

Université Mohamed khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique  
Référence :...../ 2019

جامعة محمد خيضر - بسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية والري  
المرجع:...../ 2019



**Mémoire de Master**  
**Spécialité : Hydraulique**  
**Option : Ouvrage Hydraulique**

**Thème :**

**EFFET DU SUBSTRAT SUR LE POUVOIR EPURATEUR D'UN FILTRE  
NU ET D'UN FILTRE PLANTE DE PHRAGMITES AUSTRALIS**

**Etudiant:**

**DJOUDI RAMZI**

**Encadreur:**

**DR : SEGHAIRI NORA**

**Promotion: Juin 2019**

# شكر و عرفان

بعد شكر الله عز وجل وامتنانه وتوفيقه لإنجاز هذه المذكرة

أتقدم بجزيل الشكر والعرفان الى والدنيا العزيزين اللذان كانا سندا لي طوال مسيرتي الدراسية

كما اتوجه بالشكر العميق الى من شرفنتني بإشرافها على مذكرتي استاذتي الفاضلة **نورة صغائري** التي نفعنتني بتوجيهاتها وكانت مثل البوصلة التي وجهت هذا العمل ليرى النور فانا مدين لها على الثقة الممنوحة لي من قبلها

واخص بجزيل الشكر والتقدير والعرفان والثناء الجميل لمساعدتي الأستاذة الموقرة **سارة يوسف** التي كان لها الفضل بعد الله عز وجل في اتمام كل جزء من المذكرة انار الله طريقها

كذلك أشكر الاستاذة **فاطمة مرزوقي** التي وضعت بصمتها وساعدتني في بحثي

كما اشكر عمال المساحات الخضراء في الجامعة الذين بدورهم قدموا يد المساعدة في المحطة وعمال مخبر الجزائرية للمياه وخاصة الاخ **دلال** لتسهيلاتها المقدمة

بالإضافة الى اني اود ان اشكر جميع أعضاء لجنة التحكيم الذين سيحكمون على هذا العمل المتواضع و

قدم لنا الاستفادة من معرفتهم وملاحظاتهم البناءة

كما اشكر جميع الاساتذة في قسم الهندسة المدنية والري

وأخيرا وليس آخرا أشكر بإخلاص وإخلاص كل أولئك الذين

يهتمون ببساطة بهذا العمل. التي يجدونها في هذه الكلمات ، تعبيرًا عن

خالص امتناننا على الرغم من أن أسمائهم لا تظهر في هذه السلسلة المختصرة



## إهداء

أهدي ثمرة هذا الجهد والعمل المتواضع :

- إلى معنى الحب والحنان وملاكي في الحياة الى من حملتني وهنا على وهن الى ينبوع الصبر والتفاؤل امي الحبيبة مامه بارك الله في عمرها وزادها من فضله
- إلى من سعى وشقى لأنعم بالراحة والهناء الى من وفر لي الرعاية أبي الغالي محمد ادم الله عزه واطال في عمره
- إلى مصباح افكاري وتاج رأسي الى من اعيش في قلوبهم ويعيشون في قلبي إلى من ترعرعت بجوارهم ، وسندي ، اخوتي الافاضل (نور الدين ،نجاة، يوسف ، عبد الوهاب ،نبيل ،هشام ،خليل ،كلثوم ،عبد المطلب ،محمود وجمال)

اطلب من العلي القدير ان يوفقهم في دربهم وينير بصيرتهم

الى من احببتهم في الله تشرفت بصحبتهم وكانو رفقاء الدرب لي، (سيف الاسلام بن الدين ،بهاء الدين خلافة، والوردي ،عبد النور وجمال وزكرياء ،هشام غربي، محمد بودودة ،سامي الوافي وسعد ، نيزار، خيرى، وبري مسعود، الياس .....

الى كل من ساهم في إنارة دربي العلمي أساتذتي الأفاضل كل باسمه ومقامه جزاهم الله عنا كل خير

الى من سرنا معا لقطف ثمار النجاح وتظل ذكراهم في قلبي وصورهم في عيني الى زملائي اصدقائي بلا استثناء

الى كل من يعرفني ونسيت اناملني ان تذكر حروفه

# Ramzi Djoudi



## Listes des figures et des tableaux

### *Partie bibliographique*

#### Liste des photos

#### Liste des figures

N°	Titre	page
<b>Photo I.1</b>	Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées	<b>8</b>
<b>Photo I.2</b>	Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP	<b>8</b>
<b>Photo. I.3</b>	Décanteur primaire	<b>10</b>
<b>photo II.1</b>	Papyrus	<b>23</b>
<b>Photo II.2</b>	Le roseau commun « Phragmite Australis>>	<b>23</b>
<b>Photo II.3</b>	Typha Latifolia	<b>24</b>
N°	Titre	page
<b>Figure II.1</b>	Schéma d'un filtre vertical (deuxième étage) en coupe transversale	<b>19</b>
<b>Figure II.2</b>	Principe de fonctionnement du filtre vertical	<b>20</b>
<b>Figure II.3</b>	Schéma d'un filtre horizontal en coupe transversale	<b>21</b>

#### Liste des Tableaux

N°	Titre	page
<b>Tableau I.1</b>	Normes de rejets internationaux	<b>6</b>
<b>Tableau I.2</b>	Normes de rejets dans un milieu récepteur	<b>7</b>
<b>Tableau I.3</b>	Le prétraitement d'une STEP	<b>9</b>
<b>Tableau I.4</b>	Les procédés à cultures fixées	<b>11</b>
<b>Tableau I.5</b>	Procède à cultures libre	<b>12</b>

### *Partie expérimentale*

## Listes des figures et des tableaux

### Liste des photos

N°	Titre	page
<b>Photo I.1</b>	Le site des essais (département d'hydraulique, Université Biskra 2019)	<b>29</b>
<b>Photo I.2</b>	Préparation des filtres	<b>30</b>
<b>Photo I.3</b>	Les différentes couches du substrat de chaque filtre	<b>31</b>
<b>Photo I.4</b>	Le développement des racines des jeunes tiges de phragmites Australis	<b>32</b>
<b>Photo I.5</b>	Les filtres plantés	<b>32</b>
<b>Photo I.6</b>	Localisation de la commune et le rejet dans la wilaya de Biskra	<b>34</b>
<b>Photo I.7</b>	Le remplissage des bacs avec l'eau usée	<b>35</b>
<b>Photo I.8</b>	Multi paramètres utilisé pour la mesure des paramètres physiques	<b>36</b>
<b>Photo I.9</b>	Multi paramètres utilisé pour la mesure d'oxygène dissous	<b>36</b>
<b>Photo I.10</b>	spectrophotomètre UV-VIS	<b>37</b>
<b>Photo I.11</b>	La gamme des Nitrates	<b>38</b>
<b>Photo I.12</b>	Spectromètre UV-visible	<b>41</b>

### Liste des figures

N°	Titre	page
<b>Figure I.1</b>	La courbe d'étalonnage des Nitrate	<b>39</b>
<b>Figure I.2</b>	La courbe d'étalonnage des Nitrite	<b>41</b>
<b>Figure II.1</b>	Evolution du pH des eaux épurées sur les filtres plantés de phragmite et non plantés en fonction du temps de séjour	<b>44</b>
<b>Figure II.2</b>	Evolution de la température des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et non plantés en fonction du temps de séjour	<b>45</b>
<b>Figure II.3</b>	Evolution de la conductivité des eaux épurées à la sortie des filtres plantés de phragmite et non plantés en fonction du temps de séjour	<b>46</b>
<b>Figure II.4</b>	Evolution de l'oxygène dissous des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et non planté en fonction du temps de séjour	<b>46</b>

## Listes des figures et des tableaux

<b>Figure II.5</b>	Evolution du NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et les filtres non plantés en fonction du temps de séjour	<b>47</b>
<b>Figure II.6</b>	Evolution du ( NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) des eaux épurées par un filtre planté de phragmite	<b>48</b>
<b>Figure II.7</b>	Evolution de la DCO dans les eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et non plantés	<b>49</b>
<b>Figure II.8</b>	Rendements d'élimination de la DCO à la sortie de tous les filtres plantés et non plantés	<b>49</b>

