

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université des Sciences et de la Technologie d'Oran  
Mohamed Boudiaf**



**Faculté d'Architecture et de Génie Civil  
Département d'Hydraulique**

**Polycopié de cours**

**EPURATION DES EAUX USEES**

**Dr.Gacem Yasmine**

## OPTION HYDRAULIQUE URBAINE

**MODULE : EPURATION DES EAUX USEES - NIVEAU - MASTER 2 –**

**S9 = 60 HEURES**

### *Table de matières*

Remerciements

Table de matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Objectif du cours .....01

<b>CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE GENERALE</b>	
I.1- OBJECTIFS DE L'EPURATION .....	02
I.2- ESTIMATION ET COMPOSITION DES REJETS .....	02
I.2.1- POLLUTION MICROBIOLOGIQUE .....	02
I.2.2- POLLUTION ORGANIQUE .....	03
I.2.3- LES PRODUITS TOXIQUES .....	03
<b>CHAPITRE II : LES PARAMETRES DE POLLUTION ET NORMES DE REJETS</b>	
II.1- PARAMETRES PHYSIQUES .....	04
II.1.1 LES MATIERES EN SUSPENSION (M.E.S.) .....	04
II.1.2 MATIERES VOLATILES EN SUSPENSION .....	04
II.1.3 MATIERES MINERALES.....	04
II.1.4 MATIERES DECANTABLES ET NON DECANTABLES.....	04
• METHODE D'ANALYSE.....	04
II.2- PARAMETRES CHIMIQUES.....	04
II.2.1 - LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE (D.B.O.) .....	05
II.2.1.1 – ETUDE DU PHENOMENE .....	05
II.2.1.2 – MODELE CINETIQUE DE LA DBO .....	06
II.2.1.3 – FACTEURS AFFECTANTS LA DBO .....	07
• LA TEMPERATURE .....	07
II.2.2 LA DEMANDE CHIMIQUE EN O <sub>2</sub> .....	07
II.2.3 L'EQUIVALENT HABITANT .....	08
II.2.4 NORMES DE REJETS.....	09
<b>CHAPITRE III: LES PROCEDES D'EPURATION DES EAUX RESIDUAIRES</b>	
III.1 RAPPELS DES PROCEDES PHYSIQUES ET PHYSICOCHIMIQUES.....	12
a- LES PRETRAITEMENTS.....	12

• LE DEGRILLAGE.....	12
• LE DESSABLAGE .....	15
• DESHUILAGE-DEGRAISSAGE.....	16
B-TRAITEMENT PRIMAIRES.....	17
• LA DECANTATION.....	17
III-2 L'EPURATION BIOLOGIQUE.....	20
III.2.1 NOTION DE METABOLISATION GENERALE.....	20
III.2.2 LE POUVOIR AUTO-EPURATEUR DES COURS D'EAU.....	21
III.2.3 PRINCIPE DE L'EPURATION BIOLOGIQUE.....	21
a- LE METABOLISME BACTERIEN.....	22
b- BASE THEORIQUE DE L'EPURATION BIOLOGIQUE .....	22
III.3 LES TECHNIQUES D'EPURATION.....	23
III.3.1 LES PROCEDES A BIOMASSE FIXES .....	23
a-L'EPANDAGE.....	23
b-LITS BACTERIENS .....	25
C-DISQUES BIOLOGIQUE.....	31
D-LES LITS IMMERGES.....	33
III.3.2 LES PROCEDES A BIOMASSE EN SUSPENSION .....	34
a- LES BOUES ACTIVEES .....	34
b- LES LAGUNES .....	34
III.3.3 LES PROCEDES MIXTES .....	44.
a- LES DIVERS ASPECTS DE L'EPURATION SIMULTANEE DES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELS ET URBAINES .....	44
III.4 LA NITRIFICATION ET LA DENITRIFICATION.....	47
III.4 .1 LA NITRIFICATION .....	47
III.4 .2 LA DENITRIFICATION .....	48
<b>CHAPITRE IV : TRAITEMENT ET UTILISATION DES EAUX ET DES BOUES RESIDUAIRES</b>	
IV. 1 L'EPAISSISSEMENT .....	52
IV. 2 STABILISATION OU DIGESTION DES BOUES .....	57
IV. 2.1 DIGESTION AEROBIE .....	57
IV. 2.2 DIGESTION ANAEROBIE .....	57
IV. 3 DESHYDRATATION .....	58
IV. 3 .1 DESHYDRATATION NATURELLE .....	58
IV. 3 .2 DESHYDRATATION MECANQUES.....	59
A-FILTRATION SOUS VIDES.....	59
IV-4 DESTINATION FINALE DES BOUES TRAITEES SOUS- PRODUITS .....	61
<b>CHAPITRE V: CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION D'UNE STATION D'EPURATION</b>	
<b>V.1 CONCEPTION D'UNE STATION D'EPURATION .....</b>	<b>64</b>
V.1.1 GENERALITES.....	64.
V.1.2 CONDITIONS D'IMPLANTATION DES STATIONS D'ÉPURATION.....	64

V.1.3: LES NUISANCES LIÉES AUX STATIONS D'ÉPURATION.....	65
V.1.3.1. NUISANCES SONORES .....	65
V.1.3.2. NUISANCES OLFACTIVES : LES ODEURS .....	65
A.MÉTHODE DE TRAITEMENT CONTRE LES ODEURS .....	65
V.1.4 DESCRIPTION D'UN PROJET D'ÉPURATION DES EAUX USÉES D'ORIGINE URBAINES.....	66
V.1.5 CONCEPTION DE LA STATION D'ÉPURATION .....	67
V.1.6 SCHÉMA DES STATIONS PREVUE (AÉRATION PROLONGÉ).....	68.
<b>V.2 GESTION ET EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION.....</b>	<b>68</b>

## LA LISTE DES TABLEAUX

<b>Chapitre I</b>
TABLEAU I.1 : ORIGINE ET MALADIES PROVOQUEES PAR LES ORGANISMES PRESENTS DANS LES EAUX USEES.....p 03
<b>Chapitre II</b>
TABLEAU II.1 : NORMES OMS DE REJET.....p 09
TABLEAU II.2 VALEURS LIMITEES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS.....p 09
<b>Chapitre III</b>
Tableau III.1 : Quantité des déchets par rapport aux espacements entre les barrreaux.....p15
TABLEAU III.2 CLASSIFICATION DES LITS BACTERIENS.....p 26
TABLEAU III.3 : PRESENTATIONS DES PARAMETRES A DIFFERENTS CHARGE APPLIQUEES.....p 36
TABLEAU III.4 : CARACTERISTIQUE PHYSIQUE DES DIFFERENTES LAGUNES..p41
TABLEAU III.5 : CLASSEMENT DES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELLES SUIVANT LEUR APTITUDE A LA BIODEGRADATION.....p 46
<b>Chapitre IV</b>
TABLEAU IV.1: CLASSIFICATION DES BOUES.....p 51
TABLEAU IV.2 : CHARGES SPECIFIQUES ET RESULTATS D'EXPLOITATION DE L'EPAISSISSEMENT STATIQUE.....p 53
<b>Chapitre V</b>
TABLEAU V.1 : PARAMÉTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES.....p 64

## LA LISTE DES FIGURES

<b>Chapitre II</b>	
FIGURE II.1 : PRESENTATION EVOLUTIF DE LA D.B.O.....	P05
<b>Chapitre III</b>	
FIGURE III.1 : SCHEMA DE PRINCIPE DU TRAITEMENT COMPLET DES EAUX USEES.....	P11
FIGURE III.2 : DU DESHUILEUR DEGRAISSEUR.....	P 16
FIGURE III.3: DECANTEUR CIRCULAIRE RACLE. ....	P17
FIGURE III.4 : DECANTEUR RECTANGULAIRE A PONT ROULANT.....	P18
FIGURE III.5 : SCHEMA DE PRINCIPE DE DEGRADATION DE LA MATIERE ORGANIQUE.....	P 20
FIGURE III.6 : LIT BACTERIEN CYLINDRIQUE.....	P 25
FIGURE III.7 : LIT BACTERIEN A FAIBLE CHARGE AVEC RECYCLAGE.....	P 27
FIGURE III.8 : LITS BACTERIEN EN SERIE.....	P 30
FIGURE III.9 : PHOTOS DISQUE BIOLOGIQUE.....	P 31
FIGURE III.10: LIT IMMERGES.....	P 34
FIGURE III.11 : REACTEUR AEROBIE AVEC RECYCLAGE DES BOUES.....	P 34
<b>Chapitre IV</b>	
FIGURE IV.1 : CONCENTRATION DES MATIERES SOLIDES A TRAVERS UNE FILIERE DE DESHYDRATATION DES BOUES.....	P 49
FIGURE IV. 2 FILIERE DE TRAITEMENT DES BOUES –OPTIONS DE PROCEDES.....	P 50
FIGURE IV.3 EPAISSISSEURS STATIQUES RACLES .....	P 52
FIGURE IV. 4 COURBES DE FLUX STATIQUE ET DETERMINATION DU FLUX LIMITE D’UN EPAISSISSEUR STATIQUE CONTINU.....	P 54
FIGURE IV.5 : DIGESTEURS AEROBIES.....	P 57
FIGURE IV. 6 : DIGESTEURS ANAEROBIES.....	P 58
FIGURE IV. 7 : LIT DE SECHAGE .....	P 58
<b>Chapitre V</b>	
FIGURE V. 1 : SCHÉMA DU BASSIN D’AEROBIE AVEC RECYCLAGE DES BOUES. ....	P 67
FIGURE V. 2 : SCHÉMA DE STATIOND’ÉPURATION PAR AÉRATION PROLONGÉ.....	P 68

## **Remerciement**

Je tiens à exprimer mes sincère remerciements à Melle Baba Hamed, Professeur à l'Université de l'Usto ainsi qu'à Madame Ramdani Amina, Professeur à l'Université de Sidi Bel Abbes de m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire l'expertise du cour intitulé Epuration des eaux usées en espérant que son contenu leurs rapportera satisfaction.

## **OBJECTIF DU COURS :**

Ce cours destiné aux étudiants en master 2 a pour objectif la présentation générale des eaux usées, composition, classification, paramètres d'évaluation de la pollution et aspects réglementaires relatifs aux rejets industriels.

Les étudiants auront, à l'issue de ce cours, des notions sur le traitement des eaux usées urbaines, la biodégradabilité, le fonctionnement d'une station de traitement des eaux usées urbaines. Ce cours est enrichi par des exercices d'application pour illustrer les données théoriques.

Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique sur l'estimation et composition des rejets.

Le deuxième chapitre est destiné aux paramètres de pollutions et les normes de rejet.

Le troisième chapitre, est consacré à la présentation des différents procédés d'épuration des eaux résiduaires.

On premier lieu un rappel des procédés physiques et physico-chimique est décrit, suivi de l'épuration biologique en tenant compte des notions de biologie générale.

En troisième position la description des différentes techniques d'épuration à biomasse fixe et à biomasse en suspension sont établies avec démonstration et applications numérique pour illustrer les données théoriques, et enfin la quatrième partie est consacrée sur la définition de la nitrification et la dénitrification.

Le quatrième chapitre est consacré à la description des différentes techniques de traitements des boues résiduaires ainsi on y trouve aussi la présentation des différentes utilisations des eaux et des boues résiduaires.

Et enfin le dernier chapitre présente la conception, gestion et exploitation d'une station d'épuration.

# **CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE GENERALE**

## **I.1- OBJECTIFS DE L'EPURATION**

L'épuration des eaux usées à pour but de permettre le rejet des eaux sans inconvénient sérieux sur le milieu récepteur. Les techniques appliquées doivent tenir compte du contenu nuisible de ces eaux, tout comme des propriétés du milieu récepteur et de ces possibilités d'accepter sans nuisance une certaine pollution. [3]

## **I.2- ESTIMATION ET COMPOSITION DES REJETS**

La pollution des eaux de diverses natures et de diverses origines se manifeste généralement sous quatre formes principales : Organique, microbiologique, toxique et enfin d'origine minérale.

A chacune de ces formes de pollution correspondant nécessairement une modification du milieu récepteur qui se traduit indirectement et plus au moins à long terme, par des conséquences néfastes sur l'individu. [3]

### **I.2.1- POLLUTION MICROBIOLOGIQUE**

Les eaux d'égouts contiennent une multitude d'organismes vivants apportés par les excréments (déchets humains) d'origines humaine ou animale.

La nature de la population bactérienne par exemple, est très variées. Notons toutefois, la présence importante de : Staphylocoques, Streptocoques, Escherichia coli, Salmonelles, Klebsielles, Cloaca, Shigelles, etc...

Les eaux usées contiennent également des virus. Les principaux virus trouvés appartiennent aux groupes des Entérovirus, dont le siège est l'intestin de l'homme.

Les eaux usées sont également porteuses de parasites végétaux et animaux : Torula, Candida, Trichosporon Ascomycètes etc...[3]

ORGANISME	MALADIE	ORIGINES
Shigelles	Dysenterie bacillaire	Eaux Usées
M. Tuberculosis	Tuberculose	Eaux des Hôpitaux
Salmonelles	Fièvre Typhoïde	Eaux Usées
Vibro Cholerae	Choléra	Eaux Usées

**Tableau I.1** : Origine et maladies provoquées par les organismes présents dans les eaux usées.[3]

### **I.2.2- POLLUTION ORGANIQUE**

La pollution organique est la fraction la plus importante, elle peut être considérée comme résultante de diverses activités (urbaines industrielles et rurales). Chacune de ces activités rejette des composés spécifiques biodégradables ou pas.

Pour les eaux usées on distingue :

- Les matières organiques banales (protides, lipides, glucides)
- Les détergents
- Les huiles et goudrons.

Les matières organiques banales: Ils s'agit essentiellement des protides, lipides et glucides.

Les détergents : La présence de substances tensioactives dans les eaux à des origines diverses.

- Industriels : textiles, blanchisserie, fabrications de détergents ménagers etc...

- Agricoles : Due à l'entraînement par le ruissellement des eaux pluviales (insecticides et germicides).

- Urbaines : Due à l'utilisation ménagère des détergents (Nettoyage des voies publiques, hôpitaux, etc...). [2]

### **I.2.3- LES PRODUITS TOXIQUES**

La toxicité présente dans les eaux usées peut être organique ou minérale. Les substances organiques sont entre autre : Les pesticides, les hydrocarbures et les produits organiques de synthèse industrielle (aldéhydes, phénols, produits azotés...).

#### **I.2.4- substances minérales**

Il s'agit de la pollution métallique dont le rejet dans les eaux d'égout perturbe l'activité bactérienne en station de traitement. Les principaux ions métalliques présents dans les effluents sont : le cuivre, le plomb, le zinc, l'aluminium, le cadmium, le chrome, le nickel, le mercure et le fer. [2]

## CHAPITRE II : LES PARAMETRES DE POLLUTION ET NORMES DE REJETS

La pollution des eaux se présente sous deux formes principales :

- Physique : Matières en suspension
- Chimique : Matières organiques dissoutes

Ces deux formes tiennent compte des facteurs tels que la turbidité, la température et la couleur.

### II.1- PARAMETRES PHYSIQUES

Les matières présentes dans les eaux usées se subdivisent en diverses formes que l'on peut représenter par :[2]

#### II.1.1 Les matières en suspension (M.E.S.) :

Il s'agit de matières qui ne sont ni solubilisées, ni colloïdales. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales.

Les concentrations en M.E.S dans les eaux usées sont très variables et sont de l'ordre de 100 à 300 mg/l.

Les M.E.S se compose de :

#### II.1.2 *Matières volatiles en suspension* :

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension et constituent environ 70 à 80 % des M.E.S..

**II.1.3 *Matières minérales*** : C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles.

**II.1.4 *Matières décantables et non décantables*** : On distingue les fractions qui décantent en un temps donné (2 heures) suivant les conditions opératoires particulières (Utilisation du cône Imhoff).

Les matières non décantables sont celles qui restent dans le surnageant et qui vont donc être dirigées vers le procédé de traitement biologique ou chimique.

#### ◆ **Méthode d'analyse:**

Deux techniques sont actuellement utilisées pour le dosage des matières en suspension :

- Séparation par filtration (Filtre à papier, membranes filtrante).
- Centrifugation.

### II.2- PARAMETRES CHIMIQUES

Les matières organiques présentes dans l'eau nécessitent de l'oxygène pour leur métabolisation. Cette demande en oxygène peut être représentée biologiquement ou chimiquement suivant divers paramètres tels que:

- La demande biochimique en oxygène (D.B.O.)
- La demande chimique en oxygène (D.C.O.)
- La demande théorique en oxygène (D.T.O.)
- Le carbone organique.

## II.2.1 - LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE (D.B.O.)

Elle représente la quantité d'oxygène consommée par l'eau pendant une certaine durée. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation, et avec intervention des bactéries, les matières organiques dans l'eau usée.[2]

### II.2.1.1 – Etude du phénomène

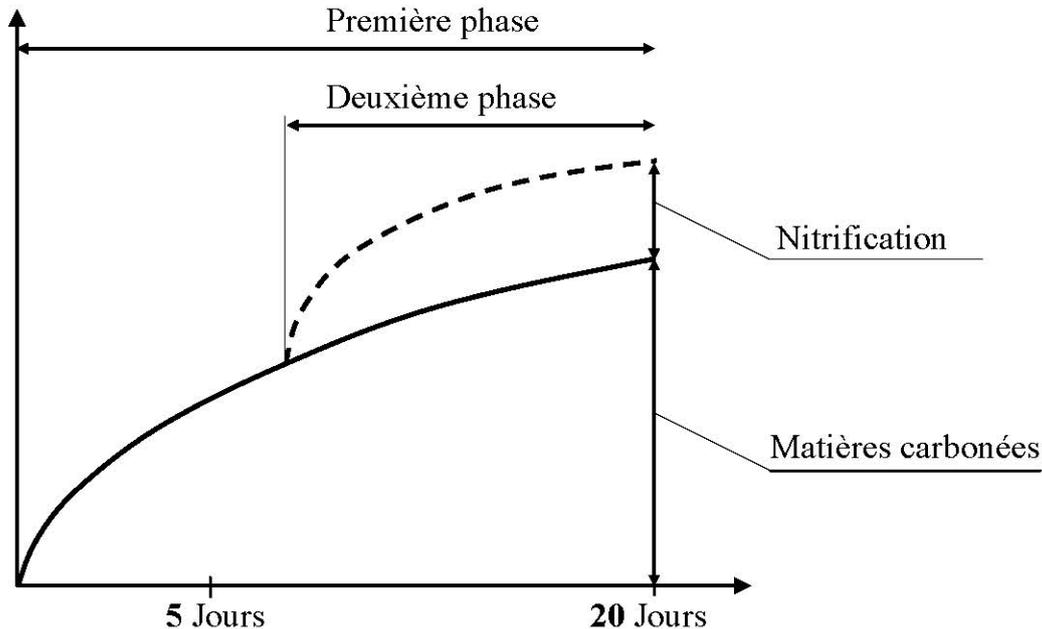
La D.B.O. est un phénomène évolutif. Il est évident qu'il ne peut y avoir de détermination de la D.B.O. que lorsque les micro-organismes présents sont capables d'assimiler les matières organiques de l'échantillon. [2]

L'évolution d'un échantillon montre que pour les eaux urbaines, une représentation toujours identique des matières organiques :

- La première phase se rapporte aux composés carbonés, débute rapidement, et s'achève en 20 jours (environ).
- La deuxième phase correspond à l'oxydation des composés azotés, qui ne s'amorce qu'au début du cinquième jours, en travaillant à une température de 20 °C.

Par convention on prend la valeur de la D.B.O. obtenue après cinq jours d'incubation ( $DBO_5$ ) mesurée à 20 °C.

La  $DBO_5$  représente environ 68,4 % de la réaction biochimique totale  $DBO_{\infty}$  ( $DBO_{20}$  représente environ 99 % de la  $DBO_{\infty}$ ).



