

CHAPITRE III

TRAITEMENT SECONDAIRE

1

Prof. MERZOUK Belkacem

*Département d'Hydraulique,
Université Mohamed Boudiaf de M'sila,*

Email: belkacem.merzouk@univ-msila.dz

III.1. INTRODUCTION

Ce traitement a pour but d'éliminer les matières organiques biodégradables contenues dans l'eau usée par l'action de micro-organismes, en présence d'oxygène dissous. De plus, il peut transformer l'azote organique et ammoniacal en nitrates.

Ce traitement peut être réalisé selon deux procédés essentiels : biologique et physicochimique.

- Les traitements physicochimiques reposent sur la coagulation-floculation.
- Dans les traitements biologiques, on retrouve quatre (4) filières majeures:
 - **Les techniques intensives** (*Boues activées, Lits bactériens, Disques biologiques*)
 - **Les techniques extensives** (*Lagunage*).

Dans cette partie, seul le traitement biologique par boues activées sera abordé.

III.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES BOUES ACTIVÉES

Le procédé consiste à développer un floc bactérien dans un bassin d'aération alimenté en eau résiduaire en brassant suffisamment la masse pour éviter la décantation des flocons, et en fournissant l'O₂ nécessaire à la **prolifération** des microorganismes.

La culture bactérienne, dispersée sous forme de flocons (boues activées) se développe et forme avec l'eau usée une liqueur mixte. Après un temps de contact suffisant, permettant la fixation et l'assimilation de matières organiques, cette liqueur est envoyée dans un clarificateur (décanteur secondaire) où s'effectue la séparation de l'eau épurée et des boues.

Les boues décantées sont introduites en partie dans le bassin d'aération (*recirculation des boues*) pour maintenir un équilibre constant entre la quantité de pollution à traiter et la masse de bactéries épuratrices.

Les boues en excès sont évacuées du système vers le traitement des boues (*épaississement, déshydratation, lits de séchage ...*).

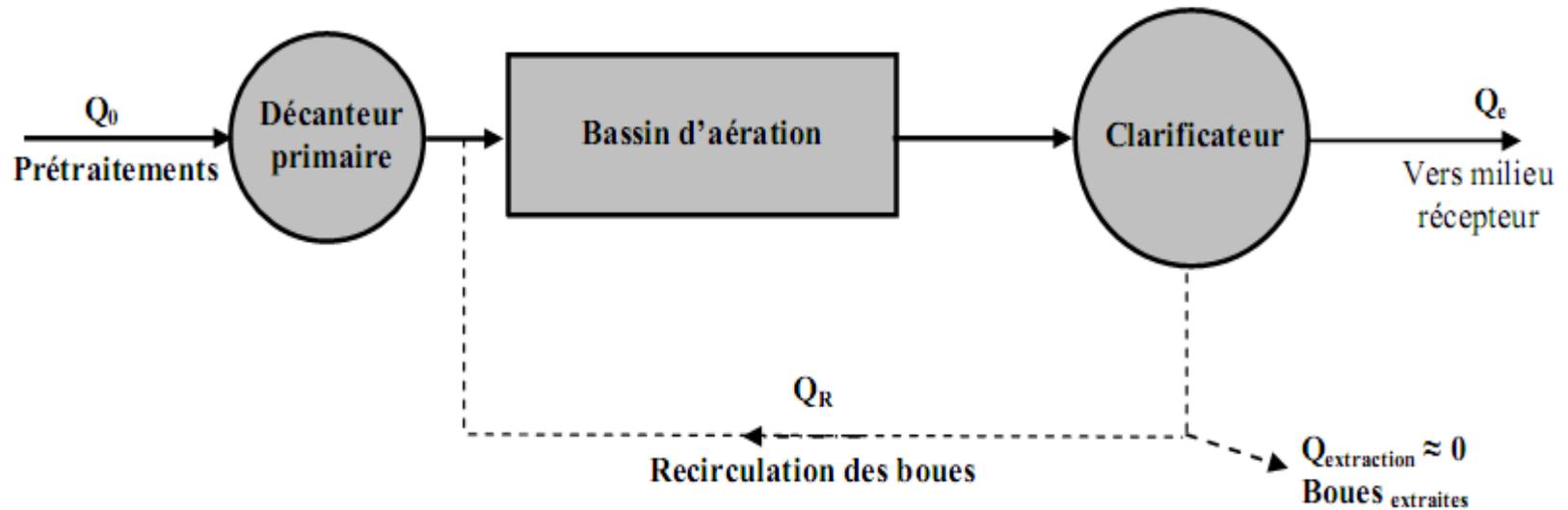


Figure III.1: Procédé d'épuration par boues activées

Avec:

Q_0 : débit d'eau à épurer (affluent)

Q_e : débit d'eau épuré (effluent)

Q_R : débit de recirculation des boues.