### Liste des Tableaux:

N°	Titre	page
<b>Tableau I.1</b>	Les caractéristiques du substrat et les différentes couches utilisées	<b>31</b>
<b>Tableau I.2</b>	Les caractéristiques physico- chimiques des eaux usées domestiques du rejet de Biskra sur le tableau	<b>34</b>
<b>Tableau I.3</b>	Préparation des solutions étalons de Nitrates	<b>38</b>
<b>Tableau I.4</b>	Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrates	<b>38</b>
<b>Tableau I.5</b>	Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrites.	<b>40</b>
<b>Tableau I.6</b>	Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrites	<b>41</b>

## SOMMAIRE

<b>Première partie bibliographique</b>		
<b>N</b>	<b>Titre</b>	<b>page</b>
	<b>Chapitre I : Traitement des rejets des eaux usées</b>	
<b>I.1.</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>I.2.</b>	<b>Généralités sur les eaux usées</b>	<b>2</b>
<b>I.2.1</b>	<b>Les eaux usées domestiques</b>	<b>2</b>
<b>I.2.2</b>	<b>Les eaux industrielles</b>	<b>3</b>
<b>I.2.3</b>	<b>Eaux pluviales</b>	<b>3</b>
<b>I.2.4</b>	<b>Eaux agricoles</b>	<b>3</b>
<b>I.2.5</b>	<b>Les eaux usées urbaines</b>	<b>3</b>
<b>I.3</b>	<b>Origine et type de la pollution des eaux usées</b>	<b>4</b>
<b>I.3.1</b>	<b>Types de pollution</b>	<b>4</b>
<b>I.3.2</b>	<b>Les principaux paramètres de la pollution</b>	<b>5</b>
<b>I.4</b>	<b>Normes de rejets des eaux usées</b>	<b>6</b>
<b>I.4.1</b>	<b>Normes internationales</b>	<b>6</b>
<b>I.4.2</b>	<b>Normes de rejets appliqués en Algérie :</b>	<b>6</b>
<b>I.5</b>	<b>Nécessité de l'épuration de l'eau :</b>	<b>7</b>
<b>I.5.1</b>	<b>Prétraitements :</b>	<b>8</b>
<b>I.5.2</b>	<b>Traitement primaire (physico- chimique)</b>	<b>10</b>
<b>I.5.3</b>	<b>Traitement secondaire (biologique)</b>	<b>10</b>
<b>I.5.4</b>	<b>Traitement tertiaire</b>	<b>12</b>
<b>I.6</b>	<b>Traitements biologiques des rejets</b>	<b>13</b>
<b>I.6.1</b>	<b>Les différents types de traitement biologiques</b>	<b>13</b>
<b>I.7</b>	<b>Avantages et inconvénients des procédés de traitement des eaux usées</b>	<b>14</b>



<b>I.8</b>	<b>Conclusion</b>	<b>16</b>
	<b>Chapitre II : Traitement des eaux usées par macrophytes</b>	
<b>II.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>18</b>
<b>II.2</b>	<b>Principe de la phytoépuration</b>	<b>18</b>
<b>II.3</b>	<b>Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux usées</b>	<b>19</b>
<b>II.3.1</b>	<b>Les filtres à écoulement horizontal, principe de fonctionnement et performance</b>	<b>19</b>
<b>II.3.2</b>	<b>Les filtres à écoulement horizontal, principe de fonctionnement et performance</b>	<b>20</b>
<b>II.3.3</b>	<b>Les systèmes mixtes</b>	<b>21</b>
<b>II.4</b>	<b>Rôle des composants d'un filtre planté de macrophyte</b>	<b>22</b>
<b>II.4.1</b>	<b>Rôles des plantes</b>	<b>22</b>
<b>II.4.2</b>	<b>Les plantes et leurs caractéristiques</b>	<b>22</b>
<b>II.4.2</b>	<b>Le rôle du substrat</b>	<b>24</b>
<b>II.4.3</b>	<b>Oxygénation de la rhizosphère</b>	<b>25</b>
<b>II.4.4</b>	<b>Ancrage des microorganismes</b>	<b>25</b>
<b>II.5</b>	<b>Les mécanismes d'élimination et les performances épuratoires</b>	<b>25</b>
<b>II.5.1</b>	<b>Enlèvement de la matière organique</b>	<b>25</b>
<b>II.5.2</b>	<b>Les matières en suspension :</b>	<b>25</b>
<b>II.5.3</b>	<b>La matière organique</b>	<b>26</b>
<b>II.5.4</b>	<b>Les métaux</b>	<b>26</b>
<b>II.6</b>	<b>Les Avantages et les inconvénients de la phytoépuration</b>	<b>27</b>
<b>II.7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>28</b>
	<b>Deuxième partie expérimentale</b>	
	<b>Chapitre I : Méthodes et matériels</b>	
<b>I.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>29</b>
<b>I.2</b>	<b>Le site de nos essais expérimentaux</b>	<b>29</b>
<b>I.2.1</b>	<b>Préparation des filtres plantés et choix des matériels d'étude</b>	<b>30</b>
<b>I.2.2</b>	<b>Préparation du substrat</b>	<b>30</b>
<b>I.2.3</b>	<b>Préparation et choix des plantes</b>	<b>31</b>



<b>I.2.4</b>	<b>Préparation des filtres plantés</b>	<b>32</b>
<b>I.3</b>	<b>Choix des eaux usées</b>	<b>33</b>
<b>I.3.2</b>	<b>Calendrier de remplissage et prélèvement des échantillons</b>	<b>34</b>
<b>I.4</b>	<b>Analyse des paramètres physico- chimiques des eaux usées</b>	<b>34</b>
<b>I.4.1</b>	<b>Mesure de (pH, CE, température et l'oxygène dissous)</b>	<b>35</b>
<b>1</b>	<b>pH</b>	<b>35</b>
<b>2</b>	<b>La conductivité électrique</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>L'oxygène dissous</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>La température (T)</b>	<b>36</b>
<b>I.4.2</b>	<b>Les paramètres chimiques</b>	<b>37</b>
<b>1</b>	<b>Nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>37</b>
<b>2</b>	<b>Nitrite NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>39</b>
<b>I.4.3</b>	<b>Les paramètres biologiques</b>	<b>41</b>
<b>1</b>	<b>DCO :</b>	<b>41</b>
<b>I.5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>42</b>
	<b>Chapitre II : Effet du substrat sur le pouvoir épurateur d'un filtre nu et d'un filtre planté de phragmites</b>	
<b>II.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>43</b>
<b>II.2</b>	<b>Variation des paramètres physico-chimiques</b>	<b>43</b>
<b>II.2.1</b>	<b>Evolution du pH</b>	<b>43</b>
<b>II.2.2</b>	<b>La température (T)</b>	<b>44</b>
<b>II.2.3</b>	<b>La Conductivité électrique (CE)</b>	<b>45</b>
<b>II.2.4</b>	<b>L'oxygène dissous</b>	<b>46</b>
<b>II.2.5</b>	<b>Les nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>47</b>
<b>II.2.6</b>	<b>Nitrite NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>48</b>
<b>II.2.7</b>	<b>DCO</b>	<b>48</b>
<b>II.3</b>	<b>Conclusion</b>	<b>50</b>
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>51</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	

# **Introduction générale**

## Introduction générale

---

La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité, ce qui rend son utilisation dangereuse et perturbe le milieu aquatique en particulier la vie des poissons. L'activité industrielle en matière d'extraction ou élaboration de métaux génère des effluents aqueux chargés en éléments métalliques toxiques à des concentrations variables, et rejetés quelquefois sans traitement dans le milieu récepteur. Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent afin de rendre au milieu aquatique une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs (pêche, loisir, alimentation, utilisation agricole ou industrielle, etc.).[1]

Des efforts ont été investis afin d'épurer les eaux usées rejetées par les industries et les productions agricoles. Ces stations coûtent cependant très cher à construire et à opérer, puisqu'elles nécessitent l'intervention de spécialistes et consomment beaucoup d'énergie.