**Figure II.1** : Présentation évolutif de La D.B.O.[2]

### II.2.1.2 – Modèle cinétique de la DBO

On l'habitude d'interpréter la DBO comme une réaction chimique du premier ordre.

Soit :

$$\frac{dL}{dt} = -KL \qquad Y_t = L_0(1 - 10^{-kt}) \rightarrow (2)$$

D'où

$$\frac{dL}{L} = -Kt \qquad DBO_t = DBO_{ULTIME}(1 - 10^{-kt})$$

Qui s'intègre :

$$\int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = - \int_0^t Kt$$

On obtient

$$\ln \frac{L_t}{L_0} = -Kt$$

$$L_t = L_0 e^{-Kt}$$

Cette équation peut s'exprimer comme suit :

$$L_t = L_0 10^{-kt} \rightarrow (1)$$

Avec :

$$K = 2.303 k$$

$L_0$  : DBO limitée à l'oxydation carbonée ou quantité totale d'oxygène consommée par la réaction (désignée parfois par : DBO Ultime).

$L_t$  : DBO restante au temps t.

$k$  : Constante cinétique exprimée en  $J^{-1}$ , déterminée à partir des résultats expérimentaux (elle est de l'ordre de 0,2 pour les eaux d'égouts).

En posant  $Y_t = L_0 - L_t$

L'équation (1) devient :

$Y_t$  : Quantité d'oxygène consommée au temps t

Ou bien :

$$DBO_t = DBO_{ULTIME}(1 - 10^{-kt})$$

$DBO_t$  : Quantité d'oxygène consommée au temps t

#### **EXEMPLE :**

L'examen d'une eau usée a donné les résultats suivants :

$$DBO_5 = 835 \text{ mg/L} \quad k = 0,17 \text{ J}^{-1}$$

Calculer la DBO ultime de l'échantillon ?

$$DBO_t = DBO_{ULTIME} (1 - 10^{-kt})$$

$$DBO_{ULTIME} = \frac{DBO_t}{(1 - 10^{-kt})}$$

A.N :

$$DBO_{ULTIME} = \frac{835}{(1 - 10^{-0,17,5})}$$

$$DBO_{ULTIME} = 972 \text{ mg O}_2 / \text{L}$$

### II.2.1.3 – Facteurs affectants la DBO

#### ➤ *La température :*

La vitesse de réaction de la DBO est directement influencée par la température est traduite par l'équation :

$$k_t = k_{20} \theta^{(t-20)}$$

$\theta$  : Coefficient dépendant de la température.

$\theta = 1,056$  pour des températures allant de 20 à 30 °C

$\theta = 1,135$  pour des températures allant de 4 à 20 °C

### II.2.2 La demande chimique en O<sub>2</sub>

La DCO traduit la quantité d'O<sub>2</sub> nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenus dans l'effluent elle permet la mesure globale des matières oxydable présents dans l'eau quelques soit leur origine on estime cette oxydation de 90 à 95 % des composées oxydables (l'oxydant utilisé est le bichromate de potassium K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).[3]

#### Remarque:

On a toujours DCO > DBO, car les bactéries ne permettent pas d'oxyder les éléments organiques et chimiques les plus stables par convention on admet

Si  $\frac{DCO}{DBO_5} < 2 \rightarrow$  l'eau peut être épurer facilement par voie biologique.

$2 \leq \frac{DCO}{DBO_5} \leq 5 \rightarrow$  l'épuration par les procédés biologiques habituel est moins sur

Si  $\frac{DCO}{DBO_5} > 5 \rightarrow$  l'épuration par les procédés biologiques est impossible, les microorganismes ne peuvent vivre dans ce milieu.

Pour les rejets de même origine, on peut mettre un coefficient reliant la DBO<sub>5</sub> et DCO.

Le test de la DCO est un test rapide (2 heures) et peut être utilisé en cas de présence de matières toxiques.

### Exemple:

L'examen d'une eau usée à donner les résultats suivants  $DBO_5=835 \text{ mg/l}$ ,  $K=0.17 \text{ j}^{-1}$

L'effluent traitée à donner une  $DBO_5 = 17 \text{ mg/l}$  et  $K=0.08 \text{ j}^{-1}$

Expérimentalement la  $DBO_U$  est de 90% de la DCO mesurée.

Calculer la DCO éliminée par oxydation?

### Solution:

$$DBO_5 = DBO_u (1 - 10^{-5k})$$

$$\text{Donc : } DBO_u = \frac{DBO_5}{1 - 10^{-5k}} = 972 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ pour l'eau brute}$$

$$\text{Pour l'eau traitée } DBO_u = \frac{DBO_5}{1 - 10^{-5k}} = \frac{17}{1 - 10^{-5} \cdot (0.08)} = 28 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$DBO_u = DBO_{u b} - DBO_{u T} = 972 - 28 = 944 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$DCO_{\text{éliminé}} = \frac{DBO_u}{0.9} = \frac{944}{0.9} = 1049 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

### II.2.3 L'équivalent habitant:

Dans les zones urbaines, le volume journalier des eaux usées est en fonction du nombre d'habitants raccordés, lui-même lié au degré de développement de la population considérée. On adoptera la notion de l'équivalent habitant qui est la charge en  $DBO_5$  contenue dans l'effluent brute et par jour et par habitant suivant le type de réseau on admet:

54 g/hab.j →réseau en système séparatif.

74 g/hab.j →réseau en système unitaire.

Les données qui étaient couramment admises pour une quantité avancée moyenne de 150 l/hab.j sont:

<i>Paramètres de pollution</i>	<i>Quantité d'O<sub>2</sub> absorbé en 5 jours (mg/l)</i>
Matières en suspension	
-séparable par décantation	130
-non séparable par décantation	80
-matières dissoutes	150
<b>La somme</b>	<b>360 mg/l</b>

$$\text{-Effluent brute : } \frac{360 \times 150}{1000} = 54 \frac{\text{g}}{\text{hab}} \cdot \text{j}$$

$$\text{-Effluent traitée physiquement : } \frac{(80+150) \times 150}{1000} = 34.5 \frac{\text{g}}{\text{hab}} \cdot \text{j}$$

La concentration en MES est estimée de l'ordre de 70-90 g/l .hab après les procédés de dégrillage et dessablage.

#### II.2.4 Normes de rejets:

Les recommandations de l'OMS en vigueur imposent les normes suivantes:

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs limites</i>
DBO <sub>5</sub>	30
DCO	90
MES	30
Température °C	30
Azote totale (mg/l)	50
Les huiles et graisses (mg/l)	20
Détergents (mg/l)	1
Phosphates (mg/l)	2

**Tableau II.1 : Normes OMS de rejet .**

L'eau rejetée ne doit pas dégager d'odeurs après 5 jours d'incubation à 20 °C et ne doit pas contenir des substances toxiques.

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercuré total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

**Tableau II.2 Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels.[12]**

### **CHAPITRE III: LES PROCEDES D'EPURATION DES EAUX RESIDUAIRES:**

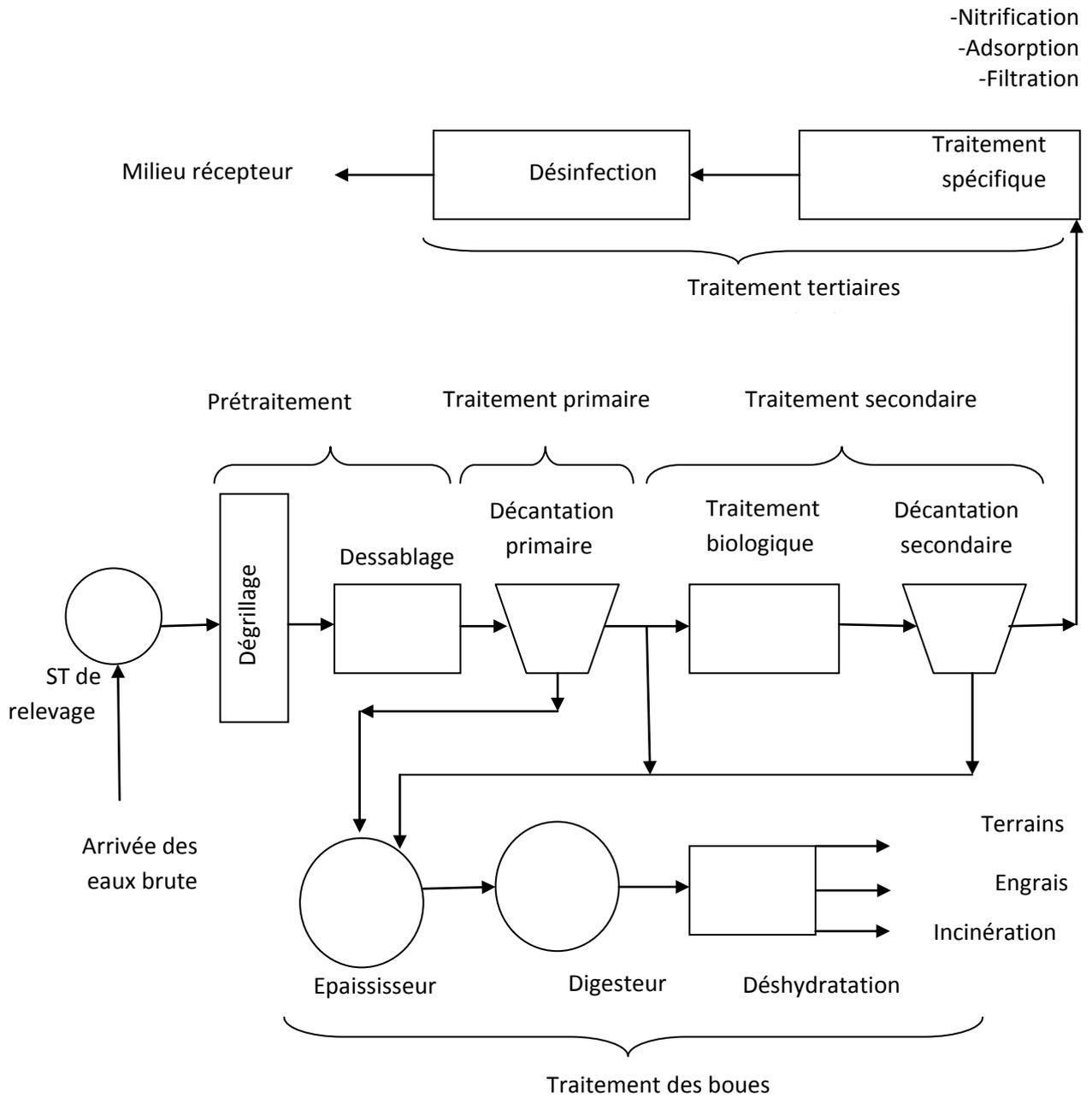
Le traitement des eaux peut être effectué par divers procédés tout ces procédés reposent sur des phénomènes physiques chimiques et biologiques en général l'épuration des eaux usées comprend:[1,3]

-la retenu des matières polluante, toxiques ou réutilisable.

Le traitement des eaux usées

-le traitement des boues.

### III.1 Schéma de principe du traitement complet des eaux usées.[2]



### **III.1 Rappels des procédés physiques et physicochimiques:**

Les traitements physiques et physico chimiques visent à débarrasser l'eau usée de ces éléments grossiers et qu'on peut le définir comme suit:

#### **a-Les prétraitements:**

Ils sont destinés à l'élimination des éléments qui risquent de perturber le fonctionnement des ouvrages de traitement ultérieurs.

Donc on retrouve à ce stade:

-le dégrillage

-le dessablage

-le déshuilage (dégraissage)

#### ➤ **Le dégrillage:**

Il s'agit de séparer des eaux brutes des matières les plus volumineuses, on faisant passer l'effluent d'entrée à travers des barreaux dont l'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent. Selon la nature de l'effluent il existe différents types de grilles.[3]

- **Grilles manuelle:**

Composé de barreaux inclinés de 60 à 80 ° sur l'horizontal. Le nettoyage se fait à l'aide d'un râteau et se fait quotidiennement

L'espacement entre les barreaux peut varier entre 20 et 60 mm

Elles sont généralement réservées aux petites stations.

- **Grilles mécanique (automatique):**

Réservées aux stations plus importantes plus de 2000 équivalent habitants.

- **Grilles droite**

-inclinaison de 90°

-l'écartement entre les barreaux est de 4 à 6 cm

-elles sont conçues avec de dispositifs de nettoyage tels (râteaux, brosses, grappins,...)

- **Grilles courbes:**

Constituées de barreaux en fer plat formé en quart de cercle.

-le nettoyage se fait par un double râteau tournant.

- **Calcul des dégrilleurs:**

Largeur de la grille: la largeur de la grille est donnée comme suit:

$$L = p(n_e - 1) + b.n_e$$

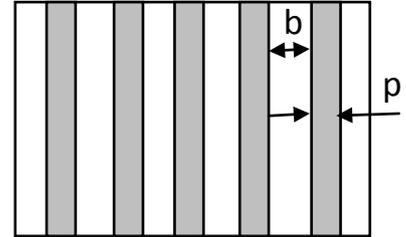
**Avec:**

L: Largeur de la grille

$n_e$ : nombre d'espacement entre les barreaux

p: épaisseur d'un barreau

b: espacement entre les barreaux.



$$n_e = \frac{k_{gr} Q_p}{b \cdot h_{max} \cdot V}$$

$K_{gr}$ : coefficient de dégradation  $K_{gr} = 1.5$  pour le cas des eaux usées urbaine

$L_{max}$ : la hauteur d'eau au niveau de la grille.

$Q_p$ : débit de pointe des eaux à traiter.

V: vitesse de l'eau à travers la grille ( $V = 0.6$  à  $1.2$  m/s).

- **Perte de charge:**

La perte de charge à travers la grille est donnée par

$$\Delta H = \beta \left( \frac{p}{b} \right)^{4/3} \frac{V^2}{2g} \sin \beta$$

**Avec:**

$\Delta H$ : Perte de charge au début de fonctionnement

P: largeur apparente d'un barreau

B: l'espacement entre les barreaux

V: vitesse de l'eau à travers la grille

$\beta$ : Le coefficient de forme des barreaux donné comme suit:

Types de barreaux	$\beta$
Section rectangulaire	2.42
Section circulaire	1.79
Section ovoïde	0.76

B: l'angle d'inclinaison de la grille avec l'horizontal

- **Après colmatage:**

La relation conduisant à la détermination de la section de la grille est la suivante:

$$S = \frac{h_{max} \cdot L}{\sin B} (1 - f)\delta$$

Avec :

f: représente la fraction occupée par les barreaux par rapport à la surface totale de la grille

$$f = \frac{S_{barreaux}}{S_{total}} = \frac{d \cdot k}{(b + d) \cdot k} = \frac{d}{b + d}$$

$\delta$ : le colmatage de la grille ;  $\delta=0.5$  pour un dégrillage automatique et  $\delta=0.25$  pour un dégrillage manuel.

$h_{max}$ : hauteur maximum d'eau admissible sur la grille.

L: largeur de la grille

B: l'angle d'inclinaison de la grille par rapport à l'horizontale.

- **Détermination de la quantité des déchets retenus par la grille:**

$$W = \frac{d_r \cdot N}{1000 \cdot 365} (m^3 \cdot j)$$

$d_r$ : quantité de déchets évacués par la grille (l/hab.an)

N: nombre d'habitant de l'agglomération raccordée.

La quantité des déchets par rapport aux espacements entre les barreaux est donnée comme suit:

<b>Espacement entre les barreaux</b>	<b>Quantité de déchets en (l.hab.an)</b>
16-20	8
25-35	3
40-50	2.3
60-80	1.6
90-125	1.2

**Tableau III.1 : Quantité des déchets par rapport aux espacements entre les barreaux [2]**

➤ **Le dessablage:**

L'élimination des sables présents dans l'effluent est indispensable pour protéger les conduites et les pompes contre la corrosion et aussi éviter le colmatage des canalisations par une sédimentation au cours du traitement.[3]

Il existe divers types de dessableurs dont.

a- les dessableurs à couloir

b- Les dessableurs aérés

a- ce sont des canaux à section rectangulaire dans lesquels la vitesse de passage est inférieure à 0.3m/s

b-l'insufflation de l'air impose aux eaux un mouvement de rotation et entraîne une décantation des grains de sable.

➤ **Déshuilage-dégraissage:**

Cette opération destinée à réduire les graisses et les huiles par une simple sédimentation physique en surface.

Les huiles et les graisses provoquent le bouchage des pompes et les canalisations et une mauvaise diffusion de l'O<sub>2</sub>.

Séparateurs de graisse:

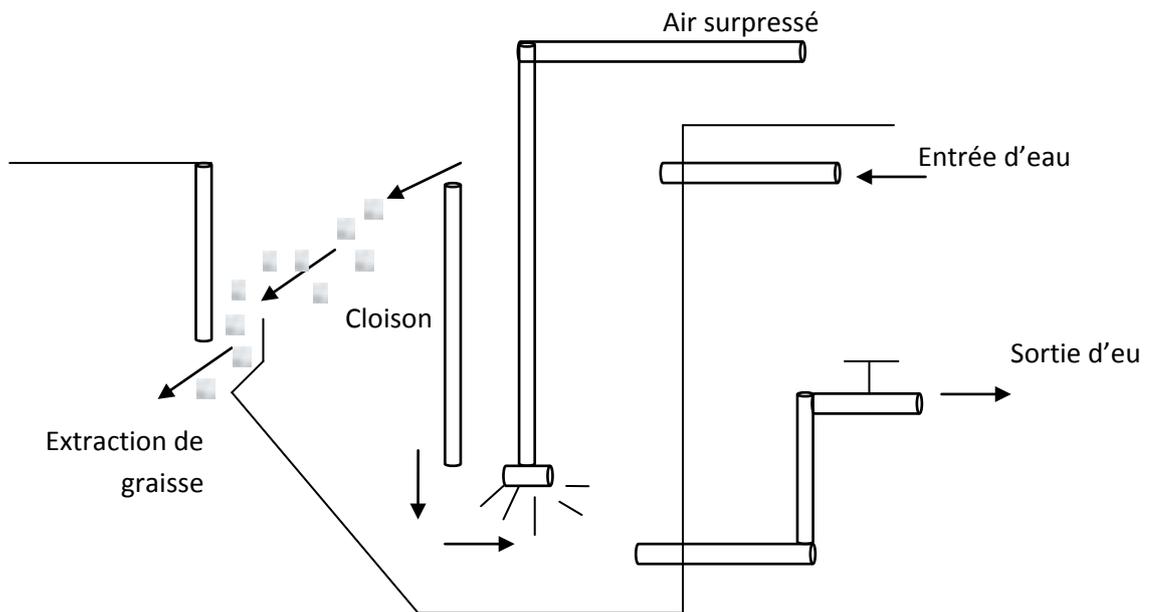
Sont conçus pour des débits de 20 à 30 l/s

Le temps de séjours dans les dispositifs est de 3 à 5 min

La vitesse ascensionnelle (montante) est de 15m/h.

Ils sont adoptés par les garagistes et les stations de service

➤ **Dégraisseur-déshuileurs aéré:**



**III.2 : Figure du déshuileur dégraisseur.[3]**

Ce type comprend une zone aérée (insufflation d'air par le bas) suivant d'un compartiment calculé pour une vitesse ascensionnelles de 15 à 20 m/h. le temps de séjours est de 3 à 10 mn, calculé sur le débit maximal.

- **Calcul des dégraisseurs:**

Le calcul des dégraisseurs est déshuileurs peut être effectué sur la base de la durée de passage ou de la vitesse ascensionnelle comme suit:

$$S = \frac{Q}{V}$$

Q: débit de passage (m<sup>3</sup>/s)

S: surface de séparateurs de graisse et des huiles.

V: vitesse ascensionnelle (m/s).

