



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
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 et Réutilisation des eaux résiduaires

(Ce polycopié est destiné aux étudiants de Master II, LMD, Hydraulique Urbaine)

**Présenté par :**

*Dr. BENYEROU Djamila*

**Expertisé par :**

*Mr TIJANI Abdellatif El-Bari (Professeur), USTO*

*Mr. BERHAIL Sabri (M.C.A), Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila*

*Année Universitaire : 2020-2021*

# Sommaire

Introduction .....	1
Première partie_Epuration des eaux résiduaires .....	2
Chapitre I : Classifications et origines des eaux usées .....	3
I.1. Définition .....	3
I.2. Origine des eaux résiduaires .....	3
a) Origine industrielle .....	3
b) Origine domestique .....	4
c) Origine d’extinction d’incendies .....	4
d) Origine pluviales .....	4
II.3.1. Condition d’implantation des stations d’épuration .....	5
II.3.2. Les nuisances liées aux stations d’épuration .....	5
Chapitre II : Paramètres de pollution des eaux usées et normes de rejet .....	8
II.1. Généralités sur les paramètres de pollution des eaux usées .....	8
II.1.1. Paramètres physiques .....	8
II.1.2. Paramètres Organoleptiques .....	8
II.1.3. Paramètres Chimiques .....	9
II.2. Evaluation des débits et de la charge polluante des eaux résiduaires .....	12
II.2.1. Estimation de la charge polluante en DBO (E.R.D) .....	12
II.2.2. Estimation de la charge polluante (E.R.I) .....	13
II.2.3. Convention de déversement des ERI .....	13
II.3. Problématique.....	16
II.3.1. Normes internationales.....	16
III.3.2. Normes Algériennes .....	17
III. Le traitement mécanique des eaux usées .....	20
III.1.Dégrillage .....	20
III.2. Dessablage/Déshuilage .....	24
III.2.1. Dessableur .....	24
III.2.2. Déshuileur .....	25
Chapitre IV : Le traitement biologique des eaux usées.....	29
IV.1 Principe fondamentaux de l’épuration biologique .....	29

IV.1.1 Définition des phénomènes biologiques .....	29
IV.1.2. Etude du métabolisme anaérobie.....	30
IV.2. Epuration biologique à biomasse fixe .....	31
IV.2.1.Lits bactériens .....	31
IV.2.2. Disque biologique.....	34
IV.2. Epuration biologique à biomasse libre .....	35
IV.2.1 Bassin à Boues activées .....	35
Chapitre V : Le traitement des boues .....	44
V.1 Principe.....	44
V.2 Etape de traitement des boues .....	44
V.2.1 Epaississement.....	45
V.2.2 Digestion .....	45
V.2.3 Déshydratation.....	45
Deuxième partie Réutilisation des eaux épurées .....	47
Chapitre I : Eaux usées et techniques de réutilisation.....	48
I. Eaux usées et technique de réutilisation.....	48
I.1. Composition des eaux usées .....	48
I.1.1. Rejets industriels .....	48
I.1.2.Rejets agricoles .....	48
I.1.3. Rejets domestiques .....	49
I.2. Traitement et stockage des eaux usées .....	50
I.2.1Les procédés de traitement et de désinfections supplémentaires .....	50
I.2.1Les procédés de traitement et de désinfections supplémentaires .....	51
I.3. L'irrigation .....	51
Chapitre II : Aspect réglementaire de la réutilisation des eaux usées en irrigation .....	53
II.1 Contraintes chimiques (santé, métaux lourds).....	53
II.2. Contraintes microbiologiques (germes pathogènes, ...) .....	54
Chapitre III : Technique d'élaboration de projets de réutilisation des eaux épurées .....	56
III.1. Evaluation des ressources et des besoins en eaux .....	56
III.2. L'état de l'assainissement .....	56
III.3 L'étude du marché des eaux usées .....	56
III.3.1 Les répartitions des eaux usées .....	56
III.3.2 La stratégie du marché mondial des eaux usées au futur .....	57
III.4. Etude des scénarios .....	57
Évaluation Finale .....	58

Exercices & solution .....	58
Annexe .....	65
Références bibliographique .....	68

## Liste des tableaux

Table.II.1 Taux d'oxydation journalière en fonction de la température.....	11
Table.II.2 Probabilité de satisfaction des besoins en eau industrielle .....	15
Table.II.3 Normes de rejets internationales .....	16
Table.II.4 Normes Algériennes de rejets d'effluents liquides industrielles.....	17
Table.IV.1 Charges admises par filière de traitement .....	30
Table IV.2. Classification des procédés à boues activées.....	31

## Liste des figures

Fig. III.1 Dégrilleur .....	21
Fig.III.2 Schéma d'un déshuileur circulaire .....	26
Fig.III.3 Bassin dessabler/dégraisser .....	27
Fig.III.4 4Pont dégraisseur/dessabler racleur longitudinale .....	27
Fig.IV.1Le procédé à lit bactériens .....	32
Fig.IV.2Le procédé de disque biologique.....	35
Fig.IV.3Coupe schématique d'une station à boues activées.....	35
Fig.IV4Lagunage naturel.....	40
Fig.V.1Schéma de la filière de traitement des boues .....	44
FigV.2 Schéma de la filière digestion des boues. ....	45
Fig.V3 Composition d'un lit de séchage .....	46

## Introduction

La dépollution des eaux usées urbaines nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physique, physico-chimique et biologique. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée. Certains procédés permettent même l'élimination de l'azote et du phosphore. Le processus d'épuration par boues activées est le plus répandu dans le monde. En Algérie, ce procédé est le plus utilisé aujourd'hui dans la plupart des stations d'épuration assurant un traitement secondaire.

Le cours est scindé en deux parties, la première partie est destinée pour l'épuration des eaux résiduaires et elle présente un travail réalisé en cinq chapitres. La deuxième partie est destinée pour la réutilisation des eaux résiduaires et présente un travail réalisé en trois chapitres, chaque chapitre est traité à travers des séquences pédagogiques permettant l'assimilation des concepts prévus, cette assimilation est consolidée par des activités d'apprentissages où ces notions sont mises en œuvre. Les notions de base dans le domaine de l'épuration et la réutilisation des eaux résiduaires ont été plus détaillées dans ce cours.

Le présent polycopié sur l'épuration et la réutilisation des eaux résiduaires s'adresse spécifiquement aux étudiants de la filière d'hydraulique M2 (HU). Il vise à former des Masters aptes à travailler dans les stations d'épurations dont les activités sont directement liées aux fonctionnements d'une STEP, connaître tout les détails sur les procédés d'épuration et la réutilisation des eaux usées ainsi. Ce cours prépare les étudiants à développer des compétences liées à l'élaboration ou la mise en œuvre de procédures, au contrôle de la qualité des eaux épurés, à la résolution de problèmes techniques et à la réalisation d'activités d'assistance technique.

Dans une démarche d'un développement durable dans le domaine d'épuration des eaux usées, les stations d'épuration qui devraient répondre à des besoins immédiats de collecte et de traitement des eaux usées et doivent actuellement faire face à de nouvelles problématiques dans la gestion et le respect des normes en vigueur en matière de rejet ou de réutilisation de la ressource.

**Première partie**  
**Epuration des eaux résiduaires**

**Chapitre I**  
**Rappels des bases de la microbiologie**

## Chapitre I : Classifications et origines des eaux usées

**I.1. Définition :** Les eaux résiduaires urbaines (ERU) ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés, c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles) (*JORA ,1993*).

**I.2. Origine des eaux résiduaires :** Les eaux résiduaires se divisent en deux grandes catégories : les eaux résiduaires urbaines (ERU) et les eaux résiduaires industrielles (ERI), ils sont constituées par :

- Des eaux résiduaires ou eaux usées d'origine domestique, industrielle
- Des eaux d'extinction d'incendies et des eaux pluviales ou de ruissellement urbain.

a) **Origine industrielle :** Leur composition varie selon le type d'activité industrielle, elles contiennent les eaux du procédé de fabrication, les eaux de purge et de refroidissement. Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique en matière organique (MO) non biodégradable mesuré par la DCO et les métaux lourds. On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés....) ; Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...)
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...)
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques.....)
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires...).

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge



de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés (RODIER, 2005).

b) **Origine domestique** : ce sont les eaux de vannes, de cuisine...chargées en lessives, graisses et matières organiques biodégradables mesuré par la DBO et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension.

Elles proviennent essentiellement :

- Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
- Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents ;
- Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (w.c), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganisme (ABIBSI, 2011).

c) **Origine d'extinction d'incendies** : Il s'agit des eaux provenant du réseau d'extinction des incendies qui peuvent contenir des additifs chimiques et des matières brûlées.

d) **Origine pluviales** : Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulées polluants atmosphériques, poussières, détritrus, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique Il peut s'agir d'eau provenant de lessivage de surfaces (voirie, toits) contenant des graisses et des poussières (METAHRI, 2012).

### I.3. Conception d'une station d'épuration

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 indicateurs :

- Les matières en suspension (MES) : matière 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)

#### II.3.1. Condition d'implantation des stations d'épuration

Les stations d'épuration sont conçues et implantées de manière à préserver les habitants et les établissements recevant 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'urbanismes en vigueur au moment de la construction. De façon générale, les équipements sont conçus et exploités de façon que leur fonctionnement minimise l'émission d'odeur, de bruits ou de vibrations mécaniques susceptible de compromettre la santé et la sécurité du voisinage et de constituer une gêne pour sa tranquillité. Leur implantation est à éviter :

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

#### II.3.2. Les nuisances liées aux stations d'épuration :

Les nuisances liées aux stations d'épuration sont :

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

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

**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 70 dB de jour et de 55 dB la nuit) ;
- Adopter les techniques de construction des bâtiments vitrage acoustique.

2. **Nuisances olfactives** Les principales sources de mauvaises odeurs sont les boues et leurs traitements, 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.

**Méthode de traitement contre les odeurs** Des installations de désodorisation chimique ou biologique sont également mise 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 comportent 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

nauséabonds. Leur couverture et 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.

## **Chapitre II**

### **Paramètres de pollution des eaux usées et normes de rejet**

## Chapitre II : Paramètres de pollution des eaux usées et normes de rejet

### II.1. Généralités sur les paramètres de pollution des eaux usées

#### II.1.1. Paramètres physiques

##### 1. Température (T°)

C'est un paramètre important pour le bon fonctionnement de la STEP, elle influence toute les réactions physico-chimiques et biologiques (désinfection, oxydation biologique). En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. (RODIER, 2005)

##### 2. La matière en suspension (MES)

Elle représente la fraction solide de la pollution et elle est constituées de particules qu'ils ne sont ni solubles ni colloïdales. Les MES sont mesurable soit par filtration soit par centrifugation. (Salghi, 2004)

##### 3. La matière volatile en suspension (MVS)

Elle représente une fraction organique des MES. Elle est mesurée par calcination à une température de 525°C. (Salghi, 2004)

### II.1.2. Paramètres Organoleptiques

#### 1. Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux par la présence de matières en suspension (MES) fines. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

Unité JTU (Jackson Turbidity Unit) = unité FTU (Formazine Turbidity Unit) = unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

#### 2. La couleur

C'est une indication de la pollution, la couleur des eaux dépend de la nature de ses composantes, les composés chimiques dissoutes dans les eaux usées domestiques lui donnent généralement une couleur grise. (ABIBSI, 2011)

### II.1.3. Paramètres Chimiques

#### 1. Le potentiel Hydrogène (pH)

Représente l'acidité ou la basicité de l'eau usée et influe aussi sur les réactions physico-chimiques et biologiques.

#### 2. La Conductivité

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m).

$$1 \text{ S/m} = 104 \text{ } \mu\text{S/cm} = 103 \text{ mS/m}$$

#### 3. L'Oxygène Dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg/l.

#### 4. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leur origines organique ou minérale. La DCO est la concentration, exprimée en mg/l. La mesure consiste à oxydé les matières organiques présentent dans l'échantillon par une solution de bichromate de potassium ou permanganate de potassium au milieu acide pendant 2 heures.

- **La biodégradabilité :** La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que,  $K = \text{DCO} / \text{DBO}_5$  :

- Si  $k < 1,5$  : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable (E.U domestique)
- Si  $1,5 < K < 2,5$  : cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables (E.U urbaine)
- Si  $2,5 < K < 3$  : les matières oxydables sont peu biodégradables (E.U industrielle)
- Si  $K > 3$  : les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que : les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures... etc. La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physicochimique. (METAHRI, 2012).

- **Indice d'équilibre nutritionnel**

Pour un meilleur développement des micro-organismes épurateurs, on admet les rapports suivants:

$$\text{DCO/N/P} = 100 \text{ à } 150/5/1$$

Les effluents urbains contiennent tous les nutriments. Certains effluents industriels peuvent être fortement carencés en N et P et ces éléments devront être ajoutés avant le traitement biologique. (Hatem, 2008).

## 5. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène à consommer pendant une oxydation biologique c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommé par les micro-organismes (bactéries épuratoires) pour la dégradation des matières organiques polluantes dans les conditions suivantes :

- Incubation à 20°C
- Obscurité pendant un temps donnée

Ce paramètre est influencé par le temps et la température. Conventionnellement on utilise la (DBO<sub>5</sub>)

5 : Représente le nombre de jours d'oxydation à une température de 20°C.



**Tab.II.1** Taux d'oxydation journalière en fonction de la température (*Benkhalfa, 2009*)

<b>Température</b> °C	5	10	15	20	25	30
<b>Taux d'oxydation journalière</b>	10.9	13.9	16.7	20.6	25.2	30.5

### 6. Azote N

L'azote est un élément instable, il peut se trouver dans l'eau sous différentes formes :

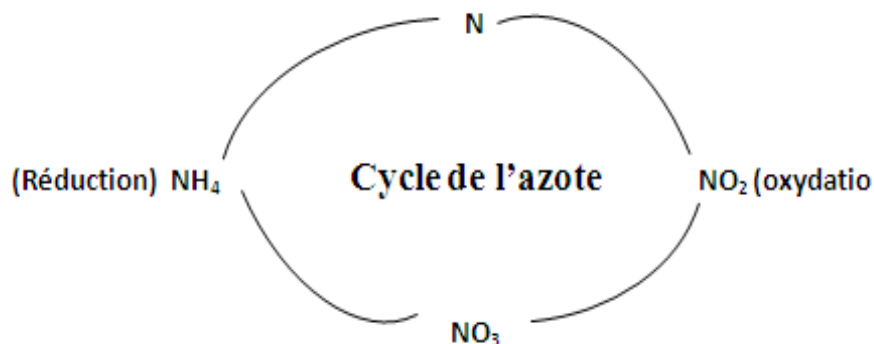
- Forme oxydée : NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>
- Forme réduite : NH<sub>4</sub>, azote organique
- Forme moléculaire à l'état gazeux

N-NG : azote global

N-NK : azote Kejl Dahl (réduit) → NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + azote organique

$$NG = NK = NO_2 + NO_3 + N$$

Les eaux usées généralement pauvre en oxygènes sont considérées comme un milieu réducteur, donc l'azote dans les eaux usées est souvent sous forme réduite ammoniacale.



