter varie de 10 à 5000 m³ /h.

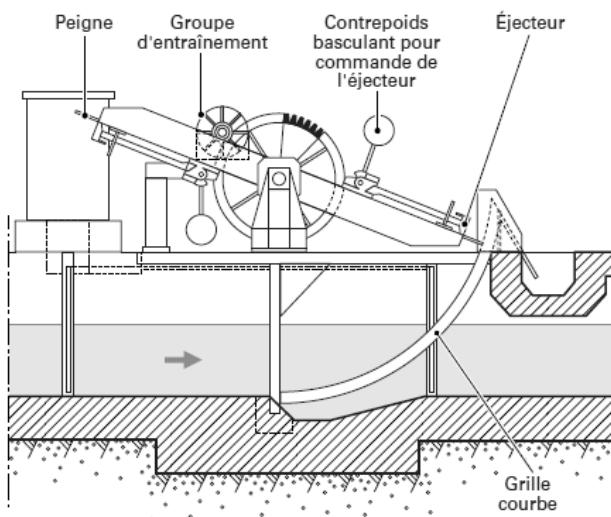


Figure II.5. Schéma d'un dégrilleur courbe

b.Vitesse de passage et perte de charge

La vitesse de passage de l'eau doit permettre l'application des matières sur la grille sans provoquer des pertes de charge importantes ni entraînement des colmatages en profondeur des barreaux.

- ➡ **Vitesse moyenne de passage entre les barreaux :** doit être comprise entre 0,6 et 1 m/s et peut atteindre 1,40 m/s en débit de pointe.
- ➡ **Pertes de charge :** $0.05 \text{ m} < \Delta h < 0.15 \text{ m}$ en eau de consommation et $0.1 \text{ m} < \Delta h < 0.40 \text{ m}$ en eau résiduaire.

II.2.1.2.Tamisage

Le tamisage est un dégrillage poussé utilisé dans les stations d'épuration industrielles. Il consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Cette opération est mise en œuvre dans le cas des eaux résiduaires chargées de matières en suspension (eaux usées d'abattoirs et de conserveries de légumes), on distingue :

- ❖ Le macro tamisage : dimension de mailles $\geq 1\text{mm}$
- ❖ Le Tamisage fin : dimension de mailles $< 1\text{mm}$

- ❖ Le micro tamisage : dimension de mailles ≤ 0.05 mm.

Les mailles de ces tamis diffèrent par leur géométrie et jouent un rôle dans les performances de l'installation

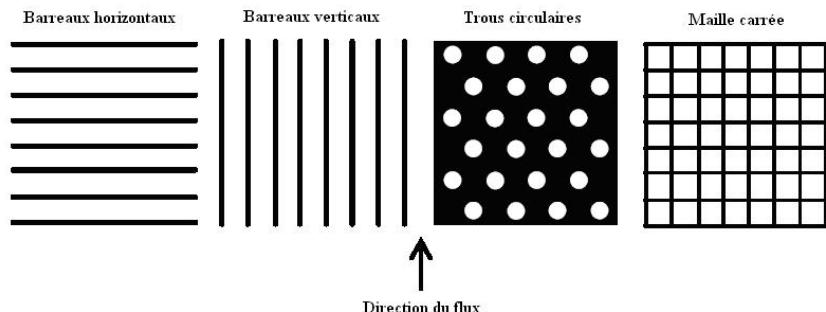


Figure .II.6. Les différentes géométries des mailles des tamis

Pour les dispositifs utilisées il ya :

1. Des tamis rotatif

Dont la vitesse de filtration 40 cm/s, avec des pertes de charges 20 cm d'eau, ils doivent être décolmatés en permanences.

2. Des tamis vibrants

Forme rectangulaire adaptée aux matières non collantes.

3. Tamis fixes

Constitués de plaques d'aciers inoxydables perforés, de trous circulaires et raclées par une lame de caoutchouc autonettoyante.