III.3. BASSIN D'AÉRATION

Le bassin d'aération est un réacteur biologique où est effectuée l'aération du mélange biomasse-eau. Cette aération peut se faire à partir de l'oxygène, de l'air, d'un gaz enrichi en oxygène, ou encore d'oxygène pur.

L'objectif de l'aération est de dissoudre le gaz dans le mélange afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices.

Remarques

- *Les procédés par boues activées peuvent présenter certains **inconvenients** ou impossibilités résultant de l'incompatibilité de la vie des microorganismes avec la nature et la qualité de l'effluent, comme c'est le cas des produits chimiques - de la température ambiante du bassin d'aération - de la pureté de l'air insufflé – du débit de recyclage des boues.*
- *Ces procédés sont très appréciés lorsque les conditions nécessaires sont remplies.*

III.4. FACTEURS DE CHARGE

III.4.1. La charge volumique (C_v)

$$C_v = \frac{\text{DBO}_5 \text{ entrée}}{\text{volume du bassin}} \quad \dots \quad (\text{kg DBO}_5/\text{j}/\text{m}^3 \text{ bassin})$$

$$\Rightarrow C_v = \frac{L'_0}{V}$$

III.4.2. La charge massique (C_m)

$$C_m = \frac{\text{DBO}_5 \text{ entrée}}{\text{masse de boues présentes dans le bassin}} \quad \dots \quad (\text{kg DBO}_5/\text{kg boue}/\text{j})$$

$$\Rightarrow C_m = \frac{L'_0}{X_a} = \frac{L'_0}{[MVS]} = \frac{L'_0}{V \cdot [X_a]} \quad ; \quad [X_a] = \frac{X_a}{V} = S_a$$

$$V : \text{Volume du bassin d'aération (m}^3) \Rightarrow V = L'_0/C_v \quad ; \quad C_v = C_m \cdot [X_a]$$

NB : La charge en DBO_5 à l'entrée du bassin d'aération (L'_0) est la DBO_5 à la sortie du décanteur primaire.

III.4.3. Intérêt de ces paramètres

A partir de ces paramètres, on distingue quatre (04) systèmes d'aération:

Aération prolongée - Faible charge - Moyenne charge - Forte charge.

Tableau III.1: Classement des aérateurs biologiques selon leurs rendements et leurs charges

Type	Charge volumique (C_v) (kg DBO ₅ /j/m ³)	Charge massique (C_m) (kg DBO ₅ /kg MVS/j)	Rendement (%)
Aération prolongée	< 0.3	< 0.1	> 95 %
Faible charge	0.3 – 0.8	0.1 – 0.2	> 90 %
Moyenne charge	0.8 – 1.8	0.2 – 0.5	90 %
Forte charge	1.8	0.5 - 1	80 % - 90 %

III.5. DIMENSIONNEMENT DU BASSIN D'AÉRATION

a) La charge en DBO₅ à la sortie du bassin (L_s')

La concentration (S_s) à la sortie doit être conforme aux normes de rejet établies par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), qui est fixée à 30 mg/L de DBO₅.

$$L_s' = S_s \cdot Q_j \dots\dots\dots (\text{kg DBO}_5/\text{j})$$

b) La charge en DBO₅ éliminée (L_e) : $L_e = L_0' - L_s' \dots\dots\dots (\text{kg}_{\text{DBO}_5/\text{j}})$

c) Rendement recherché (R): $R = \frac{L_0' - L_s'}{L_0'} \cdot 100 \dots\dots\dots (\%)$

d) Volume total du bassin (V) : $V = \frac{L_0'}{C_v} \dots\dots\dots (\text{m}^3)$

e) La masse de boues dans le bassin d'aération (X_a) : $X_a = \frac{L_0'}{C_m} \dots\dots\dots (\text{kg})$

f) Concentration de boues dans le bassin [X_a]: $[X_a] = \frac{X_a}{V} \dots\dots\dots (\text{kg}/\text{m}^3)$

g) Dimensions du bassin

1- Hauteur : $H = 3 - 5 \text{ m.}$

2- Surface horizontale : $S_h = \frac{V}{H} \dots\dots\dots (\text{m}^2)$

3- Largeur du bassin (ℓ) : $S = L \cdot \ell$; Si on prend $L = 2 \ell \Rightarrow \ell = \sqrt{\frac{S}{2}} \dots\dots\dots (\text{m})$