L'utilisation des filtres plantés pour traitement des eaux usées est en augmentation partout dans le monde,

[3]

Ces systèmes de phyto-épuration sont utilisés pour l'épuration d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes. Ils sont devenus de plus en plus populaires et actuellement ils font l'objet de recherches intensives. Plusieurs travaux ont prouvé leur aptitude à exploiter efficacement les eaux usées municipales

[2] et effluents industriels[4] ; [5] et [6]

Les filtres plantés dépendent d'un certain nombre de facteurs et d'apports énergétiques extérieurs, ainsi que de la végétation, le substrat et de la biomasse des micro-organismes liés à ces plantes et aux sédiments.

L'objectif de cette étude est d'étudier l'influence du substrat sur le pouvoir épurateur des filtres plantés de phragmites Australis et non plantés en fonction de temps de séjour.

Le mémoire comporte quatre chapitres :

Les deux premiers concernent une synthèse bibliographique sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées et leurs impacts sur la santé humaine et sur l'environnement d'une part et une description sur les procédés d'épurations les plus utilisés pour leur traitement et surtout sur la phytoépuration.

Le troisième et le quatrième chapitre ont été dédiés respectivement aux méthodes et procédures expérimentales et à la présentation et discussion des résultats obtenus. En fin nous avons terminé le manuscrit par une conclusion générale relatant les principaux résultats de cette étude.

**PREMIERE PARTIE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

# **Chapitre I :**

## **Traitement de rejets des eaux usées**

**I.1. Introduction :**

Les eaux usées urbaines sont constituées d'un mélange d'eaux usées domestiques, provenant des habitations, des institutions et des commerces, et d'eaux parasites résultant de l'infiltration d'eaux souterraines dans les égouts et du captage d'eaux de ruissellement. Dans certains cas, les eaux usées urbaines peuvent contenir une fraction plus ou moins importante d'eaux usées industrielles. La principale caractéristique des eaux usées urbaines réside dans la variabilité de leur débit et de leur charge polluante. De plus, les débits et les charges polluantes varient également selon les jours de la semaine et les saisons. Le rejet des eaux usées chargées en substances polluantes dans les milieux récepteurs sans aucun traitement préalable est devenu un problème capital et un souci majeur compte tenu des effets néfastes qu'il peut engendrer sur l'environnement et la santé publique. Le problème s'aggrave d'avantage lorsqu'il s'agit de polluants non biodégradables et/ou toxiques tels que les métaux lourds, considérés comme étant les éléments nocifs les plus dangereux tant pour l'homme que pour l'environnement. Dans ce chapitre on va décrire les différents types des eaux usées et les différentes techniques d'épuration. [7]

**I.2. Généralités sur les eaux usées:**

Les eaux usées sont toutes les eaux qui parviennent dans les canalisations d'eaux usées et dont les propriétés naturelles ont été transformées par les utilisations domestiques, les entreprises industrielles, agricoles et autres. On englobe, aussi, les eaux de pluie qui s'écoulent dans ces canalisations [8]. Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue quatre catégories des eaux usées :

**I.2.1. Les eaux usées domestiques :**

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines. [9]

- 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.

**I.2.2. Les eaux industrielles :**

L'eau résiduaire industrielle désigne l'eau qui provient des activités industrielles. Elle est différente des eaux usées domestiques et ses caractéristiques varient d'une industrie à une autre. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration [10]. 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.

**I.2.3. Eaux pluviales :**

Elles peuvent aussi constituer des pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, ...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. [11].

**I.2.4. Eaux agricoles :**

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement [12] :

- Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;
- Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,...).

**I.2.5. Les eaux usées urbaines :**

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les



jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toute sorte de déchets minéraux et organiques et toutes sortes de micropolluants [13].

### **I.3. Origine et type de la pollution des eaux usées:**

La pollution est une dégradation d'un milieu naturel par des substances chimiques et des déchets industriels. Une eau polluée est une eau qui a subi, du fait de l'activité humaine, directement ou indirectement ou sous l'action d'un effet biologique ou géologique. Une modification de son état ou de sa composition qui a pour conséquence de la rendre impropre à l'utilisation à laquelle elle est destinée [14].

#### **I.3.1. Types de pollution :**

On peut distinguer plusieurs types de pollution à savoir:

##### **a) La pollution physique:**

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution atomique (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires) [14].

##### **b) La pollution chimique:**

L'utilisation de diverses substances chimiques pour le besoin, du développement industriel, a entraîné dans presque toutes les régions du monde, une dissémination dans le milieu naturel, d'une multitude de résidus toxiques. Elle est due au déversement des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables [14].

##### **c) La pollution biologique:**

Toutes les eaux sont susceptibles d'être polluées par des micro-organismes. L'eau destinée à l'utilisation par l'homme doit être autant que possible indemne de contamination par des bactéries ou des virus pathogènes. Il s'agit de la pollution par des micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons, efflorescences planctoniques, etc.) Les germes pathogènes pour l'homme sont nombreux et de détermination délicate, au fait de leur faible concentration dans les eaux. Aussi, compte tenu de l'origine intestinale préférentielle des bactéries et des virus pathogènes des eaux, d'une part, et d'autre part, de l'élimination massive de commensaux de l'intestin par chacun des individus d'une population donnée [14].

**I.3.2. Les principaux paramètres de la pollution:**

Les eaux usées sont caractérisées par plusieurs paramètres. On distingue deux catégories de paramètres physiques et chimiques.

**I.3.2.1. Les paramètres physiques:**

Une eau usée peut contenir une multitude de paramètres physiques on peut citer :

**1. Les Matières En Suspension (MES) :**

Il s'agit de matières qui ne sont ni soluble ni colloïdales. On peut considérer qu'ils représentent un intermédiaire entre les particules minérales du type sable ou poussières de charbon et les particules minérales du type mucilagineuse [15].

**a) Les Matières Volatiles en suspension (MVS) :**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 6500°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Après évaporation de la parties organique des matières en suspension, La quantité de MVS est obtenue par différence entre les quantités de MES et de MMS [15].

**b) Les matières minérales :**

Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspondent à la présence de sels, silice, poussière par exemple [15].

**2. Les paramètres chimiques :****a) La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) :**

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épurateur et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration. La demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques [15].

**b) La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :**

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elles représentent la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales) [9]. La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de

l'oxydation. La DCO est la concentration, exprimée en mg. L<sup>-1</sup>, d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme.

#### **I.4. Normes de rejets des eaux usées :**

Les normes de rejet sont des valeurs des paramètres polluants d'une eau usées à ne pas dépasser. On distingue:

##### **I.4.1 Normes internationales :**

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont présentées dans le tableau I.1

**Tableau I.1. Normes de rejets internationaux [16]**

<b>Caractéristiques</b>	<b>Unité</b>	<b>Normes Utilisées (OMS)</b>
<b>pH</b>	-----	6,5-8,5
<b>DBO5</b>	mg/L	< 30
<b>DCO</b>	mg/L	< 90
<b>MES</b>	mg/L	< 20
<b>NH<sup>4+</sup></b>	mg/L	< 0,5
<b>NO<sub>2</sub></b>	mg/L	1
<b>NO<sub>3</sub></b>	mg/L	< 1
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	mg/L	< 2
<b>Température</b>	°C	< 30
<b>Couleur</b>	-----	Incolore
<b>Odeur</b>	-----	Inodore

##### **I.4.2 Normes de rejets appliqués en Algérie :**

Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau I.2.