**Exemple:**

La surface nécessaire d'un séparateur de graisse et des huiles lorsque la vitesse ascensionnelle est de 4 mm/s pour débit de 1 l/s est de  $S = \frac{Q}{V} = \frac{10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} = 0.25 \text{ m}^2$

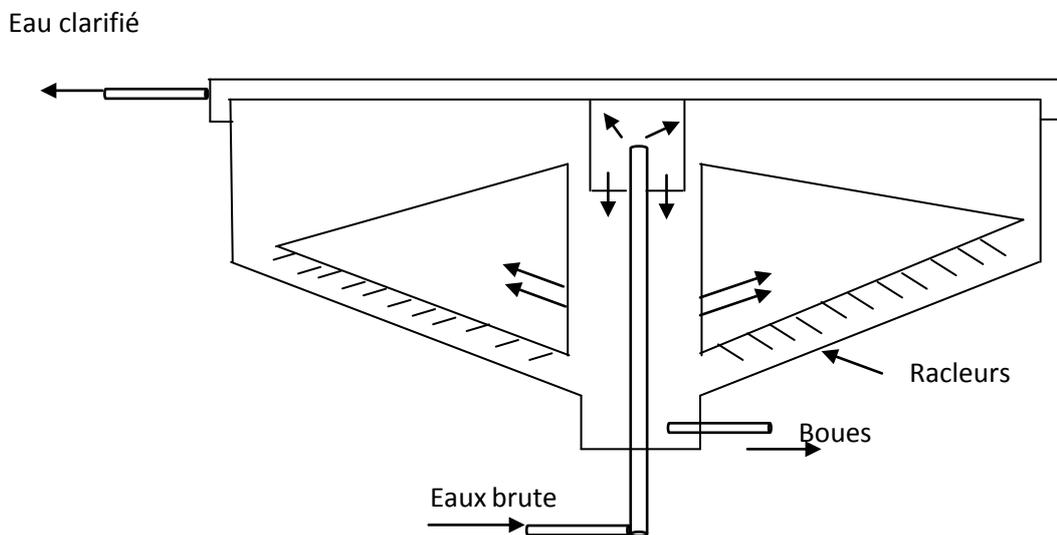
## **b-Traitement primaires:**

### ➤ **La décantation:**

Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur, on parle de décantation lorsque on veut obtenir un liquide clarifié et de sédimentation lorsque l'on cherche à former une boue concentrée.

La sédimentation peut se faire aussi bien dans les dessableurs ou encore dans les décanteurs. Il existe divers types de décanteurs variables suivant leur forme et suivant le mouvement du liquide qui les traverse.[3]

- **Décanteur circulaire:**



**Figure III.3: Décanteur circulaire raclé.(3)**

Ce décanteur comprend un fut central creux où arrive l'eau brute et elle est répartie généralement par une cloison siphonoïde.

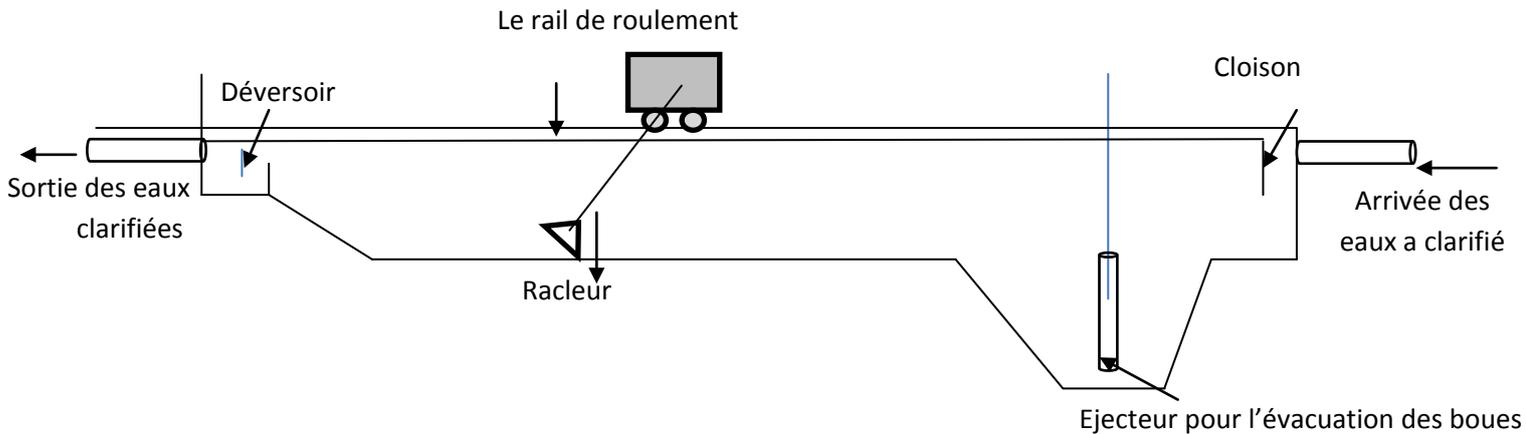
Le dispositif de raclage permet d'amener les boues vers une fosse centrale d'où partent les tuyaux d'extraction.

-la pente du radier est de 4 à 10%.

-la hauteur moyenne de décanteur circulaire est de 3 à 3.5 m

-le diamètre doit être de l'ordre de 30 m et peut atteindre 90 m mais il devient sensible aux effets du vent qui peut perturber la bonne répartition du liquide.

- **Décanteurs longitudinaux rectangulaires.**



**Figure III.4 : Décanteur rectangulaire à pont roulant [2]**

On adopte sur ces ouvrages un rapport longueur/largeur de 3 à 6 fois, une hauteur de 2.5 à 4 m, la pente du fond est de 1%.

Il existe deux types de décanteur rectangulaire avec raclage:

- Décanteur longitudinal à chaîne
- Décanteur longitudinal à pont racleur.

- **Calcul des décanteurs:**

Considérons une particule solide dans l'eau en mouvement avec une vitesse  $v$  et dont la vitesse de chute est appelée  $v_c$  si on appelle  $l$  la largeur d'un bassin et  $Q$  le débit d'eau entrant. La vitesse de l'eau peut être déduite de la formule du débit comme suit:

$$Q = v \cdot A = v \cdot H \cdot l$$

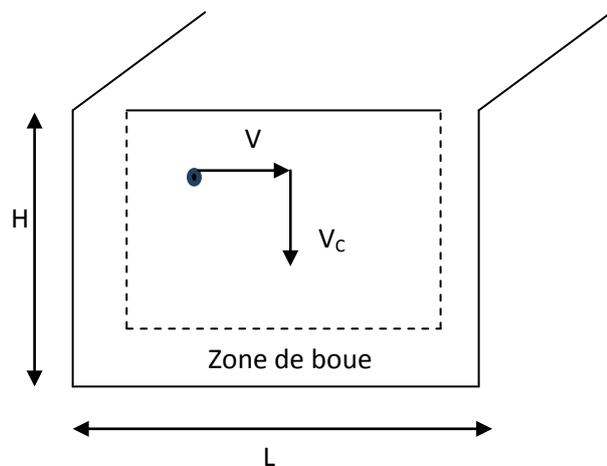
$$v = \frac{Q}{H \cdot l}$$

D'après la figure  $\frac{v}{v_c} = \frac{L}{H}$

$$\frac{v}{v_c} = \frac{Q}{H \cdot l \cdot v_c} = \frac{L}{H}$$

D'où :  $\frac{Q}{v_c} = L \cdot l = S_h$

$S_h = \frac{Q}{v_c}$  La hauteur du bassin n'a pas d'influence sur la sédimentation  $v_c = \frac{Q}{S_h}$



En appelant  $t$  le temps de séjour de l'effluent dans le bassin on peut écrire:

$$t = \frac{\text{volume du bassin}}{\text{débit d'entrée}} = \frac{V}{Q}$$

$Q=V/t$  et on a la vitesse de chute  $v_c = \frac{Q}{S_h} = \frac{V/t}{S_h} = \frac{V}{S_h.t}$

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

### **Exemple:**

Dimensionnez un décanteur primaire de forme circulaire on donne:

-charge superficielle =  $v_c = 0.9 \text{ m/h}$

-débit de pointe des eaux usées=803 m<sup>3</sup>/h

Temps de séjour dans le bassin= 1.5 heures.

### **Solution:**

#### **Calcul de la surface horizontale:**

$$S_h = \frac{Q}{v_c} = \frac{803}{0.9} = 892 \text{ m}^2$$

#### **Détermination du diamètre D:**

$$S_h = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4S_h}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 892}{3.14}} = 33.71 \text{ m soit } D = 34 \text{ m}$$

Pour  $D=34 \text{ m}$  on a  $S_h = \frac{\pi(34)^2}{4} = 907.34 \text{ m}^2$  d'où :  $V_c = \frac{Q}{907.34} = 0.8 \text{ m/h}$

#### **Le volume du bassin:**

$$V = Q \times t = 803 \times 1.5 = 1204.5 \text{ m}^3$$

## La hauteur du bassin H

$$H = \frac{V}{S_h} = \frac{1204.5}{907.34} = 1.32 \text{ m}$$

### Remarque:

Le pompage des boues vers les installations de traitements des boues doit être fréquent préalablement toutes les 4 heures à fin d'éviter les fermentations.

-Le rendement d'un décanteur.

-Réduction des MES 55-65%

-Réduction de la DBO: 30 à 35 %.

## III-2 L'EPURATION BIOLOGIQUE

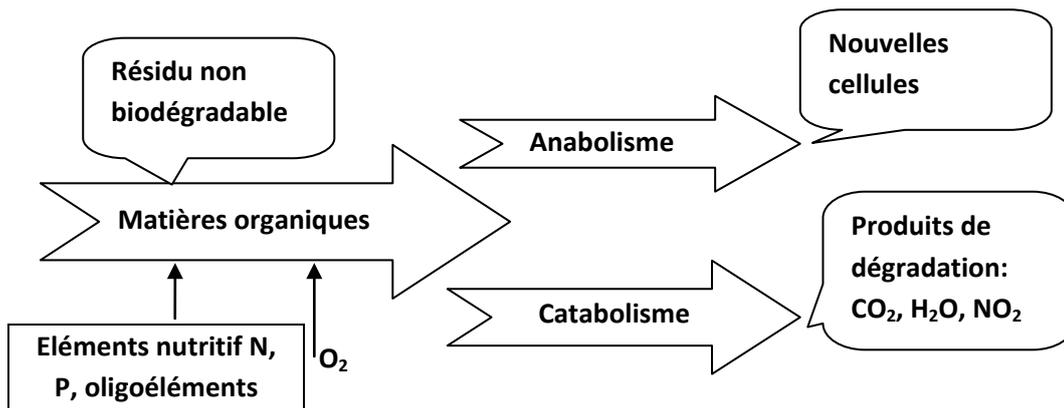
### III.2.1 Notion de métabolisation générale:

L'épuration par voie biologique est assurée par l'activité des microorganismes. Parmi les divers microorganismes responsables du phénomène biologique, les bactéries sont les plus importantes, et les plus nombreuses:

Une bactérie peut être considérée comme un système utilisant un substrat pour produire de l'énergie, fabriquée de nouvelles cellules et rejetées les produits de métabolisme.

L'opération de synthèse cellulaire porte le nom d'anabolisme et celle relative à la production d'énergie et formation de produit de dégradation s'appelle le catabolisme.

L'ensemble des deux opérations est le métabolisme.[1,2]



**Figure III.5 :** Schéma de principe de dégradation de la matière organique.[2]

### **III.2.2 Le pouvoir auto-épurateur des cours d'eau**

L'autoépuration n'est possible qu'à certaines conditions et dans certaines limites (spatiales et temporelles, quantitatives et qualitatives).

Le pouvoir autonettoyant de l'eau dépend de la teneur en oxygène de l'eau, et à d'autres facteurs comme la composition du sol, la qualité de l'eau ou la température de l'eau. En cas de manque d'oxygène, il se produit des processus de décomposition anaérobie. Dans une eau riche en oxygène, une substance organique (venant des eaux usées, par exemple) sera beaucoup mieux décomposés par les champignons, bactéries et les décomposeurs.

L'autoépuration consistant essentiellement en une consommation d'énergie importée sous forme organique, elle s'observe quand l'élimination (oxydation, métabolisation) prévaut sur les apports. Cela conduit à un appauvrissement du milieu en MO et à la situation des cours d'eau limpide et à faible quantité de MO. Face à cette conception "anorexique" de l'état idéal d'une rivière, (Fontvieille ;1987) défend l'idée d'apports organiques bénéfiques à la biomasse et permettant de réaliser le développement potentiel des populations.

Les hydrosystèmes possèdent une "mémoire", nommé pouvoir autoépuration, leur permettant d'assimiler des rejets organiques, aussi bien d'origine naturelle qu'humaine. La nature de ces derniers ne diffère pas fondamentalement des autres apports organiques. Ceux-là sont caractérisés par une plus grande richesse en azote et des teneurs plus faibles en composés phénoliques.

Une définition opérationnelle de l'autoépuration doit séparer les effets directs (diminution de la charge organique) des effets secondaires, c'est-à-dire des conséquences écologiques de l'autoépuration. (Fontvieille,1987), définit l'autoépuration comme un « équilibrage énergétique intervenant à la suite d'un apport trophique d'origine humaine ». Point fondamental : l'autoépuration est une notion dynamique, elle se réfère à une vitesse d'assimilation et non à la concentration présente dans le milieu. Aussi, d'un point de vue pratique, définissons-nous l'autoépuration comme : la quantité de charge organique éliminée sur une distance de rivière ou pour un temps donné.[9]

### **III.2.3 Principe de l'épuration biologique:**

Un grand nombre de microorganismes sont capable de métabolisme de la matière organique.

Et par conséquent conduire à l'épuration des eaux usée chargées en matières organiques biodégradable.

Il y a trois sortes de microorganismes: aérobie, anaérobie, facultatif,

-les microorganismes, aérobie exigent de l'O<sub>2</sub> pour assurer leur métabolismes.

- les microorganismes anaérobies tirent leur besoins énergétiques en absence d'O<sub>2</sub>.

-les microorganismes facultatifs ont un métabolisme aérobie en présence d'O<sub>2</sub> et un métabolisme anaérobie en absence d'O<sub>2</sub>. [3]

**Remarque:**

La majorité des microorganismes présents dans les procédés d'épuration biologique sont des types facultatifs.

**a-Le métabolisme bactérien:**

La métabolisation de la matière organique dans un procédé biologique peut s'écrire de la manière suivante.

Matière organique + (a') O<sub>2</sub> + N + P → (a) microorganismes + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + résidu soluble non biodégradable.

a': fraction de la matière organique convertie en cellule microbiens.

a: fraction du substrat oxydé

Microorganisme + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + N + p + résidu cellulaire non dégradé.

Les deux équations montrent que la biomasse synthétisé (formé) (microorganisme) au cours de l'élimination des matières organique est ensuite oxydée cette phase est dite métabolisme endogène.

**Remarque:**

Les bactéries aérobies dégradent la matière organique en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O et les bactéries anaérobies dégradent la matière organique en CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, et acides organiques.

***b-Base théorique de l'épuration biologique :***

- ***Cinétique de l'élimination des composés organiques:***

Le modèle décrit dans la littérature s'appui, sur l'hypothèse suivante:

La réaction de dégradation de la charge organique dépend à une cinétique du 1<sup>er</sup> ordre, on aboutit ainsi à la loi de Marias.

$$S = S_0 \frac{1}{1 + k_t \theta}$$

Avec:

S<sub>0</sub>: concentration initial en matière organique exprimé en DBO<sub>5</sub>

S: concentration en  $DBO_5$  à l'instant t.

$K_1$ : coefficient de dégradation de la matière organique exprimé en  $j^{-1}$

$\theta$ : temps de séjours de l'eau dans l'installation biologique.

### III.3 Les techniques d'épuration:

Il existe différents type de procédés d'épuration par voie biologique.

#### III.3.1 les procédés à biomasse fixes :

On distingue:

##### a- l'épandage

- **Principe:**

Les premières couches du sol existent une multitude de microorganisme (bactéries, algues, champignons) qui ont pour but principal la dégradation de la matière organique par voie aérobie (1 hectare de sol contient environ 1 à 2 tonne de microorganisme).

La dégradation de la matière organique est établie selon le phénomène de métabolisme suivant le milieu (anaérobie, aérobie ou facultatif).[2,3]

Le sol présente plusieurs fonctions dans son rôle de synthèse d'épuration.

- **la filtration:**

L'épandage des eaux usées brutes sur le sol vont nécessairement retenir immédiatement les grosses particules alors que les particules fines vont pénétrer sur de courte distance.

- **Fixation des cations:**

Les cations présent dans l'eau peut être fixés par les colloïdes du sol. Il y a également des échanges avec les cations déjà fixées.

- **Diffusion de l'oxygène:**

L' $O_2$  est diffusé différemment sur le sol sec ou humide, théoriquement on estime le transfert de l' $O_2$  selon l'humidité du sol de 1.3 à 9 tonnes d' $O_2$  par jour et par hectare.

- **Aspect mathématique:**

Il existe peu de relation faisant état de l'épuration par le sol pratiquement on admet:

$$\frac{DBO_5}{DBO_e} = 10^{-pc}$$

Avec:

$DBO_5$  et  $DBO_e$  sont  $DBO$  initiale et finale de l'effluent à traiter

P: profondeur du sol

C: constante d'épandage de la température, la composition de l'eau et la charge appliquée.

- **Méthodes d'utilisation du sol comme système épurateur:**
- **l'irrigation:**

Elle dépend de la composition de l'effluent. S'il s'agit d'eau brute non traitée ayant subi un simple dégrillage, l'irrigation se fait par écoulement au niveau du sol.

Mais quand il s'agit d'eau traitée biologiquement, l'irrigation par aspersion est possible (les doses d'arrosage assez faible peut être appliquées).

- **infiltration –percolation:**

Cette technique vise à infiltrer les grandes quantités d'eau dans les sols perméable c'est la submersion contrôlée (filtration, prélèvement dans la nappe).

- **champs d'épandage:**

Il s'agit à augmenter la charge à l'hectare. Des sols très perméables sont choisie sur lesquels un drainage assez serré est réalisé.

- **Les mesures à prendre pour la bonne efficacité du procédé :**

-Prévoir un système de dégrossissage avant l'irrigation.

-Contrôler des concentrations des ions métalliques présents dans l'eau afin d'éviter toute toxicité éventuelle.

-Surveiller la contamination de la nappe souterraine les diverses substances tels que les nitrates, nitrites, ou ions métallique.

- **Toutefois, l'épandage présente assez d'inconvénients:**

-Risques de contamination et intoxication directes à a toute la chaine alimentaire.

-Génération de mauvaises odeurs.

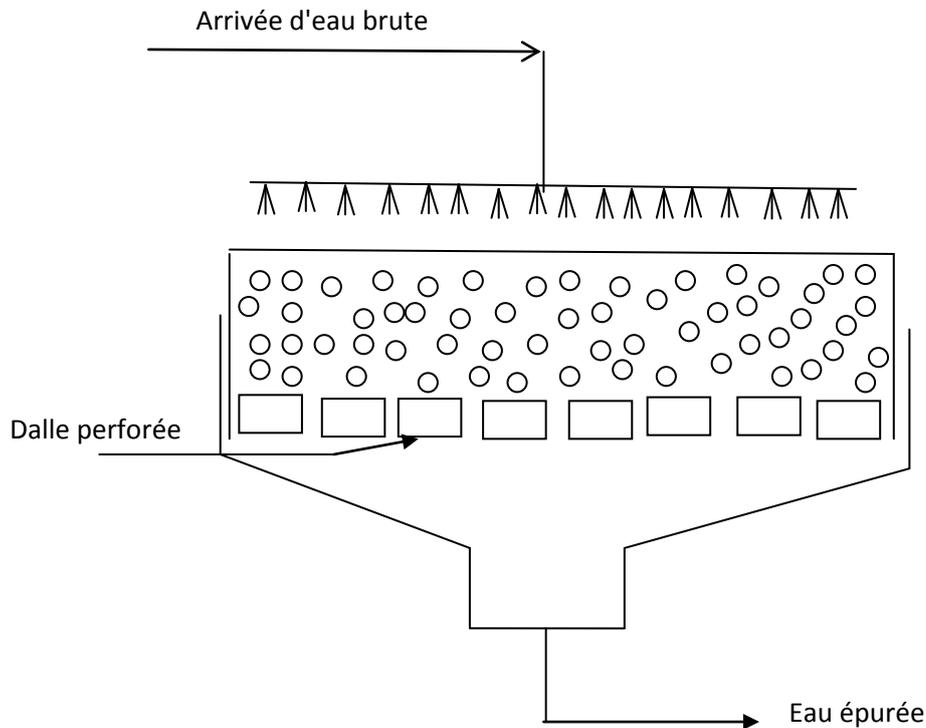
-Risque de colmatage de sol.

