

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Gabès

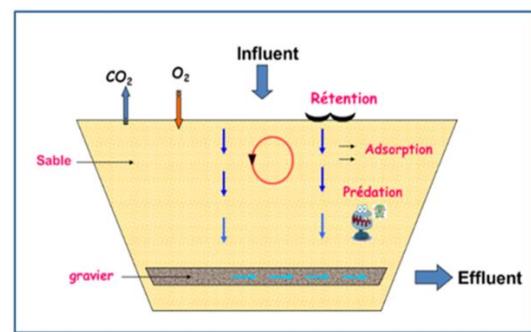
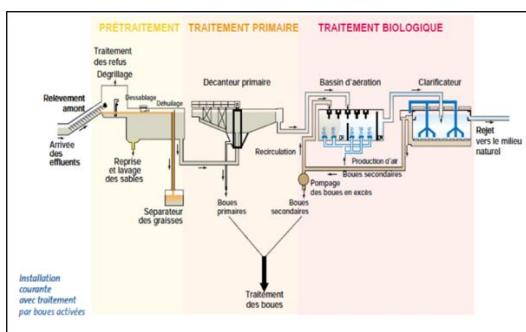
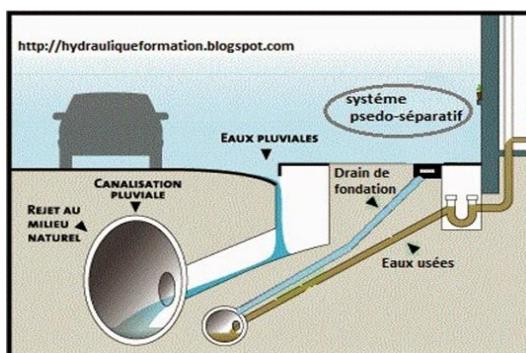
Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès



Cours destiné aux étudiants de LA3-GE

# Traitemen~~t~~ des eaux usées

Élaboré par : Mahmoud BALI



A.U : 2022-2023

## *Avant-propos*

Ce cours s'adresse aux étudiants de la troisième année Licence Génie de l'eau (LA3-GE) de l'Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès.

Il met l'accent sur les principaux procédés physico-chimiques et biologiques de traitement des eaux usées couramment utilisés. Dans ce document, ces procédés d'épuration sont présentés de façon très simple pour permettre une compréhension aisée de la logique du traitement des eaux résiduaires et des différents mécanismes mis en œuvre.

Ce cours est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre présente quelques généralités sur les eaux usées.

Le deuxième chapitre expose les différentes phases de traitement des eaux résiduaires mises en œuvre au sein des stations d'épuration.

Le dernier chapitre présente les filières extensives d'épuration des eaux résiduaires.

## Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
<b>Introduction générale</b>	6
<b>Chapitre I : Généralités sur les eaux usées</b>	8
I- Généralités sur les eaux usées	9
I-1- Introduction	9
I-2- Définition des eaux usées	9
I-3- Classification des eaux usées	9
I-3-1- Les eaux usées domestiques	9
I-3-2- Les eaux usées industrielles	9
I-3-3- Les eaux agricoles	10
I-3-4- Les eaux pluviales	10
I-4- Caractéristiques des eaux usées	10
I-4-1- Paramètres physico-chimiques	10
I-4-1-1- La température	10
I-4-1-2- Le potentiel Hydrogène (pH)	10
I-4-1-3- Les matières en suspension (MES)	11
I-4-1-4- La couleur	11
I-4-1-5- La conductivité électrique (CE)	11
I-4-1-6- L'oxygène dissous	11
I-4-1-7- La Demande Chimique en Oxygène (DCO)	11
I-4-1-8- La Demande Biologique en Oxygène (DBO)	12
I-4-1-9- La biodégradabilité	12
I-4-1-10- L'azote	12
I-4-1-11- Le phosphore	13
I-4-1-12- Les métaux lourds	13
I-4-2- Paramètres microbiologiques	13
I-5- Collecte des eaux usées	13
<b>Chapitre II : Traitement des eaux usées</b>	16
II- Traitement des eaux usées	17

II-1- Les différentes phases de traitement des eaux usées au sein d'une station d'épuration	18
II-1-1- Les prétraitements	18
II-1-1-1- Le dégrillage	18
II-1-1-2- Dessablage, déshuilage, dégraissage	19
II-1-2- Traitement primaire	20
II-1-3- Traitement secondaire : Epuration biologique	24
II-1-4- Traitement tertiaire	26
<b>Chapitre III : Filières extensives d'épuration des eaux usées</b>	28
IV- Filières extensives d'épuration des eaux usées	29
IV-1- L'infiltration-percolation	29
IV-2- Les filtres plantés de roseaux	31
IV-3- Le lagunage	34
<b>Conclusion générale</b>	36
<b>Références bibliographiques</b>	37

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Système de collecte unitaire avec un déversoir d'orage .....	14
<b>Figure 2 :</b> Réseaux (unitaire et séparatif) de collecte des eaux usées .....	15
<b>Figure 3 :</b> Système de collecte pseudo-séparatif .....	15
<b>Figure 4 :</b> Schéma d'une fosse septique .....	17
<b>Figure 5 :</b> Représentation schématique d'une station l'épuration.....	18
<b>Figure 6 :</b> Dessableur – Dégraisseur .....,	20
<b>Figure 7 :</b> Schéma simplifié d'un décanteur à flux vertical .....	22
<b>Figure 8 :</b> Schéma simplifié du principe de la décantation .....	22
<b>Figure 9 :</b> Décanteur rectangulaire à racloir .....	22
<b>Figure 10 :</b> Décanteur lamellaire .....	23
<b>Figure 11 :</b> Principe de l'épuration biologique aérobie .....	25
<b>Figure 12 :</b> Schéma de principe de la nutrition bactérienne .....	29
<b>Figure 13 :</b> Schéma simplifié du principe de fonctionnement de l'infiltration-percolation.....	29
<b>Figure 14 :</b> Schéma type d'une installation à procédé d'infiltration-percolation .....	30
<b>Figure 15 :</b> Schéma d'une coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical.....	33
<b>Figure 16 :</b> Schéma d'une coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal .....	34
<b>Figure 17 :</b> Schéma montrant le principe du fonctionnement de lagunage naturel.....	35

## Liste des photos

<b>Photo 1 :</b> Dégrilleur manuel à grille oblique .....	19
<b>Photo 2 :</b> Décanteur à flux vertical .....	21
<b>Photo 3 :</b> Décanteur à flux horizontal .....	23
<b>Photo 4 :</b> Décanteur lamellaire .....	23
<b>Photo 5 :</b> Clarificateur .....	26

## **Introduction générale**

Face à la rareté des ressources en eau et aux défis environnementaux liés au changement climatique, de nombreux pays envisagent sérieusement des politiques de gestion durable des ressources en eau pour répondre aux besoins croissants de leur population sans mettre en danger l'environnement.

Le rejet d'eaux usées non traitées ou insuffisamment traitées dans l'environnement a des effets néfastes sur la biodiversité et la santé humaine. C'est pour cette raison que le traitement des eaux usées est devenu aujourd'hui une priorité et une nécessité pour protéger l'environnement et la santé publique.

Le traitement des eaux usées vise à protéger l'environnement tout en favorisant la gestion durable des ressources en eau par la réutilisation des eaux usées traitées. Le processus est basé sur la séparation physico-chimique et la dégradation biologique.

Dans une station d'épuration des eaux usées, un schéma fonctionnel définit les différents procédés de traitement adoptés selon les objectifs fixés. Des procédés optimisés garantissent des eaux usées répondant aux normes de qualité physico-chimique et microbiologique tout en minimisant les coûts et la maintenance.

L'objectif principal du traitement des eaux usées urbaines est de réduire la demande biologique en oxygène (DBO), les matières en suspension (MES) et les polluants azotés et phosphatés [1].

Ces dernières années, la politique environnementale tunisienne a mis l'accent sur le concept de développement durable. Compte tenu de la croissance démographique, le traitement des eaux usées urbaines est essentiel pour protéger l'environnement et pallier les pénuries d'eau. Cette politique est mise en œuvre grâce à l'adoption de réglementations qui établissent des normes pour le rejet et la réutilisation des eaux usées traitées ainsi que les types de traitement requis pour atteindre ces normes. Actuellement, la Tunisie compte 115 installations de traitement des eaux usées réparties dans tous les gouvernorats. Le traitement des eaux usées est devenu une priorité et un impératif pour maintenir la qualité des ressources en eau, de l'environnement et de la santé humaine. L'objectif est de collecter les eaux usées et d'éliminer les contaminants avant de les rejeter dans la nature ou de les réutiliser sans risques sanitaires ou environnementaux.

Il est largement reconnu que le développement durable nécessite de prendre en compte les préoccupations socio-économiques et environnementales, parmi lesquelles l'eau est la plus importante. Les multiples menaces posées par la croissance démographique et économique d'une part, et par le changement climatique mondial et la pollution de l'environnement d'autre part, créent une crise des ressources en eau disponibles.