### 7. Phosphore P :

Le phosphore se présente dans les eaux usées sous deux formes :

Organique : provenant des rejets industriels ou des matières fécales.

Minérale : provient essentiellement de lessivage des terres agricoles, ainsi que les pesticides et les détergents. Il s'agit de  $PO_4^-$ .

La connaissance de la concentration de l'eau usée en phosphore est indispensable pour savoir s'il faut intégrer ou non dans la STEP un traitement de déphosphoration (biologique ou chimique). (ABIBSI, 2011)

## II.2. Evaluation des débits et de la charge polluante des eaux résiduaires

### II.2.1. Estimation de la charge polluante en DBO (E.R.D)

Elle exprime la quantité de la matière organique reçu journalièrement par les STEP. L'estimation de la charge polluante très importante dans le dimensionnement des STEP, peut se faire de deux manières :

En phase préliminaire de l'étude selon un ratio (Q) en DBO (Q/hab/j)

$$\text{DBO (Kg/j)} = \text{Nombre d'hab} * \text{Q (DBO)} * 10^{-3}$$

- En phase d'étude détaillée, la charge polluante est le produit de la concentration analysée par le débit d'eau usée :

$$\text{DBO (Kg/j)} = \text{DBO (mg/l)} * \text{Q (m}^3/\text{j)} * 10^{-3}$$

$$\text{MES (Kg/j)} = \text{MES (mg/l)} * \text{Q (m}^3/\text{j)} * 10^{-3}$$

- La capacité d'une STEP est exprimée en nombre d'équivalent habitant
  - Elle peut être calculée en dévisant la charge polluante en DBO reçu par la STEP par la charge spécifique matière organique c'est-à-dire le rejet journalière par habitant :

$$\text{Equivalent Hab} = \frac{\text{DBO (Kg/j)}}{q_{\text{DBO}} (\text{g} / \text{Hab} / \text{j})} * 10^3$$

$$\text{Equivalent Hab} = \frac{\text{DBO (mg/l)} * \text{Q (m}^3/\text{j)}}{q_{\text{DBO}} (\text{g} / \text{Hab} / \text{j})} = \text{hab}$$

Le calcul de la charge polluante en DBO permettra de dimensionner les ouvrages de traitement biologique à partir de la charge volumique

$$\text{CV (Kg/m}^3/\text{j)} = \frac{\text{DBO (Kg/j)}}{V (\text{m}^3)}$$

### II.2.2. Estimation de la charge polluante (E.R.I)

La connaissance de charge hydraulique de polluantes en provenance des habitants et de industries est primordiale pour assurer le bon fonctionnement d'une station d'épuration. Certains polluants d'origine industrielle perturbent le traitement biologique et endommagent les installations de la station.

L'inventaire des rejets industriels d'une agglomération se déroule en 3 étapes principales :

**Etapes 1 :** établir un cadastre des rejets industriels, localiser des activités industrielles et établir des fiches techniques par activités :



La fiche technique doit présenter également le mode de collecte des eaux résiduaires ainsi que les éventuelles installations de prétraitement.

**Etape 2 :** campagne d'analyse des ERI pour certaines entreprises, il est nécessaire de procéder à des campagnes d'analyse dont l'objectif est :

- Vérifier la qualité des effluents industriels et leur conformité aux normes.
- Vérifier le fonctionnement des installations de prétraitement si elles existent.
- Quantifier les charges polluantes organiques qui permettent aussi d'estimer les taxes d'assainissement.

**Etape 3 :** suivi des mesures d'assainissement l'utilité d'un cadastre des ERI doit être établi dans la durée c'est-à-dire le but étant de régler les problèmes des rejets et non pas d'établir uniquement un inventaire. Cette étape doit permettre d'établir des délais de prescription aux normes (généralement entre 1 à 5 ans).

### II.2.3. Convention de déversement des ERI

L'objectif de la convention est de fixer les charges maximales des ERI qui doivent être évacuées dans le réseau public. Pour les ERI déversées dans le réseau public les charges à respecter sont généralement de deux types :

- Charge hydraulique (m<sup>3</sup>/j)

- Charge polluante (Kg DCO/J), (Kg/ DBO/J)

En cas de dépassement de la limite maximale admise pour les charges hydrauliques ou/et polluantes, toutes les mesures doivent être prises par l'entreprise pour stopper ces excès ou demander une modification de la convention.

La pollution organique est le paramètre qu'il faut contrôler en permanence dans les rejets industriels, d'autre paramètres prédéfinis selon l'activité industrielles peuvent être mentionnés dans la convention tel que le (pH, T°....etc)

:

<b>Fiche technique</b>	
1.	Coordonnées de l'entreprise
2.	Délégation de visite du site
3.	Données de bases : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Type d'activité</li> <li>- Consommation d'eau</li> <li>- Type de rejet d'ERI</li> <li>- Installation de prétraitement</li> <li>- Plan du mode de rejet</li> <li>- Produits chimiques (process et nettoyage)</li> </ul>
4.	Synthèse : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remarque</li> <li>- recommandation</li> </ul>

### 1. Estimation des charges hydriques :

Lors de l'évaluation des débits d'effluents industrielles à prendre en considération dans le système d'assainissement, il est important de tenir compte de :

- D'une part les industries existantes dont l'évaluation des débits doit se faire par des mesures in-situ ;
- D'autre part pour les industries projetées, on doit faire appel à des débits spécifiques associés à des probabilités de satisfaction.

Une étude statistique effectuée sur une centaine d'entreprise (France) a permis de dégager les probabilités de satisfaction suivantes :

**Table.II.2** Probabilité de satisfaction des besoins en eau industrielle (Tijani, 2012)

<b>Probabilité de satisfaction (%)</b>	25	50	75	90	100
<b>Débit spécifique (m<sup>3</sup>/j/ha lotis)</b>	15	40	100	225	500

La notion d’hectare lotis utilisée dans des zones industrielles par opposition à la notion de surface totale permet d’éliminer les surfaces occuper par des voiries et autre espaces accessoires par exemple, la valeur de 40 m<sup>3</sup>/j/ha lotis permet une satisfaction des besoins de l’ordre de 50%.

Une autre méthode d’évaluation des besoins en eau industrielles basée sur la catégorie de l’activité industrielle (petite, moyenne et grandes entreprises)

10 – 15 m<sup>3</sup>/j/ha lotis : petite entreprise

15 – 50 m<sup>3</sup>/j/ha lotis : moyenne entreprise

50 – 150 m<sup>3</sup>/j/ha lotis : grande entreprise

Vu la multiplicité des hypothèses à formuler, il est très important de rassembler un max de renseignement sur les activités industrielles projetées afin d’augmenter les probabilités de satisfaction. Un Eq.h hydrique doit impérativement être calculé à la fin de la phase dévaluation des débits.

$$Eq.h_{hydr} = \frac{Q(m^3/j) * 10^3}{q (l / hab / j)}$$

## 2. Estimation des charges polluantes :

Pour la charge polluante la détermination des charges max ne concerne généralement que les paramètres importants, tels que: DBO, DCO, MES. D’autres paramètres tels que les métaux lourds : le phosphore, l’ammonium, sont pris en considération s’ils présentent une influence directe sur le fonctionnement de la STEP. Des charges limites sont fixées dans la convention et des tolérances sont admises dans 10% du temps.

$$C_p = C_v * C$$

$$Eq.H_{bio} = \frac{Q * C (Kg / j)}{ratio (g / hab / j)}$$

### Exemple:

$$DBO_5 = 60 - 70 \text{ g/hab/j}$$

DCO = 100 – 120 g/hab/j

### II.3. Problématique

Dans le cadre de la gestion des eaux résiduaires urbaines, il est très important d'établir un inventaire (cadastre) de toutes les eaux résiduaires industrielles. La problématique de ces effluents industriels est particulière car ils contiennent des substances susceptibles d'endommager les ouvrages d'évacuation des eaux résiduaires domestiques et de perturber le fonctionnement des STEP à cause de la présence de matière toxique nocive pour l'activité bactérienne ou la présence de la matière organique non biodégradable (DCO).

Au niveau de l'assainissement urbain, l'inventaire des rejets industriels permet une répartition des coûts d'assainissement conformément au principe « pollueur-payeur ». Ces diverses raisons montrent que l'inventaire des ERI est une étape indispensable dans la gestion des eaux résiduaires d'une agglomération.

#### II.3.1. Normes internationales

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la sante (OMS) respective pour les eaux résiduaires.

**Table.II.3.** Normes de rejets internationales (*Tijani, 2012*)

Paramètres	Norme utilisées (OMS)
pH	6.5 – 8.5
DBO	< 30 mg/l
DCO	< 90 mg/l
MES	< 20 mg/l
$NH_4^+$	< 0.5 mg/l
NO <sub>2</sub>	1 mg/l
NO <sub>3</sub>	< 1 mg/l
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 2 mg/l
Température	< 30°
Couleur	Incolore
Odeur	Incolore

### III.3.2. Normes Algériennes

En matière de réglementation, il existe 2 décrets exécutifs :

1. Décret exécutif du 23 Avril 2006, relatif aux rejets d'effluents industriels dans le milieu naturel, des différentes catégories d'activités industrielles.
2. Décret exécutif du 21 juin 2009, relatif à la procédure d'autorisation de déversement des ERI dans un réseau d'assainissement publique ainsi que les dispositions de contrôle. Les valeurs limites maximales des substances nocives sont indiquées également dans le tableau suivant.

**Table.II.4** Normes Algériennes de rejets d'effluents liquides industriels (*Tijani, 2012*)

Paramètres	Valeurs limites
Température	30 C°
pH	6.5 – 8.5
MES	35 mg/l
Azote Kjeldahl	30 mg/l
Phosphore total	10 mg/l
DCO	120 mg/l
DBO <sub>5</sub>	35 mg/l
Aluminium	3 mg/l
Substance toxiques bioaccumulables	0.005 mg/l
Indice de phénols	0.3 mg/l
Hydrocarbures totaux	10 mg/l
Huile et graisses	20 mg/l
Cadmium	0.2 mg/l
Cuivre total	0.5 mg/l
Mercure total	0.01 mg/l
Plomb total	0.5 mg/l
Chrome total	0.5 mg/l
Etain total	2 mg/l
Manganèse	1 mg/l
Nickel total	0.5 mg/l

Zinc total	3 mg/l
Fer	3 mg/l
Composés organiques chlorés	5 mg/l



# **Chapitre III**

## **Le traitement mécanique des eaux usées**

### III. Le traitement mécanique des eaux usées

Les eaux usées urbaines sont généralement soumises dans les stations d'épuration à :

- Prétraitements de (dégrillage, dessablage et déshuilage)
- Traitement primaire de décantation
- Traitement secondaire le plus souvent biologique par (boues activées, lits bactériens, disque biologique et lagunage), comprenant une décantation.
- Parfois, à un traitement tertiaire :
  - Biologique d'élimination de l'azote et du phosphore,
  - Chimique de précipitation et de décantation du phosphore,
  - Physico-chimique de désinfection.

Les eaux rejetées portent des particules volumineuses, fines et des matières grasses qui gênent le traitement biologique. Dans le traitement mécanique, il existe 3 procédés pour diminuer la charge des eaux usées.

- Dégrilleur pour éliminer les particules volumineuses ;
- Dessableur pour éliminer les particules fines ;
- Déshuileur pour éliminer les huiles et les graisses.

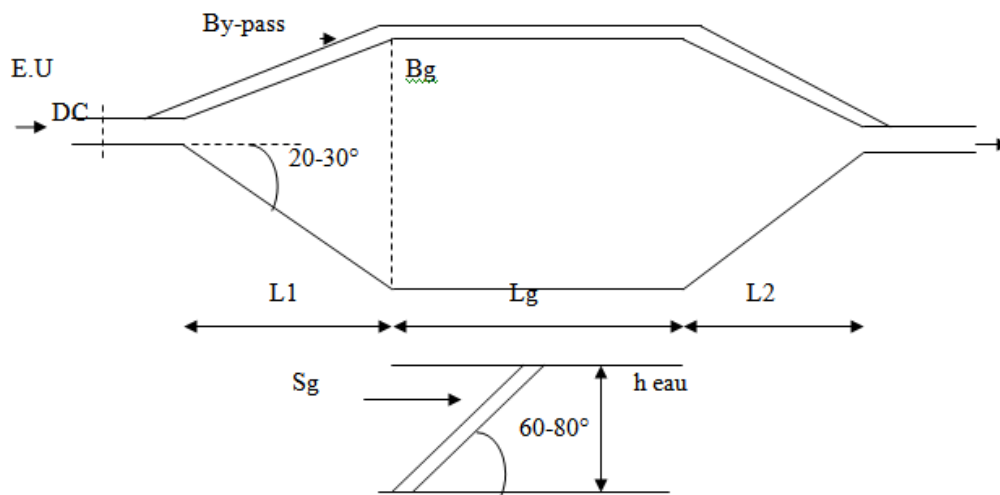
#### III.1.Dégrillage

Les dégrilleurs (cf., figure I.1) assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration. On distingue 3 types de grille caractérisée par ses barreaux, 30 à 100mm, 10 à 30mm et moins de 10 mm pour un dégrillage grossier, moyen et fin respectivement.



Fig III.1 Dégrilleur (google)

- Calcul de la section de la grille



$\alpha$ : Angle d'inclinaison de grille

$$\sin \alpha = \frac{h_{eau} * B_g}{S_g}$$

$h_{eau}$  : Hauteur d'eau dans le dégrilleur

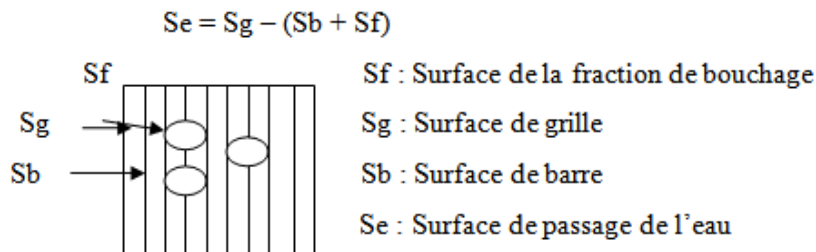
$S_g$  : Surface de la grille

$B_g$  : Largeur de la grille

Suivant le mode d'élimination des déchets on distingue : les grilles manuelles et les grilles mécaniques

- ✓ La grille mécanique : son utilisation se fait si la population dépasse 2000 hab, on distingue (grille courbe et grille droite). Ces grilles sont à fonctionnement automatique
  - La grille courbe : elle s'adapte pour les petites et moyennes stations, la largeur (0.3-1.8m) profondeur de canal (0.5 – 1.8m).
- ✓ Les grilles manuelles: elles sont composées de barreaux droits de section circulaire ou rectangulaire, généralement inclinées sur l'horizontale ( $60^0$  à  $80^0$ ). Ces grilles sont généralement réservées aux très petites installations d'épuration. le nettoyage s'effectue manuellement à l'aide d'un râteau (*Benkhalfa, 2009*).