-Utilisation de grande surface de terrains.

## b-lits bactériens

- **Description** : le lit bactérien ou filtre biologique est constitué d'un amas cylindrique de cailloux ou de galets ayant une taille de 5 à 10 cm, la hauteur de couche se situe entre 1.5 et 3 m.

Les matériaux du lit sont supportés par un radier.

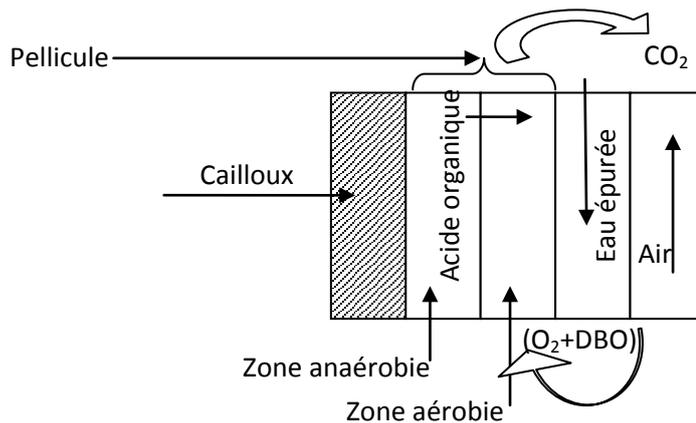


**Figure III.6 : Lit bactérien cylindrique [3]**

Les parois latérales du lit sont constituées par des murs en béton. L'appareillage comporte un dispositif d'arrosage au-dessus du lit.

- **Principe:**

L'eau ruisselle sur les pierres et un courant d'air circule librement à travers le lit. Dans ce cas il se forme autour des cailloux une pellicule mucilagineuse (visqueuse) composée de microorganismes divers. Elle constitue la biomasse active celle-ci adsorbe fortement les contaminants organiques de l'effluent pour les assimiler et les minéraliser



- **Réalisation des lits bactériens:**

Les lits bactériens sont généralement circulaires avec des diamètres allons de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres ( $D \leq 50$  m). La réalisation des lits est basée sur les paramètres suivants:

- **Le choix des matériaux** : le matériau doit satisfaire des conditions suivantes:
  - une grande résistance mécanique à l'atterrissement des eaux usées.
  - une faible densité pour réduire les efforts sur le plancher supportant le matériau.
  - des interstices suffisamment larges pour permettre une bonne circulation de l'eau et de l'air.
  - les matériaux choisis (la pouzzolane), gravier, cailloux, brique creuse, coke, et même le PVC (matériaux plastiques) actuellement.

- **Répartition de l'effluent:**

L'alimentation des lits en eau est assurée par des distributeurs rotatifs appelés (sprinkler). Ce sont des tourniquets hydrauliques à 2 ou 4 ou encore 6 bras horizontales permettant une bonne distribution homogène de l'eau sur la surface du lit la vitesse de rotation est de 3 à 4 tr/min pour les petits appareils et de 1 tr /min pour les appareils de plus grandes dimension.

- L'utilisation du recyclage: le recyclage est nécessaire car il procède à l'autocurage du lit, en maintenant un débit suffisamment important pour éroder le film bactérien qui s'accumule sur les matériaux et permet d'améliorer le rendement de l'épuration.

➤ **Classification des lits bactériens:**

Les lits bactériens sont définies par leur charges organique c a dire la quantité journalière de matière organique admise par  $m^3$  de matériaux on distingue :

Désignation	Lit à faible charge	Lit à moyenne charge	Lit à forte charge	Lit à très forte charge
charge hydraulique ( $m^3/m^2.j$ ) ch	1-5	4-10	10-40	40-200
Charge organique ( $kg/m^3.j$ ) Cv	0.02-0.32	0.24-0.42	0.32-1.0	0.2-6.0
Hauteur de couche (m)	1.5-3.0	1.25-2.5	2-5.0	1-4
Les matériaux utilisés	Cailloux	Cailloux	Cailloux	Matériaux plastique

**Tableau III.2** Classification des lits bactériens.[3]

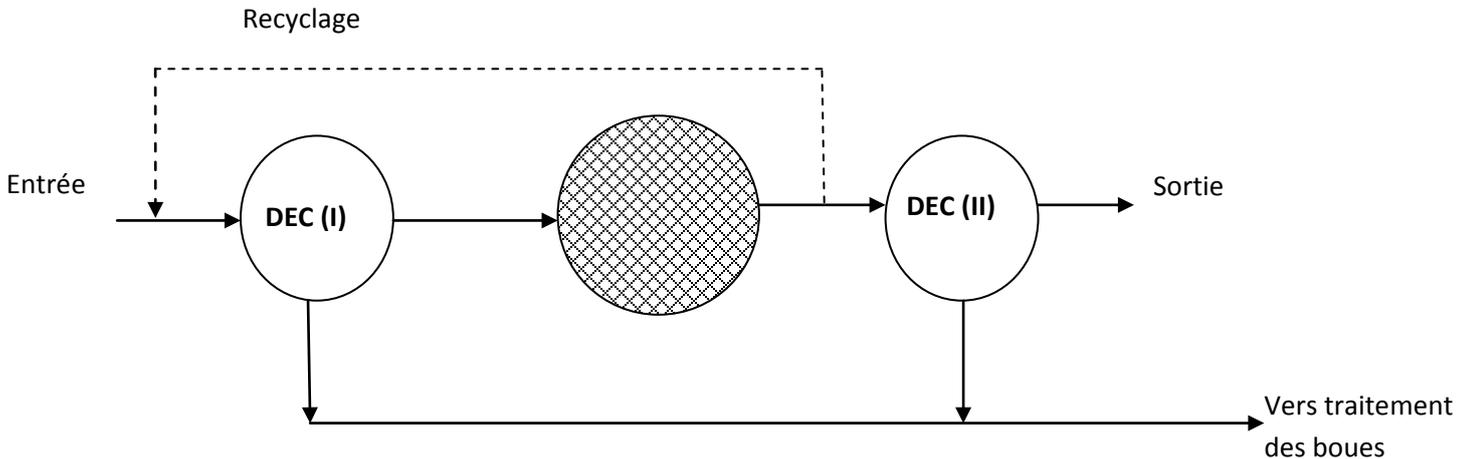
- **lit à faible charge:** comme le débit d'alimentation est faible, il est incapable d'assurer le curage des matériaux, il est obligatoirement fréquent de pratiquer un recyclage pour éviter le colmatage.

- **Principales caractéristiques:**

-rendement de l'épuration 90% en DBO<sub>5</sub>.

-l'effluent traité possède une DBO<sub>5</sub> DE 20 à 30 mg/l.

-la charge hydraulique appliquée 1 à 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>j



**Figure III.7 :** Lit bactérien à faible charge avec recyclage .[1]

▪ **lit à forte charge:**

Le débit d'alimentation est suffisamment fort pour assurer l'auto curage des matériaux.

-les rendements sont de l'ordre de 60% sans recyclage et de 80 à 90 % avec recyclage.

-la charge hydraulique appliquée est de 0.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h

▪ **Autocurage du lit:**

l'autocurage du lit est assurée en réinjectant en amont du lit une partie de l'effluent tel que:

$$R = \frac{C_h S - Q_m}{Q_m} \cdot 100$$

Avec:

R: taux de recirculation désiré

C<sub>h</sub>: la charge hydraulique appliquée

Q<sub>m</sub> : le débit moyen à l'entrée.

S: surface du lit.

**Exemple :**

On veut traiter les eaux usées d'une agglomération de 10000 habitants par lit bactérien à faible charge caractérisé par une charge organique de  $0.2 \text{ kg/DBO}_5/\text{m}^3\cdot\text{j}$  et une charge hydraulique de  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{j}$  en admettant un rejet journalier de  $150 \text{ l/hab}\cdot\text{j}$  est une  $\text{DBO}_5$  évaluée à  $54 \text{ g/hab}\cdot\text{j}$ .

-calculer les dimensions du lit bactérien en tenant compte que le décanteur primaire élimine 35% de  $\text{DBO}_5$  de l'effluent brute.

**Solution:**

Population=10000 habitants.

$C_v = 0.2 \text{ kg.DBO}_5/\text{m}^3\cdot\text{j}$

$Ch = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{j}$

$Q = 150 \text{ l/hab}\cdot\text{j}$

$\text{DBO}_5 = 54 \text{ g/hab}\cdot\text{j}$

DEC (I) élimine 35 % de  $\text{DBO}_5$

*-le débit du rejet:*

$$Q = \frac{150 \times 10000}{1000} = 1500 \text{ m}^3/\text{j}$$

*- la charge de pollution exprimée en  $\text{DBO}_5$ :*

$$\left(54 - \frac{35}{100} 54\right) \cdot \frac{10000}{1000} = 351 \text{ kg } \text{DBO}_5/\text{j}$$

*-La concentration en  $\text{DBO}_5$  à l'entrée du lit:*

$$C_{\text{DBO}_5} = \frac{351 \cdot 10^6}{1500 \cdot 10^3} = 234 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

**Remarque:**

$1 \text{ kg} = 10^6 \text{ g}$

$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ litre}$

$1 \text{ litre} = 10^{-3} \text{ m}^3$

**-Le volume du lit :**

$$V = \frac{351}{0.2} = 1755 \text{ m}^3$$

**-La surface du lit :**

$$S = \frac{Q_{rejet}}{C_h} = \frac{1500}{2} = 750 \text{ m}^2$$

**-La hauteur du lit:**

$$V = S \times H \text{ donc } H = \frac{V}{S}$$

$$S = \frac{1755}{750} = 2.34 \text{ m} \in [1.5 \text{ à } 3 \text{ m}]$$

**-Le diamètre du lit:**

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 750}{3.14}} = 30.14 \text{ m} < 50 \text{ m}$$

**Exemple :** le débit moyen d'une eau usée est de 43.75 m<sup>3</sup>/h si on estime la surface du lit à 123 m<sup>2</sup>, la charge hydraulique appliquée est de **1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h.**

Quel est le taux de recirculation R.

**Solution:**

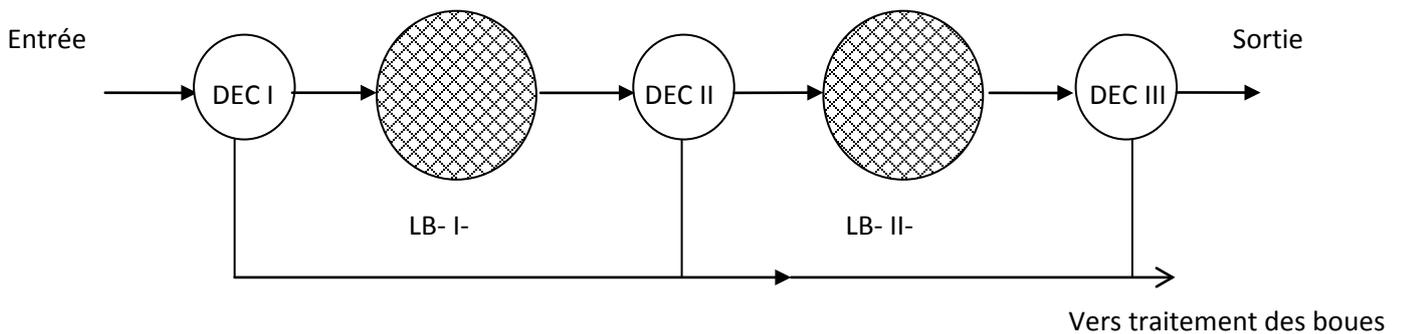
$$R = \frac{1 \times 123 - 43.75}{43.75} \times 100 = 181 \% \text{ Du débit moyen}$$

**Utilisation des lits en séries:**

Dans certains cas pour améliorer la qualité de l'effluent on utilise deux lits bactériens en séries, le système à deux filtres consiste à faire traiter les eaux usées par passage successive dans les deux lits

La séparation en deux étapes présente l'avantage de permettre une meilleur aération due essentiellement à la faible hauteur de chacun deux lits.

Les deux lits sont intercalés d'un décanteur secondaire



**Figure III.8 : Lits bactérien en série.[1]**

**Exploitation des lits bactériens:**

Les lits bactériens s'adaptent bien à toutes possibilités d'épuration de matière organique biodégradable.

Ils supportent les effets des surcharges (cas d'un réseau unitaire) et les chocs toxiques (l'arrivés des ions métalliques).ils sont sensible aux apports de graisses qui peuvent empêcher la diffusion de l'O<sub>2</sub> à travers les membranes cellulaires.

Ils sont sensibles également aux matières en suspension qui peuvent conduire aux colmatages rapides du lit.

-un inconvénient posé par l'exploitation des lits c'est la prolifération des insectes en saison chaude (parfois en utilise une solution chloré sur le lit selon un dosage approprié).

-Il supporte les chutes de température en période hivernale.[1]

### c-Disques biologique

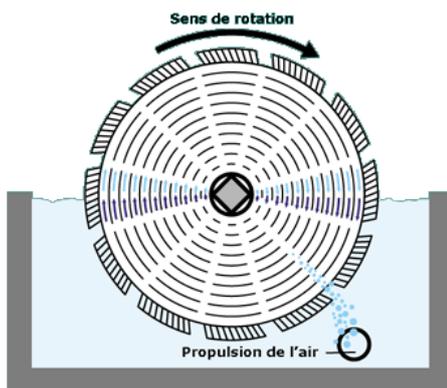
- **Définition:**

Les disques rotatifs présentant un autre procédé faisant appeler à une biomasse fixée sur support.

Ce procédé peut être rangé parmi les systèmes d'épuration biologique aérobie la culture bactérienne est fixée sur un support comme le cas pour les lits bactériens.

- **Présentation du procédé:**

L'appareil est constituée d'un groupe de disque en parallèle et en matière de plastique de diamètre 1m ou plus régulièrement espacés et supportés par un axe horizontal comme pour constituées un tambour.



**Figure III.9** Photos Disque biologique [1]

- **Description ou présentation du procédé d'épuration par disques biologiques.**

-L'appareil est constitué d'un groupe de disque en parallèle et en matière de plastique de diamètre 1m ou plus régulièrement espacé et supportés par un axe horizontal

-Comme pour constituées un tambour le tous est monté au-dessus d'une cuve semi cylindrique ou de section trapézoïdale.

-Les tambours mis en œuvre comptent de 10 à 200 disques par tambours.

-L'écartement entre les disques est environ 2 cm

-Les disques plongent sur la moitié de leur diamètre dans les cuves

-Les disques tournent lentement autour d'un axe horizontale de telle sorte la culture bactérienne présente sur le support se trouve alternativement au contact de l'eau et de l'air

-Les disques doivent tourner dans le sens de la circulation de l'eau (dans le cas contraire le rendement d'épuration peut baisser à 25%).[1]

-Les vitesses adoptées sont de l'ordre de 1 à 2 tr/min ainsi la phase d'immersion permet aux bactéries de dégrader les matières organiques présente et la phase d'émersion leur permet de prélever dans l'atmosphère de l'O<sub>2</sub> nécessaire à leurs besoins respiratoires  
-la charge organique maximal admissible est de 80 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>j

- **Facteurs influençant l'épuration par biodisques:**

**-Vitesse de rotation: la vitesse de rotation doit permettre:**

- 1-de ne pas priver la culture bactérienne d'O<sub>2</sub> par une longue immersion.
- 2-d'éviter une expulsion de la masse bactérienne par des vitesses de rotation élevées.
- 3-de permettre un brassage homogène du liquide.

**-la température:**

L'effet de la température est un paramètre important pour l'épuration biologique.  
L'évolution de taux de croissance des bactéries et donnée comme suit:

$$M_T = M_{10} 1.02^{(T-10)}$$

M<sub>T</sub> : taux de croissance des bactéries

T: température de l'eau.

M<sub>10</sub>: taux de croissance lorsque T=10°C.

**- le pH:** la meilleure condition d'épuration correspond à un pH entre 6 et 8.

**- présence des matières grasses:**

La diffusion de l'O<sub>2</sub> est limitée lorsqu'il existe sur la surface une pellicule de substance organique grasse.

- **Dimensionnement des installations à biodisques:**

Calcul de la surface des disques à partir de diagramme de HARTMANN:

Ce diagramme permet de dimensionner une installation à disque biologique. Il correspond au rendement d'épuration en DBO en fonction de la surface totale des disques

**(Rapport= surface des disques/débit).**

**Exercice 1:**

En utilisant le diagramme de HARTMANN, déterminé la surface totale des disques utilisé dans une installation à un seul étage par biodisque on donne:

-le débit des eaux usées Q= 1500 m<sup>3</sup>/j

DBO<sub>5</sub> d'entrée =360 mg/l, DBO<sub>5</sub> de sortie= 30 mg/l.

**Solution:**

$$\rho = \frac{L_0 - L_f}{L_0} = \frac{360 - 30}{360} \times 100 = 91.6\%$$

La lecture sur le diagramme HARTMANN donne pour  $\rho=91.6\%$  un rapport

$$\frac{S}{Q} = 18500 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{min}.$$

$$S = 18500 \times Q$$

$$Q = \frac{1500}{1440} = 1.04 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$S = 18500 \times 1.04$$

$$S = 19240 \text{ m}^2$$

### **d-Les lits immergés**

L'eau usée, préalablement prétraitée (décantation primaire, souvent combinée à un digesteur à boues type Emscher), alimente un bioréacteur contenant une carcasse poreuse de matériaux inertes en plastique, immergée dans l'eau, et servant de support à des micro-organismes épurateurs, qui peuvent y tapisser un film biologique.

L'eau à épurer circule à l'intérieur de cette masse perméable le long des matrices vivantes, où les bactéries peuvent alors extraire la pollution en l'utilisant comme nourriture.

La respiration des bactéries est assurée par une rampe d'aération forcée (air comprimé) aménagée en-dessous du matériau à lit fixe.

Avec le temps le film biologique grossit et vieillit, puis finit par se détacher sous forme de floccs de boues. Ces résidus sont entraînés vers un décanteur secondaire où s'opère alors leur séparation avec les eaux épurées.

Les boues biologiques sont généralement recirculées par pompage vers un digesteur (Emscher) pour y être minéralisées avant valorisation (agricole ou thermique).

La capacité épuratrice des lits fixes immergés est de l'ordre de 7 à 15 équivalent-habitants (EH) par  $\text{m}^3$  de carcasse vivifiée selon le principe choisi. Ces installations se prêtent à l'épuration de petites, de moyennes, et de grandes entités.