Le traitement des eaux usées est essentiel pour préserver les ressources naturelles, protéger la santé humaine et soutenir le développement durable. En éliminant les polluants, les micro-organismes pathogènes et les substances toxiques, il contribue à réduire l'impact des activités humaines sur les écosystèmes aquatiques. De plus, la réutilisation de l'eau traitée contribue à réduire la pression exercée sur les ressources en eau, en particulier dans les zones touchées par le stress hydrique et la sécheresse. En promouvant une approche circulaire de la gestion des ressources, cette initiative s'avère être une réponse efficace aux défis posés par le changement climatique, la croissance démographique et l'urbanisation croissante. La mise en œuvre de systèmes de traitement efficaces et appropriés constitue donc une priorité absolue pour assurer une gestion durable de l'eau à long terme.

# **Chapitre I : Généralités sur les eaux usées**

## I- Généralités sur les eaux usées

### I-1- Introduction

Quelle que soit leur source, les eaux usées peuvent être contaminées par des polluants et constituer de graves menaces pour l'environnement et la santé des consommateurs. Il est donc important de ne pas les jeter directement dans la nature. Il faut plutôt les traiter dans une station d'épuration où le maximum de polluants est éliminé afin de respecter les normes actuelles en matière de qualité des effluents.

### I-2- Définition des eaux usées

Selon Laisek [2], les eaux usées sont des eaux contaminées par des polluants physiques, chimiques ou biologiques, principalement en raison des activités humaines, et qui ont le potentiel de polluer l'environnement dans lequel elles sont rejetées. Le terme « eaux usées » désigne les eaux provenant de diverses sources qui ont été contaminées par des polluants à la suite d'utilisations domestiques, industrielles ou agricoles et qui ont perdu leur pureté d'origine, c'est-à-dire leurs caractéristiques naturelles.

### I-3- Classification des eaux usées

Selon l'origine des eaux usées, on distingue quatre grandes catégories : les eaux usées domestiques, les eaux usées industrielles, les eaux issues des activités agricoles et les eaux pluviales.

#### I-3-1- Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles se répartissent en eaux ménagères (eaux de cuisine et de salle de bain) et sont chargées de solvants, de graisses, et de détergents et en eaux-vannes provenant des rejets des toilettes et sont chargées de matières organiques et azotées, et de germes fécaux.

#### I-3-2- Les eaux usées industrielles

Les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées industrielles varient en fonction du type de l'industrie dont elles sont issues. Ces eaux sont souvent

chargées de polluants toxiques et doivent faire l'objet d'un prétraitement en aval de l'industrie avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte.

### **I-3-3- Les eaux agricoles**

L'agriculture est une source majeure de pollution de l'eau, principalement par l'utilisation d'engrais et de pesticides, et constitue une cause majeure de pollution diffuse [3]. Lorsque le ruissellement agricole provenant des terres cultivées contient des niveaux élevés de nitrates et de phosphates, ou lorsque les quantités dépassent la capacité du sol à les retenir ou la capacité des plantes à les absorber, il devient du ruissellement, enrichissant les eaux de surface, les rivières et les réservoirs de substances contenant de l'azote et du phosphate.

### **I-3-4- Les eaux pluviales**

Elles peuvent être chargées de divers polluants (huiles, hydrocarbures, résidus de pneu, métaux lourds) provenant essentiellement du ruissellement sur les toitures et les chaussées. Ces eaux chargées d'impuretés entraînent la dégradation de la qualité des ressources d'eau naturelles.

## **I-4- Caractéristiques des eaux usées**

Les eaux usées contiennent plusieurs types de polluants dont la nature varie en fonction de leur provenance urbaine, industrielle ou domestique. Afin de caractériser les eaux usées, plusieurs paramètres physico-chimiques et microbiologiques peuvent être mesurés.

### **I-4-1- Paramètres physico-chimiques**

#### **I-4-1-1- La température**

Il est essentiel de mesurer la température de l'eau, car elle influence plusieurs paramètres importants tels que la solubilité des sels et des gaz et les processus biologiques.

#### **I-4-1-2- Le potentiel Hydrogène (pH)**

Le pH est un paramètre fondamental pour évaluer la qualité et l'état de l'eau. Il affecte la solubilité des nutriments et des métaux dans l'eau, influençant ainsi la biodiversité aquatique. C'est un indicateur clé pour comprendre l'origine de l'eau.

#### **I-4-1-3- Les matières en suspension (MES)**

La mesure de la teneur en matières en suspension (MES) dans les eaux usées est un paramètre essentiel. Les MES constituent un indicateur clé de la charge polluante des eaux usées. Leur concentration reflète la présence de particules solides non dissoutes, souvent associées à des polluants organiques ou inorganiques. L'évaluation de la teneur en MES est cruciale pour dimensionner correctement les systèmes de traitement, tels que les bassins de décantation et les filtres.

#### **I-4-1-4- La couleur**

La couleur de l'eau est un paramètre important pour évaluer sa qualité et détecter les sources de contamination. La présence de couleur dans l'eau peut être causée par des polluants industriels (teintures, métaux lourds) ou des matières en suspension. La couleur peut interférer avec les processus de traitement de l'eau, notamment la désinfection ou l'adsorption sur charbon actif. Elle peut également indiquer la présence de composés qui nécessitent un traitement spécifique.

#### **I-4-1-5- La conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique (CE) de l'eau est une mesure importante pour évaluer la qualité de l'eau. Elle reflète la capacité de l'eau à conduire le courant électrique et est directement liée à la concentration totale d'ions dissous (sels minéraux). La conductivité est exprimée en microsiemens par centimètre. En mesurant la conductivité électrique, la minéralisation totale de l'eau peut être évaluée [4].

#### **I-4-1-6- L'oxygène dissous**

L'oxygène dissous est un paramètre fondamental pour évaluer la qualité de l'eau. Il représente la quantité d'oxygène moléculaire ( $O_2$ ) dissous dans l'eau, exprimée généralement en milligrammes par litre (mg/L). Dans les stations d'épuration, la mesure de la teneur en  $O_2$  dissous est cruciale pour garantir l'efficacité des traitements biologiques.

#### **I-4-1-7- La Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

La Demande Chimique en Oxygène est un paramètre clé dans l'évaluation de la qualité de l'eau usée. Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement

la matière organique et certains composés inorganiques présents dans l'eau. Elle est exprimée en mg/L.

#### I-4-1-8- La Demande Biologique en Oxygène (DBO)

La demande biologique en oxygène est un indicateur important pour évaluer la qualité de l'eau, en particulier pour les eaux usées. Cela correspond à la quantité d'oxygène dissous nécessaire aux micro-organismes pour décomposer biologiquement la matière organique présente dans l'eau sur une période de temps (généralement 5 jours à 20° C) ( $\text{DBO}_5$ ). La DBO est exprimée en milligrammes par litre (mg/l) et représente la charge de matière organique biodégradable dans un échantillon. La DBO est utile pour dimensionner et optimiser les stations d'épuration biologique des eaux usées.

#### I-4-1-9- La biodégradabilité

La biodégradabilité représente la capacité d'un effluent à être dégradé ou oxydé par des micro-organismes impliqués dans les processus d'épuration biologique de l'eau. Elle est quantifiée par un coefficient K, calculé selon la relation :

$$K = \text{DCO}/\text{DBO}_5 \quad (1)$$

Les interprétations de ce coefficient sont les suivantes :

- **$K < 1,5$**  : les matières oxydables sont majoritairement très biodégradables ;
- **$1,5 < K < 2,5$**  : les matières oxydables présentent une biodégradabilité moyenne ;
- **$2,5 < K < 3$**  : les matières oxydables sont faiblement biodégradables ;
- **$K > 3$**  : les matières oxydables sont considérées comme non biodégradables ;

La valeur de K permet de guider le choix de la filière de traitement la plus adaptée [3].

#### I-4-1-10- L'azote

L'azote présent dans l'eau existe principalement sous deux formes : organique et minérale. L'azote organique comprend des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés et de l'urée et est généralement présent en faibles concentrations. En revanche, l'azote inorganique, composé principalement d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) et de nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), constitue la majorité de l'azote total dans l'eau [5].

#### **I-4-1-11- Le phosphore**

Le phosphore est présent dans les eaux usées sous forme de sels inorganiques et de composés organiques dérivés de matières biologiques. Ce nutriment joue un rôle important dans la croissance microbienne en contribuant à la formation de nouvelles cellules. Il provient principalement des détergents ménagers et des engrains agricoles. Le phosphore est présent dans les eaux usées principalement sous forme d'orthophosphates.

Le rejet d'eaux usées contaminées par de l'azote et du phosphore peut entraîner l'eutrophisation de certains plans d'eau tels que les lacs et les rivières.

#### **I-4-1-12- Les métaux lourds**

Les métaux lourds existent dans l'eau sous différentes formes : colloïdales, solubles ou en suspension. Les métaux solubles existent sous forme d'ions simples ou complexes, tandis que les matériaux colloïdaux et les particules en suspension contiennent des sels ou des composés insolubles liés à des matières organiques ou à des particules d'argile [6]. Les métaux lourds les plus fréquemment retrouvés dans les eaux usées sont le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn).

#### **I-4-2- Paramètres microbiologiques**

Les eaux usées contiennent une variété de micro-organismes fécaux (champignons, bactéries, virus, protozoaires et helminthes), dont certains peuvent être pathogènes [7]. Les bactéries sont les micro-organismes les plus abondants dans les eaux usées [8]. Les bactéries indiquant une contamination fécale comprennent les coliformes, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.