• Calcul de la surface de passage d'eau



$S_f$  est difficile à déterminer, on estime en pourcent ou par un coefficient qui tient compte des bouchages des grilles c'est-à-dire la fraction des surfaces des objets retenues par les barreaux ainsi :

- ✓ pour le nettoyage manuelle  $\delta = 0.25$  c'est-à-dire 75% de bouchage.
- ✓ Pour le nettoyage mécanique  $\delta = 0.5$

$S_b$  est aussi traduite par un coefficient qui représente la fraction des surfaces occuper par les barreaux.

$$\beta = \frac{\varnothing}{\varnothing + e}$$

$\varnothing$  : Diamètre des barreaux

E : Espacement entre les barreaux

Se est aussi traduit par la formule suivante :

$$S_e = S_g - (1-\beta)*\delta$$

- **Débit de pointe de rejet**

$$Q_{pr} = S_t * V_e * a * C$$

Où :

$S_t$  : Surface transversale

$V_e$  : La vitesse d'écoulement de l'eau à travers la grille

$a$  : Rapport des espaces libres entre les barreaux et la largeur totale de la grille

$C$  : Coefficient de colmatage

- **Largeur de la grille**

Elle est déterminée par la formule suivante :

$$B_g = \emptyset (n_e - 1) + n_e * e$$

$\emptyset$  : Diamètre des barres

$n_e$  : Nombre d'espacement

$e$  : L'espacement

- Calcul le nombre d'espacement

$$n_e = \frac{K * Q_{pr} (m^3 / j)}{e * h_{eau} * V_e (1-\beta) \delta}$$

Où :

$K$  : Coefficient qui tient compte de l'influence des barreaux sur l'écoulement,  $K = 1.05 \div 1.10$

- **Calcul de la perte de charge**

$$\Delta H = K_p * F \left( \frac{\emptyset b}{e} \right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} * \sin \alpha$$

Où :

$\Delta H$  : La perte de charge en (m)

$\emptyset b$  : La largeur maximale d'un barreau




$K_p$  : Coefficient qui tient compte de longueur des grilles  $K_p = 2 \div 3$

$V$  : La vitesse d'approche en m/s

$\alpha$  : L'inclinaison des barreaux par rapport à l'horizontal

$F$  : Facteur des formes des barreaux

**Table III.1** Facteur des formes des barreaux (*Benkhalfa, 2009*)

Facteur des formes des barreaux (F)	Forme
2.42	Rectangulaire 
1.83	Rectangulaire avec arrondie à l'amont 
1.67	Rectangulaire avec arrondie à l'amont et en aval 
1.79	Rond

La vitesse de passage entre les barreaux doit être  $0.5 \div 0.8$  pour éviter les dépôts sans dépasser 1.2 m/s.

## III.2. Dessablage/Déshuilage

### III.2.1. Dessableur

Les matières facilement décantables sont éliminées, cette élimination permis :

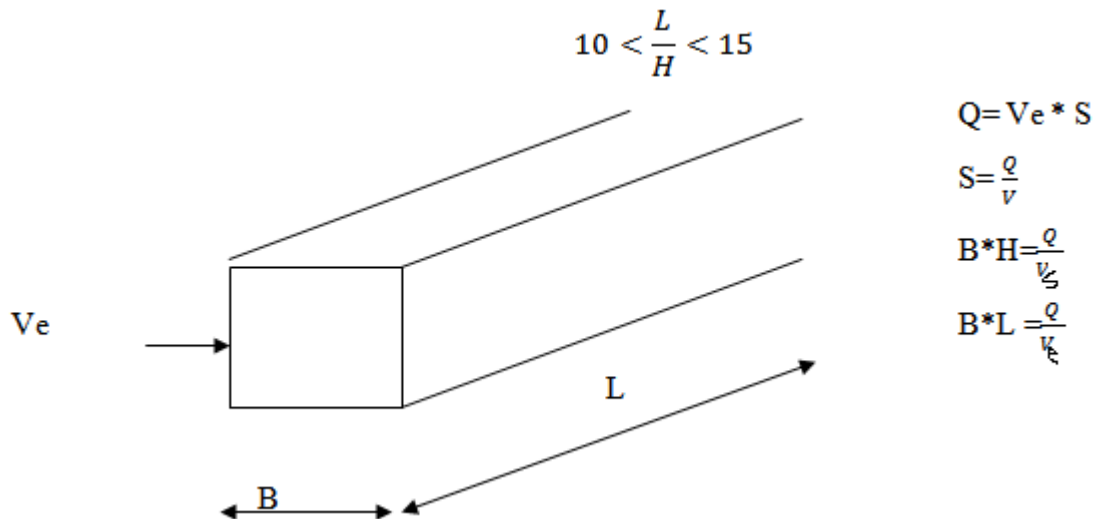
- ✓ Protéger les autres constructions de STEP contre une corrosion élevé par frottement (les conduites, les pompes...)
- ✓ Eviter que les résidus solides ne se déposent plus, se qui peut entrainer le bouchage des canalisations qui seront difficile à débouché si les anneaux sont enterrés.
- ✓ Empêcher une perte au volume utilisable due au dur dépôt qui se forme rapidement dans les entonnoirs et les coins des bassins de décantation d'épuisable à boue et de digesteurs.

La technique classique de dessablage consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation ou on essaie de donner à l'eau une vitesse constante quel que soit le débit (cf., figure III.3). Une vitesse de 0.3 m/s permet le dépôt de la majeure partie des sables. Il existe divers types de des sableurs, on distingue :

- ✓ Les dessableurs couloirs.
- ✓ Les dessableurs circulaires.

- ✓ Les dessableurs aérés.

Pour le calcul de (H) la section transversale de dessaleur couloir : (Benkhalfa, 2009)



### III.2.2. Déshuileur

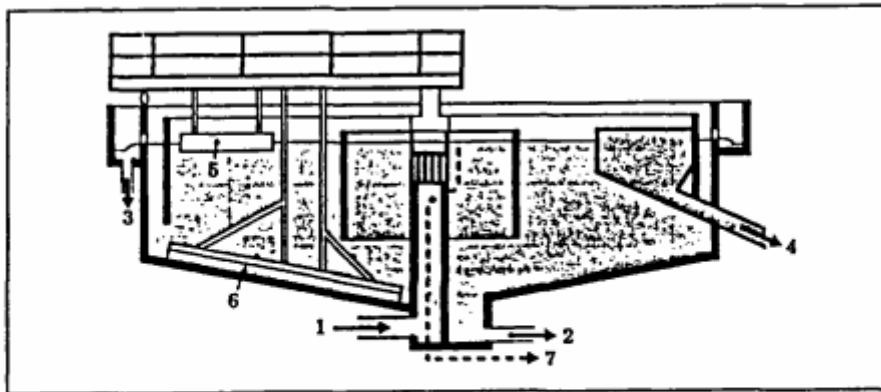
Parmi les inconvénients majeurs des huiles est la mauvaise diffusion de l'O<sub>2</sub> ainsi que l'acidification du milieu dans le digesteur anaérobique des boues.

L'élimination des huiles se base sur le principe de la flottation. (cf., figure III.4). Aujourd'hui pour réduire le temps de séjour très important dans le cas d'une flottation naturelle, on utilise les déshuileurs aérés qui sont composés de deux compartiments :

- ✓ Une zone d'insufflation d'air
- ✓ Une zone calculée pour une vitesse ascensionnelle de 10 à 20 m/h

On distingue deux conceptions de déshuileur :

- ✓ Séparateur d'huile cylindrique (cf., figure III.2).
- ✓ Séparateur d'huile rectangulaire



1 - Arrivée d'eau brute.  
 2 - Sortie des boues.  
 3 - Sortie de l'eau traitée.  
 4 - Sortie des huiles lourdes.  
 5 - Raclage de surface.  
 6 - Raclage de fond.  
 7 - Reprise des huiles légères à l'abri de l'atmosphère.

Fig.III.2. Schéma d'un déshuileur circulaire (B. Meot et Z alamy)

Le dimensionnement d'un déshuileur consiste à déterminer les dimensions de l'ouvrage ainsi que le débit d'insufflation d'air. On se fixe une vitesse ascensionnelle entre 10 ÷ 20 m/h avec un temps de séjour entre 2 et 10 minutes.

$$S = \frac{Q}{V} \quad (\text{cylindre : } D, \text{ rectangulaire : } L, b)$$

$$V = Q * t_s \quad H = \frac{V}{S}$$

Le débit d'air insufflé dépend de la concentration de l'eau en matière grasses.

$$C = \frac{K * S * (F * P - 1)}{C'}$$

Où :

C : Rapport air/grasses à éliminer (cm<sup>3</sup>/mg)

K : Coefficient qui dépend des propriétés des surfaces à éliminer (0.8 ÷ 1.3)

S : Solubilité de l'air dans l'eau qui dépend de la T°C (cm<sup>3</sup>/l d'eau)

(T° = 10° → S = 22 cm<sup>3</sup>/l), (T = 30° → S = 15 cm<sup>3</sup>/l)

F : Représente la fraction d'air à appliquer par unité de volume d'eau et de temps d'application sous une pression P. (F ~ 0.2 ÷ 0.9 cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>\*h)

P : Pression appliquée : (0.5 bars)

C' : Concentration de grasses à éliminer





**Fig III.3** Bassin dessabler/dégraisseur  
(google)



**Fig.III.4.**Pont dégraisseur/dessabler racleur  
longitudinale (google)

Les effluents arrivants à la chaîne de traitement déposent des graisses qui entraînent des inconvénients pour le traitement :

- ✓ Le recouvrement des bassins d'aérations par l'émulsion (graisse/eau), air diminue la capacité d'aération des bonnes activités.
- ✓ Bouchage de canalisation des pompes
- ✓ Acidification du milieu dans le digesteur anaérobie

Pour avoir un dégraissage efficace on doit refroidir les effluents à une température  $< 30^{\circ}$

Le dessablage et déshuilage se réalisent le plus souvent dans un même ouvrage. Les sables décantent au fond de celui-ci tandis que les graisses remontent en surface (*Benkhalfa, 2009*).

# **Chapitre IV**

## **Les traitements biologiques des eaux usées**

## Chapitre IV : Le traitement biologique des eaux usées

### IV.1 Principe fondamentaux de l'épuration biologique

Il consiste à éliminer la pollution organique par oxydation biologique. On distingue deux types de procédés de traitement biologique.

- Procédés artificiels (intensifs) : temps de séjour à peu près de quatre à huit heures.
  1. Procédés à cultures fixées :
    - ✓ Lits bactériens
    - ✓ Disques biologiques
  2. Procédés à cultures libre
    - ✓ Bassins à boues activées
- Procédés naturels (extensifs) : c'est le lagunage, temps de séjour 20 jours à 20 C°. En matière d'épuration des eaux usées, les procédés les plus utilisés en Algérie sont le lagunage dans les petites agglomérations (zones rurales) et le procédé par boue activée en ce qui concerne les grandes agglomérations.

#### IV.1.1 Définition des phénomènes biologiques

L'épuration biologique des eaux usées a pour but d'éliminer les matières organiques biodégradables. Cette dégradation biologique entraîne une transformation de matière par des micro-organismes qui reproduisent le processus de l'autoépuration naturelle dans des bassins et ils utilisent ces matières organiques comme nutriments. La dégradation peut se dérouler dans des conditions aérobies (présence d'oxygène) ou anaérobies (absence d'oxygène). On distingue aussi les cultures fixées (lits bactériens, disques biologiques), et les cultures libres (lagunage aéré, boues activées). Ce procédé est le plus souvent utilisé en aval d'un décanteur primaire. Chaque traitement sera caractérisé par une charge hydraulique qui permettra de déterminer le procédé à utiliser.

On peut distinguer le tableau suivant :

**Table IV.1 :** Charges admises par filière de traitement (*B. Meot et Z alamy*)

Filière	Charge Volumique	Charge Hydraulique
Lit bactérien-Forte charge	Jusqu'à 10 kg DBO <sub>5</sub> par m <sup>3</sup> /j par remplissage plastique	0.8 à 1.7 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Lit bactérien-Faible charge	0.08 à 0.4 kg DBO <sub>5</sub> par m <sup>3</sup> /j	0.3 à 0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Boues activées-Forte charge	1.6 à 5 kg DBO <sub>5</sub>	< 1.2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Boues activées-Faible charge	0.16 à 0.35 kg DBO <sub>5</sub> par m <sup>3</sup> /j	< 0.8 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Boues activées-moyenne charge	0.8 à 2 kg DBO <sub>5</sub> par m <sup>3</sup> /j	< 0.6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Lagunage aéré	500 à 1000 kg DBO <sub>5</sub> par hectare	-
Lagunage naturel	50 à 100 kg DBO <sub>5</sub> par hectare	-

#### IV.1.2. Etude du métabolisme anaérobie

Métabolisme anaérobie est un état caractérisé par une absence d'oxygène. L'eau est traitée par des granules de boues qui sont constituées de milliers de microorganismes différents et qui ne peuvent agir de façon isolée pour traiter les effluents. La voie de dégradation anaérobie de la matière organique traite les rebuts organiques des eaux usées afin d'en recueillir le biogaz (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>S). Ce dernier peut être récupéré et converti ensuite en chaleur ou en électricité. Les eaux usées traitées sont composées des eaux domestiques, des eaux industrielles et des eaux de pluie. Le débit et la qualité des eaux à traiter varient d'un endroit à l'autre. Le traitement par voie anaérobie des eaux contenant une concentration en matière organique beaucoup plus faible.

- **Procédés artificiels (intensifs)**

## IV.2. Epuration biologique à biomasse fixe

Il s'agit d'un ensemble de techniques d'épuration biologique des eaux qui conduisent à la diminution de polluants (plus ou moins biodégradables) grâce à différents processus où interviennent des micro-organismes aérobies fixés sur un support solide à travers lequel percole l'eau à traiter.