**Tableau I.2. Normes de rejets dans un milieu récepteur [17]**

Paramètres	Unités	Valeurs limites	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30	Aluminium	mg/L	03
pH	----	6,5 à 8,5	Cadmium	mg/L	0,2
MES	mg/L	35	Fer	mg/L	03
DBO5	mg/L	35	Manganèse	mg/L	01
DCO	mg/L	120	Mercure total	mg/L	0,01
Azote Kjeldahl	mg/L	30	Nickel total	mg/L	0,5
Phosphates	mg/L	02	Plomb total	mg/L	0,5
Phosphore total	mg/L	10	Cuivre total	mg/L	0,5
Cyanures	mg/L	0,1	Zinc total	mg/L	03
Huiles et Graisses	mg/L	20	(*) Chrome III +	mg/L	03
Hydrocarbures totaux	mg/L	10	(*) Chrome VI +	mg/L	0,1
Indice Phénols	mg/L	0,3	(*) Solvants organiques	mg/L	20
Composés organiques chlorés	mg/L	05	(*) Chlore actif	mg/L	1,0
Chrome total	mg/L	0,5	(*) Détergents	mg/L	2

### **I.5. Nécessité de l'épuration de l'eau :**

Un grand nombre de communes se sont équipées d'une station d'épuration. Ces stations utilisent des procédés artificiels qui imitent le processus naturel d'auto-épuration de la rivière. À la fin du traitement, l'eau épurée est rejetée dans le milieu naturel. Elle peut également être utilisée en irrigation de cultures ou d'espaces verts, aussi la réutilisation dans le domaine industrielle.

### **I.5. Les différentes étapes d'épuration des eaux usées :**

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines, constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitement au préalable. La filière de leur épuration recommande différentes techniques à divers niveaux technologiques souvent très élaborées, ceci est illustré comme étant des méthodes classiques de traitement. Les différents procédés biologiques d'épuration sont représentés sur la Photo I.1

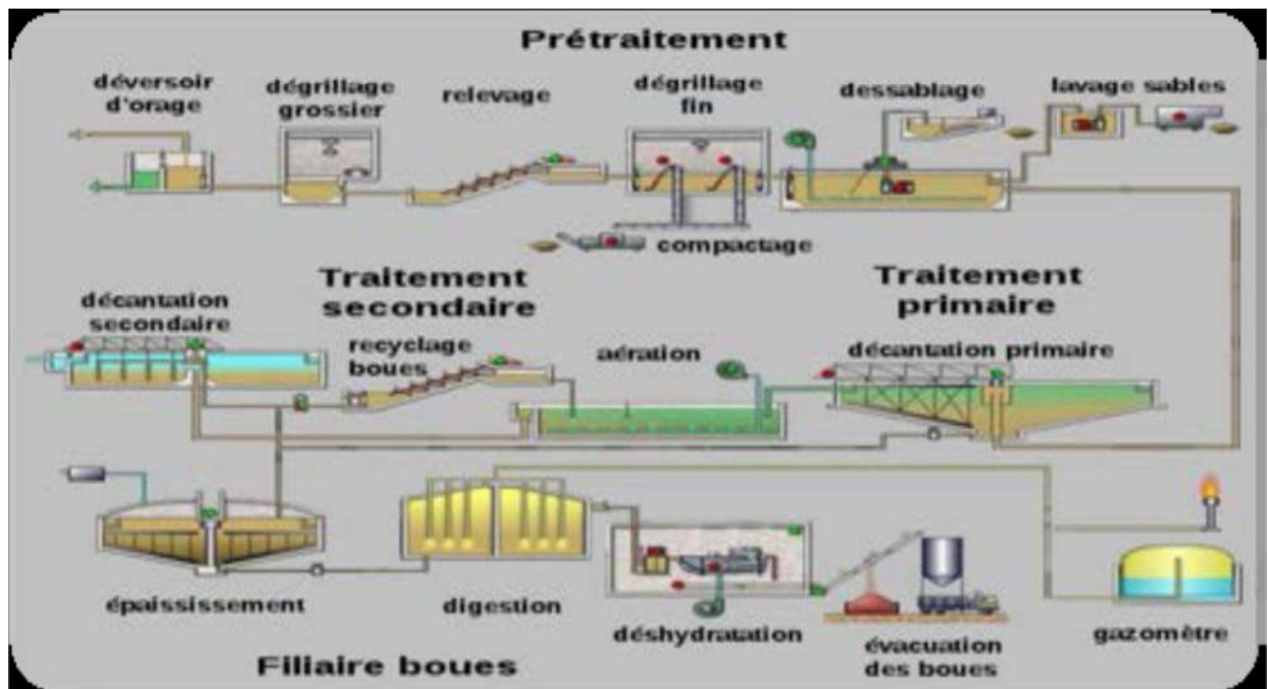


Photo .I.1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées

**I.5.1. Prétraitements :**

Le Prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieurs du traitement. Qui sont illustré dans le tableau I.3. et la Photo I.2.

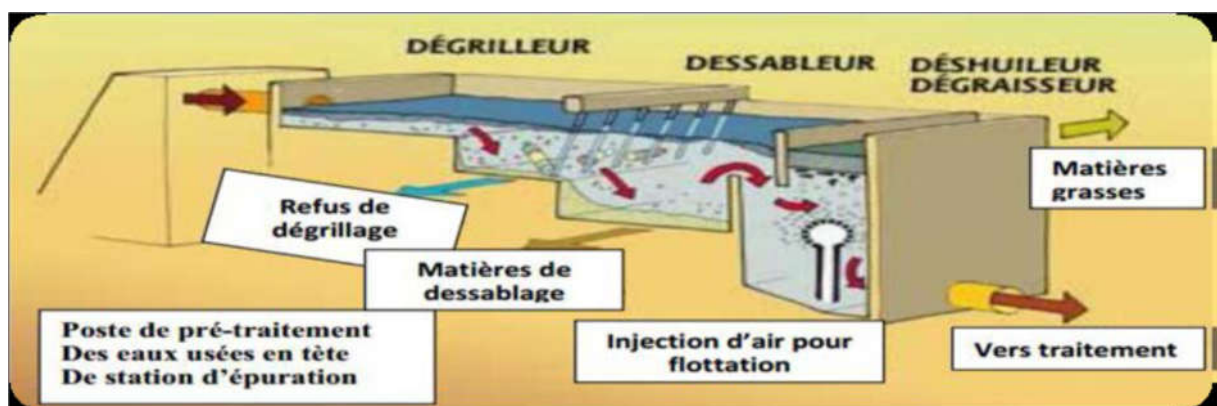
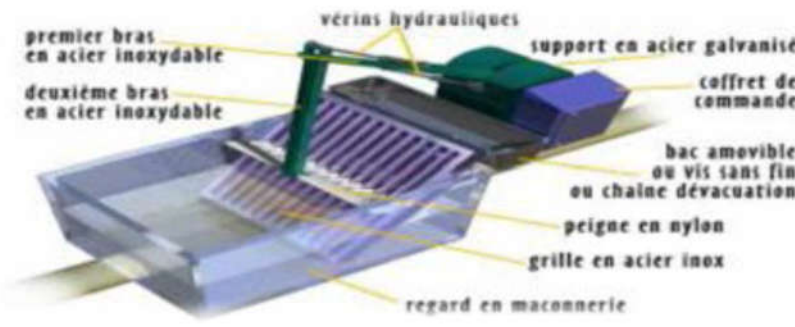




Photo.I.2: Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP [16]

Le prétraitement comprend le dégrillage pour retenir les déchets volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation, le dégraissage et le déshuilage pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras [10].

Tableau I.3:Le prétraitement d'une STEP [16]

Prétraitements	Figures
<p>Dégrillage</p>	
<p>Dessablage</p>	
<p>Déshuilage et dégraissage</p>	

**I.5.2. Traitement primaire (physico- chimique) :**

Il s'agit le plus souvent d'une décantation qui permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension [16]. En utilisant des procédés physiques ou physico-chimiques visant la décantation poussée des matières en suspension dans l'eau. On distingue :

**1. La décantation physique (naturelle) :**



Les matières en suspension qui ont souvent une teneur en matière organique importante (de 70 à 90%) et une densité légèrement supérieure à celle de l'eau vont se décanter naturellement dans un décanteur primaire en 1 à 2 heures (Photo. I.3) [16].