### **I-5- Collecte des eaux usées**

L'évacuation des eaux domestiques, industrielles et pluviales doit être planifiée selon une approche stratégique prenant en compte divers critères socio-économiques. La collecte des eaux repose sur un réseau hydraulique soigneusement conçu pour transporter l'eau hors des zones urbaines dans des conditions de débit optimales, avec un impact minimal sur les résidents environnants [9].

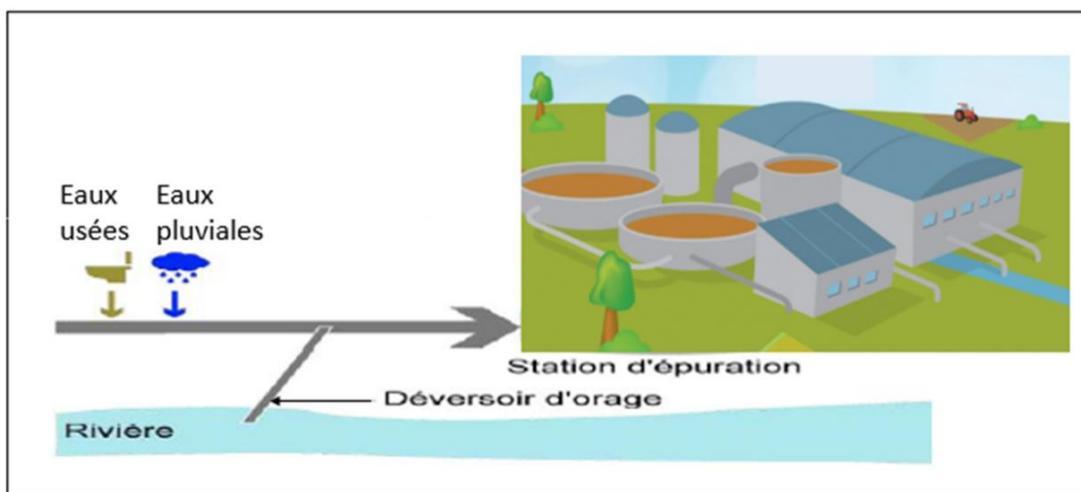
On distingue trois principaux types de système de collecte :

- Système de collecte unitaire ;

- Système de collecte séparatif ;
- Système de collecte pseudo-séparatif.

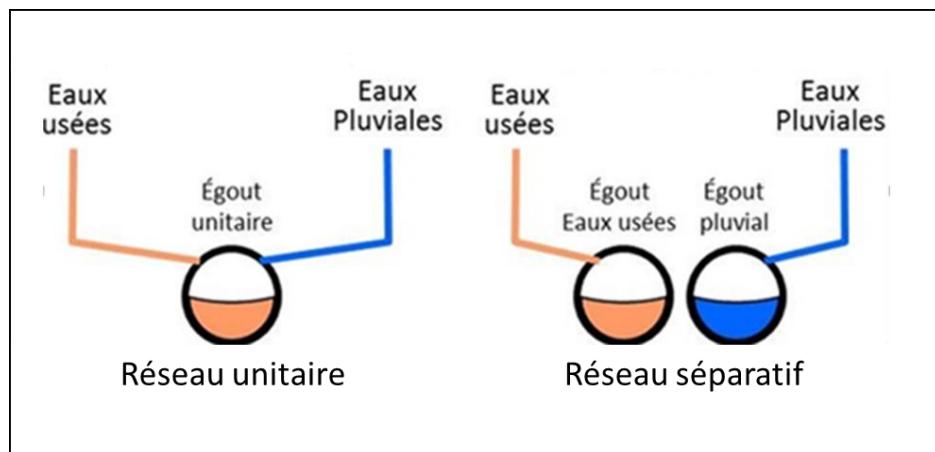
Dans un réseau de collecte combiné, les eaux usées domestiques et les eaux pluviales sont évacuées dans la même canalisation. Pour éviter que les stations d'épuration ne reçoivent des débits dépassant leur capacité, des ouvrages de dérivation sont répartis sur ce type de réseau (Figure 1). En revanche, dans un système de collecte séparée, l'eau domestique est collectée dans un réseau et l'eau de pluie est collectée dans un autre réseau (Figure 2). Les systèmes de pseudo-séparation sont conçus pour collecter à la fois les eaux usées rejetées directement de la maison et une partie des eaux pluviales. On distingue deux types d'eaux pluviales :

- Eaux de pluie provenant des toits et des terrasses. Le système de collecte est raccordé au réseau d'égouts par les mêmes raccordements que les eaux usées domestiques.
- Eaux de pluie provenant de la surface de la route (Figure 3).



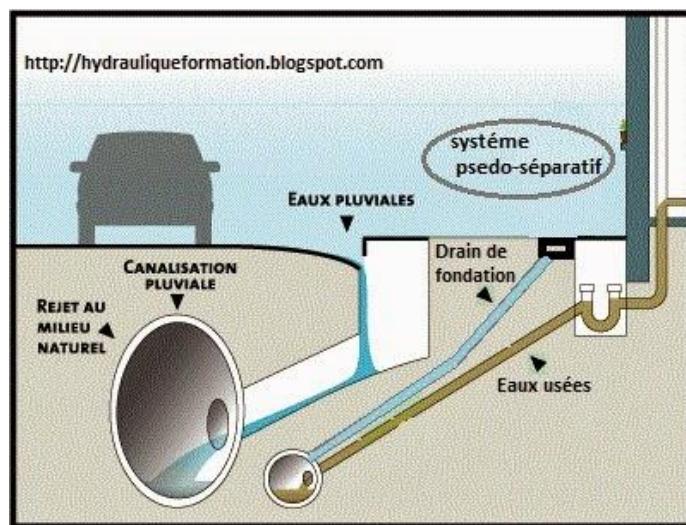
**Figure 1 :** Système de collecte unitaire avec un déversoir d'orage

[Source : <https://hal.science/hal-04838747v1/file/Cours%20Traitement%20des%20eaux.pdf>]



**Figure 2 :** Réseaux (unitaire et séparatif) de collecte des eaux usées

[source : <https://formation.xpair.com/cours/reseaux.htm>]



**Figure 3 :** Système de collecte pseudo-séparatif [9]

## **Chapitre II : Traitement des eaux usées**

## II-Traitement des eaux usées

L'objectif du traitement des eaux usées est de réduire les contaminants (organiques et minéraux) contenus dans l'eau avant qu'elle ne soit rejetée dans le milieu naturel ou réutilisée [10].

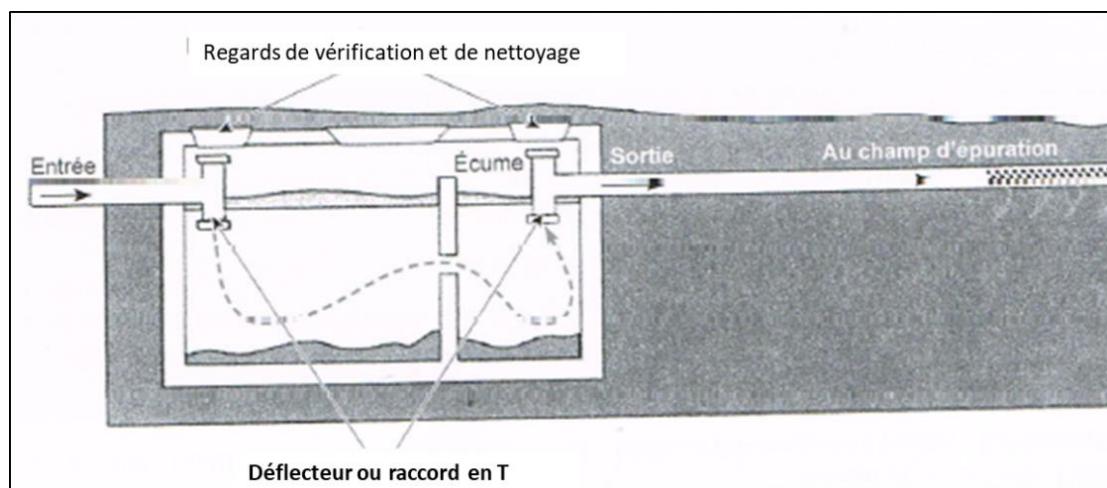
Il existe deux types d'assainissement des eaux :

- Assainissement collectif :

Il s'agit d'un système de traitement des eaux usées municipales auquel sont raccordés les effluents urbains. Les eaux usées sont collectées et transportées via un réseau de canalisations jusqu'à une station d'épuration où elles sont dépolluées. Ce type de traitement des eaux usées concerne principalement les zones densément peuplées ;

- Assainissement non collectif (ou individuel ou autonome) :