### IV.2.1.Lits bactériens

Les lits bactériens sont composés par l'accumulation de matériaux poreux sur une hauteur convenable. La hauteur des matériaux constituant les lits doit être au minimum de 1.5 m et au maximum de 4 à 5 m. dans les bactériens (ou filtres bactériens ou bio-filtre), la masse active des micro-organismes (champignons, algues et autres organismes plus évolués tels les vers, les arachnides, certains insectes...) se fixe sur des supports poreux inertes ayant un taux de vide d'environ 50% (minéraux, comme la pouzzolane et coke métallurgique, plastiques, les roches volcaniques, les cailloux) à travers lesquels on filtre l'effluent à traiter. Un lit bactérien est défini par sa charge, c'est-à-dire par la quantité journalière d'effluent admise par m<sup>3</sup> de matériaux. Il y'a deux types de lit bactérien : faible charge et haute charge.

**1. Lit bactérien à faible charge :** les charges généralement admises et les performances sont :

- ✓ Charge hydraulique : 3.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/j
- ✓ Charge organique : 0.2 kg de DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/j

$$C_o = \frac{Q(m^3 / j) * DBO (mg / l)}{V}$$

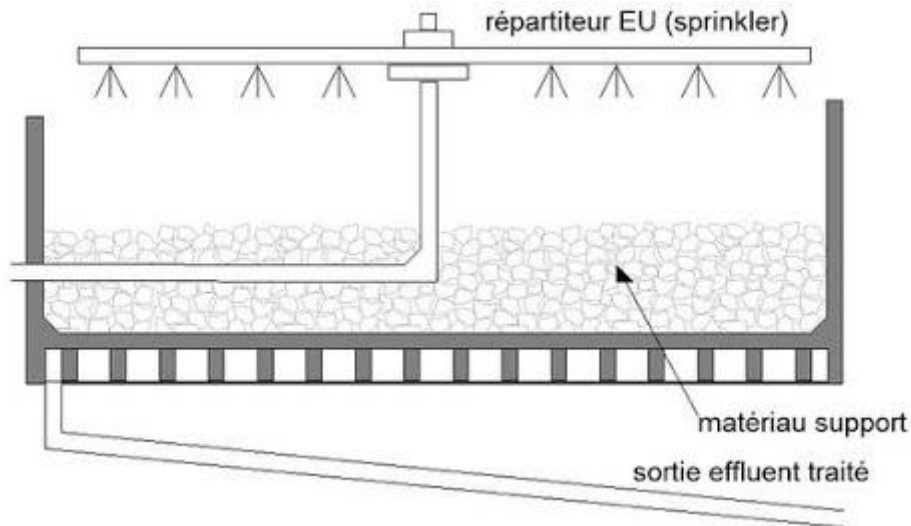
- ✓ Forte épuration selon le type d'effluent pollué apporté
- ✓ Réduction de 90 à 95% de la DBO<sub>5</sub>
- ✓ Il s'agit d'un système de traitement non-recirculé qui peut craindre un certain colmatage.

**2. Lit bactérien à haute charge :** les charges généralement admises et les performances sont :

- ✓ Charge hydraulique supérieure 10 fois au lit à faible charge C<sub>o</sub> = 1 à 2 kg de DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/j
- ✓ Charge hydraulique : 20 à 25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/j
- ✓ Epuration faible à moyenne

- ✓ Réduction de 60 à 90% de la DBO<sub>5</sub>
- ✓ Ce système d'épuration équipé en recirculation

La ventilation le plus souvent, si la hauteur n'exécède pas 2.5 m, la ventilation naturelle est suffisante. Dans quelques cas, on a une ventilation artificielle.



**Fig.IV.5.** Le procédé à lit bactériens (google)

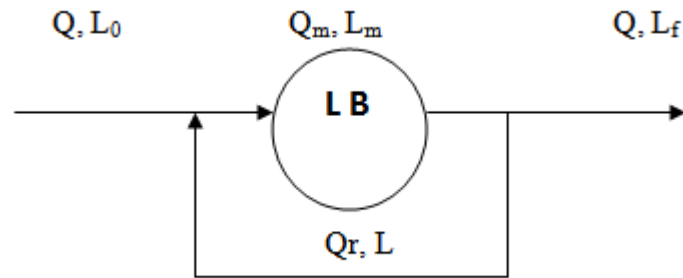
- 3. Recirculation :** dans les installations moyennes, le fonctionnement sous une charge continue, au moins égale à la limite inférieure indispensable ne peut se faire que si un pompage de retour est pratiqué.

$$R = \frac{L_0 - L_m}{L_m - L_f}$$

La recirculation est faite pour éviter un colmatage rapide en assurant une charge hydraulique d'auto curage.

$$Cu = \frac{Q(1+R)}{S}$$

- 4. Rendement épuratoire :** le rendement épuratoire d'une installation est caractérisé par le rapport de DBO<sub>5</sub> détruite et de la DBO<sub>5</sub> de l'eau brut.



Où :

Q : Débit sortant et entrant en (m<sup>3</sup>/j)

Q<sub>m</sub> : Débit de mélange (m<sup>3</sup>/j)

$$\rho = \frac{L_0 - L_f}{L_0} * 100$$

L<sub>m</sub> : La charge de mélange (mg/l)

Q<sub>r</sub> : Débit de recirculation (m<sup>3</sup>/j)

L<sub>0</sub> et L<sub>f</sub> la concentration en DBO<sub>5</sub> initiale et finale à l'entrée et la sortie du lit (mg/l)

**Exemple :**

- Le DBO<sub>5</sub> de l'eau brute est de 250 mg/l
- La DBO<sub>5</sub> nette est de 55 mg/l
- (250 mg/l – 55 mg/l) = 195 mg/l
- 195/250 = 78%

L'épuration par lit bactérien permet pour une station de traiter des charges de pollution de 100 à 3000 éq-hab, mais convient surtout pour des charges de 300 à 2000 éq-hab (*équivalent habitant*).

**5. Lits bactériens à garnissage plastique :** La plupart des matériaux répondent aux exigences suivantes :

- ✓ Surface spécifique importante variant de 80 à 220 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- ✓ Indice de vide élevé (> 90%)
- ✓ Matériaux légers donc peuvent être utilisés pour des hauteurs importantes
- ✓ Résistance mécanique suffisante
- ✓ Stabilité chimique
- ✓ Inertie biologique

**6. Disposition des lits bactériens :** On peut réduire considérablement le volume et la surface du lit bactérien en installant des systèmes d'aération si  $H > 3m$ , si  $H < 3m$  l'aération naturelle suffit. Les dispositions des lits peuvent être soit en parallèle soit en série. On fait l'installation en série pour permettre au réseau une aération naturelle et avoir un rendement en deux étapes. On fait l'installation en parallèle car :

- Un débit trop important se qui engendre une charge hydraulique trop forte (ne permettant pas la formation des biofilme) ;
- Un diamètre trop important ne favorise pas la distribution uniforme de l'effluent sur la surface libre, dans ce cas on répartie le débit sur deux.

#### IV.2.2. Disque biologique

**1. Principe :** Dans ce procédé, les micro-organismes sont fixés sur des disques tournant lentement (quelque tour par minute) autour d'un axe horizontal et baignant en partie dans l'eau à traiter. De par la rotation, la biomasse se trouve alternativement au contact avec l'eau à traiter et avec le dioxygène de l'air ambiant.

**2. Dispositions constructives :**

- ✓ Les micro-organismes forment un biofilme en fixant sur les disques, ce biofilme est d'une épaisseur de (1 à 4 mm).
- ✓ Les disques sont immergés à 40% et leur mouvement provoque l'aération et les mélanges des eaux usées.
- ✓ L'espace entre le fond de la cuve et le bas du support devra être compris entre 10 et 25cm pour limiter les dépôts.
- ✓ Diamètre des disques 2 à 4m
- ✓ Vitesse de rotation 1 à 2 t/minute
- ✓ L'espacement entre les disques 2 à 3cm

**3. Avantages**

- ✓ Faible consommation d'énergie
- ✓ Fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle

**4. Inconvénients**

- ✓ Cout d'investissement assez élevés
- ✓ Nécessité de prétraitement efficace
- ✓ Sensibilité au colmatage



5. **Recirculation** : elle est optionnelle, si on a peur du débit faible, elle favorise un meilleur étalement de la charge sur le milieu de support quand le débit est faible et la concentration est grande. Le taux de recirculation recommandé est à peu près 25% du débit moyen de conception.
6. **Application du bio disque** : il faut que :
  - ✓ les matières organiques ne doivent pas contenir des graisses et elles ne doivent pas être  $> 600 \text{ mg/l}$ , le nombre d'habitant  $< 10\ 000$  hab.
  - ✓ Dans les calculs du bio disque nous corrigeons les surfaces des disques par l'utilisation des courbes de *Harthman*.
  - ✓ L'application des bios disques est conseillée pour agglomération à habitation modéré.

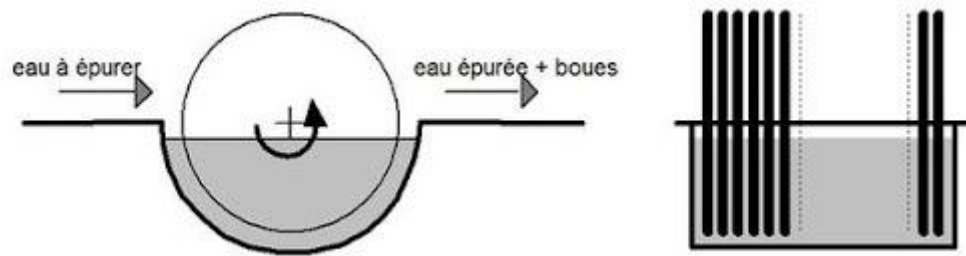


Fig.IV.6. Le procédé de disque biologique (google)

## IV.2. Epuration biologique à biomasse libre

### IV.2.1 Bassin à Boues activées

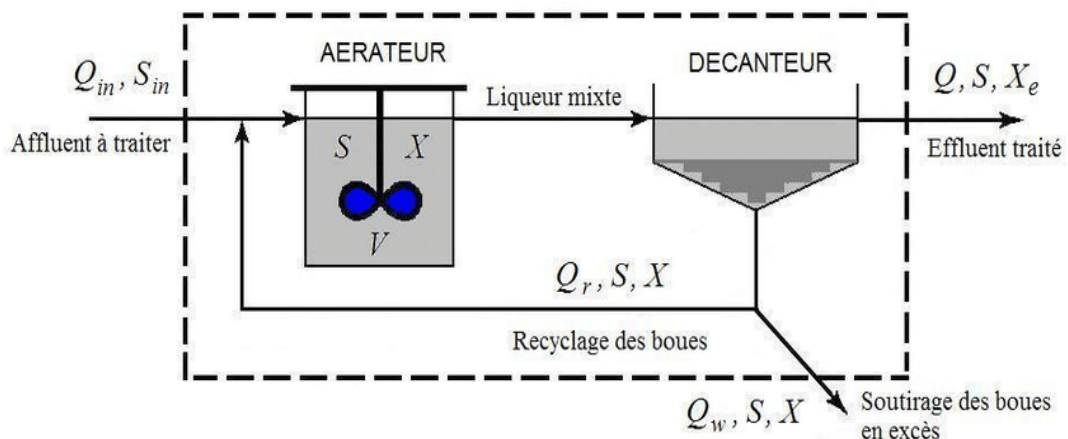


Fig.IV.7. Coupe schématique d'une station à boues activées. (google)

1. **Principe** : c'est un procédé de traitement biologique intensif qui consiste à accélérer l'oxydation biologique par aération artificielle (de surface ou de fond) et recirculation des boues à partir du décanteur secondaire afin de maintenir une certaine concentration en micro-organisme à l'intérieur du bassin ( $X = 2$  à  $4\text{g/l}$ ). Pour un bon fonctionnement d'un BBA il faut :

- ✓ Un certain débit d'oxygénisation  $QO_2$  (kg d' $O_2$ /j).
- ✓ Un certain taux de recirculation de boue (R%).

2. **Classification des BBA** : on distingue deux types de charges appliquées sur un BBA.

- ✓ Charge volumique :  $C_v$  (kg DBO/ $m^3*j$ )

$$C_v = \frac{DBO \text{ (kg / j)}}{V \text{ (m}^3\text{)}} = \frac{Q * L_0 * 10^{-3}}{V}$$

- ✓ Charge massique :  $C_m$  (kg DBO/kg MVS\*j)

$$C_v = \frac{DBO \text{ (kg / j)}}{X \text{ (kg/MVS)}} = \frac{Q * L_0}{X * V}$$

MVS : est supposée représenter la concentration des boues en micro-organismes.

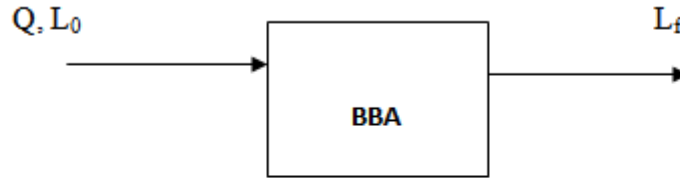
Selon la valeur des charges appliquées on distingue trois types de BBA :

**Table IV.2** : Classification des procédés à boues activées (Tijani, 2012)

	Forte charge	Moyenne charge	Faible charge
<b>C<sub>m</sub></b>	> 0.5	0.2 ÷ 0.5	0.07 ÷ 0.2
<b>C<sub>v</sub></b>	> 2.5	0.5 ÷ 1.5	< 0.5
<b>T<sub>s</sub> (h)</b>	1 ÷ 3	3 ÷ 10	10 ÷ 20
<b>Q O<sub>2</sub>(kg d'O<sub>2</sub>/kg DBO)</b>	0.4 ÷ 0.8	0.8 ÷ 1.3	1.3 ÷ 2
<b>nitrification</b>	Nulle	partielle	Très importante

3. **Dimensionnement des BBA** : le dimensionnement d'un bassin à boue activée consiste tout d'abord, à choisir le type de BBA (faible, moyenne et forte charge) et ensuite calculer le débit d'oxygénation ainsi que le taux de recirculation des boues.

### 3.1 Le temps de séjour



$$\frac{L_f}{L_0} = \frac{1}{1 + K * X_a * t}$$

Où :

$L_f$  et  $L_0$  : DBO entrée et à la sortie

$X_a$  : Concentration en micro-organisme dans le BBA (2 à 4g/l)

$K$  : constante de réaction biologique ( $K = 0.4$  à  $0.5$ )

$t$  : temps de séjour (h)

$$t = \frac{1}{K * X_a} * \left( \frac{L_0}{L_f} - 1 \right)$$

✓ Le volume :  $V = Q * t$

✓ On détermine la charge à partir de :

**La charge massique (Cm) :** C'est la masse de nourriture entrante quotidiennement dans le bassin d'aération par rapport à la masse de boues présente dans le réacteur;

$$C_v = \frac{DBO \text{ (kg / j)}}{V \text{ (m}^3\text{)}} \qquad C_m = \frac{DBO \text{ (kg / j)}}{X_a * V \text{ (kg/MVS)}}$$

✓ Type du BBA.