4- Longueur du bassin(L) : $L = 2 \ell \dots\dots\dots (\text{m})$

5- Temps de séjour (t_s) : $t_s = \frac{V}{Q_{\text{pts}}} \dots\dots\dots (\text{h})$

h) Besoins en oxygène

Les bactéries en traitement par boues activées ont besoin d'oxygène, d'une part pour la **dégradation de la pollution organique**, d'autre part pour leur subsistance (**respiration endogène**).

h-1) Besoins théoriques en oxygène

La quantité théorique d'oxygène est la somme de celle nécessaire à la synthèse plus celle nécessaire à la respiration endogène. Elle est donnée par la relation:

$$q_{O_2} = a' L_e + b' X_a \quad \dots \quad (\text{Kg}_{O_2}/\text{j})$$

- q_{O_2} : Besoin en oxygène (kg/j)
- X_a : quantité de MVS présente par jour dans le bassin (kg/j)
- $L_e = L_0' - L_s$: charge en DBO₅ éliminée par jour (kg/j)
- a' : Coefficient déterminant la fraction d'oxygène consommée pour fournir l'énergie de synthèse de la matière vivante. Il dépend de C_m .
- b' : Coefficient cinétique de respiration endogène.

$$a' = 0,5.C_m^{-0,12} \qquad b' = 0,13.C_m^{0,16}$$

h-2) Quantité horaire d'oxygène nécessaire

$$q_{O_2.h} = \frac{q_{O_2}}{24} \quad \dots \quad (\text{kg}_{O_2}/\text{h})$$

h-3) Quantité d'oxygène nécessaire pour 1m³ du bassin

$$q_b = \frac{q_{O_2}}{V} \dots\dots (kg_{O_2}/m^3/j)$$

i) Détermination des caractéristiques de l'aérateur***i-1) Capacité totale d'oxygène transférée (N₀)***

Elle est déterminée par la formule **d'Hormanik** :

$$N_0 = (1,98 \cdot 10^{-3} \cdot P_a] + 1 \dots\dots\dots (kg_{O_2}/kWh)$$

P_a : Puissance par m² du bassin, tel que : **P_a = (30 à 40) W/m².**

i-2) Quantité d'oxygène par unité de puissance (N)

$$N = N_o \left(\frac{\beta \cdot C_s - C_L}{C_s} \right) \cdot \alpha \cdot E^{(T-20^\circ)} \dots\dots\dots (kg_{O_2}/kWh)$$

C_L : concentration en oxygène dissous dans l'eau à T = 25 °C.

$$C_L = (1.5 \text{ à } 2) \text{ mg/L.}$$

C_S : concentration de saturation en oxygène à la surface aux conditions standards (20 °C et 760 mm de mercure). **C_S = 9.2 mg/L** pour les aérateurs de surface.

L'effet des solides dissous et la concentration en matières dégradables sur la saturation en oxygène varie d'une eau usée à l'autre, et doit être mesuré sur le terrain.

La relation qui traduit cet effet est donnée par :

$$\beta = \frac{C_S (\text{eau usée})}{C_S (\text{eau épurée})} ; \quad \beta \approx 0.95$$

α : Facteur de correction qui relie le transfert d'O₂ à la surface de l'eau ($\alpha = 0.8$).

E : coefficient de température ($E = 1.02$).

i-3) La puissance de brassage (E_b)

$$E_b = S_h \cdot P_a \dots\dots\dots (\text{W})$$

Avec : - S_h : surface horizontale du bassin d'aération (m²)

- P_a : puissance par m² du bassin d'aération.

i-4) Puissance nécessaire à l'aération (E_a)

$$E_a = \frac{q_{O_2.h}}{N} \dots\dots\dots (\text{kW})$$

i-5) Nombre d'aérateurs (n)

$$n = \frac{E_a}{E_b}$$

III.6. BILAN DES BOUES

a) Calcul de la quantité des boues en excès

Elle est déterminée par la formule d'**Eckenfelder** ci-après :

$$\Delta X = X_{\min} + X_{\text{dur}} + a_m \cdot L_e - b \cdot X_a - X_{\text{eff}} \quad \dots\dots (\text{kg/j})$$