Deux études récentes, dont les principaux résultats sont présentés dans le **Tableau II.2**, ont montré que la taille de maille n'était pas le seul paramètre à prendre en compte pour évaluer l'efficacité d'un tamiseur, la géométrie de la maille jouant également un rôle important.

TableauII.2. Rendement épuratoire des tamiseurs fonction de la géométrie de la maille

Type de maille	MES éliminée	DCO éliminée
Fente horizontale – 0,50 mm	13 %	19 %
Fente horizontale – 0,75 mm	15 %	9 %
Carrée – 0,75 mm	25 %	23 %
Circulaire – 0,8 mm	20 %	27 %
Fente horizontale – 1 mm	6 %	2 %
Circulaire – 2 mm	7 %	4 %
Non précisée – de 0,5 à 1 mm	12 %	6 %

II.2.1.3. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des rejets, les graviers, les sables et autres matières minérales de dimensions $> 0,2$ mm de façon à éviter les dépôts dans les conduites et les canaux, et à protéger les pompes et les autres équipements électromécaniques contre l'abrasion. La vitesse de sédimentation se calcule par la loi de Stokes (chute libre). On calcule la section du dessableur de manière que la vitesse de l'eau ne descende pas au-dessous de 0,20 à 0,30 m/s, on évite ainsi que les matières organiques se déposent en même temps que les sables.

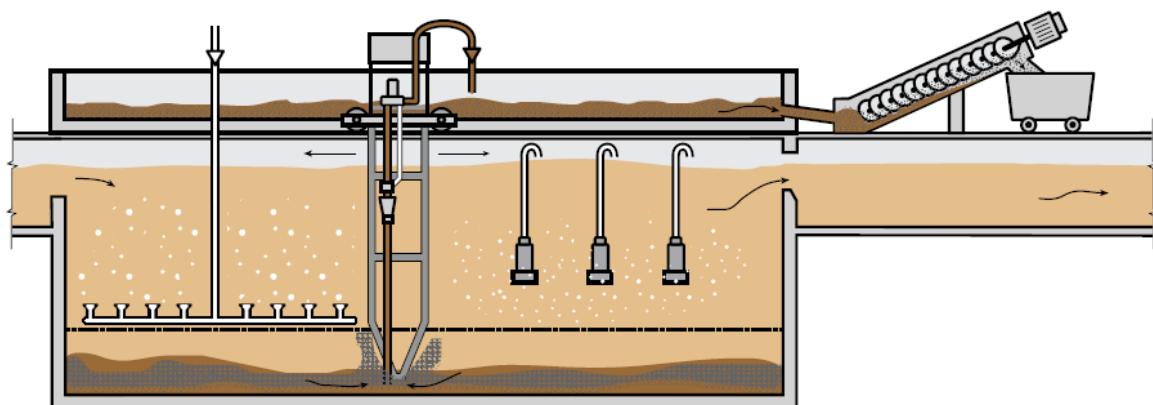


Figure II.7. Représentation schématique du déssableur

Les ouvrages à prévoir pour obtenir une vitesse d'écoulement de 0,30 m/s sont, par ordre d'importance :

► **Déssableurs couloirs**

C'est des déssableurs à écoulement rectiligne, dont la vitesse d'écoulement est variable ou constante.

Une particule arrivant en surface sera captée si elle atteint le fond du déssableur avant de pénétrer dans la zone de sortie, son temps de chute sera :

$$t = \frac{H}{V_s}$$

t : temps de chute,

H : Profondeur du bassin

V_s : Vitesse de sédimentation

La capacité du bassin sera $C = H \cdot S_H = Q \cdot t$ d'où $V_s = \frac{Q}{S_H}$

S_H : surface horizontale du bassin,

Q : Débit traversier

Le rapport Q/S_H est appelé charge hydraulique superficielle C_H , la valeur limite supérieure de ce rapport correspondant à la vitesse de sédimentation V_s des particules