**3.2 Débit d'oxygénation (kg d'O<sub>2</sub>/j) :** Débit d'oxygénation est une importance majeure dans le dimensionnement des BBA, il permet de déterminer le type et le nombre d'aérateur à installer.

$$Q_{O_2} = a' * \Delta L + b' * X_t$$

Où :

- $a' \sim 0.6$  et  $b' \sim 0.08$  (ils sont déterminée expérimentalement)
- $\Delta L = (L_0 - L_f) * Q$  (kg DBO/j)
- $X_t = X_a * V$  (kg/MVS)

Les besoins en O<sub>2</sub> d'un BBA est la somme de deux quantités, une quantité d'oxygène sera consommée par les micro-organismes pour oxyder la matière organique (a' \* ΔL) et l'autre quantité (b'\* Xt) représente les besoins propres des micro-organismes. Le débit d'oxygénation calculé doit être majoré pour tenir compte des trois paramètres qui influent sur la diffusion de l'oxygène dans l'eau (turbidité, saturation en oxygène, T°) → (α, β, θ) donc le débit d'oxygène devient :

$$Q_{O_2} = \frac{Q_{O_2}}{\alpha \cdot \beta \cdot \theta} \text{ avec } \alpha, \beta, \theta = 0.64$$

**3.3 Taux de recirculation des boues :** la recirculation des boues permet de maintenir dans le BBA une concentration en micro-organisme (X<sub>a</sub>) plus au moins constante.

$$r = \frac{X_a}{X_r - X_a}$$

Où :

- X<sub>a</sub> : Concentration des bous dans BBA
- X<sub>r</sub> : Concentration des bous soutirée
- r<sub>c</sub>: Taux de compaction des boues dans le décanteur secondaire

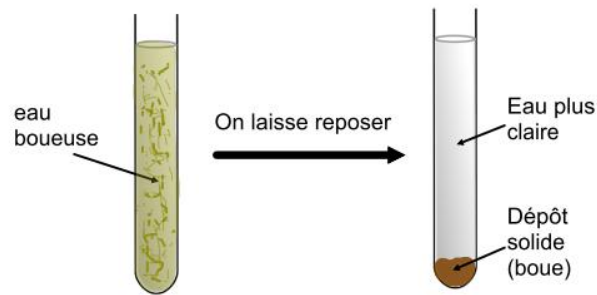
$$r = \frac{1}{r_c - 1}$$

La concentration X<sub>r</sub> des boues soutirée est déterminée à partir de l'indice de Mohlman

$$X_r = \frac{1200}{Im} \text{ (g/l)}$$

L'indice de Mohlman exprime l'aptitude des boues à la décantation

$$IM = \frac{V \text{ (cm}^3\text{)}}{M \text{ (g)}} \text{ (g/l)}$$



**Fig.IV.8.** Décantation de 30 minutes pour déterminer l'indice de Mohlman (google)

L'indice de Mohlman permet de traduire la bonne aptitude des boues à la décantation (bonne ou mauvaise décantation). Un IM compris entre 50 et 100 correspond à une très bonne décantabilité des boues. Au delà de 150 des difficultés commencent à apparaître (Tijani, 2012).

#### 4. Avantages

- Adapté pour toute taille de collectivité (sauf les très petites)
- Bonne élimination de l'ensemble de paramètres de pollution (MES, DCO, DBO<sub>5</sub>, N, par nitrification)

#### 5. Inconvénients

- Coûts d'investissement assez importants.
- Consommation énergétique importante.
- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière.

#### • Procédés naturels (extensifs)

- **Le lagunage** : Contrairement aux autres procédés de traitement biologique qui nécessitent des coûts d'investissement et d'exploitation très importants, le lagunage est un procédé rustique et peu coûteux. Le temps de séjour de l'effluent à traiter est nettement supérieur à ceux des autres traitements et oscillent entre 5 et 60 jours ce qui favorise une bonne épuration biologique. Leurs inconvénients majeurs sont :
  - Nécessite de grandes surfaces ;
  - Un rendement variable selon les conditions climatiques.

On distingue deux types de lagunage :

1. **Lagunage naturel** : Ce procédé est surtout utilisé pour les eaux de petites collectivités et présente l'inconvénient d'avoir un temps de séjour des eaux de 30 à 60 jours. La profondeur H de lagunage naturel est de l'ordre de 1m. On distingue :

1. Lagune anaérobie
2. Lagune facultative
3. Lagune de maturation (aérobie)

Le système de lagunage peut être un bon moyen d'épurer, mais il présente certains inconvénients :

- Forte production d'algue responsable des MES dans l'effluent de sortie (phénomène d'eutrophisation).
- Problème de dilution des eaux en cas de fortes pluies, d'où un changement de composition (dépendance des conditions météorologique).
- Odeurs insupportables
- Dimensionnement très difficile à réaliser (car trop de paramètres mis en jeu).
- Superficie utilisée trop importante.

Les avantages de lagunage naturel sont :

- Bonne intégration paysagère
- Absence de nuisance sonore

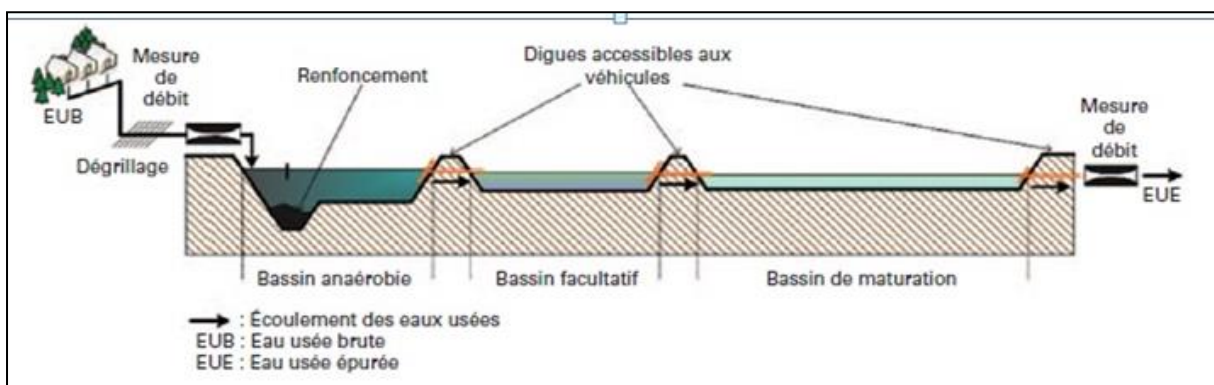


Fig.IV.9. Lagunage naturel (google)

2. **Le lagunage aéré** : Un système de lagunage aéré est composé de deux lagunes en série. L'aération forcée se fait par des aérateurs de surface (turbines flottantes ou fixes) mécanique ou à diffuseur. Il s'agit d'un procédé simple à réaliser, rapide (5 à 15 jours de temps de séjours). Parmi les inconvénients de lagunage aéré :

- Nuisance sonores liées à la présence de système d'aération
- Forte consommation énergétique
- Présence de matériels électroniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé.

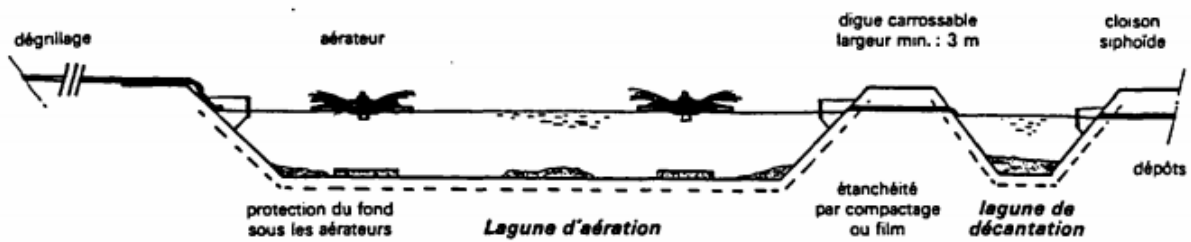
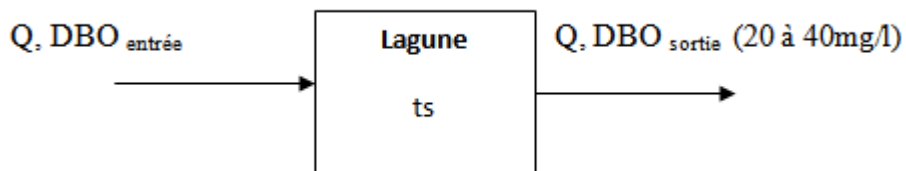


Fig.IV.10. Lagunage aéré (B. Meot et Z alamy)

1. **La lagune d'aération** : son principe de fonctionnement est similaire à celui d'un bassin à boues activées mais sans recirculation des boues. L'aération peut être de surface par aérateur ou de fond par un système d'insufflation d'air.
2. **La lagune de décantation** : Destinées à la décantation, ces lagunes doivent être aérées régulièrement au minimum une fois par deux ans.

- **Dimensionnement des lagunes** :



Le dimensionnement d'une lagune consiste à déterminer le temps de séjour nécessaire au rabatement de la DBO jusqu'à une valeur comprise entre 20 et 40mg/l.

Le temps de séjour peut être calculé par l'expression W. Echen felder :

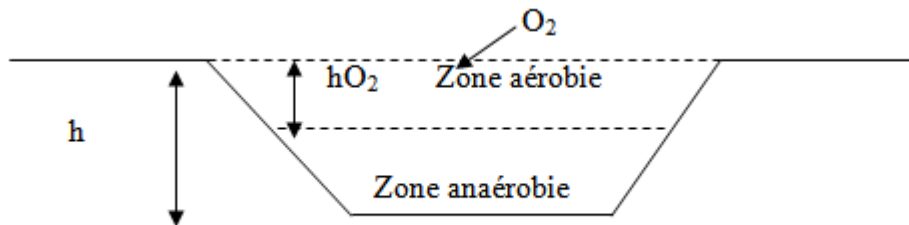
$$\frac{L_f}{L_0} = \frac{1}{1 + K * t_s}$$

Où :

- $L_0$  et  $L_f$  la concentration en  $DBO_5$  initiale et finale à l'entrée et la sortie du lit (mg/l).
  - $t_s$ : Temps de séjour.
  - $K$  : Coefficient qui exprime la vitesse de dégradation de la matière organique ( $j^{-1}$ ).
- Selon MARRAIS  $K(T) = K(20C^\circ) * 1.08^{(T-1)}$

Avec :  $K(20C^\circ)$   $\begin{cases} \longrightarrow \text{milieu aérobie } K = 0.5 j^{-1} \\ \searrow \text{milieu anaérobie } K = 0.05 j^{-1} \end{cases}$

La profondeur de pénétration d'oxygène dépend de la température ( $T^\circ C$ )



Selon  $hO_2$  on distingue trois sous types de lagunes naturelles :

- $hO_2 \ll h \rightarrow$  lagune anaérobique
- $hO_2 \geq h \rightarrow$  lagune aérobie
- $hO_2 < h \rightarrow$  lagune facultative

Une lagune facultative comprend trois zones : une zone superficielle aérobie, et une zone de fond anaérobique séparées par une zone intermédiaire appelées facultative dont l'état varie entre aérobie en été et anaérobique en hiver. Dans le cas de la lagune facultative le  $K$  est calculé comme suit (moyenne pondérée).

$$K_{\text{pondérée}} = \frac{K_1 * h_1 + K_2 * h_2}{h}$$

Dans le cas d'une lagune aérée, en plus du temps de séjour, on doit estimer le débit d'oxygénation ( $kg$  d' $O_2/l$  d' $hO_2$ ) nécessaire au rabattement de la  $DBO$ .

- $\Delta L = (L_0 - L_f)$  ( $kg$   $DBO/j$ )
- $QO_2 = QO_2$  (M O carbonée) \*  $QO_2$  (M O azotée)

En général:  $QO_2 = 0.6 \div 2.25$  ( $kg$  d' $O_2/kg$   $DB$  éliminé) (Tijani, 2012).



# **Chapitre V**

## **Le traitement des boues**

## Chapitre V : Le traitement des boues

### V.1 Principe

Tout procédé d'épuration biologique conduit à une production de boue concentrée en matière organique. Le traitement des boues est utilisé pour l'épuration des eaux résiduaires génèrent une production importante de boues et contenant de la matière organique fermentescible. Les deux principaux objectifs de la filière de traitement des boues seront donc :

- De stabiliser les matières organiques pour éviter toute fermentation incontrôlée qui entraînerait des nuisances olfactives.
- D'éliminer un maximum d'eau afin de diminuer les volumes de boues à évacuer.
- D'éliminer la pollution organique des boues avant rejet dans le milieu naturel ou réutilisation.

On distingue trois origines de boue : des boues primaires, secondaires et des boues physico-chimiques.

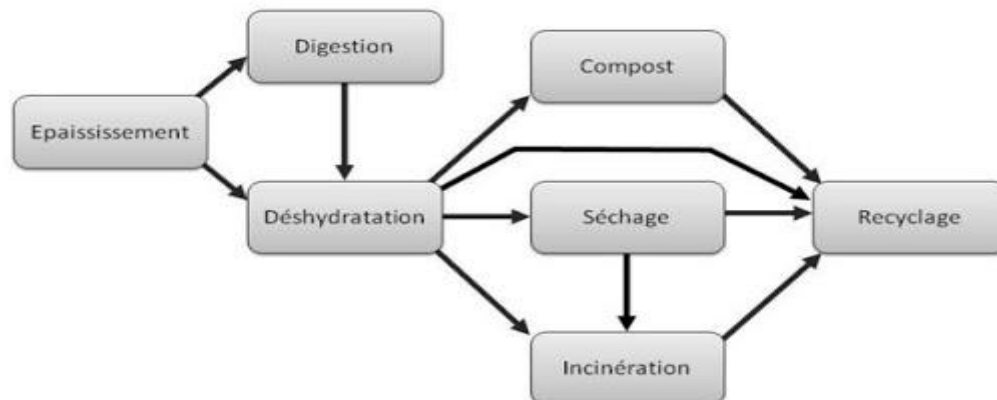


Fig.V.1. Schéma de la filière de traitement des boues (google)

### V.2 Etape de traitement des boues

La filière de traitement des boues classique est composée de trois étapes :

1. Épaississement des boues

2. Digestion des boues
3. Déshydratation des boues

Le choix et la conception de la filière boue dépend des contraintes économiques et techniques.