Avec :

- X_{\min} : Boues minérales (**20 % de MES_s** : sortie du Decanteur.1) en (kg/j)
- X_{dur} : Boues difficilement biodégradables (**20% de MVS**) en (kg/j)
MVS = 80 % de MES
- a_m : Coefficient de rendement cellulaire (g cellulaires formées / g DBO₅ éliminées)
 $a_m = 0.55$
 (a_m : Augmentation de la biomasse par élimination de la DBO₅)
- L_e : Quantité de DBO₅ éliminée en (kg/j) dans l'aérateur
- b : Fraction de la masse cellulaire éliminée par jour en respiration endogène, **$b = b'/1.44$**
- b' : Coefficient cinétique de respiration endogène, **$b' = 0.09 \Rightarrow b = 0.09/1.44 = 0.06$**
 (b' : Diminution de la biomasse par respiration endogène)
- X_a : Masse totale journalière de MVS dans le bassin (kg/j)
- X_{eff} : Fuite des MES avec l'effluent = 30 mg/L (Norme de rejet).

b) Concentration de boues en excès (X_m)

$$X_m = \frac{1200}{I_m} \quad \dots\dots \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

I_m est l'indice de Mohlman : c'est le volume en (ml) occupé après 30 min de décantation par 01 g de poids sec de boues dans une éprouvette de 1 litre. Il indique la bonne décantabilité des boues.

$$\text{Indice de Mohlman } I_m = \frac{\text{Volume des boues activées décantées en 30' (ml)}}{\text{Masse de résidu sec de cette boue (g)}}$$

Si $80 < I_m < 150 \Rightarrow$ Les boues bien décantables

Si $I_m > 150 \Rightarrow$ Risque de décantation médiocre et les boues recyclées sont très claires

Si $I_m < 80$ (bas) \Rightarrow les boues sont très minéralisées et peu actives.

Tableau III.2 : Valeur de I_m en fonction C_m

C_m	0.035	0.065	0.09	0.15	0.30	0.60	0.90
I_m	150	150	150	170	200	250	300

c) Le débit de boues en excès ($Q_{\text{excès}}$):

$$Q_{\text{excès}} = \frac{\Delta X}{X_m} \dots\dots (m^3/j)$$

d) Le débit spécifique par m^3 du bassin (q_{sp}):

$$q_{\text{sp}} = \frac{\Delta X}{V} \dots\dots (kg/j/m^3)$$

e) Le taux de recyclage (R): Il peut varier de 15 à 100 % du débit de l'effluent produit.

Il est donné par l'expression :

$$R = \frac{[X_a]}{\frac{1200}{I_m} - [X_a]} \cdot 100$$

$[X_a]$: concentration des boues dans le bassin en kg/m^3 .

f) Le débit des boues recyclées (Q_r):

$$Q_r = R \cdot Q_j \dots\dots (m^3/j)$$

g) Age des boues (A_b)

Il est défini comme étant le rapport entre la quantité de boues présentes dans le bassin d'aération et la quantité de boues retirées quotidiennement.

$$A_b = \frac{X_a}{\Delta X} \dots\dots (j) \qquad A_b = \frac{V \cdot [MES]}{\Delta MES} \dots\dots (j)$$

$[MES]$: Concentration des MES dans le bassin (kg/m^3) ; V : Volume du bassin (m^3)

ΔMES : Quantité de boues produites quotidiennement (kg/j).

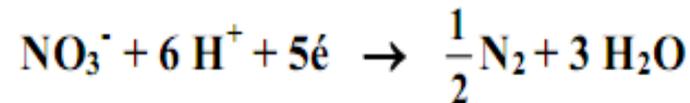
Remarques sur la recirculation des boues

- Le recyclage des boues se fait par pompage. Il consiste à extraire les boues activées du fond de clarificateur et les envoyer en tête du bassin d'aération, afin de réensemencer celui-ci et, d'y maintenir une concentration sensiblement constante en micro-organismes épurateurs.
- Si la quantité de boues recyclées est trop importante, la clarification est perturbée.
- Si la quantité de boues recyclées est insuffisante, le volume des boues stockées dans le décanteur secondaire est trop important, ce qui provoque une carence en oxygène. Dans un milieu anaérobie et dans certains cas, on assiste au phénomène de **dénitrification** (*) avec une remontée des boues à la surface.