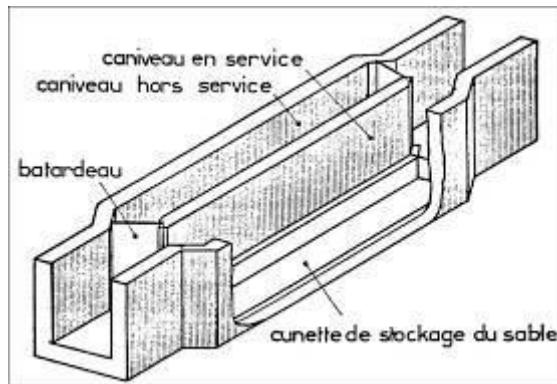


Figure II.8. Déssableur longitudinal à double caniveau

► **Dessableurs circulaires**

C'est des déssableurs à alimentation tangentielle ou à brassage mécanique ou à insufflation d'air (pour éviter le dépôt de matières organiques, en heures creuses, avec faible débit). Ses caractéristiques principales sont :

- Charge hydraulique de 15 à 30 $\text{m}^3/\text{m}^3.\text{heure}$
- Vitesse d'arrivée de 0.7 à 0.8 m/s ($> 1\text{m/s}$)
- Temps de séjour de 30 à 45 secondes ($> 25\text{ s}$)

► **Dessableurs rectangulaires à insufflation d'air**

On insuffle de l'air qui provoque une rotation de liquide et crée ainsi une vitesse constante de balayage du fond, perpendiculaire à la vitesse du transit. Ce mouvement permet d'accélérer la sédimentation vers une fosse. Le sable est extrait soit mécaniquement par raclage vers un poste de réception, puis repris par pompage, soit directement par pompe suceuse montée sur pont roulant. Ces appareils sont calculés pour un temps de séjour de 3 à 5 minutes et une injection d'air de 1 à 1.5 m^3 par m^3 d'eau.

II.2.1.3. Dégraissage – déshuilage

On peut considérer que le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Sa fonction consiste à faire remonter d'une grande partie des lipides en surface de manière à permettre leur récupération et leur élimination. Les huiles et les graisses, lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées sont séparées sous forme de boues flottantes dans des ouvrages longitudinaux ou circulaires comportant une zone d'aération où les bulles d'air augmentent la vitesse de montée des particules grasses et une zone de tranquillisation où s'effectue la récupération.

Les huiles et les graisses présentent plusieurs inconvénients pour le traitement tel que :

- Envahissement des décanteurs;
- Mauvaise diffusion de l'oxygène dans les décanteurs;
- Mauvaise sédimentation dans les décanteurs;
- Risque de bouchage des canalisations et des pompes;

- Diminution du rendement du traitement qui arrive après.

Il existe différents dispositifs de déshuilage-dégraissage conçus suivant la nature de l'eau à traiter.

a.Dégraisseur-déshuileur aéré

Amélioration de la vitesse de séparation par injection d'air. Cette injection provoque un mouvement secondaire de l'eau qui permet de guider les flottants vers des zones de tranquillisation où ils sont recueillis par raclage ou par surverse (élévation périodique du plan d'eau par fermeture partielle de la vanne de sortie).

L'ouvrage comporte donc une zone de tranquillisation et une zone d'aération. Le temps de séjour dans l'ouvrage est de l'ordre de 3 à 5 minutes au débit moyen, et de l'ordre de 10 à 15 minutes au débit de pointe