## **2. La décantation physico-chimique :**

Les performances de la décantation peuvent être ainsi améliorées par l'ajout des produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique...) [16].



**Photo. I.3. Décanteur primaire [16]**

### **I.5.3. Traitement secondaire (biologique) :**

Après le prétraitement des eaux usées urbaines, il est impératif de traiter ces eaux biologiquement en les mettant en présence d'une masse bactérienne très dense. Cette masse peut être libre (boues activées, lagunage) ou fixe (lits bactériens ou bio-filtre). L'épuration biologique a pour but d'éliminer la matière polluante biodégradable contenue dans l'au domestique (décanté ou non) en la transformant en matières en suspension : micro-organismes et leurs déchets, plus facilement récupérables [17]. La dégradation de la pollution organique se fait sous l'action des bactéries dont la nature et la quantité sont en fonction de la disponibilité d'O<sub>2</sub> présent dans les lagunes.

Les tableaux I.4 et I.5 résument respectivement les principaux procédés du traitement biologiques.



Tableau I.4 : Les procédés à cultures fixées [18]

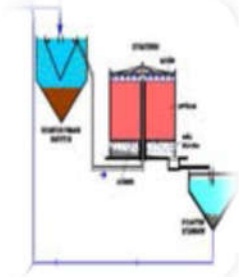
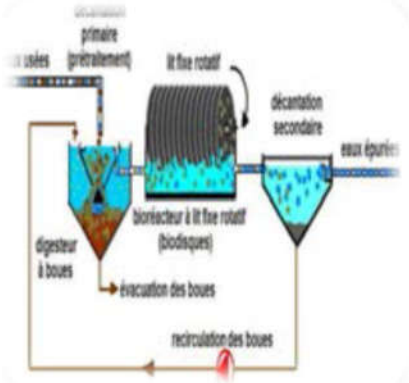
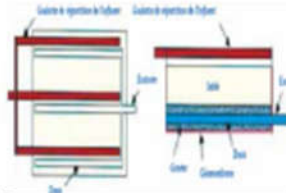
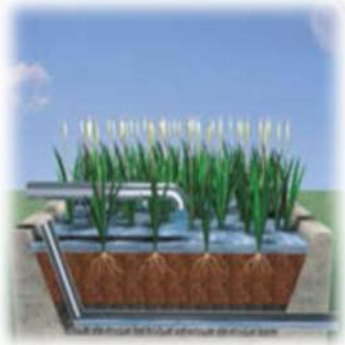
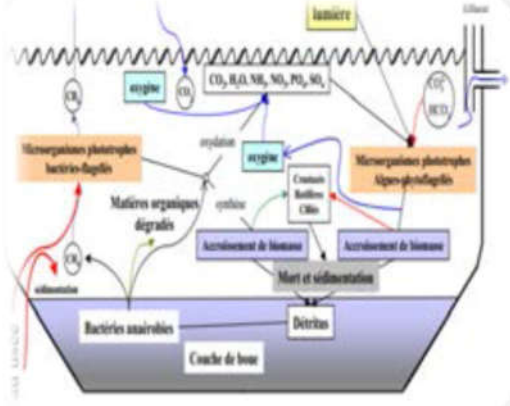
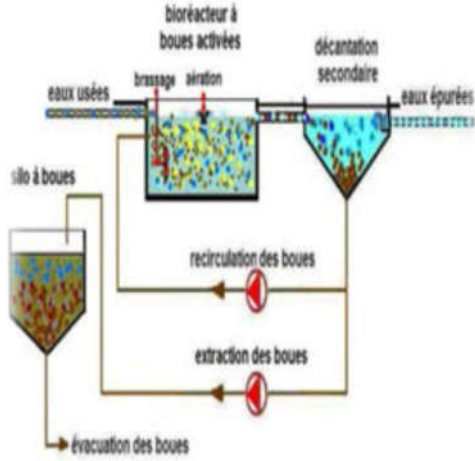
	Procédés	Le principe de fonctionnement	figure
<p><b>Les procédés à cultures fixées</b></p>	<p><b>Les lits bactériens</b></p>	<p>- Le lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.</p>	
	<p><b>Disque biologique</b></p>	<p>- Le disque biologique est constitué d'une série de disque en matière plastique à surface ondulée de 3m de diamètre environ et montés sur un axe horizontal. Ces disques sont immergés à 40% dans un bassin recevant l'eau à traiter. Les disques sont suffisamment espacés de manière à ce que l'eau puisse circuler librement.</p>	
	<p><b>L'infiltration-percolation sur sable</b></p>	<p>- L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin</p>	
	<p><b>Le filtre planté de roseaux</b></p>	<p>- Les filtres plantés de roseaux sont des systèmes épuratoires permettant une reconstitution contrôlée des phénomènes d'autoépuration naturelle: l'épuration résiduaire consiste à éliminer les éléments solides maintenus en suspension, et à réaliser l'épuration biologique de l'eau en éliminant la pollution organique</p>	

Tableau I.5 : Procède à cultures libre [15] [16].

	Procédés	Le principe de fonctionnement	Figure
<p align="center"><b>Les procédés à cultures Libre</b></p>	<p align="center"><b>Le lagunage</b></p>	<p>- Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration. Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur trophiques. On distingue deux types du lagunage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le lagunage naturel</li> <li>- Le lagunage aéré</li> </ul>	 <p>The diagram illustrates the natural pond treatment process. It shows a cross-section of a pond with various biological and chemical processes. At the top, light (lumière) enters the water, driving photosynthesis by microorganisms (Microorganismes photosynthétiques) and algae (Algues photosynthétiques). These organisms produce oxygen (O<sub>2</sub>) and release CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>. Organic matter (Matières organiques dégradées) is broken down by bacteria (Bactéries anaérobies) and other organisms. The process also involves the growth of biomass (Accroissement de biomasse) and the death and sedimentation (Mort et sédimentation) of organisms, leading to a layer of sludge (Couche de boue) at the bottom. The diagram also shows the exchange of gases like N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>.</p>
	<p align="center"><b>Les boues activées</b></p>	<p>- La technique des boues activées est appropriée pour des eaux usées domestiques d'agglomérations à partir d'environ 1000 habitants. L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute</p>	 <p>The diagram shows a schematic of an activated sludge treatment system. It consists of a 'bi réacteur à boues activées' (activated sludge reactor) where 'eaux usées' (wastewater) enter and are mixed with 'brassage aération' (aeration and mixing). The treated water then moves to a 'décantation secondaire' (secondary clarification) tank. From there, 'eaux épurées' (clarified water) exit the system. A 'silo à boues' (sludge silo) is used for 'recirculation des boues' (sludge recirculation) back into the reactor. Additionally, 'extraction des boues' (sludge extraction) is shown, leading to 'évacuation des boues' (sludge evacuation).</p>

**I.5.4. Traitement tertiaire :**

Appelées aussi les traitements complémentaires qui visent l'élimination de la pollution azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux usées domestiques, ayant déjà subi au préalable des traitements primaires et secondaires qui s'avèrent insuffisants pour arriver bout de ces polluants. Pour cela les traitements tertiaires d'imposent et deviennent plus que nécessaires, afin de garantir une meilleure protection des milieux naturels récepteurs. [19].

Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige. On y distingue généralement les opérations suivantes :

- La nitrification-dénitrification et de phosphatation biologique ou mixte (biologique et physicochimique)
- La désinfection bactériologique et virologique.

### **I.6. Traitements biologiques des rejets :**

Les traitements secondaires également appelés traitements biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter. Des microorganismes mis en contact avec l'eau polluée assimilent la matière organique qui, leur sert de substrat de croissance. L'ensemble de la pollution avec les microorganismes vivants forme la liqueur mixte ou boue biologique contenue dans des bassins de traitement biologique. En règle générale, l'élimination complète de la pollution organique de ces bassins se déroule en conditions aérées par des souches aérobies strictes ou facultatives. Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique.