(*) **Dénitrification**

En anoxie : culture aérobie plongée dans un bassin sans oxygène.

Pour respirer, les bactéries utilisent les nitrates comme accepteur final d'électron dans la respiration. Elle conduit à la transformation des nitrates en azote moléculaire selon la réaction:



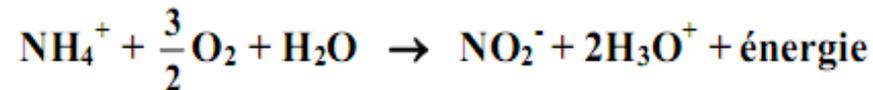
Nécessaire: un minimum de matière carbonée (recours éventuel à un apport extérieur de type méthanol).

Nitrification (dans l'aérateur):

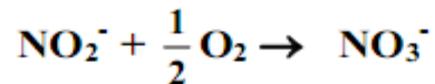
La nitrification biologique de l'azote consiste en la transformation de l'azote ammoniacal en azote nitrique par les bactéries autotrophes nitrifiantes en présence d'oxygène dissous.

Cette transformation se fait en deux étapes :

- Transformation de l'azote ammoniacal en azote nitreux sous l'action de bactéries nitreuses du genre *Nitrosomonas*.



- Transformation de l'azote nitreux en azote nitrique sous l'action de bactéries nitriques du genre *Nitrobacters*.



Pour la synthèse de nouvelles cellules, les bactéries nitrifiantes utilisent exclusivement le carbone minéral (CO_2 essentiellement) et puisent l'énergie nécessaire dans les formes réduites de l'azote.

III.7. DIMENSIONNEMENT DU DÉCANTEUR SECONDAIRE

En général, on utilise un décanteur d'une forme circulaire, muni d'un pont racleur de fond et de surface, conduisant les boues dans les fosses d'où elles sont reprises pour le recyclage et l'extraction de la fraction en excès.

Pour le dimensionnement, on opte pour :

- une vitesse ascensionnelle (v_{as}) ou une charge superficielle entre 01 et 1.25 m/h.
- Un temps de séjour (t_s) entre 02 et 03 h.

a) La surface totale du décanteur (S)

$$S = \frac{Q_{pts}}{v_{as}} \quad \dots\dots\dots (m^2)$$

b) Le volume total de l'ouvrage (V)

$$V = Q_{pts} \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (m^3)$$

c) La hauteur de l'ouvrage (H)

$$H = (3 \text{ à } 4) \text{ m}$$

d) Le diamètre du décanteur (D)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot H}} \quad \dots\dots\dots (m)$$

e) Calcul des diamètres des éléments du clarificateur

Le clarificateur est généralement formé par une série de trois cercles concentriques, dont l'ordre est :

- Diamètre de la buse (D_1)
- Diamètre de la jupe (D_2)
- Diamètre des goulottes (D_g).

- La buse

Elle possède un diamètre $D_1 = 1.2 \text{ m}$

$$\Rightarrow S_1 = \pi D_1^2 / 4 \dots\dots\dots (\text{m}^2)$$

- La jupe

Pour déterminer son diamètre, il faut se baser sur le débit entrant, qui est égale au débit maximum majoré par la recirculation.

La vitesse maximale admissible dans la jupe pour assurer la séparation liquide-boues est d'environ **2.5 cm/s (90 m/h)**.

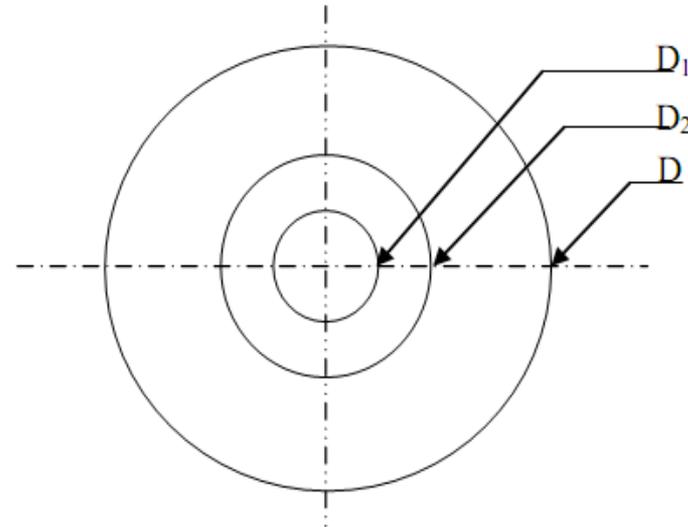


Figure III.2: Coupe d'un clarificateur

$$S_2 = \frac{\left[\frac{R\%}{100} + 1 \right]}{90} \cdot Q_{pts} \dots\dots\dots (m^2)$$