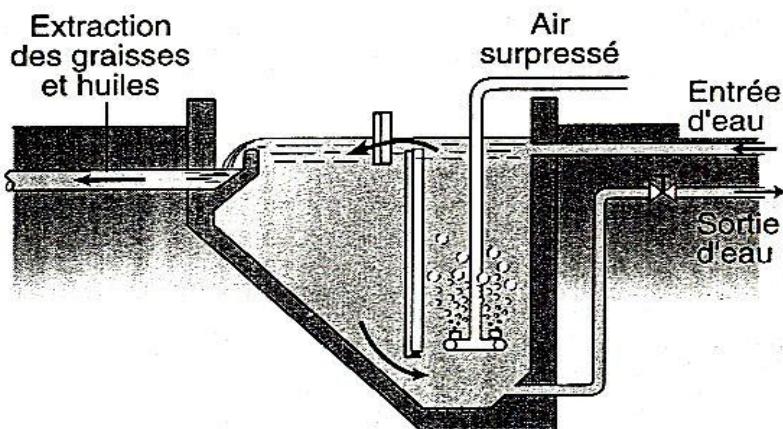


Figure II.9. Dégraisseur –déshuileur aéré

b. Déshuileur longitudinal

Ce type de déshuileur est utilisé pour traiter les eaux résiduaires de raffineries de pétrole et des industries mécaniques. Ses caractéristiques principales sont :

- Vitesse ascensionnelle de 0.9 à 3.6 m/h
- Section transversale calculée pour une vitesse d'écoulement de 18 m/h à 55m/h et égale à 15 fois la vitesse ascensionnelle,
- Hauteur du liquide / largeur du bassin compris entre 0.3 et 0.5
- Largeur comprise entre 2 et 6 m
- Hauteur d'eau de 1 à 3 m

c. Dégraisseur-déshuileur à cloisons siphoides

Ses caractéristiques principales sont :

- Temps de séjour de plusieurs minutes,
- Vitesse ascensionnelle de 7 à 10 m/ s (rapport du débit à la surface horizontale)

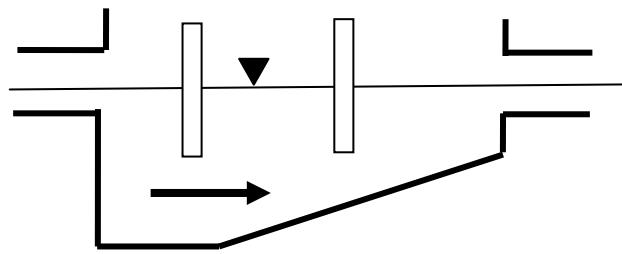


Figure II.10.Dégraisseur-déshuileur à cloisons siphoides

Le plus souvent, les deux traitements physiques précédents (dessablage et déshuilage) s'effectuent dans un seul et unique ouvrage de traitement qui est le dessableur-déshuileur. Il élimine les huiles et graisses en surface et les matières décantables en profondeur. La **figure II.11**, nous montre un schéma d'un déssableur-déshuileur.



Figure II.11. Déssableur / Déshuileur

II.2.2.Traitement primaire (Décantation primaire)

Le traitement "primaire" fait appel à des procédés physiques naturels, filtration et décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physicochimiques, tels que la coagulation-flocculation.

II.2.2.1.La décantation physique naturelle

La décantation est un procédé qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux. Il élimine jusqu'à 60 % des matières en suspension (MES), et environ le tiers de la DBO_5 entrante. Dans ce cas, la séparation qui s'effectue par gravité ne concerne que les particules de diamètre supérieur à 100 micromètre. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules.

Les boues produites fortement organiques et fermentescibles sont acheminées vers l'unité de traitement des boues. La phase aqueuse résultante, non-conforme aux seuils de rejet, est acheminée vers le traitement secondaire. La décantation a lieu dans des décanteurs circulaires raclés ou dans des décanteurs lamellaires. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation) (Figure II.12).

Les performances de la décantation primaire peuvent être améliorées en réalisant un traitement physico-chimique préalable. Cette démarche permet d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en suspension et 75 % de la DBO de l'effluent prétraité.

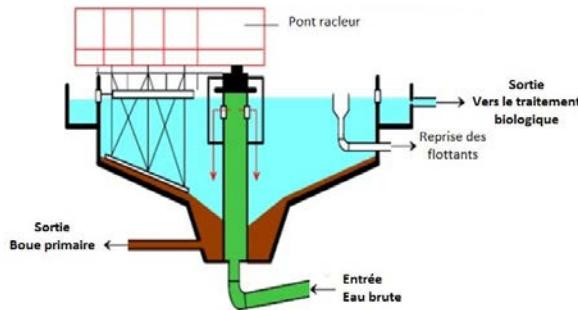


Figure II .12. Représentation schématique du traitement primaire des eaux brutes

II.2.2.2.Les traitements de décantation physico-chimiques

L'élimination complémentaire des colloïdes s'effectue par un traitement physico-chimique mettant en œuvre une coagulation-flocculation en amont d'une séparation liquide-solide par décantation ou flottation.