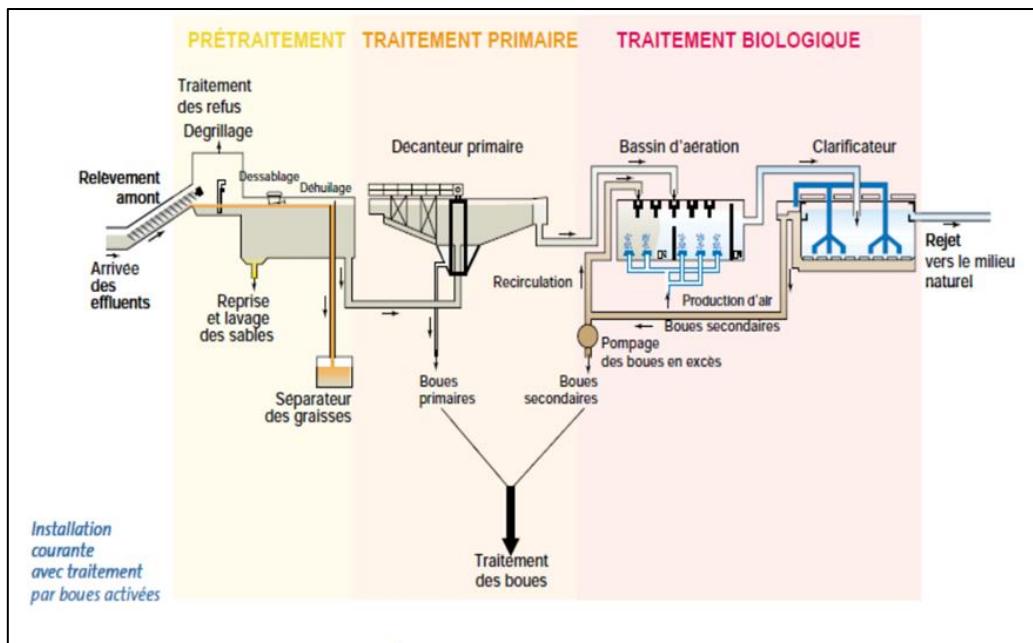
Il s'agit des effluents qui ne sont pas raccordés au réseau public de collecte des eaux usées [11]. Le système d'assainissement autonome se compose d'une installation de prétraitement et d'une installation de traitement qui utilise le pouvoir auto-épurateur du sol. Ce type de traitement des eaux usées concerne principalement les zones à habitations dispersées. Selon Schriver-Mazzuoli [12], un système d'assainissement autonome non collectif doit comprendre une fosse septique ou un puisard (Figure 4), un système de ventilation de la fosse septique et un décanteur.



**Figure 4 :** Schéma d'une fosse septique [12]

## II-1- Les différentes phases de traitement des eaux usées au sein d'une station d'épuration

Les eaux usées sont transportées via des réseaux de collecte uniformes ou séparés vers des stations d'épuration, où elles subissent une série d'étapes de traitement utilisant des processus physiques, physico-chimiques et biologiques [13]. En fait, les procédés classiques de traitement des eaux usées comprennent plusieurs étapes de traitement successives : prétraitement, traitement primaire, traitement secondaire, souvent biologique, et traitement tertiaire (Figure 5).



**Figure 5 :** Représentation schématique d'une station d'épuration [14]

### II-1-1- Les prétraitements

Le prétraitement consiste en des étapes physiques visant à éliminer les déchets grossiers, le sable, les huiles et les graisses des eaux usées brutes. Il est principalement utilisé pour protéger les ouvrages de la STEP. Les systèmes de prétraitement sont situés en tête de la station d'épuration et consistent en un dégrillage, un dessablage et un déshuillage/dégraissage [15].

#### II-1-1-1- Dégrillage

Il s'agit de la première étape de prétraitement. L'objectif est de réduire les déchets encombrants. L'efficacité du dégrillage dépend de l'espacement des barreaux du

dégrilleur utilisé. Selon l'espacement des barres, il existe trois principaux types de dégrillage : le pré-dégrillage avec un espacement des barreaux de 30 à 100 mm, le dégrillage moyen avec un espacement des barreaux de 10 à 30 mm et le dégrillage fin avec un espacement des barreaux inférieur à 10 mm (Photo 1).



**Photo 1 :** Dégrilleur manuel à grille oblique

[Source : <https://www.equipwater.com/fr/equipements/degrillage/degrilleur-incline-mono-screen/>]

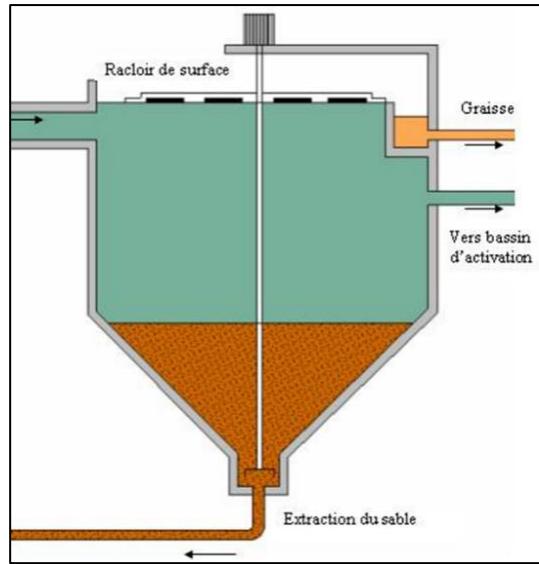
### **II-1-1-2- Dessablage, déshuilage, dégraissage**

Le dessablage consiste généralement à éliminer le sable et le gravier des eaux usées à l'aide de pompes et de souffleurs [12]. C'est un processus de décantation. Il existe plusieurs types de dessableur, notamment le type couloir, le type rectangulaire et le type circulaire.

Le dégraissage/déshuilage vise à éliminer les graisses et les huiles de l'eau afin de ne pas perturber le fonctionnement de la station d'épuration. Ces matériaux ont une densité inférieure à 1, ils flottent donc à la surface du dégraisseur et sont raclés.

L'élimination du sable et de la graisse peut être réalisée en une seule et même opération en raison des densités différentes de ces matériaux [15].

Deux types de dégrasseurs sont employés : les dégrasseurs statiques et les dégrasseurs ventilés. Le dessablage et le dégraissage sont souvent combinés en une seule opération [12] : Dessableur/dégraisseur combiné (Figure 6).



**Figure 6 : Dessableur – Dégraisseur**

[Source : [http://emmanuelhourdequin.free.fr/IMG/pdf/C4\\_cours.pdf](http://emmanuelhourdequin.free.fr/IMG/pdf/C4_cours.pdf)]

### II-1-2- Traitement primaire

Le traitement primaire est une étape visant à compléter le traitement précédent. Les particules en suspension sont collectées par décantation au travers d'un décanteur. Les matières en suspension (MES) s'accumulent au fond du bassin de décantation et sont périodiquement extraites [15].

Il existe de nombreux types de décanteurs. Les plus couramment utilisés sont le décanteur statique à flux vertical (Figure 7, Photo 2), le décanteur à flux horizontal (Photo 3) et le décanteur lamellaire (Photo 4). Le choix du type de décanteur dépend des caractéristiques des particules à éliminer.

La décantation est plus efficace si la floculation est effectuée en premier. Dans le cas d'une décantation statique, la vitesse limite d'une particule ( $V_p$ ) peut être calculée à l'aide de la formule suivante [12] :

$$V_p = g \cdot (\rho_p - \rho_l) \cdot d^2 / 18\eta \quad (2)$$

avec:

$\rho_p$  : masse volumique de la particule

$\rho_l$  : masse volumique du liquide

d : diamètre apparent de la particule  
 $\eta$  : viscosité dynamique de l'eau  
g : accélération de la pesanteur

Dans un décanteur idéal, les particules sont éliminées lorsqu'elles atteignent la zone de boues. Une évacuation plus rapide des sédiments améliore l'efficacité de la décantation [15].

Pour qu'une particule se dépose dans un décanteur, sa vitesse de sédimentation doit être supérieure à la vitesse de Hazen ( $V_H$ ) appelée charge hydraulique de surface (Figure 8).

$$V_H = Q/S \quad (3)$$

Avec Q : le débit de l'eau et S : la surface du décanteur.

Dans le cas de la décantation lamellaire, la vitesse de sédimentation limite d'une particule peut être calculée à partir de l'équation suivante [16] :

$$V_p = Q/nS_L \cos\alpha \quad (4)$$

Avec :

Q : débit de l'eau

n : nombre de lamelles

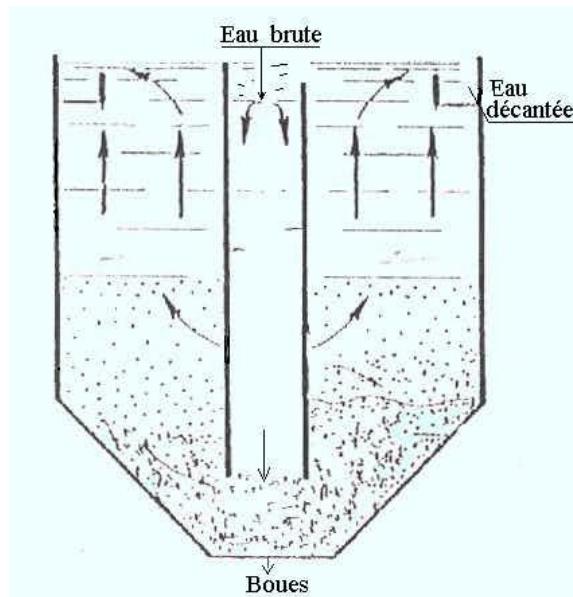
$S_L$  : surface élémentaire de lamelle

$\alpha$  : angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale

L'évacuation des boues accumulées au fond du décanteur se fait grâce à un racloir. (Figure 9).