Ce sont les procédés à culture en suspension ou procédés à boues activées, les procédés à culture fixée (disques biologiques rotatifs, lits bactériens, etc.), les procédés à décantation interne (lagunage), les techniques d'épandage-irrigation, etc. Le traitement par boues activées est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent aussi à l'élimination de l'azote et du phosphore. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène [20]

#### **I.6.1. Les différents types de traitement biologiques :**

##### **a) Traitements anaérobies**

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO<sub>2</sub>. Ce type de fermentation est appelé digestion en hydrologie. C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances

inhibitrices du développement bactérien à titre d'exemple : les sels de métaux lourds et les phénols [21].

**b) Traitements aérobies**

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène. On distingue cinq méthodes essentielles :

- Les cultures fixes (lits bactériens et disques biologiques)
- Les cultures libres (boues activées)
- Le lagunage
- Filtration/percolation
- La filtration par le sol et les plantes (filtres plantés)

**I.7. Avantages et inconvénients des procédés de traitement des eaux usées :****I.7.1. Avantages et inconvénients des différentes filières intensives :****a) Les avantages :**

- ✓ faible consommation d'énergie ;
- ✓ bonne décantabilité des boues ;
- ✓ plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ;
- ✓ généralement adaptés pour les petites collectivités ;
- ✓ résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment) ;
- ✓ fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées [22].

**b) Les inconvénient :**

- ✓ performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;
- ✓ coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ;
- ✓ nécessité de prétraitements efficaces ;

- ✓ sensibilité au colmatage ;
- ✓ ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.

**I.7.2. Avantages et inconvénients des Boues activées****a) Les avantages**

- ✓ adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ;
- ✓ bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO5, N par nitrification et dénitrification)
- ✓ adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ;
- ✓ boues (cf. glossaire) légèrement stabilisées ;
- ✓ facilité de mise en œuvre d'une dé phosphatation simultanée.

**b) Les inconvénients**

- ✓ coûts d'investissement assez importants ;
- ✓ consommation énergétique importante ;
- ✓ nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ;
- ✓ sensibilité aux surcharges hydrauliques ;
- ✓ décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser ;
- ✓ forte production de boues qu'il faut concentrer [22]

**I.7.3. Avantages et inconvénients des différentes filières extensives****1. Avantages et inconvénients de lagunage naturel****a) Les avantages**

- ✓ Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ;
- ✓ L'exploitation reste légère mais, si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ;
- ✓ Elimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été).
- ✓ Faibles rejets et bonne élimination des germes pathogènes en été ;
- ✓ S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ;
- ✓ Pas de construction "en dur", génie civil simple ;
- ✓ Bonne intégration paysagère ;
- ✓ Bon outil pour l'initiation à la nature ;
- ✓ Absence de nuisance sonore ;

- ✓ Les boues de curage sont bien stabilisée sauf celles présentes en tête du premier bassin. [22]

**b) Les inconvénients**

- ✓ Forte emprise au sol (10 à 15 m<sup>2</sup>/EH) ;
- ✓ Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ;
- ✓ Qualité du rejet variable selon les saisons ;
- ✓ La maîtrise de l'équilibre biologique et des processus épuratoires reste limitée.

**I.7.2. Avantages et inconvénients de lagunage aéré****a) Les avantages**

- ✓ Tolérant aux variations de charges hydrauliques et/ou organiques importantes ;
- ✓ Tolérant aux effluents très concentrés ;
- ✓ Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamenteux en boues activées) .
- ✓ Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables.

**b) Les inconvénients**

- ✓ Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ;
- ✓ Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé
- ✓ Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ;
- ✓ Forte consommation énergétique [22].

**I.8. Conclusion :**

Le traitement des eaux usées est un processus très important pour la vie quotidienne des habitants des villes et du monde rural. On effectue l'épuration des eaux usées non seulement pour protéger l'environnement, la santé de la population et éviter les maladies contagieuses, mais aussi pour la réutilisation dans le secteur agricole et industriel. Aujourd'hui, ce dernier but devient de plus en plus important et les techniques de traitement et les stations d'épuration évoluent constamment. Les traitements usuels (primaires et secondaires) ont été complétés par des traitements qui visent à éliminer le plus possible de substances nocives pour les écosystèmes (tertiaires). Alors que les systèmes d'assainissement individuels classiques sont

coûteux et ne sont pas toujours efficaces, il existe une alternative écologique et économique, la phyto-épuration.



**Chapitre II :**  
**Traitement des eaux usées par**  
**des macrophytes**

## II.1.Introduction

La phytoépuration se sert des facultés épuratrices naturelles des plantes aquatiques et de leur milieu pour assainir l'eau. C'est une technique au développement récent, elle offre une alternative écologique, économique, durable et esthétique. Dans cette technique, les plantes ont développé des mécanismes complexes pour absorber les substances organiques ou minérales de l'eau à travers leurs racines et leurs feuilles, lesquelles sont ensuite transportées dans d'autres parties de la plante pour être utilisées, transformées, dégradées ou [23] .

C'est un système innovant, particulièrement efficace, qui utilise le pouvoir épurateur des plantes aquatiques et qui offre une alternative écologique, économique, durable et esthétique au système classique. Les systèmes de phytoépuration sont utilisés pour l'épuration d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes.

L'objectif principal de ce chapitre est de donner une idée sur l'épuration des eaux usées par les filtres plantés à macrophytes, ainsi que les différents filtres plantés et les plantes les plus utilisées dans cette technique [24].

## II.2. Principe de la phytoépuration :

Cette filière d'épuration s'appuie sur le pouvoir épurateur des végétaux aquatiques : algues, hydrophytes (plantes d'eau libre) et héliophytes (plantes du bord des eaux). Les eaux usées séjournent simplement dans une série de bassin à ciel ouvert peuplés de ces végétaux. [25]

les eaux brutes (eaux grises et eaux vannes) passent à travers des bassins remplis d'un substrat minéral (sable, graviers, pouzzolane selon les cas) ou sont plantés différents végétaux subaquatiques (macrophytes) : roseaux, massettes, joncs, iris (espèces locales de préférence car elles sont adaptées au climat. Ces dernière consomment les composés polluants dissous dans l'eau – azote et phosphore, qui constituent pour eux des éléments nutritifs. Par ailleurs elles servent de supports à de nombreux organismes microscopiques-algues et bactéries qui font le gros du travail. Quant aux hydrophytes, elles absorbent les nutriments en excès à travers les parois cellulaires de leurs tiges et feuilles très ramifiées et produisent de l'oxygène nécessaire à la décomposition des matières organiques et à l'oxydation de l'azote ammoniacal préjudiciable au milieu aquatique. Leur rôle se cantonne plutôt au bassin de finition, souvent négligé. [26]

### II.3. Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux usées

Les filtres plantés de roseaux ou rhizosphères sont des excavations étanches au sol remplies de couches successives de gravier ou de sables de granulométrie variable, et leur fonctionnement alterne des phases d'alimentation et de repos.

#### II.3.1. Les filtres à écoulement horizontal, principe de fonctionnement et performance

Les filtres verticaux sont des bassins remplis de couches de graviers de granulométries différentes superposées, et selon leur place dans la filière de traitements recouverts ou non d'une couche de sable, dans laquelle sont plantés les macrophytes. Suite à des travaux conduits, notamment en France par le Cemagref, en parallèle sur les lits d'infiltration percolation sur sable et les filtres plantés de roseaux (figure II.1).