La coagulation et la flocculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes qui sont des particules de très faibles diamètres et très stables chimiquement. Leur vitesse de sédimentation est très faible et peut être de 1m en chute libre en plusieurs années. Ils sont généralement utilisés dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique). Ils comportent classiquement deux phases :

La coagulation est la désstabilitation de particules colloïdales par addition d'un réactif chimique appelé coagulant tel que le chlorure ferrique, la chaux, le sulfate d'alumine, les polymères, etc.

La flocculation est l'agglomération de particules désstabiliées en micro-flocs, et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle flocs. On peut rajouter un autre réactif appelé flocculant ou adjuvant de flocculation pour faciliter la formation de flocs. La séparation du floc a lieu pendant la phase de clarification (décantation secondaire). Les procédés les plus modernes utilisent du microsable injecté dans l'effluent afin d'accélérer la décantation des flocs. On parle alors d'élimination à flocs lestés.

II.2.2.3 Décantation lamellaire

La décantation lamellaire s'appuie sur l'ajout de lamelles au cœur du décanteur afin d'augmenter la surface projetée au sol artificiellement et améliorer la décantation sans pour autant augmenter la taille de ce dernier. Ces lamelles doivent permettre d'apporter une surface projetée au sol maximale tout en permettant aux particules qui les percutent de glisser vers le sol sous l'effet de la pesanteur, d'où leur inclinaison. Généralement l'angle d'inclinaison par

rapport à l'horizontale est de 45 à 60° et l'espacement entre les plaques de 10 à 20 cm. Le principal avantage de la décantation lamellaire réside dans sa compacité par rapport à un décanteur classique, ce qui est très intéressant notamment en zones fortement urbanisées.

Différents procédés de décantation physico-chimique lamellaire existent, mais les plus répandus est un réacteur de coagulation, suivi d'un réacteur de flocculation, puis d'un bassin de décantation lamellaire. L'ajout de micro-sable en plus du polymère permet de lester les flocs. Cela permet l'application d'une vitesse de passage plus élevée.

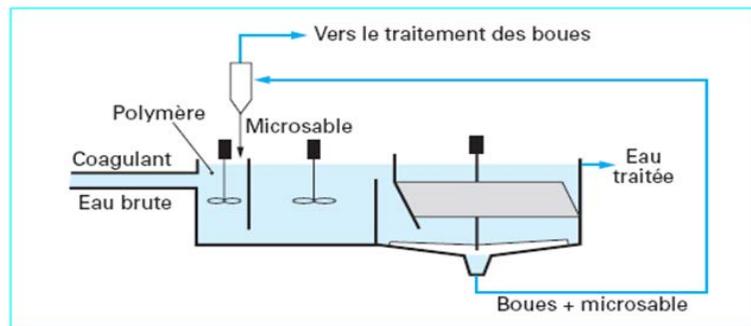


Figure II.13. Schéma du procédé de décantation physico-chimique lamellaire

➤ **Les principaux types de décanteurs**

a. Les décanteurs statiques sans raclage

Ils sont généralement utilisés pour les petites stations (1000 à 2000 Hab). Le temps de séjour est de l'ordre de 1h 30mn à 2h au débit diurne. L'extraction des boues exige une pente de fond (au moins égale à 60°). La **figure II.14** représente un décanteur cylindro-conique statique sans raclage.