### V.2.1 Epaissement

La teneur en eau des boues est de l'ordre 95% et plus, l'apaisement consiste donc à réduire le volume des boues pour économiser dans les fais de digestion. L'épaissement est une technique qui se base sur la décantation statique des boues.

Le temps de séjour varie entre 3 à 15 jours selon l'aptitude des boues à la décantation  $I_m$  (indice de Mohlman). Ce sont des ouvrages cylindriques sachant que

$$D = 5 \text{ à } 40 \text{ m, } H = 3 \text{ à } 6 \text{ m, } S = \frac{Q \cdot t}{H}$$

### V.2.2 Digestion

La digestion des boues consiste à éliminer la matière organique des boues par fermentation (digestion anaérobie) en la transformant en biogaz (70% de  $CH_4$  et 30%  $CO_2$ ). La digestion des boues est une technique qui repose sur l'oxydation de la matière organique en milieu anaérobie. Pour accélérer la digestion, un préchauffage des indispensable.

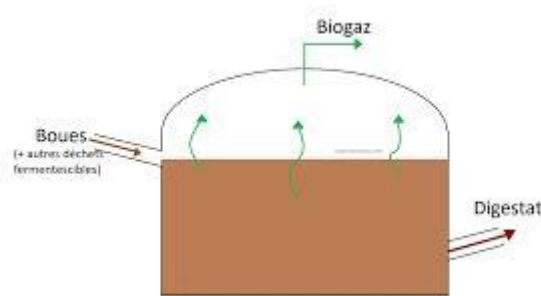


Fig.V.2.Schéma de la filière digestion des boues (google)

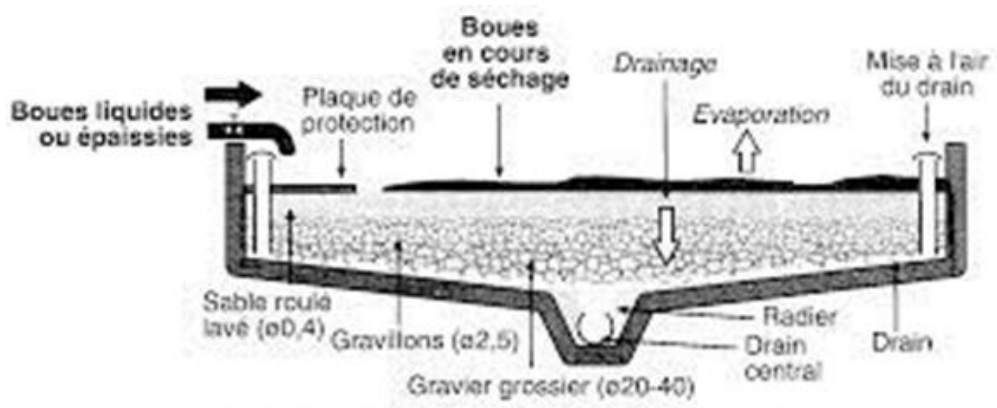
### V.2.3 Déshydratation

Afin de réduire le cout de transport des boues, une déshydratation des boues est recommandée. On distingue deux techniques de déshydratation :

- Mécanique (filtres à bandes)

- Naturelles : lits de séchage

Le choix de la technique de déshydratation dépend essentiellement des conditions climatiques, cependant une déshydratation combinée c'est-à-dire déshydratation naturelle de service et déshydratation mécanique de secours (condition climatiques défavorables).



**Fig.V.3.**Composition d'un lit de séchage (google)

La surface totale de séchage calculée à raison de 100 à 150 kg/m<sup>2</sup>\*an est devisée en plusieurs lits afin de permettre 5 à 10 rotation/an (chaque lit est utilisé 5 à 10 fois/an). Le dimensionnement de la filière boue exige un calcul préalable du bilan des boues (kg/an).

$$S = \frac{Q*t}{H}$$

Où :

t: Le temps de séjour varie généralement entre 07 et 14 jours.

H : Hauteur des couches

- Gros gravies (15 à 40cm).
- Sous couche de gravier (10 à 20 cm), gravier de Ø = 5 ÷ 15 mm
- Sable (10 à 20 cm), sable de Ø = 0.1 ÷ 0.5 mm
- Boue (30 à 40cm).

# **Deuxième partie**

## **Réutilisation des eaux épurées**

### **Chapitre I**

#### **Eaux usées et techniques de réutilisation**

## Chapitre I : Eaux usées et techniques de réutilisation

### I. Eaux usées et technique de réutilisation

Le recyclage des eaux résiduaires représente une solution pour faire face à la demande croissante des ressources hydrique pour l'irrigation agricole. Mais leur réutilisation pose des problèmes de sécurité, de réglementation et bien-sur de technique adaptée. La réutilisation maitrisée des eaux résiduaires est une des solutions d'avenir. Les applications possibles de la réutilisation sont :

- **Urbaines** : Lutte contre l'incendie, lavage de voiture, lavage de voirie, etc.
- **Agricole** : Irrigation des espaces vert, arrosage de parcs, terrains sportifs, golfs, cimetières, etc.
- **Aménagement paysagère** : cascades, fontaines, plan d'eau, piscines, bassin pour la pêche et la navigation de plaisance, etc.
- **Industrielle** : Circuits de refroidissement, les laveries industrielles, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, construction, etc.

Une autre application importante est le recyclage en immeuble avec, par exemple l'utilisation de l'eau ménagère traitée pour le lavage des sanitaires.

#### I.1. Composition des eaux usées

Les effluents d'eaux usées sont rejetés dans divers environnements tels que les lacs, les ruisseaux, les rivières, et les océans. Le contenu organique des eaux usées est constitué de matières fécales humaines, de protéines, de matières grasses, de matières végétales et des détergents. En plus de matières organiques, azotées ou phosphatées, elles peuvent contenir :

##### I.1.1. Rejets industriels

- Métaux lourds (plomb, cadmium, nickel, mercure....)
- Pyralène (PCB)
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
- Micropolluants organiques

##### I.1.2. Rejets agricoles

- Nitrate (engrais)
- Phosphore (lisier..)
- Pesticides

### I.1.3. Rejets domestiques

- Phosphore (lessive.)
- Matières organiques
- Substances médicamenteuses et cosmétiques

Substance	Origines	Effets
Hydrocarbures, essences, huiles, fioul	Transport routiers, industries, accident pétrolières, fuites lors des déchargements des pétroliers, lessivage par la pluie des zones urbaines (parking, route)	Altération des mécanismes physiologiques de tous les organismes vivant
Métaux lourds	Transports routiers industries métallurgiques et pétrochimiques, peinture et carénage des bateaux	Affectent surtout les animaux, Ralentissement de la croissance, Altération des organes
Pesticides et insecticides	Utilisation domestique, agriculture	Trouble du métabolisme et du système neurologique, Altération des processus enzymatique.
Composé azotés et phosphatés	Agriculture, aquaculture, industries agroalimentaires, eaux usées domestique.	Phénomène d'anoxie et d'eutrophisation
Détergents	Eaux usées domestiques, industries	Affectent les plantes et les algues, Effet amplifié si combinaison avec hydrocarbures
Matières en suspension	Eaux usées domestiques, lessivage des sols, industries	Diminution apport de lumière

## I.2. Traitement et stockage des eaux usées

### I.2.1 Les procédés de traitement et de désinfections supplémentaires

A l'issue des procédés décrits précédemment dans la partie d'épuration des eaux résiduaires, les eaux sont normalement rejetées dans le milieu naturel. Dans le cadre d'une REUE (réutilisation des eaux usées épurer), les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires, essentiellement pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. Ce ne sont pas des traitements d'épuration classiques mis à part le lagunage. Les procédés de traitements utilisés sont

- **Filtration** : Elimination de MES, baisse de la turbidité et barrière physique contre les micro-organismes
- **Traitement par le chlore** : Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes. Les traitements de purification et de clarification en amont ont une très grande importance pour permettre une bonne efficacité du traitement, et éviter d'avoir utilisé trop de chlore.
- **Traitement par l'ozone** : L'ozone est un procédé de désinfection utilisé aux Etats-Unis, en Afrique du Sud. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus.
- **Traitement par rayons ultraviolets** : Ce traitement utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. Leur rayonnement s'attaque directement aux micro-organismes. Ce traitement est très simple à mettre en œuvre. La durée d'exposition nécessaire est très courte (20 à 30s). L'efficacité du traitement dépend essentiellement de deux paramètres :
  - Les lampes, qui doivent être remplacées régulièrement, utilisable au bout d'un an et demi.
  - La qualité de l'effluent : les MES et certaines molécules dissoutes absorbent les UV, ce qui diminue l'efficacité des lampes.
- **Osmose inverse** : Elimination des solides dissous, dernière barrière physique contre les bactéries et les particules.



### **I.2.1 Les procédés de traitement et de désinfections supplémentaires**

- **Stockage des eaux usées :** Pour une gestion opérationnelle des volumes, les réservoirs seront assimilés à des citernes pour les ouvrages fermés ou à des bassins pour un stockage de surface. Leurs faibles temps de séjour, de 1 à 2 jours, ne permettent pas l'affinage du traitement. En théorie, ces bassins ne sont pas sujets au développement en raison des cycles fréquents de vidange et recharge. Dans la réalité, les bassins ne sont pas vidangés intégralement afin d'éviter le colmatage des ouvrages en aval. De fait, un contrôle de la qualité par le maintien de teneurs en désinfectant dans les réservoirs va permettre de limiter le développement de conditions anaérobies pour les réservoirs fermés et le développement pour les réservoirs ouverts. Des techniques de recirculation, injection d'air ou de brassage peuvent être également utilisées.

Pour une gestion saisonnière des EUE, il existe deux grands types de réservoirs: les réservoirs confinés par stockage dans l'aquifère et les réservoirs de surface (bassin, lac ou retenues). Les longs temps de séjour des EUE dans ces ouvrages permettent un affinage de la qualité. Les techniques de stockage souterraines ne sont que brièvement décrites. Pour les techniques de surface, différents modes de gestion sont proposés en fonction des objectifs de qualité à atteindre. Pour des objectifs de qualité plus souples, le réservoir peut permettre d'améliorer la qualité microbiologique des EUE et garantir l'atteinte de la qualité requise dans le respect des dimensionnements préconisés et des agencements proposés.

### **I.3. L'irrigation**

L'agriculture représente le plus grand consommateur d'eau, soit environ 70% de la demande mondiale. Le principe de base de la réutilisation agricole de l'eau est l'exigence d'un traitement adéquat des eaux usées jusqu'à un niveau de qualité spécifique au type d'usage. L'irrigation agricole était et restera le plus grand consommateur d'eau recyclée avec de nombreux avantages et bénéfices bien reconnus, notamment la contribution à la sécurité alimentaire.

Un traitement tertiaire complémentaire est souvent indispensable pour les usages à haut risque sanitaire, comme par exemple l'irrigation de cultures maraîchères consommées crues et l'irrigation d'espaces verts. Une filtration complémentaire est également nécessaire pour éviter les dépôts dans le système de distribution et/ou de réduire le risque de colmatage des dispositifs d'irrigation, notamment les buses d'aspersion et les systèmes goutte-à-goutte.

## **Chapitre II**

# **Aspect réglementaire de la réutilisation des eaux usées en irrigation**

## Chapitre II : Aspect réglementaire de la réutilisation des eaux usées en irrigation

La majorité des normes les plus récentes exigent au minimum un traitement biologique des eaux usées destinées à la réutilisation de l'eau pour l'irrigation.

L'encadrement juridique de la réutilisation des eaux usées urbaines permet de prendre en compte deux risques majeurs liés à la REUE : le risque sanitaire (microbien et chimique) et le risque environnemental (pour les eaux et le sol). Malgré le traitement et avant réutilisation, les eaux usées constituent un véritable réservoir pour les différents polluants que sont les micro-organismes pathogènes (bactérie, virus, parasites), matières en suspension (MES) et matières organiques, ou encore substances chimiques. Parmi les aspects réglementaires de la réutilisation des eaux usées, on a :

- **Aspects législatifs et sanitaires** :
  - Problèmes de santé publique liés aux agents pathogènes dans les eaux usées non traitées.
  - Absence de réglementation et des incitations à la réutilisation
  - Exploitation inappropriée et/ou qualité non-conforme.
- **Aspects économiques** :
  - Financement des infrastructures (traitement tertiaire et réseau de distribution)
  - Recouvrement des coûts aléatoires d'exploitation
  - Demande saisonnière pour l'irrigation et besoin de stockage

### II.1 Contraintes chimiques (santé, métaux lourds)

Les risques environnementaux sont surtout des risques chimiques agronomiques liés à la présence potentielle, dans l'eau recyclée, des éléments traces, de métaux lourds et des micropolluants organiques. Les mesures préventives pour la protection des risques sanitaires sont plus que suffisants pour protéger les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines. Les risques environnementaux pour la pollution des ressources en eau sont, par principe, prises en compte dans les réglementations sur la protection des zones de captage pour la production d'eau potable et pour la protection des zones sensibles. Par conséquent, les risques agronomiques majeurs sont comme suit :

- Salinité excessive du sol qui affecte la transpiration et la croissance des cultures sensibles.

- Excès de sodium qui dégrade la structure des sols argileux et qui peut provoquer une diminution de sa perméabilité
- Toxicité pour les cultures liée surtout aux concentrations élevées de bore, de sodium et des chlorures, ainsi que certains éléments traces y compris des métaux lourds apportés le plus souvent par des effluents industriels.
- Excès d'azote qui peut affecter l'équilibre de nutriments des cultures et la qualité des eaux de surface ou souterraines.

Le traitement des eaux usées n'a pas d'effet sur ces composés chimiques, la meilleure solution consiste dans le contrôle à la source des rejets d'effluents salins, de l'intrusion d'eau de mer dans les réseaux d'assainissement, de l'usage de détergents contenant du bore et des rejets industriels.

## **II.2. Contraintes microbiologiques (germes pathogènes,...)**

Une contamination microbiologique correspond à la présence de bactéries, parasites et virus pathogènes dans l'eau, c'est-à-dire capable de provoquer des maladies, ces dernières sont essentiellement d'origine fécale, leur présence dans l'eau est principalement liée au rejet d'eaux usées insuffisamment épurées dans le milieu. D'autre type de microbes peuvent aussi être transmis par la présence de cadavres d'animaux et des algues microscopiques. Ces derniers ne transmettent pas de maladies, mais elles peuvent produire des toxines potentiellement mortelles.