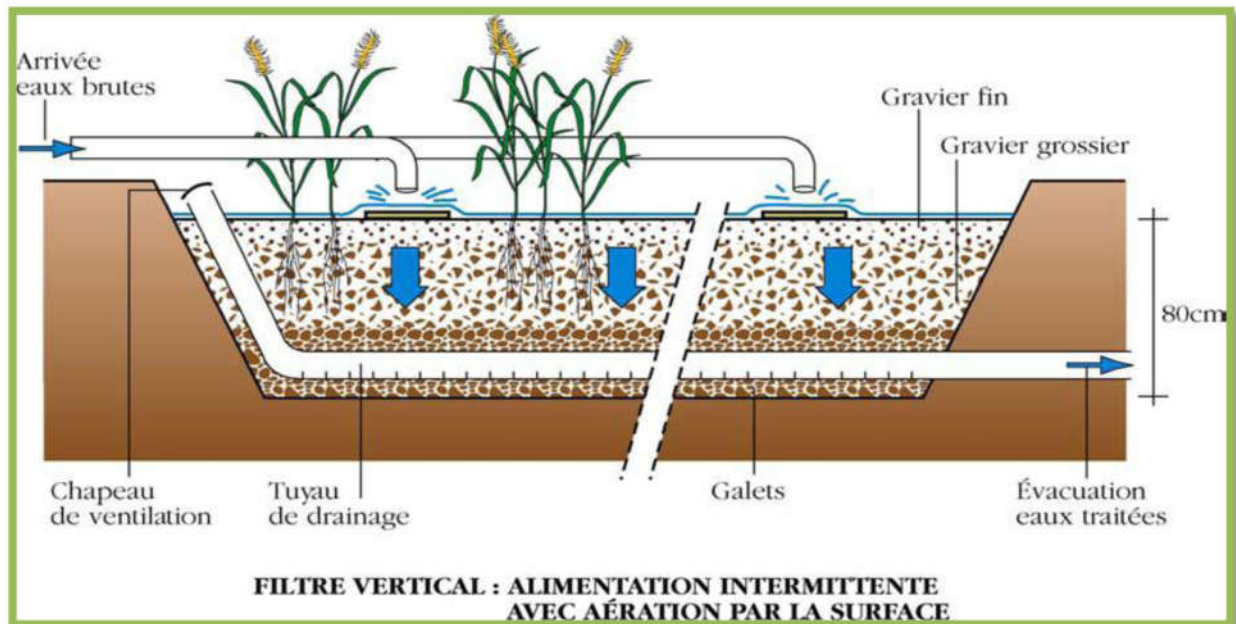
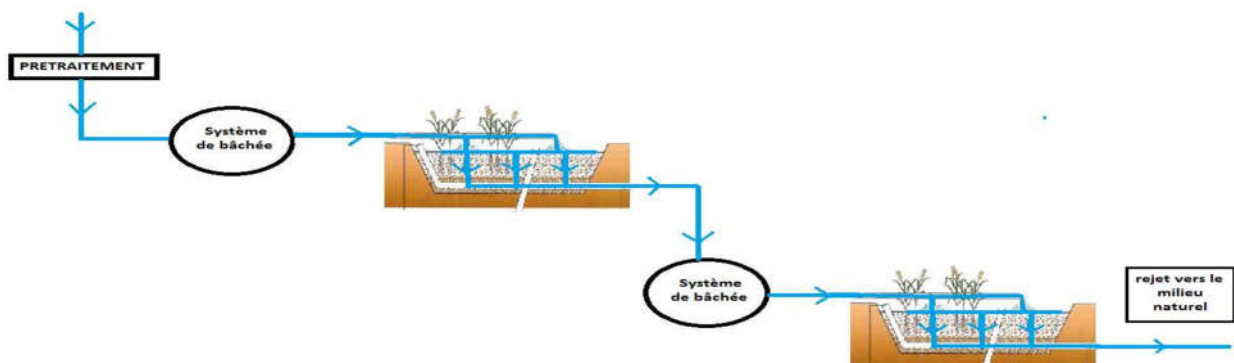


Figure II.1: Schéma d'un filtre vertical (deuxième étage) en coupe transversale [27]

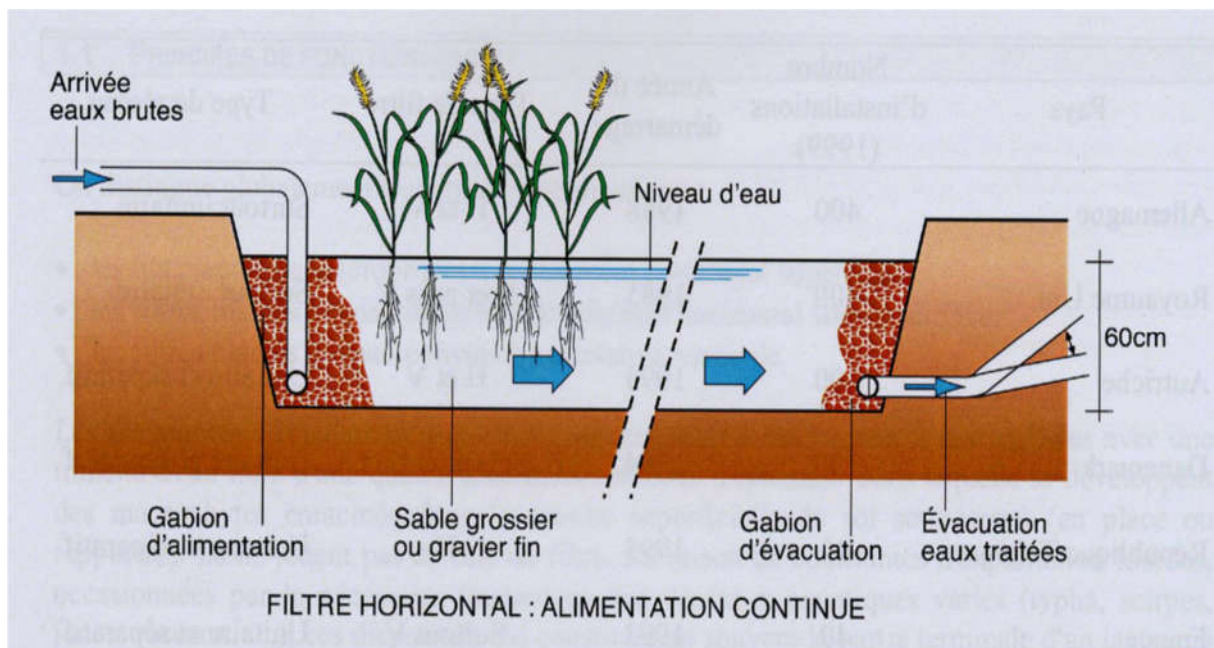


**Figure II.2 :** Principe de fonctionnement du filtre vertical

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter. Contrairement à l'infiltration-percolation précédemment évoquée, l'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre. Il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexations...) et biologique (biomasse fixée sur support fin). Les eaux épurées sont drainées. Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bâchées. Pour un même étage, la surface de filtration est séparée en plusieurs unités permettant d'instaurer des périodes d'alimentation et de repos.

### II.3.2. Les filtres à écoulement horizontal, principe de fonctionnement et performance

Les filtres horizontaux sont des bassins remplis de manière homogène de sable, de gravier ou de sol en place, et dans lesquels ont été plantés des macrophytes. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du filtre par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin ; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation a lieu en continu et les matériaux sont pratiquement saturés en permanence. Le niveau d'eau doit être maintenu à environ 5 cm sous la surface du matériau (figure II.3). Ceci permet d'éviter les écoulements préférentiels en surface et d'assurer un flux homogène.

**Figure II.3 :** Schéma d'un filtre horizontal en coupe transversale [27]

Les filtres horizontaux nécessitent un prétraitement des eaux, par exemple par un filtre vertical, des fosses septiques ou un petit bassin de lagunage pour ne pas risquer de se colmater. Ils conviennent davantage pour les eaux usées assez eu chargées. Ces filtres sont généralement intégrés dans un ensemble de dispositifs d'épuration pouvant être utilisés pour l'épuration des eaux domestiques à l'échelle d'une famille ou d'une communauté et pouvant remplacer les puisards ou les fosses septiques [28].