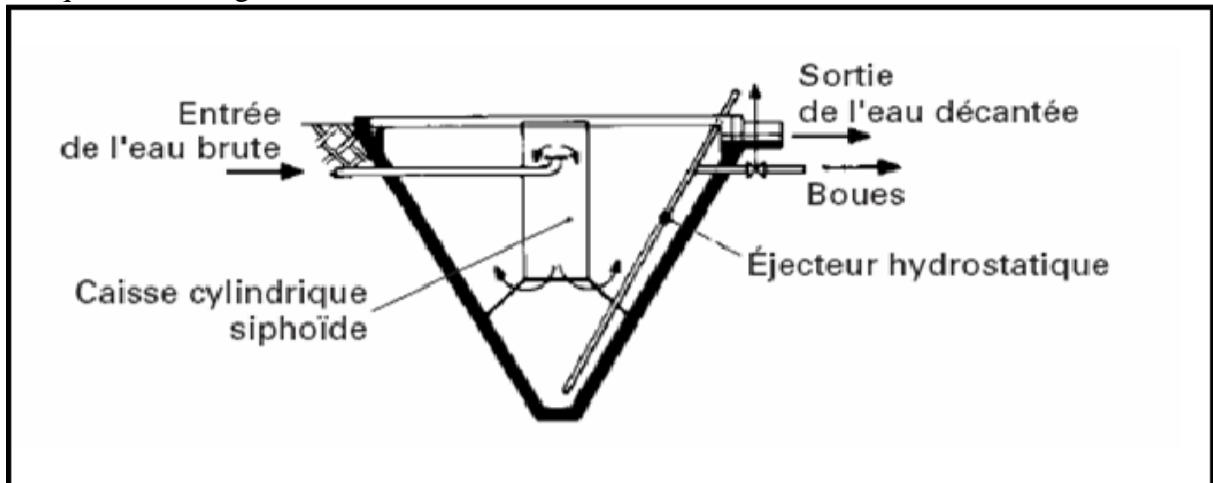


Figure II.14. Décanteur cylindro-conique statique sans raclage

b. Les décanteurs statiques à raclage mécanique des boues

1 .Décanteurs circulaires

Le racleur est fixé à une charpente tournant autour de l'axe du bassin. Il peut comporter une seule lame en forme de spirale ou une serre de raclettes. Il comprend un fût central creux où arrive l'eau brute d'où elle est répartie généralement par une cloison siphonique annulaire. Les boues sont amenées vers une fosse centrale à l'aide d'un dispositif de raclage sur une pente de 5 à 10°. De plus un racleur de surface pousse les corps flottants vers une écumeoire d'où ils peuvent regagner la fosse des boues. Un décanteur circulaire à raclage mécanique est représenté sur la **figure II.15**