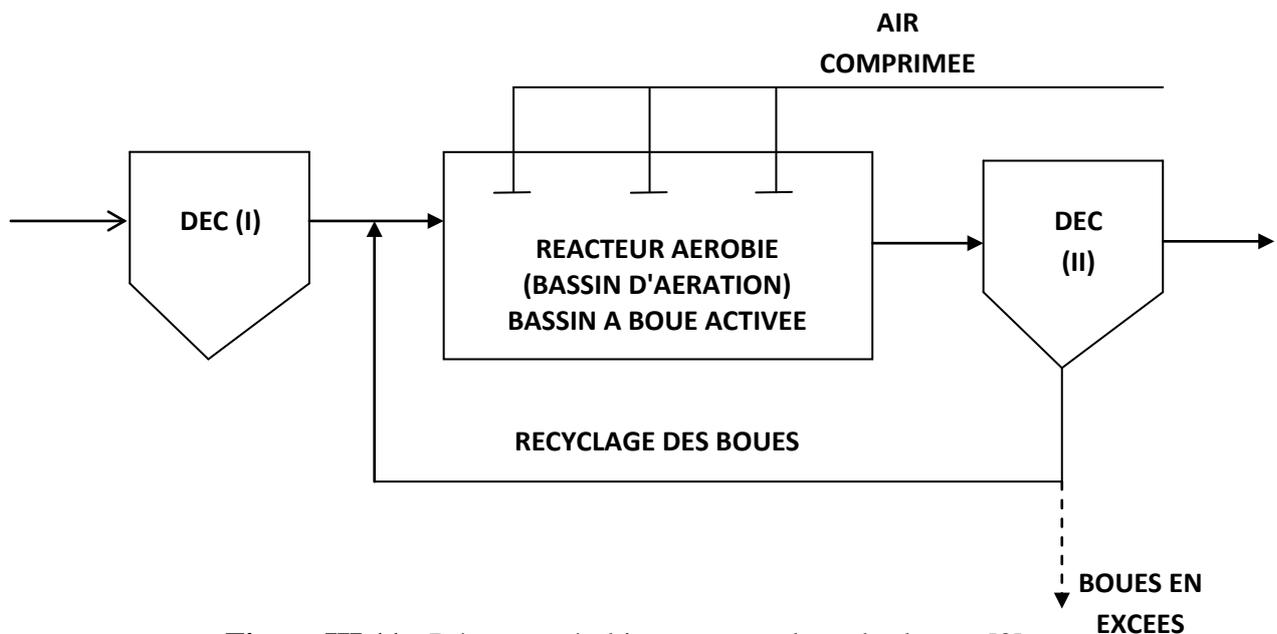
**Figure III.10:** Lit immergés.

### III.3.2 les procédés à biomasse en suspension :

#### c- Les boues activées

- **Définition :** le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons d'un bassin brassé et aéré et alimenté en eau à épurer. Le brassage a pour but d'éviter les dépôts dans le bassin et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte).

L'aération peut se faire à partir de l'air, d'un gaz enrichie en  $O_2$  qui a pour but de dissoudre le gaz dans la liqueur mixte afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies.



**Figure III.11 :** Réacteur aérobie avec recyclage des boues.[3]

Après un temps de contact suffisant la liqueur mixte est envoyée dans le clarificateur (DEC II) destiné à séparer l'eau épurée des boues. Ces derniers sont recyclés dans le bassin d'aération pour maintenir une concentration suffisante en bactérie épuratrice, l'excédent des boues est évacué vers l'installation de traitement des boues.

- **Principe:**

En présence de nourriture abondante, les microorganismes vont se développer rapidement et auront tendance à former des masses floconneuses, le floc bactérien ainsi défini permettra l'oxydation de matières biodégradable.

Charges appliqués: d'une manière générale on définit les caractéristiques d'une installation biologique à boue activée par deux facteurs qui sont:

-charge volumique

-charge massique.

-on définit la charge volumique comme étant le rapport de la pollution apporté quotidiennement par unité de volume du bassin.

$$C_v = \frac{DBO_5 \text{ entrée } (\frac{kg}{j})}{\text{volume du bassin } (m^3)} = \frac{L_0}{V} (kg \frac{DBO5}{m^3} \cdot j)$$

$L_0$  : charge de pollution initiale (en tête du bassin d'aération).

-la charge massique est définie comme étant le rapport de la pollution entrante par unité de masse de boues.

$$C_m = \frac{DBO5 \text{ entr ée } (\frac{kg}{j})}{\text{masse des boues } (kg \text{ MVS})} = \frac{L_0}{X_t}$$

$X_t$ : masse bactérienne présente à l'instant t.

$$X_t = X_a \cdot V$$

$X_a$ : concentration des boues dans le bassin

$V$ : volume du bassin

$$C_m = \frac{L_0}{X_t} = \frac{L_0}{X_a \cdot V} = \frac{C_v}{X_a}$$

$$C_v = C_m \cdot X_a$$

Le calcul des appareillages destiné à un procédé aux boues activées est très complexe. Dans le cas d'un procédé traditionnel avec arrivées de l'effluent et des boues recyclées en tête de réacteur (bassin) les dimensions et normes opératoires se trouvent habituellement dans les intervalles suivants:

- les bassins ont une forme rectangulaire.
- profondeur du bassin est de 4 à 5 m.
- durée de séjour hydraulique dans le réacteur est de 4 à 8 heures.
- charge massique  $C_m = 0.2$  à  $0.5 \text{ kgDBO}_5/\text{kg MVS.j}$
- charge volumique  $C_v = 0.3$  à  $0.6 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3.\text{j}$
- Concentration des boues (MVS) dans le réacteur 2000 à 2500 mg/l.
- concentration de boues recyclées est de 8000 -20000 mg/l.
- le taux de recyclage 0.25 à 0.50 (représente 25 à 50% du débit initiale).
- le taux en  $\text{O}_2$  dissous à la sortie du réacteur 2 mg/l.
- rendement du réacteur 85 à 95 %.

Ensuite les différents systèmes d'épuration sont classés suivant les charges appliquées comme suit:

Type d'installation	Emplacement	Temps de séjour (h)	$C_v \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3.\text{j}$	$C_m \text{ KgDBO}_5/\text{kg MVS.j}$
Boue active à faible charge massique	Absence de DEC (I)	16-36	0.16-0.35	0.05-0.1
Boue activée à moyenne charge massique	Toujours située en aval DEC (I)	6-10	0.8-2	0.3-0.8
Boue activée à forte charge massique	Toujours située en aval DEC (I)	0.5-2	1.6-5	0.5-1.5

**Tableau III.3 : présentations des paramètres à différents charge appliquées.[3]**

### Exercice:

Le projet d'une installation de boues activées doit être établi pour une localité de 70000 habitant. (Débit spécifique d'eau usée)= 160 l/hab/j,  $\text{DBO}_5=54 \text{ g/hab.j}$ ,  $\text{MES}= 70 \text{ g/hab.j}$ ). La pollution d'écoulement ne doit pas dépasser 30 mg  $\text{DBO}_5/\text{l}$ .

1-Dimensionner le bassin d'aération à faible charge en admettant une concentration des boues dans le bassin de  $5 \text{ g/l}=X_a$  et une charge massique de  $0.07 \text{ kg.DBO}_5/\text{kgMVS.j}=C_m$ .

2-calculer le rendement désiré et la charge de pollution éliminée.

**Solution:**

$$P = 70\,000 \text{ hab}$$

$$Q = 160 \text{ l/hab.j}$$

$$\text{DBO}_5 = 54 \text{ g/hab.j}$$

$$\text{MES} = 70 \text{ l/hab.j}$$

$$X_a = 5 \text{ g/l} = 5 \text{ kg/m}^3$$

$$C_m = 0.07 \text{ kg DBO}_5/\text{kg MVS .j.}$$

**- Dimensionnement du bassin:**

**-Débit de rejet:**

$$Q = 160 \times 70000 \cdot 10^{-3} = 11200 \text{ m}^3/\text{j}$$

**-Charge de pollution à l'entrée du bassin :**

$$54 \times 70000 \times 10^{-3} = 3780 \frac{\text{kgDBO}_5}{\text{j}} = L_0$$

**-Charge volumique  $C_v$ :**

$$C_v = C_m \cdot X_a$$

$$C_v = 0.07 \times 5$$

$$C_v = 0.35 \text{ kgDBO}_5/\text{m}^3\text{j}$$

**-Volume du bassin:**

$$C_v = \frac{L_0}{V} \rightarrow V = \frac{L_0}{C_v}$$

$$V = \frac{3780}{0.35} \rightarrow V = 10800 \text{ m}^3$$

On prévoit deux bassins donc le volume de chacun est de  $V = \frac{10800}{2} = 5400 \text{ m}^3$

H e [4-5] m soit H= 5 m

$$\text{Alors: } S = \frac{V}{H} = \frac{5400}{5} = 1080 \text{ m}^2$$

Soit: L= (3-6) l

Soit  $L=3.1$  donc  $S=3\text{ l}^2$

$$\text{Donc: } l = \sqrt{\frac{S}{3}} = \sqrt{\frac{1080}{3}} = 18.97\text{ m} \approx 20\text{ m}$$

$$S = L \cdot l$$

$$L = 60\text{ m}$$

$$l = 20\text{ m}$$

$$\text{Donc } S = 1200\text{ m}^2$$

$$H = \frac{V}{S} = \frac{5400}{1200} = 4.5\text{ m}$$

Alors on a ( $H=4.5\text{ m}$ ,  $l=20\text{ m}$ ,  $L=60\text{ m}$ )

**-Le temps de séjour:**

$$t = \frac{V_{\text{global}}}{Q} = \frac{10800}{11200/24} = 23.14\text{ h} \in [16 - 36]\text{heures.}$$

-Calcul du rendement et la charge de pollution éliminée:

Charge de pollution éliminée:

$$L_0 = 3780\text{ kgDBO}_5/\text{j}$$

$$L_F = ?$$

$$L_e = L_0 - L_F$$

$L_e$ : la pollution dégradée.

$$L_F = 30 \times 11200 \times \frac{10^{-6}}{10^{-3}} = 336\text{ kgDBO}_5/\text{j}$$

$$L_e = 3780 - 336 = 3444\text{ kgDBO}_5/\text{j}$$

- le rendement du bassin :

$$\rho = \frac{3780 - 336}{3780} \times 100 = 91.11\%$$

- **Consommation en  $O_2$  :**

la consommation d' $O_2$  résulte des phénomènes de métabolisme on peut concevoir que la consommation d' $O_2$  par unité de temps est la somme de 4 termes correspondants à.

- 1-Substrat dégradé
- 2- synthèse cellulaire.
- 3- Respiration endogène

4-utilisation des stocks éventuels.

Dans la pratique hors du traitement des eaux usées on admet la formule globale permettant un équilibre de l'alimentation au cours de la journée  $q \left( \frac{O_2}{t} \right) = a' L_e + b' X_t$

Avec :

Q: poids d'O<sub>2</sub> globale utilisé pour la métabolisation des matières organiques.

a' : la fraction de pollution transformée en énergie de synthèse au cours de l'épuration.

b': la fraction de pollution détruite au cours de la respiration endogène.

L<sub>e</sub>: pollution dégradée (L<sub>0</sub>-L<sub>F</sub>)

X<sub>t</sub>: masse bactérienne à l'instant t

X<sub>t</sub>=X<sub>a</sub>.V

Les valeurs de a' et b' sont données en laboratoire à l'aide d'un respiromètre.

- **Bilan des boues:**

L'élimination des matières organiques conduit à une synthèse cellulaire qui augmente la proportion des boues dans le bassin.

Il devient donc important de connaître la masse de boues formées afin de prévoir l'importance

Des évacuations et les procédés de traitement pour les boues extraites.

L'évaluation du bilan des boues excédentaires peut être estimé par la différence entre les boues formés ou apportés et celle éliminées.

**L'augmentation des boues est due à:**

- la croissance bactérienne.
- les réserves éventuelles.
- les matières apportées par l'effluent.

**-la diminution des boues est due à:**

- la respiration endogène.
- les fuites des MES
- le bilan global s'écrit donc:

$$\Delta X = a_m L_e + X_{min} + X_{dur} - b X_t - X_{eff}$$

Avec :

$a_m$ : rendement cellulaire (g cellules formés/g DBO éliminée)

$L_e$ : pollution dégradée (kg/j).

$X_{min}$  : quantité des matières minérale non éliminé (kg/j).

$X_{dur}$  : qualité des matières sèches non biodégradable.

$bX_t$ : résidu de la respiration endogène (kg/j)

b: rendement apparent généralement pris 5% à une profondeur de 4 m environ.

$X_{eff}$  : la fuite des MES avec l'effluent (généralement  $X_{eff} \leq 30$  mg).

#### **d- Les lagunes**

- **Définition:** on définit une lagune ou étangs de stabilisation toute dépression ou excavation naturelle ou artificielle dont laquelle s'écoule naturellement les eaux usées brutes ou décantés pour ressortir sans intervention extérieure d'aucune sorte, dans un état ou elle ne risque pas d'altérer la qualité du milieu récepteur. Les étangs peuvent réduire la DBO d'une eau usée jusqu'à 85 % ou même plus mais ils exigent des espaces appropriés et ne sont convenable que dans le cas de petites agglomérations.

- **Classement des étangs d'oxydation**

- Lagunage naturel**

- On classe généralement les étangs d'oxydation en 3 catégories.

- les étangs aérobies

- les étangs anaérobies

- Les étangs facultatifs.

- Les étangs aérobies:** ils sont conçus de façon à assurer un milieu bien oxygéné en tout temps.

- Dans ces bassins la dégradation de matière organique est réalisée par les bactéries et les algues, en utilisant les facteurs physiques tels que le vent et la lumière.

- Les algues produisent par photosynthèse d'important volume en  $O_2$  permettant de maintenir le milieu en aérobiose.

- Les étangs aérobie doit être de faible profondeur (max 12 m)

- La charge organique admise est d'environ 5 kg DBO/m<sup>2</sup>.j.

- La durée de séjour hydraulique est de 6 jours environ.

- Les étangs anaérobies:

- Ils sont caractérisés par une absence d' $O_2$  dans le milieu. La dégradation des matières organiques est assurée par des bactéries anaérobies.

- La profondeur peut atteindre 4 à 5 m. ils sont réservés aux eaux usées industrielles.

**-Les étangs facultatifs:**

Les étangs facultatifs résultent en une des étangs précédents:

Deux zones sont ainsi observées:

-une zone aérobie dans la partie supérieure du bassin

-une zone anaérobie dans la partie inférieure du bassin

La profondeur du bassin est de l'ordre de 1 à 2.5 m

• **Caractéristiques des lagunes:**

Types d'étangs / Paramètres	Aérobie	Anaérobie	Facultatif
Profondeur (m)	0.5-0.7	2.5-5	1.0-2.5
Temps de séjour (j)	2-6	20-50	7-20
Charge organique (kg DBO <sub>5</sub> /ha.j)	10-50	500-700	50-300
Rendement %	80-95	50-85	80-95
Concentration en algues (mg/l).	100	Nulle	10-50

**Tableau III.4 :** Caractéristique physique des différentes lagunes.[3]

• **Facteurs influençant l'épuration par lagunage**

**-durée de séjour:**

Elle varie suivant le type d'étang et le degré de pollution de l'effluent.

**-lumière** : c'est un facteur essentielle de la photo synthèse ca dire les algues utilisent l'énergie lumineuse pour transformé le gaz carbonique, l'ammoniaque et les matières minérales en de nouvelles cellules dégagent de l'O<sub>2</sub>.



**- la température:** la croissance des algues est favorisée par des températures élevées.

**-les charges appliquées** : elles sont différentes selon les conditions hydrogéologiques et le type de bassin.

**Exemple:**

Calculer la surface des bassins d'oxydation destinées à l'épuration des eaux usées par lagunage d'une agglomération de 50 000 habitant sachant que le débit spécifique des eaux usées est de 120 l/hab.j et la charge de pollution exprimé en DBO<sub>5</sub> = 54 g/hab.j ( en admettant que la DEC I élimine 1/3 de la DBO<sub>5</sub> des eaux brutes).

Calculer la profondeur moyenne des bassins sachant que le temps de séjour dans l'installation biologique est de 20 j

On donne: la charge organique appliquée est de 212.5 kg DBO<sub>5</sub>/h.j?

**Solution:**

**1-Le débit de rejet :**

$$Q = 120 \times 50000 \times 10^{-3} = 6000 \text{ m}^3/\text{j}$$

**2- charge polluante à l'entrée de l'installation biologique:**

$$L_0 = \left(54 - \frac{1}{3} \cdot 54\right) \cdot 50000 \cdot 10^{-3} = 1800 \text{ kg DBO}_5/\text{j}$$

**3- Surface des bassins:**

$$S_h = \frac{\text{charge polluante}}{\text{charge organique}} = \frac{1800}{212.5} = 8.47 \text{ ha}$$

**On a : t=20j**

**1- Volume du bassin:**

$$V = Q \cdot t = 6000 \cdot 20 = 120000 \text{ m}^3$$

**2- la profondeur moyenne des bassins:**

$$h = \frac{V}{S_h} = \frac{120000}{8.47 \times 10^4} = 1.416 \text{ m}$$

• **Exploitation des étangs:**

Les bassins sont généralement installés sur des sols préalablement compactés. Des digues sont élevés avec les déblais dont la largeur ne doit être inférieure à 2 m afin de laisser le passage aux engins d'exploitation.

Il est recommandé de favoriser la culture du gazon sur les bords du bassin afin d'éviter l'érosion par les vagues qui se produisent par le vent.

-la vidange des boues dépend de la nature de l'étang, les bassins anaérobies sont vidangés beaucoup plus fréquemment que les bassins aérobie (à titre d'exemple tous les 1.5 à 2 ans par les bassins anaérobies et tous les 10 ans par les bassins aérobie).

-les deux inconvénients majeurs des bassins d'oxydation viennent de la prolifération des moustiques et de dégagement des odeurs.

- **Aspects mathématiques:**

Dans les bassins de lagunage naturel, l'évolution de la DBO suit une loi de décroissances tel que :

$$l_f = \frac{L_0}{1+k.t} \text{ (MARIAS)}$$

K: coef. D'épandant de la température (coef. de dégradation de la DBO,  $k = 1.2 \times 1.085^{(T-35)}$  ).

$L_F$ : pollution de l'effluent épurée

$L_0$ : pollution de l'effluent brute.

**-Lagunage aéré:**

Dans ce type de lagunage l'apport en  $O_2$  est augmenté par la mise en place d'aérateurs mécaniques il existe deux types de lagunages aérés.

**-lagunage aérobie:**

On maintient une concentration en  $O_2$  dissout dans tous le bassin

**Lagunage facultatifs:**

L' $O_2$  n'est maintenue que dans la partie supérieure du bassin

**Besoin en  $O_2$ :**

$$q(O_2) = a' . L_e + b' . X_a . V$$

$$X_a = \frac{a_m . L_e + X_0}{1+b.t}$$

$a'$ : fraction de pollution transformé en énergie de synthèse

$b'$ : fraction de pollution détruite au cours de la respiration endogène

$b' = 1.42b$

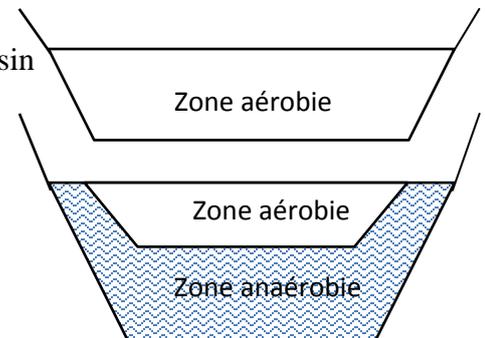
$L_e$ : pollution éliminée

$V$ : volume du bassin

$X_a$ : concentration des boues (MVS) dans le bassin

$X_0$ : concentration des MVS à l'entrée

$t$ : temps de séjour



$a_m$ : le rendement cellulaire par rapport à la concentration du milieu.

- **Production des boues:**

Est la différence entre la masse des boues entrante et celle évacuée avec l'effluent

$$\Delta X = Q \cdot X_a - Q \cdot X_0$$

Q: le débit des eaux épurées.