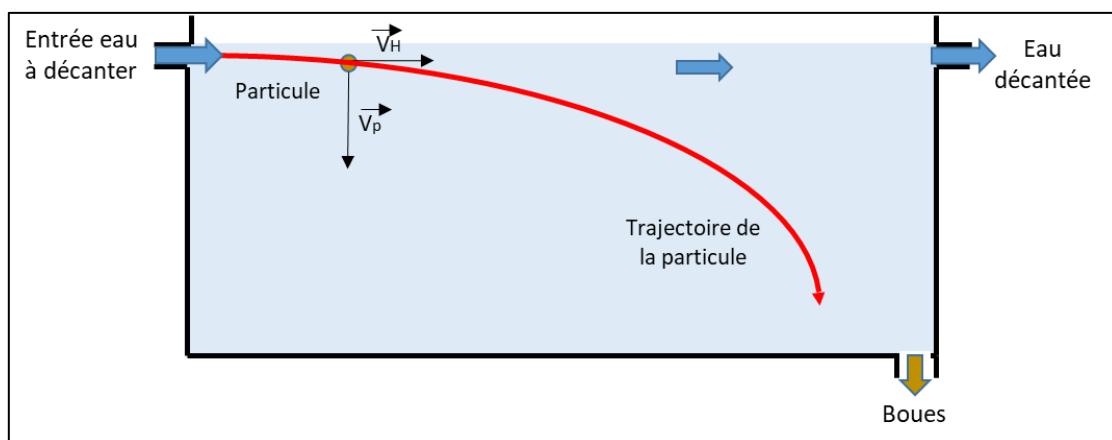


**Photo 2 :** Décanteur à flux vertical [Source : [http://wikigeotech.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Bassin\\_de\\_d%C3%A9cantation\\_%28HU%29](http://wikigeotech.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Bassin_de_d%C3%A9cantation_%28HU%29)]

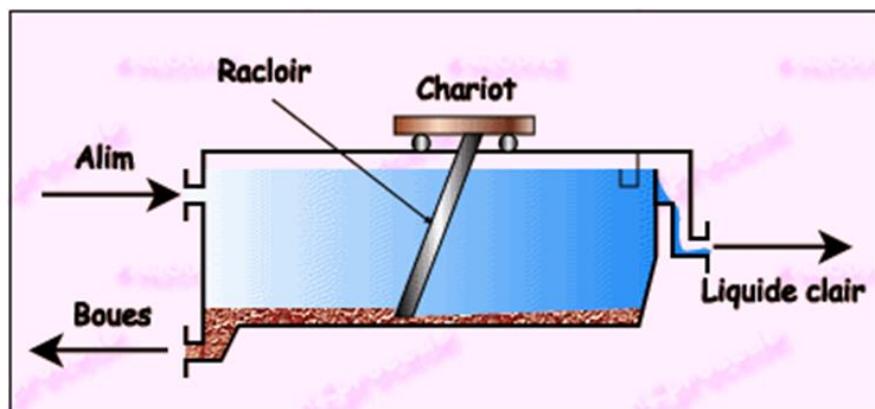


**Figure 7 :** Schéma simplifié d'un décanteur à flux vertical

[Source : <http://pravarini.free.fr/Decantation.htm>]



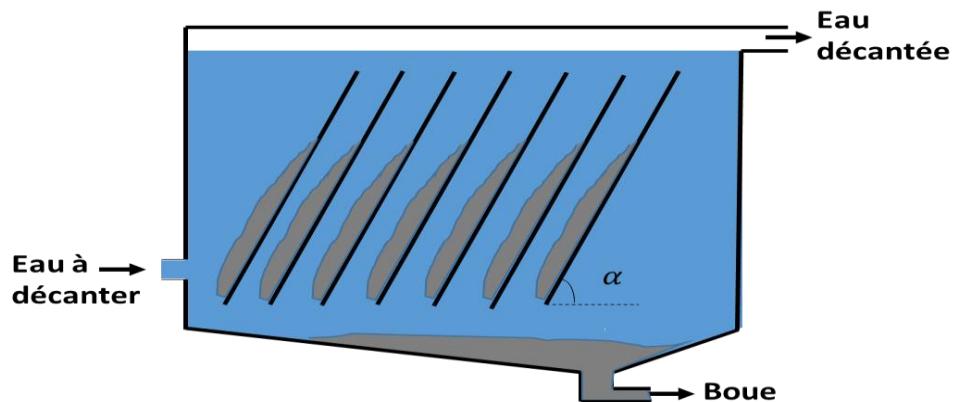
**Figure 8 :** Schéma simplifié du principe de la décantation



**Figure 9 :** Décanteur rectangulaire à racloir

[Source : [https://www.azprocede.fr/Cours\\_GC/decantation\\_lamelles.html](https://www.azprocede.fr/Cours_GC/decantation_lamelles.html)]

Grâce à leur série de lamelles parallèles (Figure 10), les décanteurs lamellaires permettent d'augmenter la surface de décantation utilisable tout en réduisant l'espace au sol requis par rapport aux décanteurs conventionnels à flux horizontal [16]. Ils permettent d'accélérer le processus de dépôt de particules [13].



**Figure 10 :** Décanteur lamellaire



**Photo 3 :** Décanteur à flux horizontal

[Source : <https://www.idm-pirineo.es/fr/nous-equipements/pont-decanteur-pour-boitier-rectangulaire/>]



**Photo 4 :** Décanteur lamellaire

[Source : <https://dn-france.fr/produits/decanteur-lamellaire>]

### **II-1-3- Traitement secondaire : Epuration biologique**

Le traitement secondaire représente le niveau minimum de traitement qui doit être effectué dans une station d'épuration des eaux usées [13].

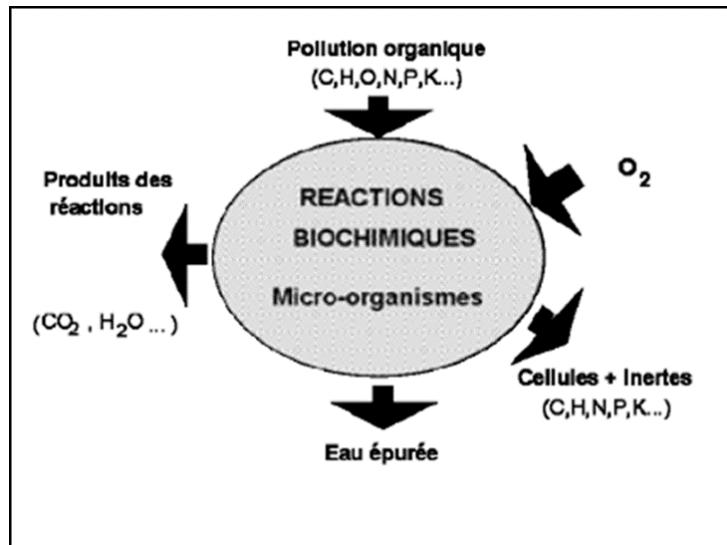
L'eau traitée par des procédés physico-chimiques ne contient pas de contaminants insolubles, mais elle contient des contaminants solubles qui doivent être éliminés. Ces polluants sont de nature organique et biodégradable.

L'élimination de ces contaminants organiques constitue le défi des procédés biologiques. En fait, il s'agit d'un véritable transfert d'une forme inaccessible (matière dissoute ou colloïdale fine) à une forme manipulable (suspension de micro-organismes). Le traitement biologique est une étape importante dans les stations d'épuration des eaux usées [18].

Le traitement biologique est basé sur la décomposition de la matière organique présente dans les eaux usées par la biomasse épuratrice [19].

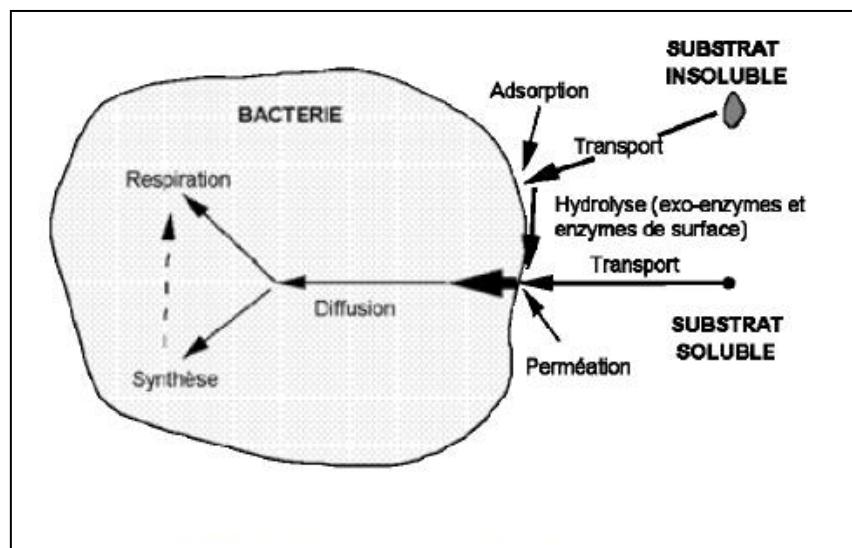
Les procédés de traitement biologique des eaux usées reproduisent les processus d'auto-épuration qui se produisent naturellement dans l'environnement naturel. Ces processus de purification utilisent l'activité microbienne pour réduire les contaminants dans les eaux usées.