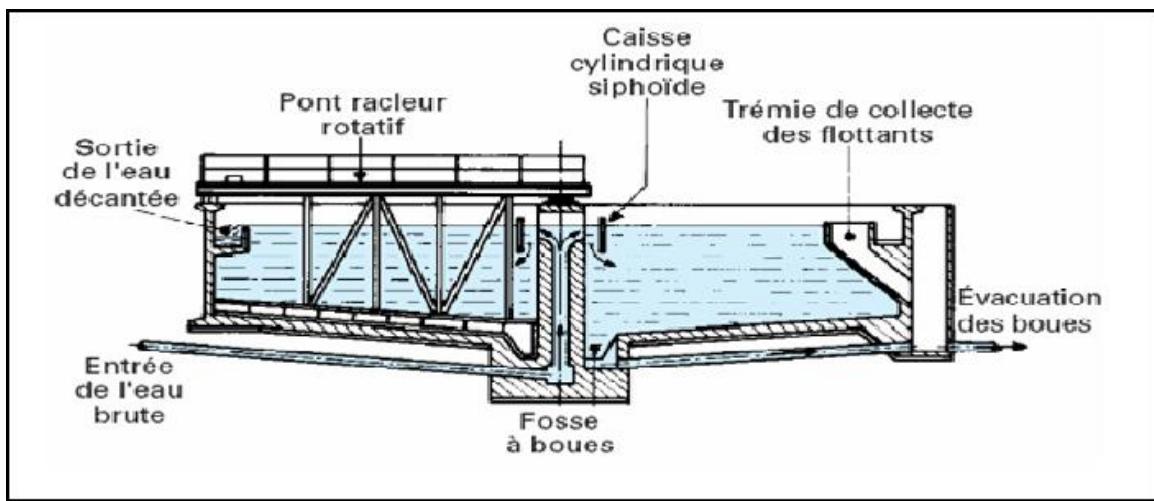


Figure II.15. Décanteur circulaire à raclage mécanique

2 .Décanteurs longitudinaux rectangulaires

Il existe deux types de décanteurs rectangulaires avec raclage qui sont les suivants :

1. les décanteurs à pont racleur.
2. les décanteurs à chaînes.

Les ponts racleur se déplacent selon un système de va-et-vient et procèdent au raclage avec un mouvement à contre-courant. Par contre, les décanteurs à chaînes permettent un raclage continu des boues et des flottants par une série de raclettes montées en deux chaînes sans fin parallèle tournant le long des parois verticales du bassin. Dans les deux types de décanteurs, le puits des boues est situé à l'arrivée de l'effluent. Un décanteur rectangulaire avec raclage est représenté sur la figure qui suit :

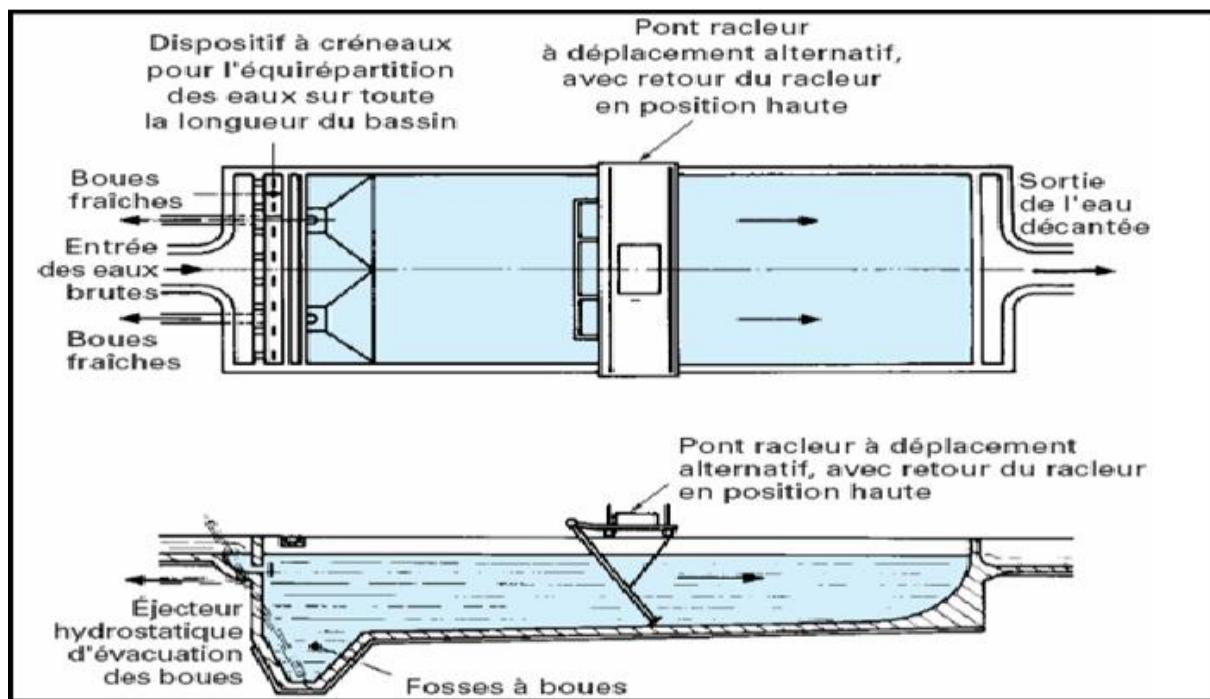


Figure II.16. Décanteur longitudinal à pont racleur