### **III.3.3 Les procédés mixtes :**

#### **b- Les divers aspects de l'épuration simultanée des eaux résiduaires industriels et urbaines :**

Dans toutes nos villes de quelques importantes, de nombreuses usines sont implantées, parfois au centre, le plus souvent à la périphérie (zone industrielles). Le problème d'un traitement commun des eaux usées d'être raccordée à un réseau urbain d'égouts, et évidemment lors de la conception et de la réalisation d'une installation de traitement pouvant être financé en commun.

Dans bien des cas, les traitements mixtes sont impossibles par suite du caractère particulier des eaux industrielles, qui renferment des substances susceptibles d'avoir des effets néfastes sur le matériau des réseaux d'égouts.

Les eaux industrielles, pour pouvoir être traitées en commun avec les eaux urbaines, devront répondre à un certain nombre de caractéristiques bien précises. Une des conditions indispensables au traitement mixte est l'absence de substances (naturelles ou synthétiques) capables d'inhiber la croissance des micro-organismes et par suite d'entraver plus ou moins les processus de biodégradation mis en œuvre dans la station ou la réalisation d'une valorisation agricole des boues.[4]

Un prétraitement des effluents industriels avant mélange est nécessaire. Il comportera suivant les cas :

- Une homogénéisation, afin d'obtenir un effluent de composition constante et de pouvoir réguler les débits,
- Le refroidissement des eaux chaudes,
- La neutralisation des rejets acides ou alcalins,
- La séparation des huiles, des graisses et des hydrocarbures,
- Et éventuellement une détoxification (élimination des sulfures, des éléments métalliques, etc...).

Les eaux usées admises en mélange avec les eaux urbaines, doivent être biodégradables, et l'effluent global ne doit pas être carencé ou déséquilibré en élément nutritifs (azote et phosphore), nécessaires au développement des micro-organismes aérobies épurateurs.

Il est souhaitable que la composition globale de l'eau traitée respecte les rapports théoriques de concentration requis pour une bonne épuration biologique, et qui sont :

- $DBO_5/\text{azote}/\text{phosphore} = 100/5/1$
- $\text{Carbone organique}/\text{azote}/\text{phosphore} = 20/5/1$ .

Le succès d'une épuration mixte dépend, pour une grande part, de la technologie du système d'épuration appliqué qui ne peut être déterminée que par l'intermédiaire d'une étude préliminaire portant sur les différentes solutions de traitement envisageables et due aux choix basés sur des considérations aussi bien techniques qu'économiques.

Aptitude à la biodégradation	Types d'industries	Observation concernant l'épuration mixte	
		Prétraitements	Epuration mixte
<b>Classe I</b> <b>Facilement biodégradable</b>	<b>Industries agro alimentaires</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laiteries-fromageries</li> <li>• Malteries – féculeries</li> <li>• Brasseries</li> <li>• Conserveries</li> <li>• Sucreries</li> <li>• Cartonneries</li> <li>• Abattoirs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dégraissage</li> <li>• Elimination par décantation Tamisage</li> <li>• Neutralisation</li> <li>• Décantation –ajustement par ajout éventuel N et P</li> <li>• Dégraissage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possible</li> <li>• Possible</li> <li>• Favorable</li> <li>• Favorable</li> </ul>
<b>Classe II</b> <b>Lentement biodégradable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blanchisseries</li> <li>• Blanchimons de coton</li> <li>• Tonneries – mégisseries</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogénéisation Régulation pH</li> <li>• Ajout N et P</li> <li>• Bassin d'homogénéisation</li> <li>• Précipitation des sulfures et chrome par un traitement physico-chimique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorable</li> <li>• Favorable Mais précautions spéciales.</li> </ul>
<b>Classe III</b> <b>Très lentement biodégradable</b> <b>Tous ces effluents sont carencés en N et en P et renferment des toxiques.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textiles et annexes (teinture-impression..)</li> <li>• Papier (pate à papier)</li> <li>• Chimie – parachimie-pétrochimie</li> <li>• Automobiles Ateliers mécaniques</li> <li>• Usines à gaz- Cokeries-Distilleries goudrons .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogénéisation, parfois précipitation des métaux</li> <li>• Elimination des fibres (ajustement pH)</li> <li>• Elimination des toxiques des matières en suspension par un traitement physico chimique, neutralisation , Ajout N et P</li> <li>• Homogénéisation – Neutralisation-Précipitation des toxiques-Elimination des huiles et hydrocarbures par un traitement physico chimique ou par ultrafiltration</li> <li>• Ajustement du pH et ajout N et P</li> <li>• Oxydation Réduction Cr<sup>6+</sup></li> <li>• Elimination des toxiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Précaution spéciales</li> <li>• Traitement complémentaire de décoloration</li> <li>• Précaution spéciales : décoloration</li> <li>• Précautions spéciales ; traitement de finition souvent nécessaire</li> <li>• Précautions spéciales</li> <li>• Précaution spéciales</li> <li>• Stripping NH<sub>4</sub><sup>+</sup></li> <li>• Lagunage tertiaire de finition .</li> </ul>

**Tableau III.5 : Classement des eaux résiduaires industrielles suivant leur aptitude à la biodégradation.[4]**

### c- Aspect technique :

Les précautions à prendre dans l'établissement d'un projet d'épuration mixte, en cas de raccordement des eaux usées industrielles au réseau d'égout urbain, sont fonction des quantités relatives de pollution des deux origines et aussi de la composition des rejets industriels :

- Si l'effluent industriel est faible devant l'effluent urbain , les précautions à prendre sont limitées, hormis une neutralisation pour ne pas altérer les matériaux des conduites d'égouts,
- Si l'effluent industriel par contre, est important (par exemple égal ou supérieur à l'effluent urbain) , il est recommandé d'assurer son homogénéisation par passage dans un bac tampon de stockage agité mécaniquement ou aéré de façon à régulariser le débit et la charge polluante de l'effluent avant son arrivée dans la station.

## III.4 La nitrification et la dénitrification

### III.4 .1 La nitrification :

Quand l'ammoniac s'incorpore au sol, se décompose par les bactéries nitrifiantes en nitrite puis en nitrate. Ce phénomène, connu sous le nom de nitrification se déroule en deux étapes :[8]

Nitrification {

- 1- Nitrosation (ou nitritation) : les nitrosomonas qui oxydent l'ammoniac en nitrites.
- 2- La nitratisation : les nitrobacters qui oxydent les nitrites en nitrates.

#### a- La nitrosation : (ou nitritation) :

Transformation d'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en ion nitrite ( $\text{NO}^{2-}$ ) due aux bactéries nitreuses (Nitrosomonas, Nitrosococcus).



#### b-La nitratisation :

Transformation de l'ion nitrite  $\text{NO}^{2-}$  en ion nitrate  $\text{NO}^{3-}$  due aux bactéries Nitriques (Nitrobacter, Nitrocystis).



La nitrification permet aux plantes d'intégrer l'azote (nitrate) à leur métabolisme. Puisque la pénétration de la solution du sol se fait au niveau de l'énorme surface d'absorption des racines de plantes. Les végétaux sont consommés à leur tour par les organismes supérieurs participant à la chaîne alimentaire. Le nitrate réintègre le sol à leur mort ou sous forme d'excréments.[5]

### **III.4 .2 La dénitrification :**

Une partie de l'azote est rendue à l'atmosphère par les bactéries dénitrifiantes qui transforment l'azote minéral en azote gazeux).

La dénitrification résulte de l'utilisation par certaines bactéries de l'ion nitrate à la place de l'oxygène atmosphérique comme accepteur terminal du pouvoir réducteur des oxydations respiratoires. Les ions nitrates qui n'ont pas été utilisés par les végétaux ne sont pas absorbés par les colloïdes du sol et une partie lessivée par les précipitations. Sous climat tempéré, il ne semble pas que le lessivage entraîne une perte supérieure à 10 kg par ha et par an. Dans les profondeurs du sol, les conditions d'anaérobiose facilitent le processus de dénitrification qui est la cause la plus importante (si l'on excepte les exportations par les plantes cultivées) des pertes du sol en azote. La première enzyme qui intervient est une nitrate réductase. Les produits de la réduction sont variés : NO, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>. Il y a donc perte d'azote lorsque celui-ci retourne dans l'atmosphère sans être chimiquement combiné.

Les bactéries qui provoquent la dénitrification peuvent être : hétérotrophes, telles que *Bacillus pyocyanus*, *Pseudomonas denitrificans*, *Escherichia coli*, ou autotrophe (capable d'élaborer des substances à partir d'éléments minéraux), telles que *Thiobacillus denitrificans*, chez ce dernier organisme, chimiolithotrophe, la réduction des nitrates est liée à l'oxydation de composés minéraux soufrés. Le retour à l'état d'azote libre a été estimé, dans les régions tempérées, aux environs de 50 à 60 kg par ha et par an. L'aération du sol, par labourage par exemple, diminue ces pertes. Une fumure trop riche en matière organique peut favoriser le développement de bactéries dénitrifiantes.

Grace à l'action dénitrifiante de certaines bactéries, l'azote retourne dans l'atmosphère et le cycle est ainsi refermé.[5]

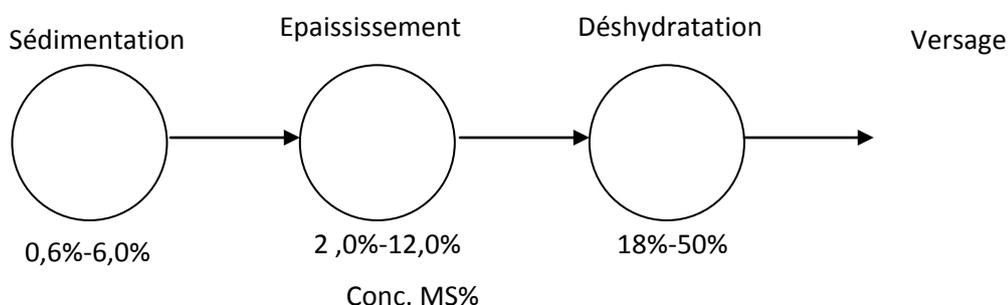
## CHAPITRE IV : TRAITEMENT ET UTILISATION DES EAUX ET DES BOUES RESIDUAIRES

Les boues des décanteurs I et II sont relativement concentrées très putrescibles et chargés de bactéries diverses. Les volumes et les caractéristiques de ces boues varient selon la nature des traitements et leurs efficacités.

Les boues provenant des installations d'épuration telle que les DEC I et II et bassins d'aération doivent subir les traitements suivants:

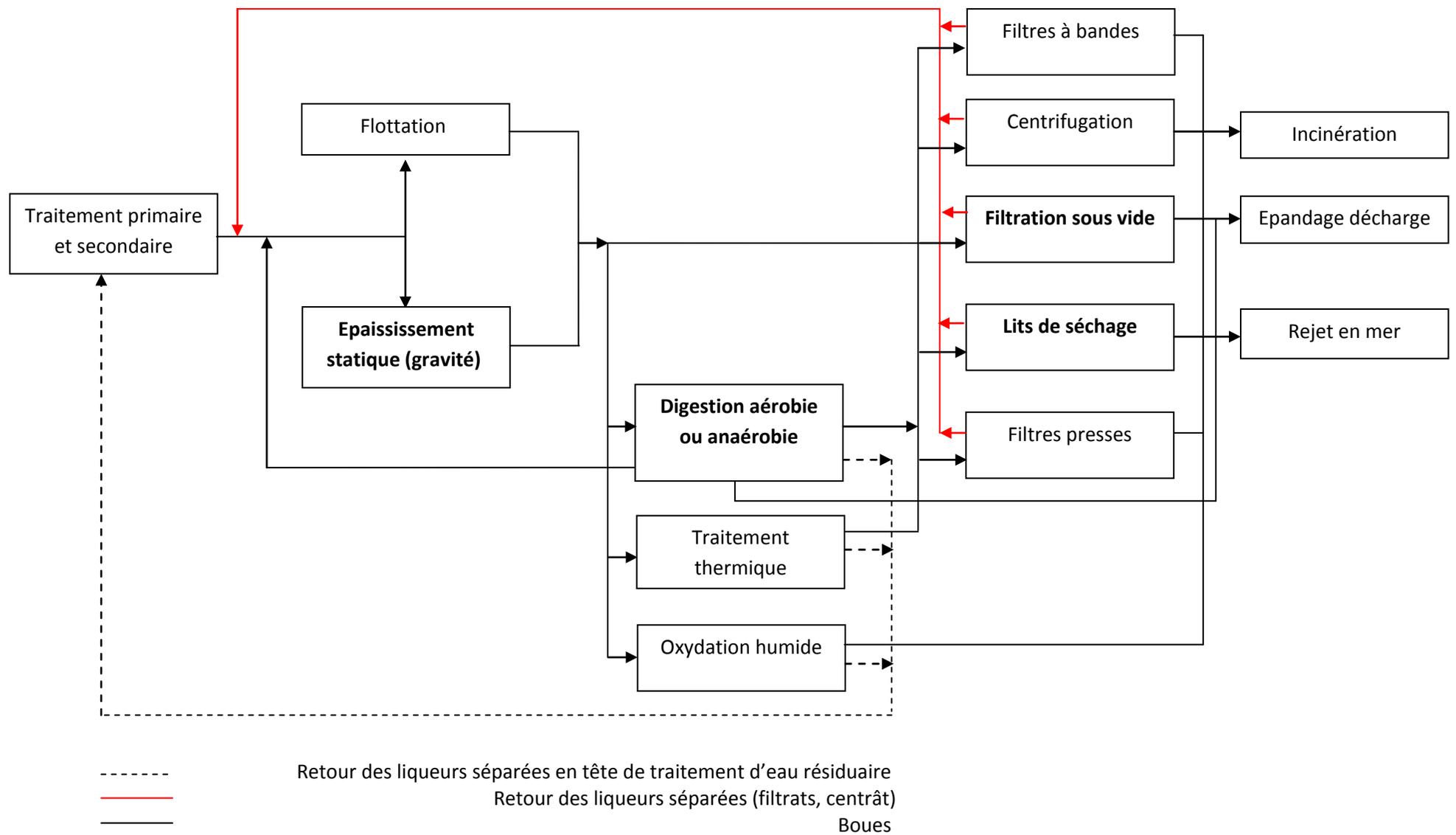
- épaississement
- stabilisation (digestion aérobie et anaérobie)
- déshydratation

La plupart des procédés de traitement utilisés normalement dans la maîtrise de la pollution de l'eau produisent de la boue provenant d'un procédé de séparation solide liquide (décantation, flottation, etc.) ou résultant d'une réaction chimique (coagulation) ou biologique. Ces matières subiront une filière de traitement comprenant l'épaississement, la déshydratation et l'évacuation finale. Les boues organiques peuvent aussi subir des traitements visant la réduction de la fraction organique ou de la teneur en matières volatiles avant l'évacuation finale. L'accroissement de la teneur en matières solides, qui peut être obtenue à travers la succession des traitements, est indiqué à la figure 1.



**Figure IV.1** : Concentration des matières solides à travers une filière de déshydratation des boues.[10]

Les procédés choisis dépendront principalement de la nature et des caractéristiques de la boue et de la méthode d'évacuation finale mise en œuvre. Par exemple la boue activée est en effet beaucoup plus apte à concentration par flottation que par épaississement statique. L'élimination finale par incinération requiert une proportion suffisante de matières qui pourront assurer l'autocombustion. Dans certains cas, la filière est choisie d'après l'expérience acquise avec des boues similaires ou d'après des contraintes économiques et géographiques. Dans d'autres cas il y a lieu de procéder à des essais pour déterminer la solution la plus économique. la figure 2 présente les filières les plus usuelles de traitement des boues comprenant leurs stabilisation (boues organiques), déshydratation et destination finale.[9]



**Figure IV. 2** Filière de traitement des boues –options de procédés [10]

- **Nature des boues**

### *Classification*

Les boues sont classées selon leurs caractéristiques principales en six catégories.

- Organique hydrophile
- Huileuse hydrophile et huileuse hydrophobe
- Minérale hydrophile et minérale hydrophobe
- Fibreuse

<i>Classification des boues</i>	<i>Origines des boues</i>	<i>Composition des boues</i>
<b><i>Organique hydrophile</i></b>	-Stations d'épuration d'eaux résiduaires urbaines -Eaux résiduaires des industries agro alimentaires -Eaux résiduaires industries textiles et chimie organique -Traitement biologiques de finition	-Matières organiques prédominantes -Matières organiques/matières sèches=30-90% -Matières protéiniques -Déchets végétaux ou animaux -Huiles et graisses animales -Hydroxydes (Al, Fe) Hydrocarbures (pétrochimie)
<b><i>Huileuse hydrophile</i></b>	-Eaux résiduaires de raffineries -Eaux résiduaires des ateliers mécaniques -Traitement biologique de finition	-Huiles et graisses minérales -Hydrocarbures -Hydroxydes (Al, Fe) -Matières organiques biologiques
<b><i>Huileuse hydrophobe</i></b>	-Eaux résiduaires de laminoirs sidérurgiques	-Matières sèches denses et bien décantables -Huiles et graisses minérales en forte teneur
<b><i>Minérale hydrophile</i></b>	-Eaux potable -Boues de clarification -Boues de décarbonatation -Eluats de déminéralisation -Eaux résiduaires des industries de traitement de surface -Eaux résiduaires des industries des colorants et des teintureries -Eaux résiduaires de tanneries	-Prédominance d'hydroxydes métalliques hydrophiles (Fe, Al, Cr) -Matières organiques (<30 % MS) -CaCO <sub>3</sub> ou CaSO <sub>4</sub> -Graisses animales et matières organiques (eaux résiduaires de tanneries)
<b><i>Minérale hydrophobe</i></b>	-Sidérurgie -Incinération des ordures	-Matières minérales denses -Faible teneur en hydroxydes (Fe, Al, Mg<5% MS) -Faible teneur en matières organiques (<5%MS)
<b><i>Fibreuse</i></b>	-Eaux résiduaires de papeteries -Eaux résiduaires de pate à papier -Eaux résiduaires de cartonnerie	-Fibres cellulosiques -Eventuellement sciures et copeaux -Hydroxydes hydrophiles -Matières organiques biologiques éventuelles

**Tableau IV.1 : Classification des boues [3]**

## **IV. 1 L'ÉPAISSISSEMENT :**

L'épaississement par décantation, constitue la première étape de la plupart des filières de traitement des boues. L'épaississement est avantageux pour les raisons suivantes,

1-Il améliore le rendement de digestion si celle-ci est prévue et en réduit le cout d'investissement.

2-Il réduit le volume des boues en particulier en cas d'épandage ou de rejet en mer

L'épaississeur statique ou par gravité s'effectue dans une cuve équipée d'un mécanisme racleur tournant à faible vitesse qui brise les ponts entre les particules de boues et de ce fait, améliore la sédimentation et le tassement. Un épaisseur classique est montré en coupe à la figure IV.3



***Figure IV.3 Epaisseur statiques raclés [3]***

La superficie d'un épaisseur nécessaire pour une concentration donnée au soutirage est en relation avec la charge massique ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{jour}$ ) ou avec la surface spécifique ( $\text{m}^2/\text{kg} \cdot \text{jour}$ ).

La charge massique peut être calculée à partir d'un essai en laboratoire dans un bécher avec agitateur. Pour les eaux d'égout municipales, on peut s'attendre à ce que la charge massique varie de  $19,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jour}$  pour des rejets de boues activées à  $107 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jour}$  pour des boues primaire. Le tableau 2 montre des résultats moyens obtenus en exploitation.[3]

**Tableau IV.2 :**Charges spécifiques et résultats d'exploitation de l'épaississement statique [9]

Type de boues	Charge (kg MS/m <sup>2</sup> .jour)	Concentration de la boue épaissie % MS
<b>Boues séparées</b>		
Primaires	100-150	8-10
Activées (1)	75-120	7-8,5
Activées	25-30	2,5-3
Lit bactérien	40-50	7-9
<b>Boues mixtes</b>		
Primaire+ activées (1)	100-120	8-12
Primaire+ activées	30-50	5-8
Primaire+ lit bactérien	50-60	7-9

(1) faible teneur en boues dans le bassin d'aération

Une méthode de dimensionnement d'épaississement statique a été développée par Dick. Le paramètre le plus important pour le dimensionnement et l'exploitation d'un épaississeur est la charge massique (spécifique) exprimé en kg MS/m<sup>2</sup>.jour.