R: taux de recyclage (%)

Q_{pts}: débit de pointe en temps sec (m³/h).

$$\Rightarrow D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot (S_1 + S_2)}{\pi}} \dots\dots\dots (m)$$

- La goulotte

$$D_g = \sqrt{\frac{4 \cdot S_g}{\pi}} \dots\dots\dots (m)$$

$$S_g = \frac{Q_{pts}}{v} \dots\dots\dots (m^2)$$

S_g: surface de la goulotte

v: vitesse d'écoulement de l'eau ≈ 0.7 m/s (2520 m/h).



Buse

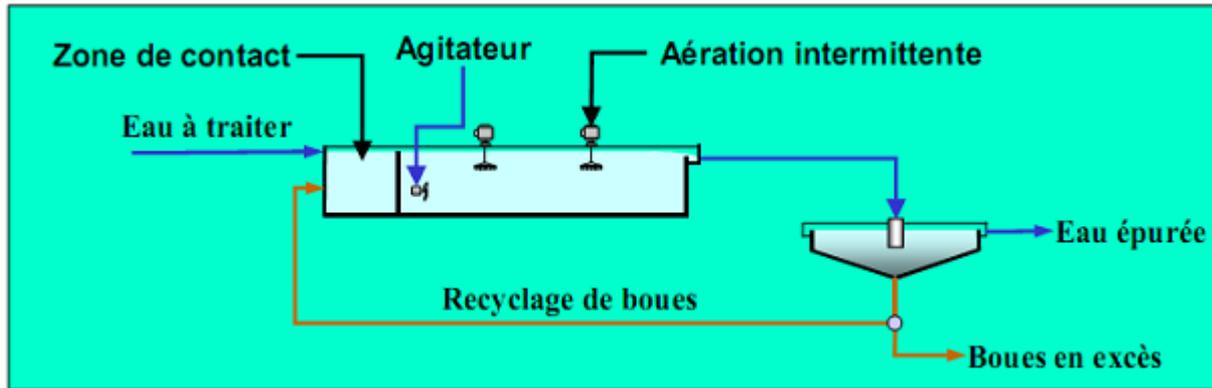
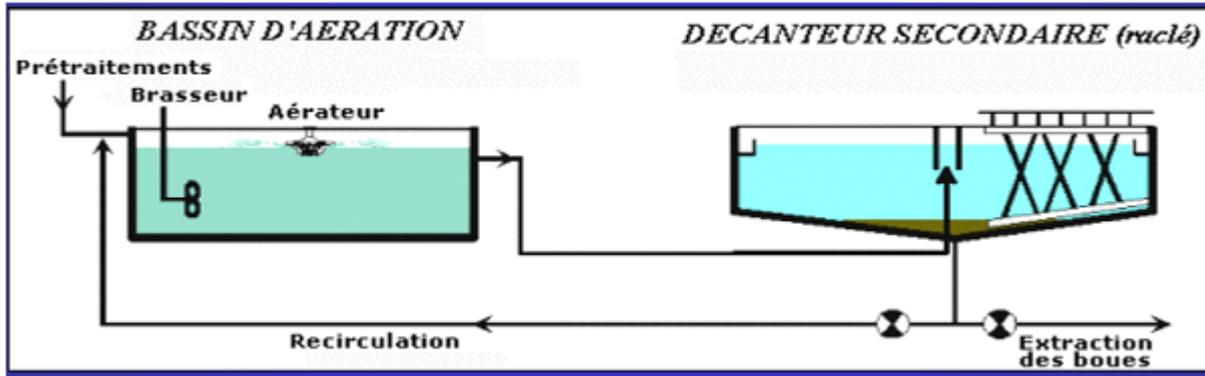
Juqe de répartition ou clifford



Goulotte de récupération de l'eau traitée



Figure III.3: Décanteur secondaire (clarificateur)



Des questions ?