Les micro-organismes responsables de la purification se rassemblent en flocons et se développent en utilisant les polluants comme substrat pour générer de l'énergie vitale et synthétiser de nouvelles cellules vivantes (Figure 11). Certains des contaminants qui ne sont pas biologiquement dégradables peuvent être adsorbés et incorporés dans la masse de boues. L'épuration biologique consiste à provoquer une prolifération plus ou moins contrôlée de micro-organismes en présence ou en l'absence d'oxygène. Presque toutes les stations d'épuration des eaux usées disposent d'un procédé biologique aérobie (boues activées, lits bactériens, disques biologiques, biofiltres, lagunes aérées, etc.). Cependant, les procédés biologiques anaérobies ciblent les eaux usées industrielles fortement chargées par des matières organiques.



**Figure 11 :** Principe de l'épuration biologique aérobie [10]

Le processus de dégradation biologique se déroule comme suit : Lors de la phase de transport, les contaminants (solubles et insolubles) présents dans l'eau sont amenés à la surface des bactéries (Figure 12). Les substrats solubles traversent facilement la membrane, tandis que les substances insolubles (particules, colloïdes, grosses molécules) sont adsorbées à la surface bactérienne puis hydrolysées par les exo-enzymes avant d'être facilement assimilées. Le métabolisme des substances polluantes se produit au sein des cellules.



**Figure 12 :** Schéma de principe de la nutrition bactérienne [10]

Les principaux procédés biologiques utilisés dans les stations d'épuration des eaux usées comprennent les procédés à boues activées, les lits bactériens, les disques biologiques et les biofiltres. Une épuration des eaux traitées par ces différents systèmes biologiques est nécessaire (Photo 5).



**Photo 5 : Clarificateur**

[Source : <https://www.suezwaterhandbook.fr/technologies-degremon-R/traitement-des-eaux-usees/decantation-secondaire/clarificateur-a-suction-radiale-clarificateur-SV>]

#### **II-1-4- Traitement tertiaire**

Le traitement tertiaire, également appelé traitement complémentaire, est généralement effectué après le traitement biologique, suivi d'une étape de séparation solide-liquide. Ce processus peut prendre de nombreuses formes, notamment la déphosphoration, la désinfection, la réduction de l'azote ammoniacal et même la réduction totale de l'azote. Des procédés physiques comme la filtration et la décantation, des procédés chimiques comme l'ajout de réactifs ou encore des procédés biologiques peuvent être intégrés. Le choix du traitement complémentaire dépend des objectifs spécifiques fixés [20]. Le traitement tertiaire complète la chaîne d'épuration traditionnelle. Dans certains cas, cela est indispensable, notamment lors du rejet d'eaux traitées dans des milieux aquatiques sensibles à l'eutrophisation ou des milieux utilisés comme zones de baignade. Une purification supplémentaire peut être nécessaire si l'eau est destinée à être réutilisée à des fins agricoles, urbaines, domestiques ou industrielles.

La désinfection est obligatoire si les eaux usées traitées doivent être rejetées dans les plages ou dans les fermes piscicoles et conchyliologiques. Ce procédé est nécessaire si l'eau purifiée doit être réutilisée pour un usage domestique.

La désinfection de l'eau peut être réalisée par divers moyens, notamment la chloration, l'irradiation ultraviolette et l'ozonation.

## **Chapitre III : Filières extensives d'épuration des eaux usées**

### III-Filières extensives d'épuration des eaux usées

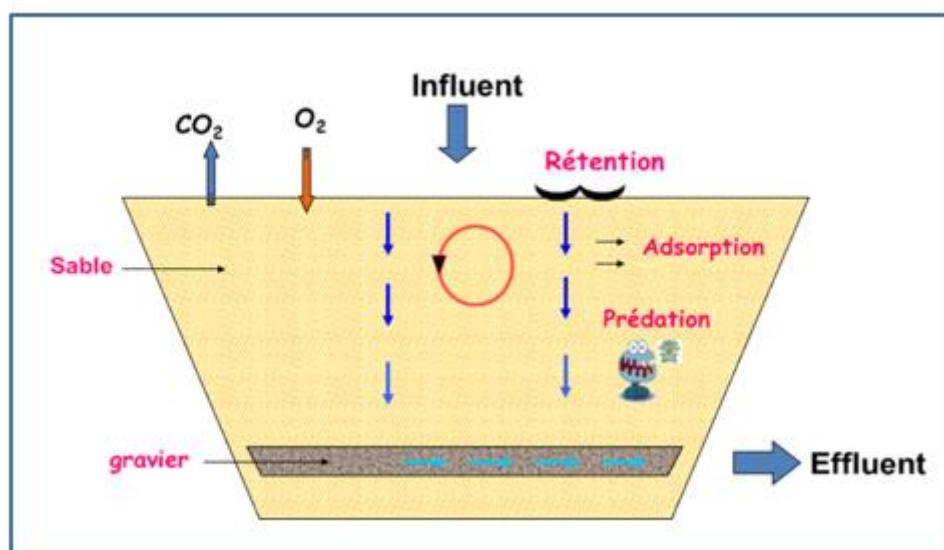
Les techniques extensives de traitement des eaux usées urbaines sont exclusivement appliquées dans le cas des collectivités rurales généralement inférieures à 500 équivalents habitants.

On distingue des procédés extensifs à cultures fixées comme l'infiltration-percolation et les filtres plantés de roseaux et des procédés à cultures libres comme le lagunage.

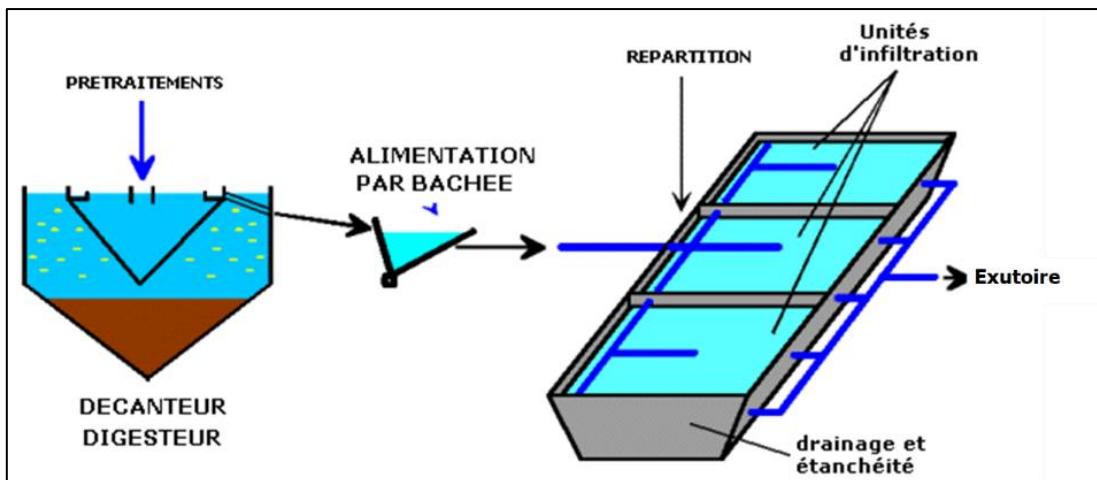
#### III-1- L'infiltration-percolation

L'infiltration-percolation est une technique d'épuration biologique à biomasse fixée sur un support granulaire fin. Elle consiste à infiltrer les eaux usées ayant subi un traitement primaire ou secondaire dans des bassins de faible profondeur, creusés dans le sol en place ou remplis de massifs sableux rapportés. L'infiltration-percolation reproduit l'effet auto-épurateur du sol.

Les eaux usées prétraitées sont déversées et réparties sur un massif de sable, à l'air libre (Fig. 13 et 14). En percolant au travers de ce massif, elles sont d'abord débarrassées des matières en suspension par filtration superficielle, puis leur matière organique est dégradée et leurs composés azotés sont oxydés par les bactéries fixées qui se développent au sein du massif [22].



**Figure 13 :** Schéma simplifié du principe de fonctionnement de l'infiltration-percolation



**Figure 14 :** Schéma type d'une installation à procédé d'infiltration-percolation [22]

La décontamination par la technique d'infiltration - percolation implique deux mécanismes principaux : la rétention et la biodégradation.

La rétention comprend les phénomènes de filtration mécanique et d'adsorption.

La filtration mécanique est un processus intrinsèquement physique. Cela dépend de la taille des particules et de la granulométrie de la matrice poreuse. Il s'agit notamment du blocage et de l'interception.

L'adsorption des particules en suspension est un processus physico-chimique. Cela dépend des propriétés électriques des particules en suspension et de la composition minéralogique de la masse filtrante.

Il existe trois types d'adsorption :

- l'adsorption due aux forces d'attraction de Van der Walls ;
- l'adsorption électrostatique due aux charges électriques de la particule en suspension et des grains de la matrice poreuse ;
- l'adsorption due aux interactions chimiques entre la particule en suspension et les grains du milieu poreux.

Les micro-organismes présents dans les eaux usées et dans les lits filtrants sont responsables de la dégradation biologique des substances organiques et azotées et de l'élimination des microorganismes.