Les organismes pathogènes transmis par l'eau provoquent généralement des diarrhées et des gastro-entérites, mais parfois des maladies dangereuses comme le choléra ou la salmonellose. La transmission à l'homme se fait par ingestion lors de l'alimentation ou d'une baignade, ou à travers des blessures de la peau en contact avec de l'eau contaminée. Elle peut aussi intervenir en cas de consommation de coquillages comme les (moules ou les huîtres) qui concentrent les micro-organismes dans leur chair.

# **Chapitre III**

## **Technique d'élaboration de projets de réutilisation des eaux épurées**

## **Chapitre III : Technique d'élaboration de projets de réutilisation des eaux épurées**

### **III.1. Evaluation des ressources et des besoins en eaux**

L'eau est nécessaire à tous les aspects de vie. L'objectif général est de veiller à ce que l'ensemble de la population de la planète dispose en permanence d'approvisionnement suffisant en eau de bonne qualité. Cette dernière préserve les fonctions hydrologiques, biologiques et chimiques des écosystèmes, en adaptant les activités humaines à la capacité limite de la nature et en luttant contre les vecteurs des maladies liées à l'eau.

Pour fournir l'eau nécessaire aux besoins fondamentaux, il est impératif d'instaurer un contrôle de toutes les utilisations des ressources en eau et une évaluation de ces mêmes ressources. L'évaluation rapide des ressources en eaux globales d'une grande région ou d'un pays, peut être effectuée rapidement par des calculs simples avec une précision de 10% à 20%.

Il est nécessaire d'établir des systèmes intégrés de surveillance et d'information ainsi que de recueillir et d'archiver des données sur tout ce qui touche aux ressources en eau.

### **III.2. L'état de l'assainissement**

L'assainissement peut se réaliser à plusieurs niveaux, qu'on représentera par les degrés d'une échelle. Au bas de l'échelle se trouvent les pays qui n'ont aucune infrastructure d'assainissement et qui ont encore recours à la défécation à ciel ouvert. Le premier degré représente les latrines traditionnelles, qui désignent différentes sortes de fosse pour l'évacuation des excréments. Viennent ensuite les latrines améliorées qui comprennent les latrines à fosse ventilée et les toilettes. Lesquelles garantissent toutes une séparation plus hygiénique des excréments des conditions de vie immédiates. Le dernier degré représente les toilettes à chasse d'eau qui peuvent être reliées aussi bien à une fosse septique qu'à un tout-à-l'égout. A chaque degré supérieur, le coût à l'unité augmente, mais le niveau de risque sanitaire diminue proportionnellement.

### **III.3 L'étude du marché des eaux usées**

#### **III.3.1 Les répartitions des eaux usées**

Le marché du traitement des eaux usées regroupe l'ensemble des activités visant à récolter, distribuer, permettre l'usage et la récupération de ces eaux. Ces eaux doivent être

purifiées et enfin rejetées en milieu naturel, ou les remettre en circulation pour un usage humain.

Les acteurs du marché sont les collectivités, les opérateurs privés en délégation, les opérateurs publics, les instances de cadrage, les canalisateurs, les équipements et les sociétés de construction et ingénierie.

### **III.3.2 La stratégie du marché mondial des eaux usées au futur**

Le marché mondial du traitement de l'eau connaît une forte croissance tirée par des besoins de plus en plus importants dans l'agriculture, mais aussi par des secteurs qui sont aujourd'hui relativement petits mais qui deviendront très stratégiques dans les années à venir comme le dessalement.

On peut espérer à l'avenir d'avantage de circularité dans la filière, avec une meilleure réutilisation des eaux épurées et des boues d'épuration. Ces comportements durables sont grandement encouragés par les instances européennes et devraient permettre la réalisation d'économie d'échelle.

### **III.4. Etude des scénarios**

L'étude des phénomènes sociaux est souvent guidée par leur compréhension, leur analyse et leur interprétation.

L'évaluation des choix méthodologiques tient une place sans équivoque dans ces études. Cette méthodologie basée sur les scénarios qui représente également l'avantage de donner un sens à une expérience en simulant des situations de vie qui se veulent réelles et réalistes. Pour chaque scénario, nous décrirons ses caractéristiques et la construction du modèle (puis nous étudierons l'impact de ses caractéristiques à partir de données bibliographiques principalement).

Un scénario peut être formulé par une seule phrase qui décrit une situation hypothétique, où le répondant est amené à faire un choix entre deux alternatives concernant ce qui devrait se produire. La forme la plus commune de la méthode est un texte suivi de question à choix multiples. Les scénarios constituent un moyen efficace pour la détection, l'interprétation et l'organisation de l'information en matière de planification et de prise de décision stratégique.

# **Évaluation Finale**

## **Exercices & solution**



## Exercices

### Exercice 1 : (Benkhalfa, 2009)

Soit une STEP d'une agglomération de 20000 équivalents habitant, la consommation journalière par habitant est 150 l/j/hab. pour le prétraitement on propose un dégrilleur incliné à  $80^\circ$  et composé de barreaux ronds de 1.5cm de diamètre et 3 cm d'espacement

1. Calculer les dimensions de la grille et de dégrilleur
2. Déterminer la perte de charge de l'eau au passage de la grille si la vitesse est 1 m/s.

### Exercice 2 : (Benkhalfa, 2009)

Déssableur rectangulaire de largeur  $B = 50\text{cm}$  et une vitesse d'écoulement de 30cm/s. si les plus petites particules retenues dans ce déssableur avec une vitesse de chute 8 mm/s.

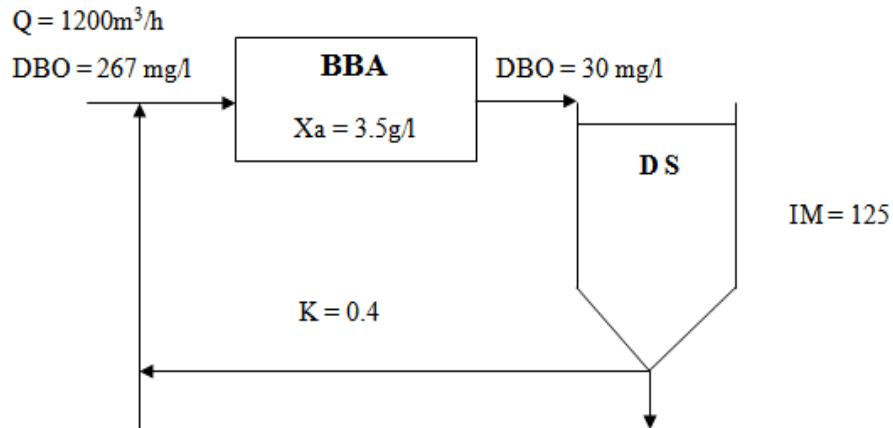
1. Déterminer pour un débit de pointe  $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{j}$ , l'équation du profil idéal
2. Déterminer la dimension de L et H.

### Exercice 3 : (Benkhalfa, 2009)

Pour l'épuration de 13 000  $\text{m}^3/\text{j}$  d'eau usée, on utilise un traitement biologique par des lits bactériens à forte charge. Si en compte d'une aération naturelle, dimensionner le système pour rabattre la DBO  $360 \text{ mg/l} \rightarrow 30\text{mg/l}$ .  $C_o = 2 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_h = 20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{j}$ .

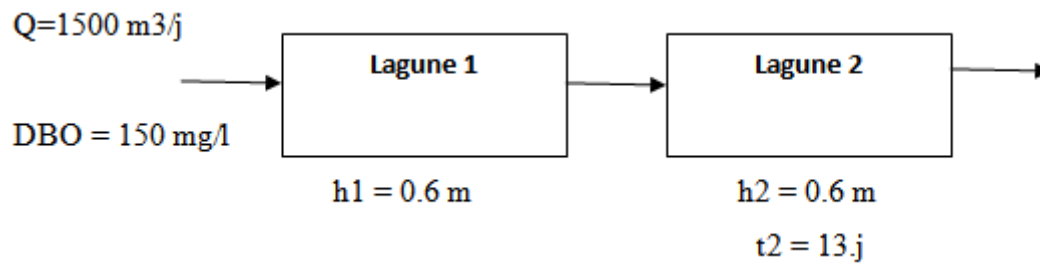
**Exercice 4 :** (Tijani, 2009)

1. Déterminer le type du BBA
2. Le débit d'oxygénation
3. Le taux de recirculation des boues



**Exercice 5 :** (Tijani, 2009)

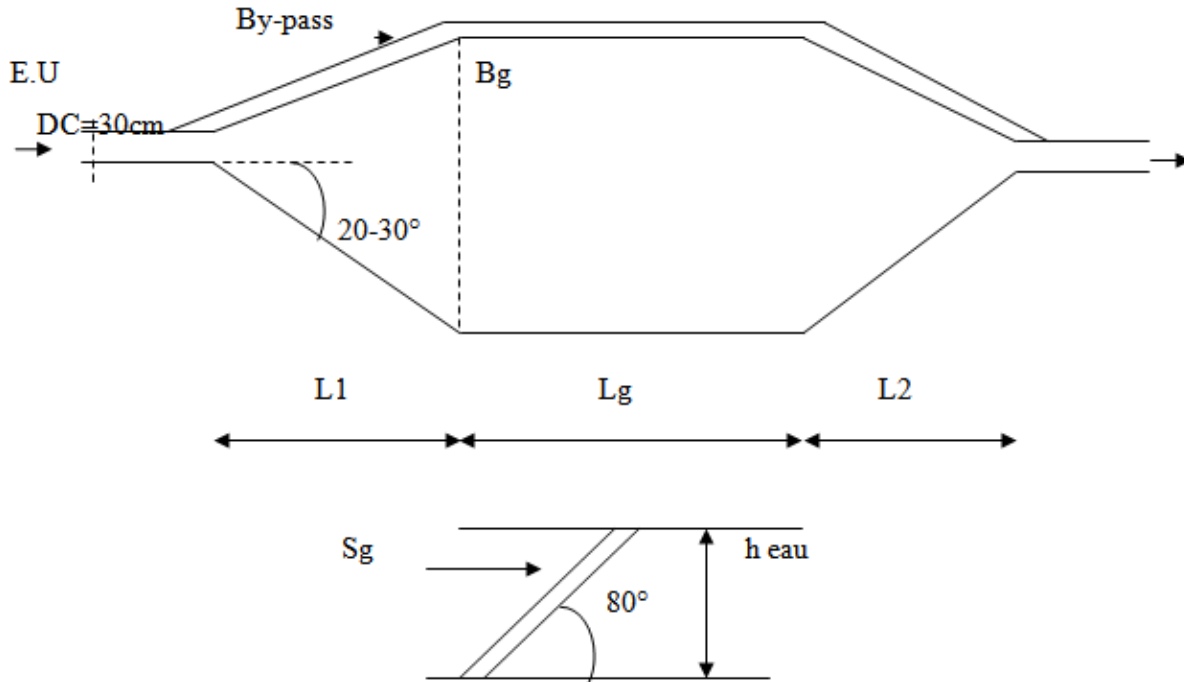
Température du site : Hiver :  $T = 10^\circ\text{C}$ , été :  $T = 30^\circ\text{C}$ . Si on suppose que la 1<sup>ère</sup> lagune est aérobie. Déterminer le type de la 2<sup>ème</sup> lagune ainsi que la DBO à la sortie.



Solution des Exercices

Solution 1

1. Calculer les dimensions de la grille et de dégrilleur



- Calcul de la population à l'horizon futur

$$P = P_0 (1 + t)^n$$

P : Population à l'horizon

$P_0$  : population actuelle (de référence)

T : Taux de croissance de la population

N : Nombre d'année de référence et l'horizon

$$P = 20\,000 (1+0.02)^{30} \longrightarrow P = 36\,227 \text{ hab}$$

- La consommation à l'horizon 2040

$$36\,227 * 150 * 10^{-3} = 5434 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Calcul le débit d'eau usée de pointe

Le débit d'eau usée représente 80% de la consommation en eau potable

$$5434 * 0.8 \longrightarrow Q_{\text{eu}} = 4347.2 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Calcul du débit de pointe de temps sec

$$Q_p = C_p * Q_m$$

Cp : Coefficient de pointe

Qm : Débit moyen des eaux usées

$$Cp = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Qm}} \quad Qm = Qeu$$

$$Cp = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{4347.2 * \frac{1000}{86400}}} \longrightarrow Cp = 1.85$$

$$Qeu = 4347.2 \text{ m}^3/\text{j} = 50.31 \text{ l/s}$$

$$Qp = 1.85 * 50.31 \longrightarrow Qp = 93.1 \text{ l/s}$$

• Calcul le nombre d'espacement

$$\beta = \frac{\emptyset}{\emptyset + e} = \frac{1.5}{1.5 + 3} \longrightarrow \beta = 0.33 \sim 0.5$$

$$ne = \frac{K * Qpr (m^3 / j)}{e * heau * Ve(1 - \beta)\delta} \longrightarrow ne = \frac{1.05 * 93.1 * 10^{-3}}{0.03 * 0.5 * 1(1 - 0.3)0.5}$$

$$\longrightarrow ne = 19.45 \sim 20 \text{ bars}$$

• Calcul la largeur de la grille

$$Bg = \emptyset(ne - 1) + ne * e \longrightarrow Bg = 1.5(20 - 1) + 20 * 3 \longrightarrow Bg = 88.5 \text{ cm} = 0.885 \text{ m}$$

• Calcul la section de la grille

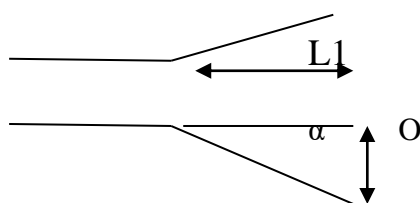
$$Sg = \frac{heau * Bg}{\sin \alpha} \quad Sg = \frac{0.5 * 0.885}{\sin 80} \quad Sg = 0.449 \text{ m}$$

• Calcul la surface de la grille

$$Se = Sg - (1 - \beta) * \delta \quad Se = 0.449 - (1 - 0.33) * 0.5 \quad Se = 0.115 \text{ m}$$

2. Calcule de la perte de charge

$$\Delta H = Kp * F \left(\frac{\emptyset b}{e}\right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} * \sin \alpha$$



$$\text{tg } \alpha = \frac{O}{L1} = \frac{\frac{Bg - DC}{2}}{L1} \quad L1 = \frac{O}{\text{tg } \alpha}$$

$$L1 = \frac{\frac{0.885 - 0.03}{2}}{0.47}$$

$$L2 = 2 * L1 = 2 * 0.622 \longrightarrow L2 = 1.244 \text{ m}$$

$$Lg = L2 + 2 * L1 + L \quad / L = (1.5 \div 2) \text{ m}$$

$$Lg = 1.244 + 2 * 0.622 + 1.5 \longrightarrow Lg = 3.36 \text{ m}$$

$$\Delta H = 2.5 * 1.79 \left(\frac{1.5}{10^{-2}}\right)^{4/3} * \frac{1}{20} \sin 80 \quad \Delta H = 40.58 \text{ m}$$