Le flux limite, qui produira la concentration de soutirage désirée pour une surface Adonnée peut être exprimé,

$$G_L = \frac{c_0 - Q_0}{A} = \frac{M}{A}$$

Q<sub>0</sub> débit d'alimentation en m<sup>3</sup>/jour,

C<sub>0</sub> concentration moyenne de l'influent en kg MS/m<sup>3</sup>,

M charge massique journalière en kg MS/jour,

G<sub>L</sub> flux de MS limite en kg MS/m<sup>2</sup>.jour,

Le flux limite peut être déduit par le raisonnement suivant, la capacité de transfert des solides en épaississement statique (sans soutirage) est donnée par

$$G_B = c_i v_i$$

G<sub>B</sub> flux statiques en kg MS/m<sup>2</sup>. Jour,

C<sub>i</sub> concentration en kg MS/m<sup>3</sup>,

V<sub>i</sub> vitesse de décantation à la concentration c<sub>i</sub> en m/jour.

Dans un décanteur en opération continue, les matières transitent à la fois par décantation statique et par la vitesse de chute résultant du débit de soutirage de la boue épaissie

$$G_B = c_i v_i + c_i u$$

Avec

$U$  vitesse de MS continu en  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{jour}$ ,

$G$  flux de MS continu en  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{jour}$ .

On peut faire varier  $G$  en fonction de  $U$ , notamment en imposant un soutirage donné par le débit de la pompe d'extraction la vitesse  $u$  des matières soutirées est donnée par

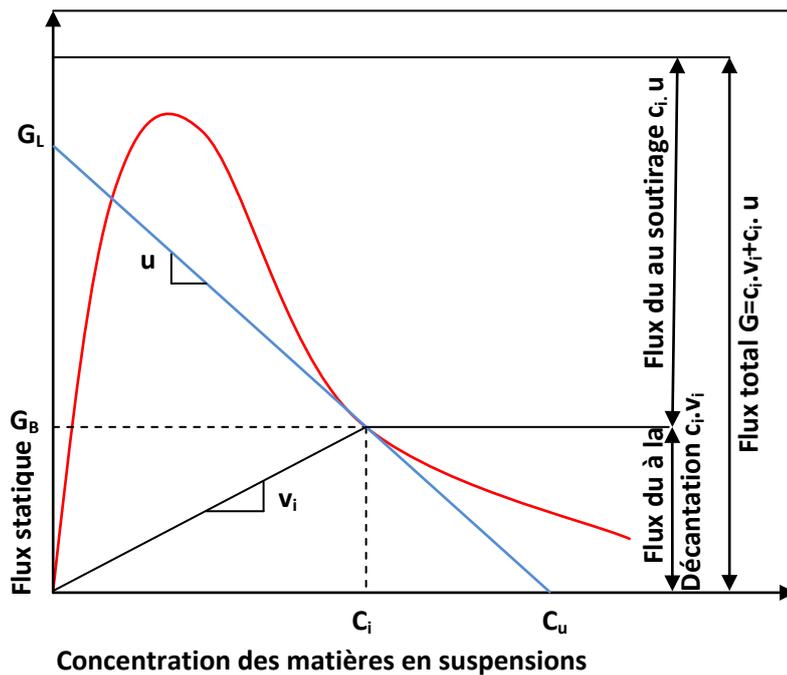
$$u = \frac{Q_u}{A} = \frac{c_u Q_u}{c_u A} = \frac{M}{c_u A} = \frac{G_L}{c_u}$$

$Q_u$  débit de soutirage en  $\text{m}^3/\text{jour}$ ,

$C_u$  concentration de la boue soutirée en  $\text{kg MS /m}^3$

La courbe de flux statique telle que montre dans la figure 4 permet de déterminer le flux limite  $G_L$  pour une concentration de soutirage  $c_u$  donnée.

**NB. MS= 79% MVS à l'entrée du clarificateur.**



*Figure IV. 4 courbes de flux statique et détermination du flux limite d'un épaisseur statique continu.[10]*

**Remarque**

Le débit de retour du clarificateur (recyclage) peut être déduit du bilan de matières

$$(Q + R)x_a = Rx_r$$

$X_r$  MS (matières sèches totale) en mg/l

$X_a$  concentration des MS= 79% MVS à l'entrée du clarificateur en mg/l

### **Exemple (TD)**

Une installation d'épuration par boues activées est conçue pour fonctionner dans les conditions suivantes, (avec recyclage).

$Q = 8970 \text{ m}^3/\text{jour}$ ,

$X_v = 3000 \text{ mg/l}$  de MVS (matières volatiles en suspension)

$X_r = 20\,000 \text{ mg/l}$  de MS (matières sèches)

Les caractéristiques de décantation de la boue sont

<b>MS kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Vitesse de décantation (<math>v_D</math>) m/h</b>
1,075	6,74
3,95	2,12
8,20	0,56
12,4	0,20
16,9	0,10
20,5	0,049

On demande de dimensionner l'épaississeur.

### **Solution**

Le flux est calculé pour une concentration en matières sèches à laquelle correspond une vitesse de 6,74 m/h.

Le flux =  $1,075 \text{ kg/m}^3 \cdot 6,74 \cdot 24 \text{ h/jour}$

Le flux =  $174 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jour}$

On obtient pour les autres couples de valeurs

<b><i>M.S kg/m<sup>3</sup></i></b>	<b><i>Vitesse de décantation m/h</i></b>	<b><i>Flux statiques kg MS/m<sup>2</sup>.jour</i></b>
1,075	6,74	174
3,95	2,12	201
8,20	0,56	110
12,4	0,20	60
16,9	0,10	40,6
20,5	0,049	24,1

La concentration de la suspension d'alimentation du clarificateur est donnée par,

$$x_a = 3000 \times \frac{1}{0,79} = 3800 \frac{mg}{l}$$

Le débit de retour du clarificateur (recyclage) peut être déduit du bilan de matières

$$(Q + R)x_a = Rx_r$$

$$R = \frac{Qx_a}{x_r - x_a} = \frac{8970 \times 3800}{20000 - 3800} = 2104 \frac{m^3}{jour}$$

### Calcul de la surface nécessaire pour l'épaississement

On déduit le flux limite de la courbe de flux (voir figure ci-dessous)

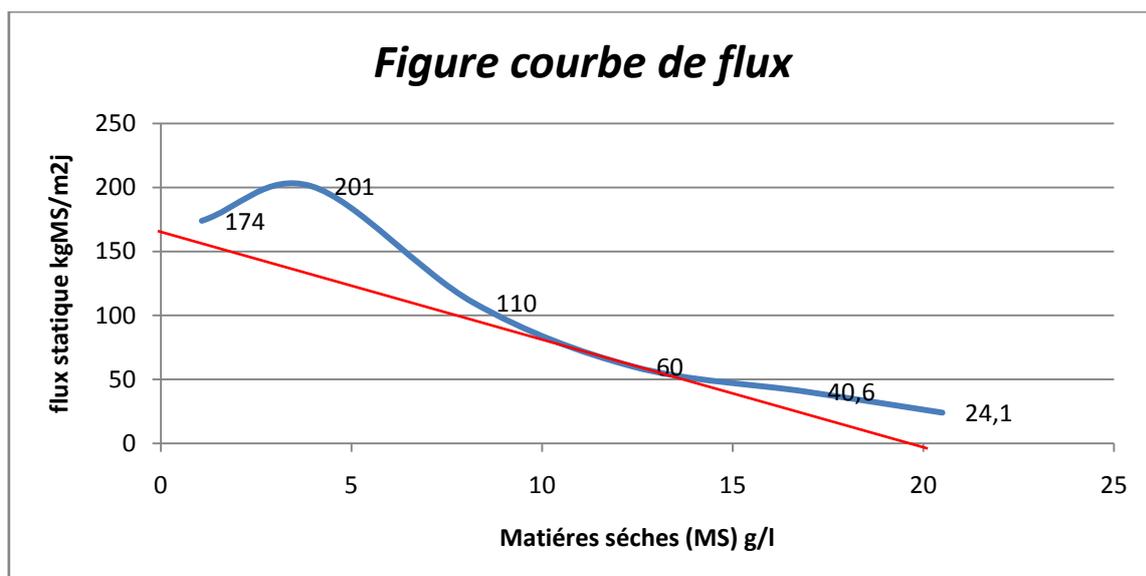
En traçant la tangente passant par le point de concentration au soutirage,  $X_r = 20000 \text{ mg/l}$ .

Flux limite =  $166 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jour}$

$$A = \frac{\text{charge journalière en MS}}{\text{flux limite}}$$

$$A = \frac{3800 \times (8970 + 2104)}{166}$$

$$A = 253,5 \text{ m}^2$$



## IV. 2 Stabilisation ou digestion des boues

### IV. 2.1 Digestion aérobie

Procédé utilisé dans les petites et moyennes stations, le but de la digestion aérobie est la réduction des MVS obtenue de 20 à 50%.

Appareillage

-Bassin d'aération

-Décanteur

#### ***Exploitation***

-Teneur en oxygène des boues de 1 à 2 g/m<sup>3</sup>

-Durée de séjour des matières solides de 12 à 15 j

-Brassage puissant pour éviter les dépôts.



***Figure IV.5 : Digesteurs aérobie[9]***

### IV. 2.2 Digestion anaérobie

La fermentation anaérobie est lente et se fait vers 35-37°C

La stabilisation a lieu en deux étapes

***-fermentation initiale dite acide***, solubilisation puis dégradation des matières organiques biodégradables avec formation d'acides organiques, d'acide aminés et d'alcools, au cours de cette étape on observe une baisse importante de pH.

*-Formation de méthane (fermentation méthanique)*, accompagné de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, ceci est accompagné d'une augmentation de pH et d'une accélération de l'action des bactéries. La durée de séjour des boues est de 10 à 25 jours.

Une digestion efficace réduit les matières volatiles en suspension de 50 % environ et 0,9 m<sup>3</sup> de gaz par kg de matières détruites.

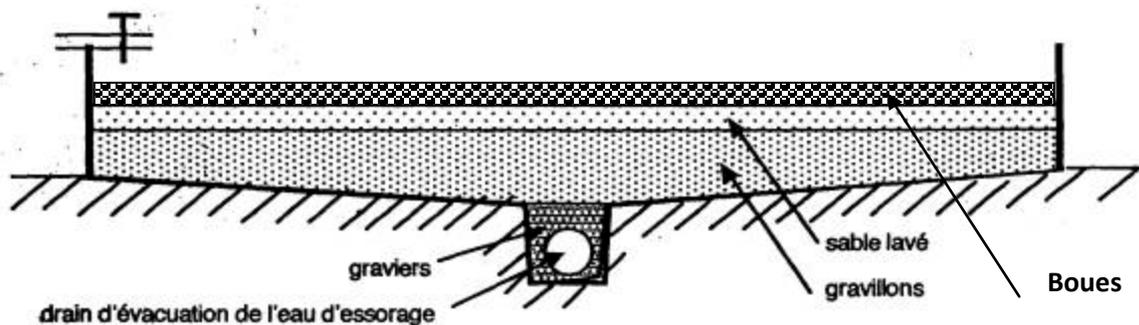


**Figure IV. 6 : Digesteurs anaérobies [9]**

### **IV. 3 Déshydratation**

#### **IV. 3.1 Déshydratation naturelle**

Déshydratation naturelle se fait sur lit de séchage de 8 mètre de large et de 30 à 60 m de longueur schématisé ci dessous



**Figure IV. 7 : Lit de séchage [3]**

Les eaux récupérée par les drains et collecteurs sont renvoyés en tête de la station de traitement des eaux une couche de 200 à 250 mm de boue est ramenée par séchage à 100 mm au bout de quelques semaines. Le problème posé par ce procédé est celui de la récupération de la boue séchée par raclage qui occasionne des pertes de sable. Les lits de séchages doivent être refaits tous les deux ans.

## IV. 3 .2 Déshydratation mécaniques

### a-Filtration sous vides

La filtration sous vide est une des méthodes les plus courantes de déshydratation des boues d'eau résiduaire. La filtration sous vide déshydrate une suspension par application du vide à travers un milieu poreux qui retient les matières solides mais permet au liquide de le traverser.

Les média filtrants utilisés sont des tissus, ou des tamis métalliques.

Dans l'opération de filtration sous vide un tambour rotatif plonge dans la cuve contenant de la boue (matières solides) sont retenues à la surface du tambour sous application du vide. Un gâteau se constitue sur la partie immergée et l'eau est éliminée par filtration.

Le temps pendant lequel le tambour reste immergé dans la suspension est le temps de formation.

Le temps de séchage est effectué lorsque le tambour émerge, à la fin du cycle un racleur détache le gâteau filtré du tambour et le fait tomber sur un convoyeur (transporteur).[2]

- **Dimensionnement d'un filtre sous vide**

Les paramètres qui contrôlent cette technique de déshydratation sont,

La concentration de matières en suspension, la viscosité des boues et du filtrat, le vide la compressibilité des boues.

Le débit de filtration a été formulé d'après les lois de poiseuille et de darcy par carman et coackley.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{PA^2}{\mu(rcV + R_m A)}$$

Ou

V volume de filtrat m<sup>3</sup>

t durée d'un cycle (à peu près égal au temps de formation du gâteau dans les filtres à tambour continu) (s).

P le vide (N/m<sup>2</sup>)

A la surface de filtration (m<sup>2</sup>)

μ la viscosité du filtrat (kg/ms) ou (N/m<sup>2</sup>s)

r la résistance spécifique (m/kg)

c le poids de matières sèches déposées par unité de volume de filtrat (kg/m<sup>3</sup>).

R<sub>m</sub> est la résistance initiale du matériau filtrant et peut être négligée comme étant très petites par rapport à la résistance produite par le gâteau.

- Calcul de la charge massique

$$L_F = 464,8 \sqrt{\frac{2PC}{\mu r t_f}}$$

$t_f$  temps de filtration

### Exemple

Calculer la charge massique d'un filtre pour les conditions suivantes

$$C=56 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu=8,9 \cdot 10^{-4} \text{ kg/ms}$$

$$r=8,9 \cdot 10^{11} \text{ m/kg}$$

$$\text{vide} = 622 \text{ mm}$$

$$H_g= 83300 \text{ N/m}^2$$

$$t_f= 3 \text{ mn}$$

$$L = 464,8 \sqrt{\frac{2 \times 83300 \times 56}{8,9 \cdot 10^{-4} \times 8,9 \cdot 10^{11} \times 3}} = 29 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

#### **IV-4 Destination finale des boues traitées sous- produits :**

La rentabilité des boues est souvent aléatoire et leur évacuation constitue presque toujours une charge d'exploitation importante .sur le plan économique le but à atteindre en réalité de limiter les frais d'exploitation de leur traitement (mains d'œuvre, réactifs, énergie électrique, ou calorifique, transport, décharge, etc.) parallèlement , l'hygiène du travail et la protection de l'environnement imposent le développement de solution provoquant le minimum de nuisances, aux pris parfois d'un accroissement des couts. Les principales destinations des boues et des sous produits issue de leurs traitements sont les suivantes :[3]

- **Amendement des sols :**

A ce titre on peut utiliser les boues provenant du traitement d'eaux résiduaires urbaines et de certaines eaux résiduaires industrielles. Elles sont particulièrement utilisables pour les cultures florales, l'incorporation dans le sol de boues organiques stabilisées ou digérées peut faciliter la prolifération de la flore microbienne autotrophe du sol, agissant directement sur la nutrition minérale des végétaux.

- **Récupération des produits :**

La récupération n'est envisagée que sur certains éléments contenus dans les boues . Citons, en particulier, la récupération :

- Des fibres dans l'industrie du papier et du bois ;
- Des produits coagulants dans les boues provenant du traitement d'eaux de rivières destinés à la production d'eaux potables ou industrielles (lorsque ce traitement fait appel au sulfate d'aluminium, l'acidification ultérieure de la boue permet de récupérer une fraction notable de l'alumine qu'elle contient ; après recarbonatation, conditionnement chimique éventuel et déshydratation, l boue finale est évacuée sous forme pelletable) ;
- De chaux ou de carbonate de calcium des boues provenant d'un traitement massif à la chaux.
- De zinc, de cuivre, de chrome dans les boues provenant d'une épuration d'eaux de traitement de surfaces métalliques et industries diverses.

Mais même après la récupération de certains éléments contenus dans les boues, il demeure un résidu de matières inutilisables.

- **Récupération d'énergie :**

La récupération d'énergie, elle sera recherchée que sur les boues à forte proportion de manière organique.

La récupération d'énergie se réalise sous deux formes principales :

- production du gaz de méthane, par fermentation (digestion anaérobie) ; ce gaz est utilisé pour le chauffage, pour la production d'électricité ou pour le conditionnement thermique des boues elles mêmes.

- **Réinjection dans le sol :**

Cette technique consiste à injecter les boues extrêmement difficiles à traiter à l'état liquide dans des poches poreuses du sous sol, isolées entre des couches continues d'argile. A une profondeur variant entre 100 et 4000 m .

Une étude sérieuse pour une étanchéité parfaite afin d'empêcher toute contamination des couches aquifères traversées.

- **Revente de sous produits :[10].**

Tel pourrait être le cas par exemple de cendres utilisées dans la constitution de revêtements routiers, de produits stabilisateurs de sol ou de ciment.

- **Décharge :**

C'est la destination finale la plus fréquente de boues produites par un traitement d'eau. Cette décharge peut aller du simple « étang à boues liquides » dans le drainage nécessiteront des mois ou des années.

- **Rejet en mer :**

Les boues déversées en mer doivent être débarrassées de matières flottantes.

La ville de Los Angeles rejette ainsi dans l'Océan pacifique une partie importante de ses boues résiduaires urbaines préalablement digérées, véhiculées par 700 m de fond sur plus de 10 Km à l'aide d'un collecteur sous marin.

- **Epandage des boues en agriculture**

Cette pratique offre l'opportunité de recycler la matière organique nécessaire au sol. De plus les boues représentent un fertilisant qui permet à l'agriculteur de réduire ses charges en engrais fertilisants classiques. [11]

La décharge sur terrain de boues humides peut être faite de plusieurs manières :

-Epandage sur terrain par système d'aspersion.

- Evacuation par canalisations vers de décharges sur terrain éloigné.

- **Compostage :**

Compostage peut être appliqué sur des boues organiques déshydratées ou sur des mélanges de boues avec d'autres déchets solides. Au cours de cette opération, il se produit une conversion des matières organiques en matières humiques utilisables comme fertilisants dans l'agriculture. Le compostage est en réalité une biodégradation aérobie thermophile des matières organiques contenues dans la boue. [11]

## CHAPITRE V: CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION D'UNE STATION D'EPURATION

### V.1 CONCEPTION D'UNE STATION D'EPURATION

#### V.1.1 Généralités.

Une station d'épuration reçoit et traite les eaux usées des habitants et des industriels raccordés au réseau d'assainissement ainsi qu'une partie des eaux pluviales, puis elle rejette dans le milieu naturel une eau épurée conforme aux valeurs limites définies par les services concernés et produit un résidu (les boues).