Ces microorganismes épurateurs sont fixés sur la matrice poreuse et forment un biofilm microbien. Il s'agit d'une communauté de microorganismes (bactéries, champignons,

algues, protozoaires) qui s'attachent entre eux et aux surfaces et sécrètent une matrice adhésive et protectrice.

Le substrat et l'oxygène diffusent à travers le biofilm où la pollution se dégrade. Le métabolisme bactérien aérobie implique deux processus très distincts : le catabolisme et l'anabolisme.

Les systèmes d'infiltration - percolation présentent l'avantage d'être facile à manipuler et d'offrir d'excellentes performances épuratoires. En revanche, ils sont sensibles au colmatage, lequel doit être absolument évité.

Le colmatage altère les vitesses d'écoulement et de transfert d'oxygène au sein du massif. Si le colmatage permet d'augmenter les temps de contact eau – gaz – biofilm, indispensable à une bonne dégradation des polluants, il doit être limité pour maintenir des conditions de perméabilité et d'oxygénéation nécessaires à la longévité du filtre.

Des études sur le colmatage des systèmes d'infiltration - percolation ont montré qu'il est difficile de prédire le moment d'installation de ce phénomène.

Plusieurs travaux ont montré que le colmatage d'un massif filtrant n'est pas totalement irréversible. Il suffit de sécher et de bien aérer la plage d'infiltration pour faire disparaître la couche colmatante et restaurer les vitesses d'infiltration. Ces deux actions ont pour effet de dégrader la matière organique accumulée.

En pratique, la gestion du colmatage consiste essentiellement à réguler l'alternance des périodes de fonctionnement et de séchage pour contenir le colmatage et maintenir la capacité d'épuration.

La durée de la phase de séchage est ajustée pour assurer une bonne résorption du colmatage. Cette période dépend principalement des conditions climatiques. En effet, il est facile de résorber le colmatage sous climats ensoleillés et secs, mais c'est beaucoup plus difficile dans des régions humides et froides.

### **III-2- Les filtres plantés de roseaux**

Le procédé de traitement des eaux usées urbaines par filtres plantés de roseaux est une méthode de traitement biologique aérobie qui utilise des cultures microbiennes fixées sur des supports granulaires. Cette filière d'épuration est parfaitement adaptée aux petites et moyennes collectivités et permet d'obtenir des performances épuratoires très élevées, en ce qui concerne

l'élimination de la pollution carbonée, des matières en suspension et des formes réduites de l'azote.

Les filtres plantés de roseaux assurent le traitement des eaux usées brutes domestiques simplement dégrillées.

Le procédé consiste à assurer dans des conditions aérobies la prolifération d'une biomasse épuratrice fixée sur des massifs filtrants. Ces derniers offrent un support au développement de bactéries et assurent la rétention physique des matières en suspension.

Il existe deux types de filtres plantés :

- Les Filtres Plantés de Roseaux à écoulement Vertical (FPRV) (Figure 15) : l'eau s'écoule depuis la surface du lit vers l'intérieur, de manière verticale ;
- Les Filtres Plantés de Roseaux à écoulement Horizontal (FPRH) (Figure 16) : l'eau s'écoule dans le lit de manière horizontale.

Dans les deux cas, les roseaux sont plantés dans les massifs filtrants constitués d'un substrat minéral d'une granulométrie soigneusement choisie. Ces massifs peuvent être étanches ou non. Un système non étanche permettrait aux eaux traitées de s'infiltrer dans le sol, qui participe ainsi à l'épuration. Selon les contraintes du site - perméabilité du sol, présence ou non d'une nappe phréatique, etc. et la réglementation locale, on s'orientera vers un système étanche ou non.

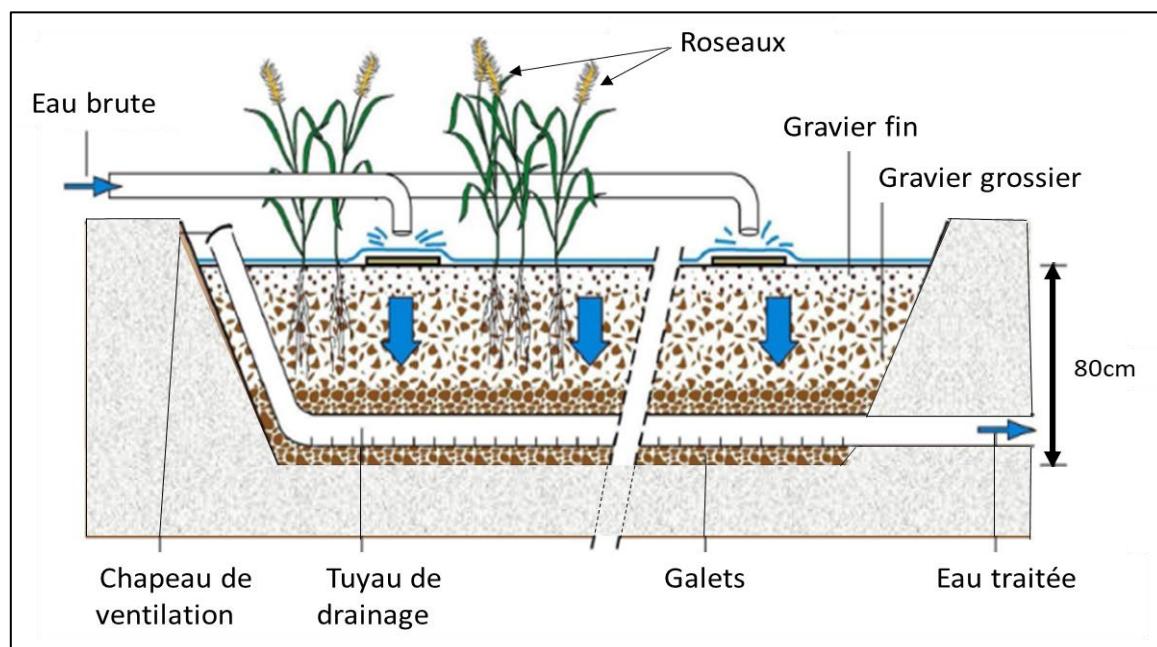
Le filtre planté de roseaux à écoulement vertical est alimenté en surface. L'effluent circule par percolation verticale à travers un massif de graviers fins. Ce massif filtrant permet de retenir les matières en suspension à la surface du filtre, où elles s'accumulent. Par ailleurs, les micro-organismes y assurent les processus de dégradation de la matière organique et un début de nitrification y est observé. Un FPRV peut donc effectuer à la fois le prétraitement, en retenant les matières solides, et le traitement, grâce à l'action des micro-organismes.

L'alimentation du filtre se fait généralement par bâchées : l'effluent s'accumule dans un réservoir en amont, puis un dispositif automatique d'alimentation permet de déverser un important volume d'effluents de façon séquentielle sur le filtre. Un système de

distribution permet de répartir uniformément l'effluent sur toute la surface du lit. Ce type d'alimentation permet une utilisation optimale du volume du filtre.

Pour les massifs étanches, un système de drainage (par le fond du filtre) permet à la fois de récupérer les eaux en sortie et d'assurer une oxygénation du filtre par passage d'air.

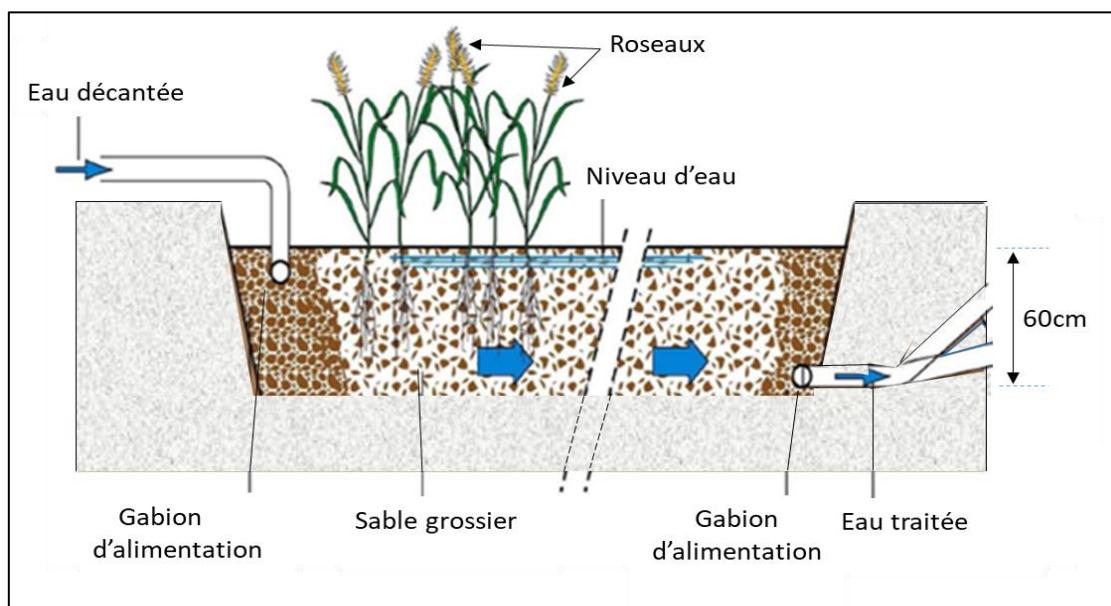
Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical sont souvent constitués de deux étages en série (massif filtrant à graviers au premier étage, massif filtrant à sables au deuxième étage), eux-mêmes constitués de plusieurs filtres en parallèle, qui fonctionnent en alternance. Les phases de repos sont nécessaires pour favoriser l'aération et l'apport d'oxygène à l'intérieur du massif afin d'y maintenir des conditions aérobies et pour réguler la croissance de la biomasse fixée. Elles permettent également aux dépôts de matière organique accumulés à la surface du lit de se déshydrater et de se minéraliser.