**Solution 2**

- **Calculer L**

$$B \cdot L = \frac{Q}{V_s} \quad L = \frac{Q}{V_s \cdot B}$$

$$Q = 1500 \text{ m}^3/\text{j} = 0.01736 \text{ j} \quad Q_p = 86400$$

$$L = \frac{0.01736}{0.3 \cdot 0.5} \quad L = 0.115 \text{ m}$$

- **Calculer H**

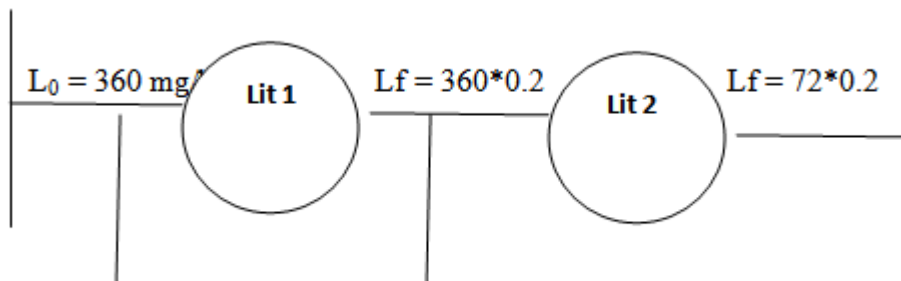
$$B \cdot H = \frac{Q}{V} \quad H = \frac{Q}{B \cdot V} \quad H = \frac{0.01736}{0.5 \cdot 0.008} \quad H = 4.34 \text{ m}$$

$$\text{IL doit } 10 < \frac{L}{h} < 15 \quad \frac{L}{H} = \frac{0.115}{4.34} = 0.026$$

**Solution 3**

$$\rho = \frac{L_0 - L_f}{L_0} \cdot 100 = \frac{360 - 30}{360} \cdot 100 \quad \rho = 91.66\%$$

donc nous devons faire la recirculation



- **La charge de mélange**

$$L_m = \frac{L_f}{1-R} = \frac{30}{1-0.8} \quad L_m = 150 \text{ mg/l}$$

- **Recirculation des eaux**

$$R = \frac{L_0 - L_m}{L_m - L_f} = \frac{360 - 150}{150 - 30}$$

- **1er lit à haute charges**

$$C_0 = \frac{Q \cdot DBO \cdot 10^{-3}}{V} = \frac{13500 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{2}$$

- Volume

$$V = \frac{13500 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{2} \quad V = 2430 \text{ m}^3$$

- Charge hydraulique

$$Ch = \frac{Q}{S} \quad S = \frac{Q}{Ch} \quad S = \frac{13500}{20} \quad S = 675 \text{ cm}^3$$

- Hauteur

$$V = S \cdot H \quad H = \frac{V}{S} = \frac{2430}{675} \quad H = 3.6 \text{ m}$$

- Rayon

$$S = \pi R^2 \quad R = \sqrt{\frac{S}{2\pi}} = \sqrt{\frac{675}{2 \cdot 3.14}} \quad R = 10.36 \text{ m}$$

$$D = 2 \cdot R \quad D = 2 \cdot 10.35 \quad D = 20.72 \text{ m}$$

- **2ème lit à haute charges**

- Volume

$$C_0 = \frac{Q \cdot DBO \cdot 10^{-3}}{V} \quad V = \frac{13500 \cdot 72 \cdot 10^{-3}}{2} \quad V = 486 \text{ cm}^3$$

- Hauteur

$$V = S \cdot H \quad H = \frac{V}{S} = \frac{486}{675} \quad H = 0.72 \text{ m}$$

La surface et le rayon sont les mêmes.  $S = 675 \text{ cm}^3$

$$H_1 - H_2 = 3.6 - 0.72 = 2.88 \text{ m}$$

# **Annexe**

Annexe 1: (Abaque de HARTHMAN), (GAID.AEK, 1984)

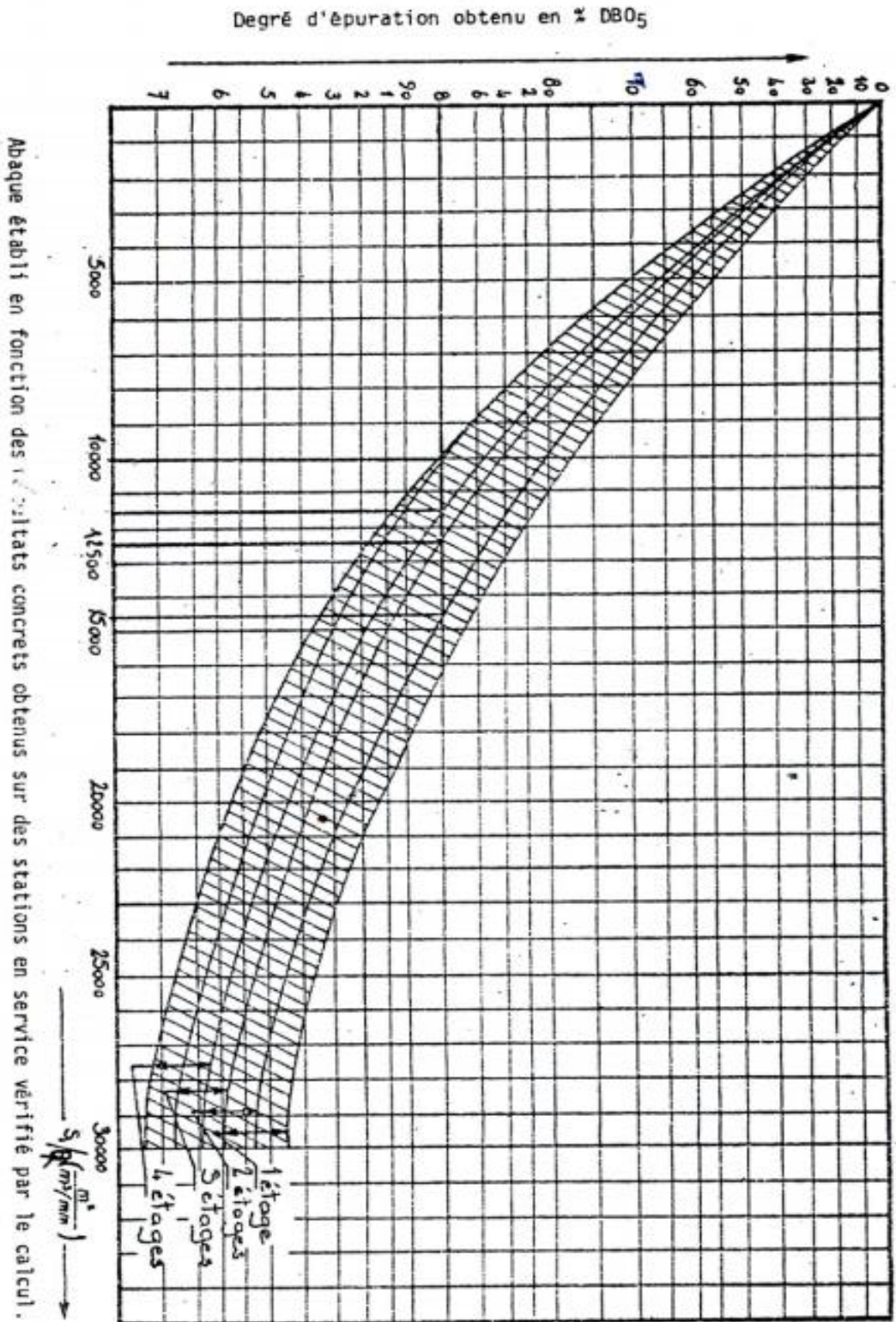


Figure (IV, 41)

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



Annexe 2 : (Abaque 2), (GAID.AEK, 1984)

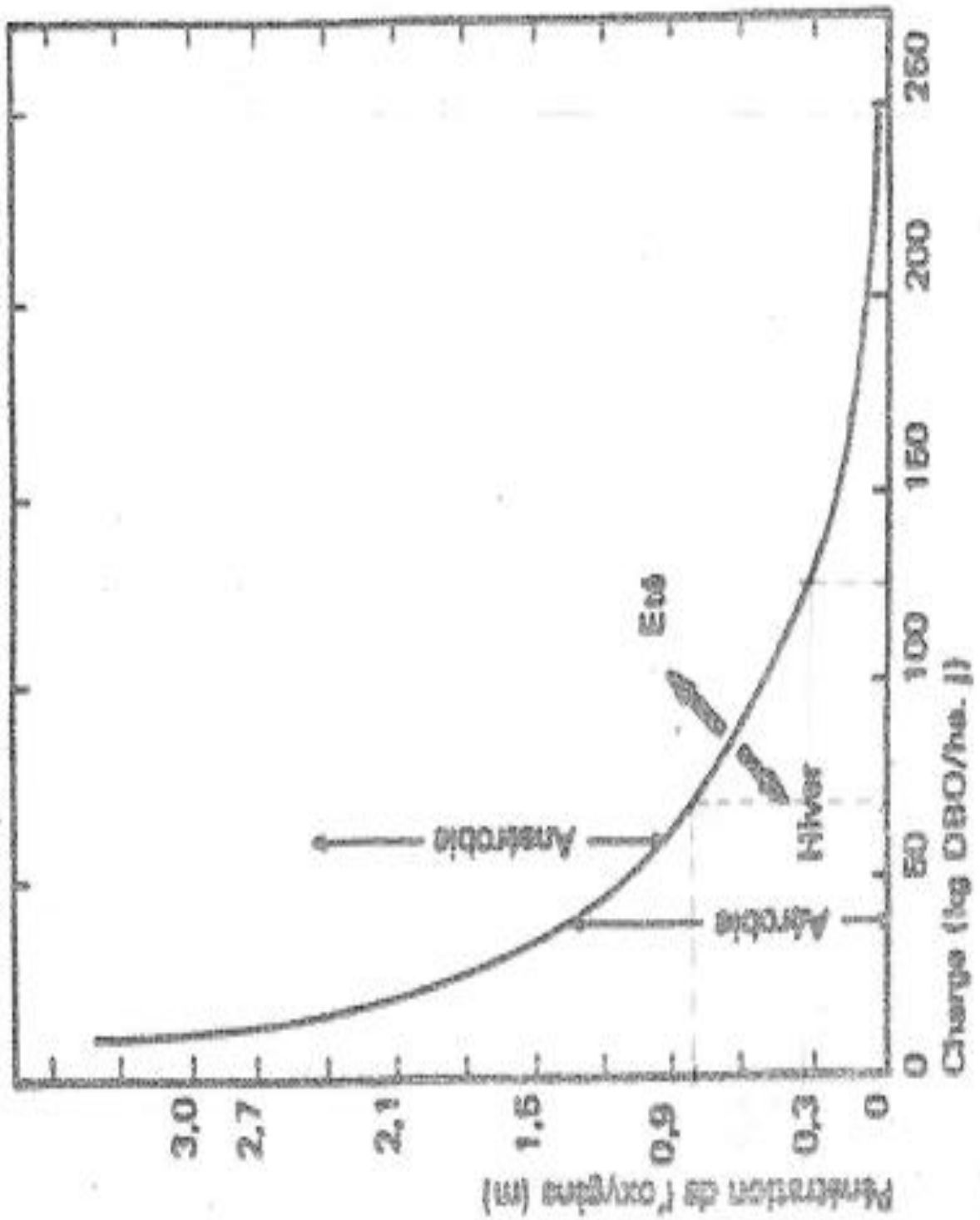


Fig. 9.47.-

## Références bibliographique

- **ABIBSI N**, Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phytoepuration ) pour l'irrigation des espaces verts application á un quartier de la ville de biskra, thèse de magister a Biskra (Algérie), 2011
- **B.Meot et Z Alamy.**, Réglementation des rejets urbains traitement de finition par géo épuration. BRGM, livre d'entreprise au service de la terre, France 1990.
- **BENKHALFA, B**, 2009, cours et exercices, Epuration des eaux usées, Licence L3, Hydraulique, USTO-MB.
- **CINDY Bassompierre**. Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. domain\_sticing. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2007. Français. ff tel-00130907f.
- **CLAUDE Boeglin**. Traitement biologique des eaux résiduaires. Revue techniques de l'ingénieur, Doc J 3 942
- **JORA (1993)**. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels. Journal Officiel de la République Algérienne, Décret exécutif N° 93-160 du 1993.
- **JESTIN, E**. La production et le traitement des eaux destinées `a l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaire. Agence de l'eau Seine-Normandie. (2006).  
<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0910/bei/beiere/groupe3/node/118.html>.
- **HATEM Dhaouadi**, *Traitement des eaux usées urbaines, université virtuelle de Tunis, 2008*
- **GAID, AEK**, 1984, épuration biologique des eaux usées, Tome 1 et 2.
- **METAHRI**, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou, thèse de doctorat à université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie). 2012
- **MOTTIER V.**; wastewater treatment by infiltration percolation: a case study, In Water Science and Technology. 2000 Vol. 41. PP. 77-84 [3] JEAN
- **Office international de l'eau**. Guide des procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500 - 5000 Eq-hab). [En ligne]. Janvier 2001. <http://www.oieau.org>.
- **RODIER et al**, Les pathogènes émergents, la veille internationale et le Règlement sanitaire international, Médecine et maladies infectieuses 36 (2005)

- **SADOWSKI, A., G.** Méthode de calcul d'une filière de traitement " Boues activées - Très faible charge - Nitrification et dénitrification - traitement de phosphore ". Laboratoire SHU-ENGEES., (2002).
- **SALGHI, R.** (2004). Dimensionnement d'une Station d'épuration par boues activées. Note théoriques, Ecole Nationale des sciences appliquées-Agadir, Maroc.
- **TIZGHADAM Ghazani Mostafa.**, Etude Des Performances Et Optimisation D'un Réacteur Cascade A Biomasse Hybride Pour Le Traitement Des Eaux Usées Urbaines, Thèse de doctorat à l'école doctorale de LIMOGES, France., 2007.
- **TIJANI AEB, (2010)**, cours et exercices, Epuration des eaux usées, Master I, TEE, Hydraulique, USTO-MB.
- **YOHAN Falcon.** Les ouvrages de génie civil des stations d'épuration des petites collectivités : conception et dimensionnement rapide. Architecture, aménagement de l'espace. 2010. ffdumas-00576804f