La mesure des performances de l'épuration est donnée suivant les matières polluantes existantes. Pour comparer les teneurs en polluants des eaux usées et des eaux épurées, on utilise plusieurs

Paramètres physico-chimiques et biologiques	Unités
• Les matières en suspension (MES) : matières minérales ou organiques non dissoutes	mg/l
• Les matières organiques présentes sous forme particulaire et dissoute. On les mesure indirectement par :	
- la demande biochimique en oxygène (DBO)	mg O <sub>2</sub> /l
- la demande chimique en oxygène (DCO)	mg O <sub>2</sub> /l
- l'azote et le phosphore	mg N ou mg P/l
• les contaminants biologiques : bactéries, virus, parasites...	nombre/ml ou)

indicateurs représentés dans le tableau ci-dessous:

**Tableau V.1 :** Paramètres physico-chimiques et biologiques [3]

#### V.1.2 Conditions d'implantation des stations d'épuration.

Les stations d'épuration sont conçues et implantées de manière à préserver les habitants et les établissements recevant du public des nuisances de voisinage et des risques sanitaires. Cette implantation doit tenir compte des extensions prévisibles des ouvrages d'épuration, ainsi que des nouvelles zones d'habitations ou d'activités prévues dans les documents d'urbanisme en vigueur au moment de la construction ou de l'extension de chaque station d'épuration.

De façon générale, les équipements sont conçus et exploités de façon que leur fonctionnement minimise l'émission d'odeurs, de bruits ou de vibrations mécaniques susceptibles de compromettre la santé et la sécurité du voisinage et de constituer une gêne pour sa tranquillité.[6]

Leurs implantations sont à éviter :

- Dans les zones inondables sauf en cas d'impossibilités techniques avérées,
- Dans les périmètres de protection des captages,
- Dans les zones humides et les espaces verts et réserves protégées

Concernant le rejet, il faut tenir compte des cas suivants :

- Dans les canaux, plans d'eau, cours d'eau de première catégorie, sans traitement tertiaire de la pollution,
- Sans traitement tertiaire, dans les cours d'eau déjà fortement impactés par la pollution organique,
- A proximité d'une zone de baignade.

### **V.1.3: Les nuisances liées aux stations d'épuration :**

Les nuisances liées aux stations d'épuration sont :

1. Nuisances sonores : le bruit
2. Nuisances olfactives : les odeurs

**V.1.3.1 Nuisances sonores :** Le bruit émis par l'installation est classé en deux catégories :

- Les bruits dus aux systèmes électromécanique (moteurs , ventilateurs, compresseurs, surpresseurs ...)
- Les bruits dus à l'eau ou hydrodynamique : écoulement, brassage

**A. Méthode de traitement contre le bruit:** Les principales règles de protection contre le bruit sont :

- Les équipements bruyants doivent être regroupés et disposés loin des locaux occupés de la salle de contrôle
- Adopter une vitesse de marche lente des machines si possible
- Adopter la protection acoustique
- Mettre en place des silencieux à l'aspiration et au refoulement d'air.
- Etre conforme aux normes appliquées concernant les niveaux sonores dans les locaux recevant des travailleurs, à l'intérieur du bâtiment : ne pas excéder, en limite de l'enceinte de la station un niveau sonore de 70dB de jour et de 55dB la nuit,
- Adopter les techniques de construction des bâtiments vitrage acoustique

### **V.1.3.2. Nuisances Olfactives : les odeurs**

Les principales sources de mauvaises odeurs sont les boues et leur traitement, ainsi que les installations de relevage et de prétraitement. Le seuil de tolérance de ces nuisances olfactives est subjectif et aucune norme en matière d'émissions malodorantes n'existe. Cependant, les exploitants de stations d'épuration cherchent à limiter les odeurs dégagées par les traitements.

#### **A. Méthode de traitement contre les odeurs**

Des installations de désodorisation chimique ou biologique sont également mises en place au sein des stations d'épuration. La désodorisation chimique est la technique la plus utilisée. Les gaz malodorants sont captés puis envoyés dans des tours de lavage où un liquide désodorisant est pulvérisé. Ces lavages peuvent comporter de la soude, de l'acide et / ou de l'eau de javel, réactifs qui captent ou neutralisent les mauvaises odeurs. La désodorisation biologique consiste à faire passer l'air au travers d'un matériau poreux sur lequel on développe un biofilm, de façon analogue aux biofiltres utilisés pour le traitement de l'eau.

- Veiller à réduire les surfaces d'échange entre l'air et les eaux usées. Ainsi, les ouvrages les plus odorants sont souvent regroupés pour concentrer l'émission d'effluves

nauséabondes. Leur couverture est aussi une manière d'atténuer les émissions malodorantes.

- Les aérosols : Ils sont créés par pulvérisation de l'eau dans l'air, par l'agitation des surfaces liquides
- Les sources principales sont :
  - Les dispositifs d'aération
  - Dispositifs de pulvérisation
- Aération et production d'air : l'oxygénation des boues peut être assurée par des aérateurs de surface ou par insufflation d'air

#### **V.1.4 Description d'un projet d'épuration des eaux usées d'origine urbaines.**

Selon la qualité des effluents à traiter et du niveau de rejet requis, les procédés de traitement des eaux usées d'origine urbaine et non industrielles, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

Le traitement à faible charge, généralement appelé aération prolongée, est constitué d'un bassin d'aération dans lequel les matières organiques sont dégradées par des micro-organismes dans des conditions aérobies, suivi d'un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation des eaux épurées avec les boues.

Une partie des boues produites sera recyclée depuis le clarificateur vers le bassin d'aération pour maintenir l'activité biologique. Par ailleurs, l'excès de boues sera conduit vers la filière de traitement des boues.

La filière de traitement des eaux usées comprend les étapes suivantes:

##### **a)- les prétraitements comprenant:**

- un dégrilleur
- un dessableur-déshuileur

##### **b)- le traitement secondaire comprenant:**

- un bassin d'aération
- un clarificateur

##### **c)-le traitement complémentaire comprenant:**

- un bassin de chloration.

##### **d)-le traitement des boues résiduelles comprenant:**

- un épaisseur
- déshydratation mécanique.

### V.1.5 Conception de la station d'épuration:

Une station d'épuration est une installation équipée d'ouvrages d'épuration physique et biologique.

Les ouvrages d'épuration physique comprennent un dégrilleur et un dessableur/déshuileur.

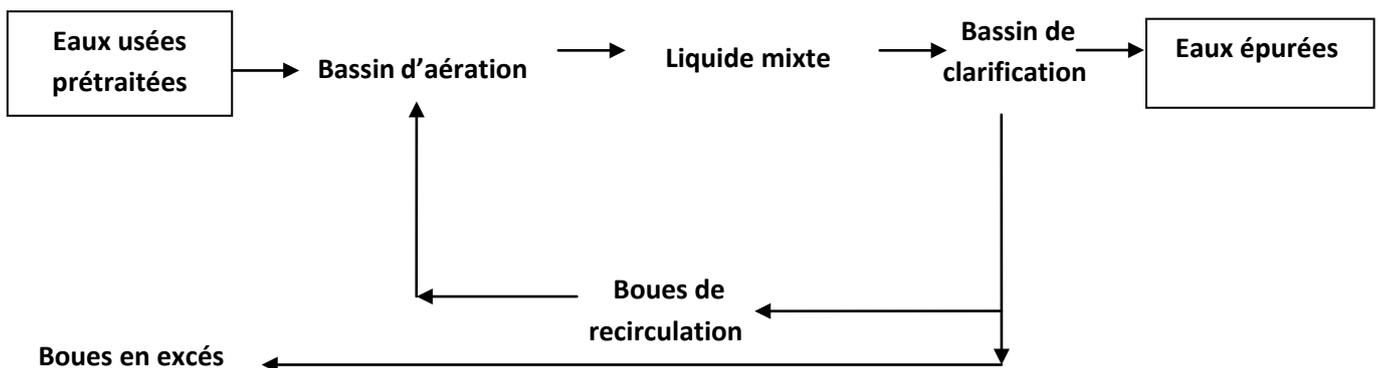
Le traitement physique permet d'éliminer les matières grossières et les flottants. Il est suivi d'un traitement biologique, qui assure quant à lui l'élimination des matières dissoutes ou fines particules.

L'épuration biologique peut être décomposée comme suit: d'abord, un traitement par boues actives selon la charge (à faible charge) et ensuite une clarification.

Avant leur rejet, les affluents de la station d'épuration doivent passer dans un bassin de chloration pour une désinfection.

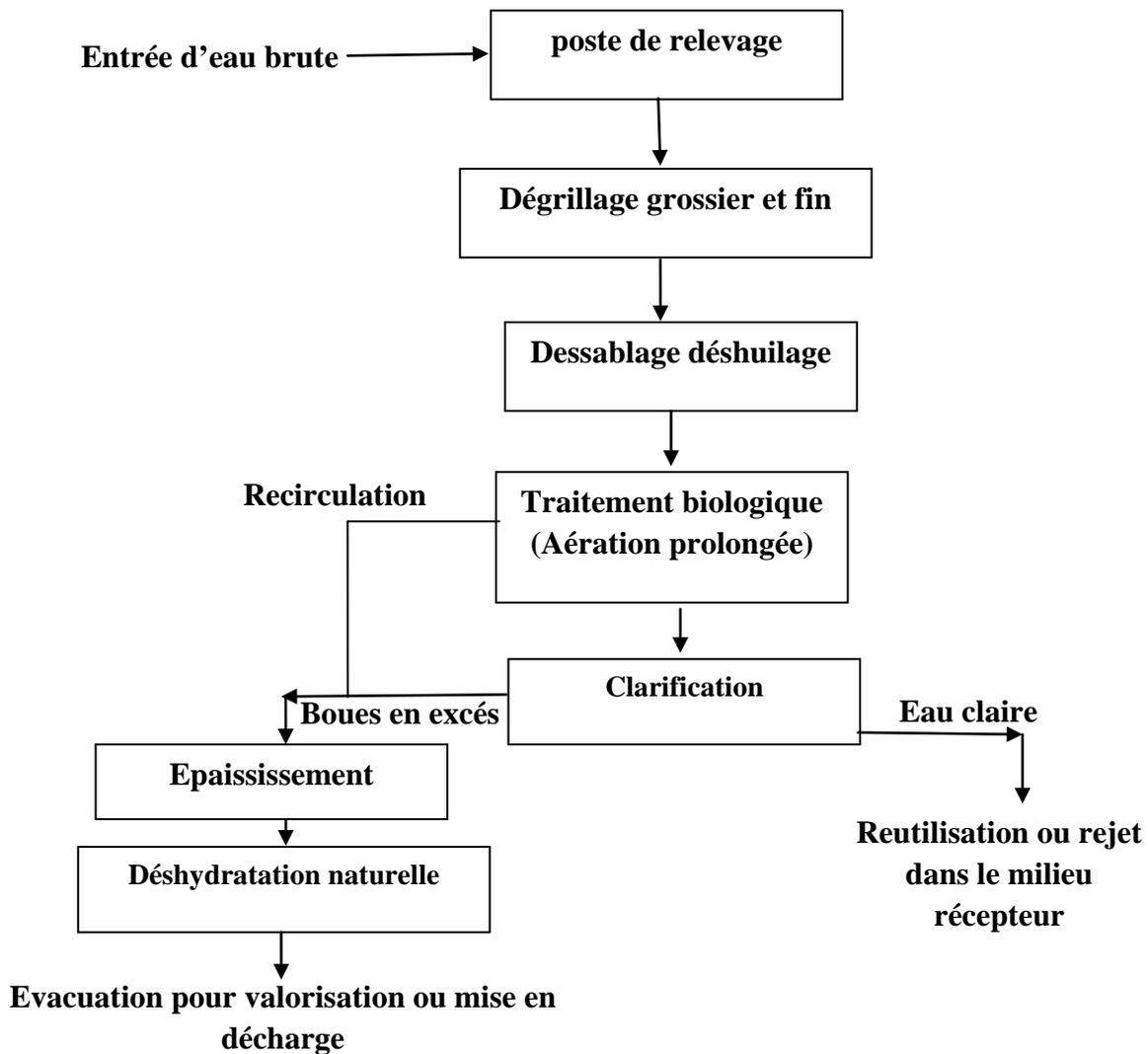
Après avoir subi un épaissement, les boues produites sont déshydratées naturellement dans les lits de séchage (l'énergie solaire abondante dans la région favorise le choix de ce procédé).

Le procédé d'épuration biologique prévu peut être schématisé comme suit:



**Figure V. 1 : : Schéma du Bassin d'aérobie avec recyclage des boues.**

### V.1.6 Schéma des stations prevue (aération prolongé):



**Figure V. 2 :** Schéma de station d'épuration par aération prolongée.[7]

## V.2 GESTION ET EXPLOITATION D'UNE STATION D'EPURATION:

### ➤ Formation:

Le besoin de formation à la base est plus que réel , il est urgent , les stations construites ne représentent pas les flux preponderant de pollution leur dispersion sur le territoire aggravée par la faiblesse relative des resultats constitue un risque non négligeable pour l'environnement et la santé publique, encore, le patrimoine représenté par ces ouvrages se déprécie rapidement faute de moyens suffisants consacrés à leur entretien ainsi le manqué de motivation.

L'exploitation d'une station d'épuration devient un métier spécialisé à partir du moment où la compréhension des phénomènes biologiques devient nécessaire à la conduite des installations.

Des compétences en électro-mécanique , en automatique, compréhension des phénomènes biologiques, et des phénomènes biologiques complexes tels que nitrification- dénitrification, connaissance approfondie de l'épuration physico-chimique sont nécessaires .[7]

✓ **Ebauche de profil et grandes lignes du programme:**

L'exploitant de station reçoit une formation pluridisciplinaire diversifiée qui doit lui permettre d'accomplir efficacement les tâches multiples:

- Surveillance des eaux usées et traitées,
- Réglage des paramètres de fonctionnement de l'épuration primaire et biologique,
- Contrôle des appareillages, réglages de fonctionnement des appareillages électromécaniques,
- Entretien en électro-mécanique,
- Présentation des résultats d'exploitation,
- Préparations courantes
- Gestion élémentaire.
- Connaissance des notions simples d'économie et de gestion.
- Connaissance sur le droit de l'eau.
- La gestion du budget de fonctionnement .
- Utilisation de la micro-informatique.
- Connaissances spécialisées en épuration
- Connaissance en électro-mécanique et automatique.

➤ **Hygiène et sécurité**

➤ **Assainissement et énergie** : Une technique s'impose très largement , il s'agit de l'épuration biologique par boues actives à faible charge et de ce fait le débat sur la consommation énergétique théorique , dans la pratique les progrès seront liés:

-à l'apport réalisé en équipements de mesures de toutes natures,

-à la mise en place de système de régulations de plus en plus performants,

-à la meilleure formation personnels dans les domaines suivants:

- ✓ Des capteurs,
- ✓ Des automatismes,
- ✓ De la gestion des équipements,
- ✓ De l'informatique.

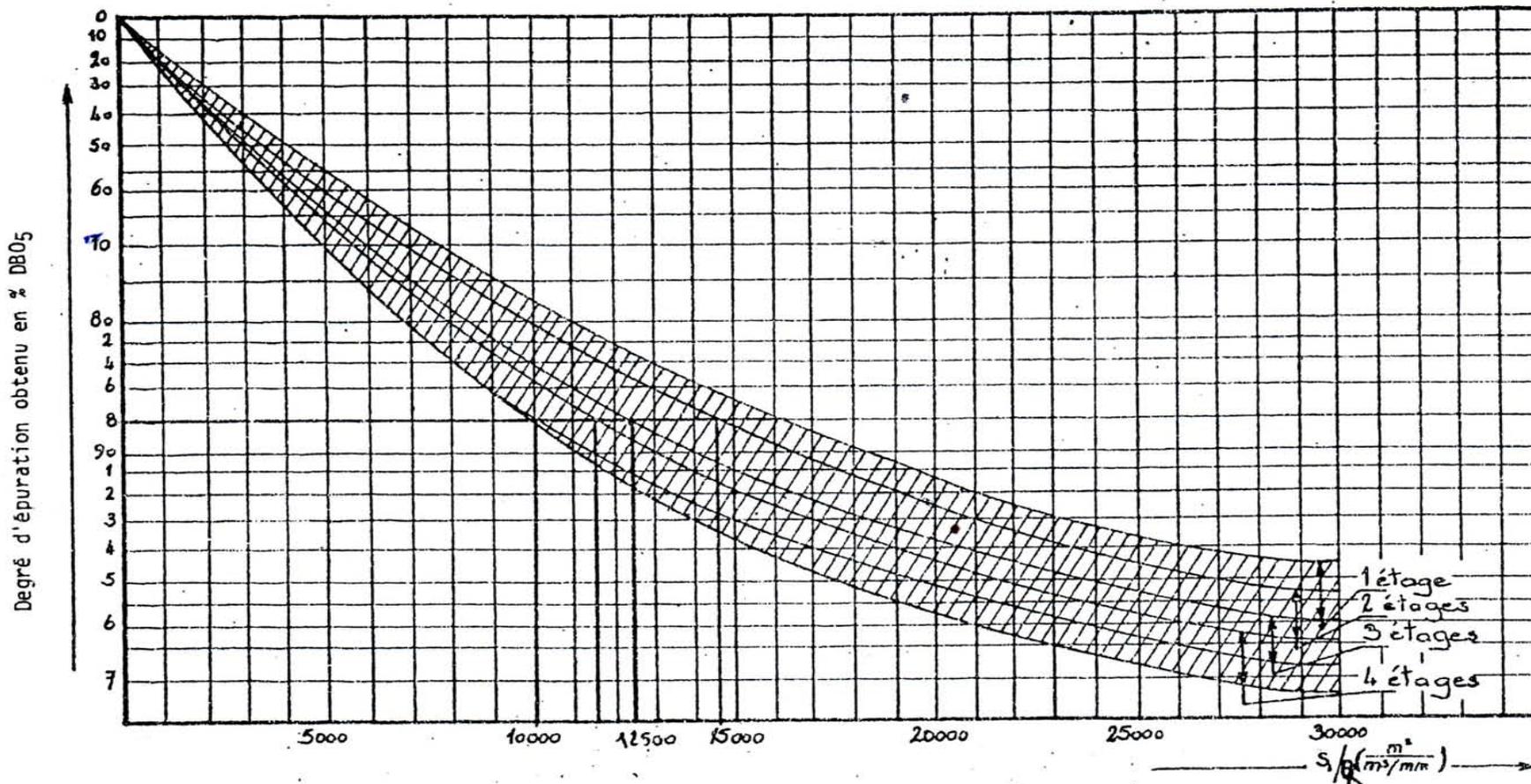
## **BIBLIOGRAPHIE:**

- [1] Epuration biologique des eaux urbaines tome I et tome II A. GAID 1984
- [2] Les eaux usées dans les agglomérations urbaines et rurales le traitement Cyril Gomella et Henri Guerree 1983.
- [3] Mémento technique de l'eau Degrement 1989 Tome 1 et 2.
- [4] Traitement des eaux J .paul beaudry 1985.
- [5] Technologies des eaux résiduaires production Collecte traitement et analyses des eaux résiduaires B BOHNKE et K poppinghans 1990.
- [6] Epuration physico chimique des eaux Théorie et technologie F .Edline 1992
- [7] Gestion des eaux alimentation en eau assainissement F .Valiron 1989.
- [8] Initiation à la technique du traitement des eaux O.P.U ALGER 1974.
- [9] Guide de l'assainissement en milieu urbain et rural concevoir-Réaliser –Exploiter –Gérer. Christian coste et maurice londet,Paris en 1980.
- [10] Traitement des boues de station d'épuration , L.LEVESQUE, 1982.
- [11] Traitement des eaux. Mohand said ouali,OPU,2001.
- [12] Journal officiel de la république Algérienne, N°26 du 23/04/2006.

Figure (IV, 41)

Diagramme de dimensionnement des stations d'épuration à bio-disques convenant pour des eaux résiduaires fraîches, fortement polluées.

DBO<sub>5</sub> moyenne après décantation primaire 350 à 600 mg/l DBO<sub>5</sub> NH<sub>4</sub> + 60 mg/l



Abaque établi en fonction des résultats concrets obtenus sur des stations en service vérifié par le calcul.