**Figure 15 :** Schéma d'une coupe transversale d'un filtre planté à écoulement  
[Source : <https://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/filtres-plantes-roseaux-traitement-eaux-usees.php>]

Le filtre planté de roseaux à écoulement horizontal est saturé en eau. L'alimentation se fait en continu et la circulation de l'eau est horizontale, sous la surface du substrat (Figure 16). Un système de siphon en sortie permet de régler la hauteur d'eau dans le filtre, afin que ce dernier soit toujours rempli d'eau. En maintenant ainsi des conditions anaérobies, favorables au processus de dénitrification, un filtre planté de roseaux à écoulement horizontal permet d'assurer le traitement secondaire des effluents (élimination des

nitrates). Notons cependant que le filtre planté de roseaux à écoulement horizontal ne peut recevoir que des eaux prétraitées, ou très peu chargées en matière en suspension. Cela permet d'éviter tout risque de colmatage du massif filtrant. Ce prétraitement est souvent réalisé dans une fosse toutes eaux ou par un filtre planté de roseaux à écoulement vertical placé en amont.



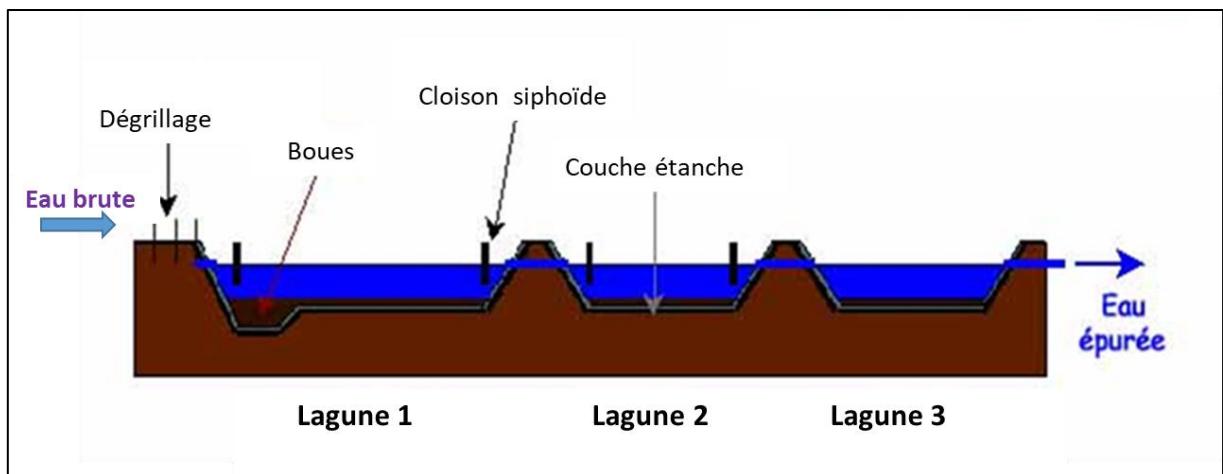
**Figure 16 :** Schéma d'une coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal [Source : <https://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/filtres-plantes-roseaux-traitement-eaux-usees.php>]

### III-3- Le lagunage

Le lagunage naturel est un procédé d'épuration biologique des eaux usées domestiques. C'est un procédé rustique et moins onéreux [23]. Il consiste à faire circuler lentement des effluents prétraités dans une succession de bassins peu profonds pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration (Fig. 17). Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur.

Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques. Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques. Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs du système en matière consommables et en oxygène.

Il existe plusieurs types du procédé de lagunage à savoir le lagunage naturel à microphytes, à macrophytes ou mixte et le lagunage aéré.



**Figure 17 :** Schéma montrant le principe du fonctionnement de lagunage naturel [10]

## **Conclusion générale**

Le traitement des eaux usées est indispensable pour protéger l'environnement et préserver les ressources en eau et la santé humaine. Ce cours a mis l'accent sur les différents types d'eaux usées, leurs caractéristiques, et les différentes méthodes employées pour leur épuration. Les traitements conventionnels adoptés dans les stations d'épuration, qu'ils soient primaires, secondaires ou tertiaires, offrent des solutions efficaces pour l'élimination de la charge polluant contenue dans les eaux résiduaires, tandis que les filières extensives, comme les filtres plantés de roseaux, l'infiltration-percolation et le lagunage, présentent des alternatives durables, adaptées aux contextes spécifiques.

En combinant technologies avancées et solutions basées sur la nature, il est possible de gérer de façon efficace les eaux usées tout en réduisant leurs impacts sanitaires et environnementaux.

## Références bibliographiques

- [1] Kay D., Edwards A.C., Mcdonald A.T., Stapleton C.M., Wyer M., Crowther J. (2007): « Catchment microbial dynamics: the emergence of a research agenda ». *Prog. Phys. Geogr.* ; 31:1-18.
- [2] Rejsek F. (2002) Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Scéren (CRDP AQUITAINE). Coll. Biologie technique. Sciences et techniques de l'environnement. 360p.
- [3] Metahri M.S. (2012.) Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes cas de la step de la ville de tizi-ouzou, thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri,Ttizi-Ouzou, 172p.
- [4] Rodier J. (2005) L'Analyse de l'eau - Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8ème Edition. DUNOD, Paris, 1381p.
- [5] Kendouci M.A. (2018) Etude de risque de pollution des eaux souterraines de la ville de Béchar et valorisation du sable en vue de son utilisation en traitement des eaux usées, thèse de doctorat. USTO-MB, Algérie.
- [6] Kerch G., Vernus E. (2001) Toxicité des métaux. Techniques de l'Ingénieur, G2450. pp.1-17.
- [7] Belaid N. (2010) Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phyto-absorption des éléments métalliques. Thèse de doctorat, Université de Limoges, 236p.
- [8] Tabet M. (2015) Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration. Thèse de doctorat, Université Guelma, Algérie, 161p.
- [9] Desjardins R. (1997) Le traitement des eaux. 2<sup>ème</sup> édition revue et améliorée. *Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal*, ISBN : 2-553-00643-8, 304p.

- [10] Ouanouki B. (2014) Gestion de l'environnement : Traitement des eaux usées. Edition Pages Bleues Internationales, 221p. ISBN : 978-9947-34-46-2.
- [11] Chosson A., Jamet J., Bernhard S. (2010) L'assainissement individual des eaux usées, 2e édition, Guide CLCV, 159p. ISBN : 978-2-7117-6457-0.
- [12] Schriver-Mazzuoli (2012) La gestion durable de l'eau : Ressources, Qualité, Organisation. DUNOD, Paris, 250p. ISBN : 978-2-10-10-055026-5.
- [13] Martin-Lagardette J.L. (2004) L'eau potable et l'assainissement. Johonet Editions, Paris, 154p. ISBN : 2-900086-53-1.
- [14] Aussel H., Le Bâcle C., Dorinier G, Galtier Y. (2004) Le point des connaissances sur le traitement des eaux usées. 4p.
- [15] Cardot C. (2001) Techniques appliquées au traitement de l'eau, Edition *ELLIPSES*, ISBN : 978-2-7298-0494-7, 248p.
- [16] Lakehal M. (2021) Assainissement. Département d'hydraulique, Faculté de Technologie, Université Badji Mokhtar, Algérie. 125p.
- [17] Cardot C. (1999) Les traitements de l'eau : Procédés physico-chimiques et biologiques, Edition *ELLIPSES*, ISBN : 2-7298-598-0, 254p.
- [18] Quevauviller P., Thomas O., Van der Beken A. (2006) Wastewater quality monitoring and treatment. John Wiley & Sons, Ltd, 394p. ISBN: 978-0-471-49929-9.
- [19] Bessedik M. (2017) Traitement de l'eau. Faculté de Technologie, Université Abou Beker Belakid, Telemcen, Algérie, 70p.
- [20] Perret J.M., Canler J.P. (2013) Affinage du traitement de la pollution particulaire par les procédés mécaniques « rustiques », Rapport Final. Irstea, centre de Lyon – Villeurbanne, 84p.
- [21] Zhang J.B. (2011) Procédé de traitement anaérobiose des boues et de valorisation du biogaz. Thèse de doctorat, Institut National de Polytechnique de Lorraine, France, 232p.
- [22] Bali M. (2012) Etude expérimentale et modélisation du traitement des eaux usées domestiques par infiltration-percolation en zone aride. Thèse de doctorat, Faculté des sciences de Tunis, Université d'El Manar, Tunisie, 212p.

- [23] Boughanzai L., Merzouki M., Ouzina A. (2012) Dimensionnement d'une station d'épuration de type lagunage naturel au centre d'Ain Cheggag, Fès, Maroc, Revue Agrobiologia, 2 : 29-33.