### II.3.3. Les systèmes mixtes

Les systèmes mixtes sont en fait l'association en série de filtres verticaux et de filtres horizontaux. Généralement cette association est constituée de deux étages consécutifs de filtres verticaux en parallèle suivis de deux ou trois étages de filtres horizontaux en série. L'intérêt d'une telle association est d'obtenir une bonne nitrification dans les filtres verticaux qui sont bien oxygénés, mais aussi une dénitrification dans les filtres horizontaux où l'on trouve les conditions d'anoxie nécessaires à cette réaction. Les rendements de la dénitrification ne sont pas très élevés car les bactéries dénitrifiâtes ont besoin de matières organiques pour se développer et dénitrifier correctement. Or, en sortie des filtres verticaux, la majeure partie de la matière organique a été dégradée, elle n'est donc plus disponible pour les bactéries [29].

Dans ce type de système (mixte) l'élimination des matières organiques ( $DBO_5$  et DCO) et des matières en suspension est très élevée et stable au cours des années d'exploitation. Cependant l'enlèvement d'éléments nutritifs (azote et phosphore) est généralement faible et ne dépasse pas 50% des eaux usées. Le système mixte appelé aussi Hydride construit des zones humides combinées (phénomène de nitrification et dénitrification) afin d'obtenir un effet de traitement plus élevé en particulier pour l'azote [30].

## II.4. Rôle des composants d'un filtre planté de macrophytes

### II.4.1. Rôles des plantes

La présence de plantes épuratrices contribue à :

- empêcher la formation d'une couche comatante en surface liée à l'accumulation des matières organiques retenues par filtration mécanique.
- favoriser le développement de micro-organismes lesquels contribuent au même titre que les rhizomes, racines, radicules mais aussi lombrics à une minéralisation poussée de la matière organique avec formation d'une sorte de terreau parfaitement aéré et de perméabilité élevée [31].

- assurer une protection contre le gel dans la mesure où les massifs en hiver sont couverts par la végétation.
- Créer de l'ombre et donc maintenir une hygrométrie contribuant à la formation d'une biomasse bactérienne.
- accroître la surface de fixation des microorganismes par le développement racinaire.
- De plus, il semblerait que les tissus racinaires et leurs exsudats constituent des niches plus accueillantes que des substrats inertes car un sol planté est biologiquement plus riche et actif qu'un sol nu.
- participer à l'intégration paysagère des dispositifs.

#### II.4.2. Les plantes et leurs caractéristiques

##### a) Papyrus :

Le papyrus (*Cyperus papyrus*) est une plante qui pousse notamment sur les rives du Nil et de son delta. Il est constitué d'une tige ligneuse de section triangulaire supportant des feuilles disposées en étoile à son sommet. Cette plante peut atteindre plusieurs mètres de haut. L'utilisation du Papyrus pour le traitement des métaux lourds dans les eaux usées a montré une capacité non négligeable dans la rétention des métaux spécialement pour le Cu, Zn et Fer.



Photo II.1 : Papyrus

##### b) Phragmite Australis

Les phragmites communs sont les végétaux les plus fréquemment utilisés en épuration. Leur croissance rapide et leur aptitude à développer un système racinaire dense, facteur de démultiplication végétale, ne sont pas étrangères à cette préférence (photo II.2).

Le Phragmite Australis (photo II.2) est une plante très productive qui s'adapte facilement aux différentes conditions du milieu. Ce sont les rhizomes horizontaux et verticaux qui fournissent un support pour la croissance des bactéries. Avec les racines du Phragmites Australis ces



rhizomes assurent une grande surface de contact entre sol-eau usées. Ces dernières produisent des exsudats pour les bactéries pathogènes. Ces techniques d'épuration dont le traitement par les plantes bénéficient d'une attention croissante.



**Photo II.2 :** Le roseau commun « Phragmite Australis

### C) Le typha :

Le typha est une plante vivace de 1-2 mètres, glabre, à tige robuste ; feuilles largement linéaires (6 à 18 mm.), planes, glaucescentes, dépassant la tige ; épi proches ou à peine espacés et qui colonise les marées, étangs, rivières dans presque toute la France, l'Europe, l'Asie, l'Afrique et l'Amérique boréale [32]

Le typha est une plante très résistante qui peut être utilisée pour les cas de pollution les plus désespérés. Elle est capable de dépolluer des eaux usées très polluées à la limite de l'asphyxie (lisiers, eaux de décharges). Elle est très performante dans les milieux à la limite de l'anoxie (peu d'oxygène). Elle biodégrade très bien les produits pétroliers, les composés chlorés, et résiste à tout : métaux lourds, sels, excès de DCO et DBO<sub>5</sub>.



**Photo II.3 :** Typha Latifolia

Néanmoins, ils ne sont pas les seuls à pouvoir être utilisés dans le cadre d'une filtration à partir de végétaux. D'autres plantes de zone humide (divers roseaux, iris, scirpe...) sont



également utilisées pour la phytoépuration de l'eau. De même on trouve aussi des espèces ligneuses comme les saules et les aulnes qui, de par leur constitution et leur développement, assurent une meilleure épuration de l'eau traitée, ménageant encore un peu plus les milieux récepteurs sensibles.

#### **II.4.2. Le rôle du substrat**

Les couches de matériaux posées dans les lits, filtrent automatiquement les matières en suspensions présentes dans l'eau usée à traiter. Leur rendement dépend des caractéristiques hydrodynamiques, de la granulométrie et du type des matériaux utilisés. L'optimisation et le choix des matériaux de remplissage sont imposés par l'épaisseur et du type de filtre utilisé (FV ou FH). On doit avoir une filtration efficace tout en évitant le colmatage et la migration des particules entre les différentes couches ainsi les matériaux utilisés seront des granulats silicatés, roulés, lavés et calibrés. Un filtre est constitué de terre, de sable, de gravier, et de matières organiques telles que du compost. Leur perméabilité affecte la circulation de l'eau ainsi, ils retiennent les sédiments et les déchets qu'elle transporte. Non seulement ils servent de support à la végétation, mais deviennent aussi le support d'un grand nombre d'organismes vivants, et le lieu de nombreuses transformations chimiques et biologiques (en particulier bactériennes) formant une source de carbone et d'énergie pour l'activité biologique. En fin ces substrats assurent le stockage de nombreux contaminants [33].

#### **II.4.3. Oxygénation de la rhizosphère**

Les petites quantités d'oxygène provenant des parties aériennes sont rejetées à l'apex des racelles des plantes, mais elles sont insuffisantes pour contribuer seules à la satisfaction des besoins d'oxygène de la biomasse bactérienne, responsable de la dégradation [34]

#### **II.4.4. Ancrage des microorganismes**

Le développement racinaire accroît la surface de fixation pour le développement des micro-organismes et pour des réactions de précipitation. A cet accroissement de surface active, s'ajoute très certainement aussi un facteur encore stimulation de l'activité, voire de la diversité et de la densité des micro-organismes, impliqués divers titres dans les processus épuratoires. Il s'agit d'un concept bien connu en agronomie et qui peut se résumer sous la forme triviale suivante "un sol planté est biologiquement plus riche et actif qu'un sol nu". Les tissus racinaires et leurs exsudats constituent vraisemblablement des niches plus accueillantes pour les micro-organismes que des substrats minéraux inertes [34].

## II.5. Les mécanismes d'élimination et les performances épuratoires

### II.5.1. Enlèvement de la matière organique

Les mécanismes d'élimination sont régis par les processus physiques, chimiques, physicochimiques ou encore biologiques.

### II.5.2. Les matières en suspension :

Bien que les filtres plantés de roseaux soient encore considérés comme des «boîtes noires», les auteurs s'accordent généralement sur le fait que les matières polluantes, dissoutes ou particulaires, sont d'abord adsorbées ou filtrées puis dégradées de façon biologique pendant la phase de repos. [35]

Les particules les plus grossières sont piégées à la surface du filtre au cours de l'alimentation, puis minéralisées pendant la période de temps sec grâce aux microorganismes présents à la superficie du filtre et dans la couche de sédimentation déjà formée. Lorsqu'elles sont très organiques, les longues chaînes carbonées qui les composent (ex : amidon) favorisent la formation d'une couche de colmatage, qui peut entraver la circulation de l'influent dans le massif en diminuant le volume des pores [36]

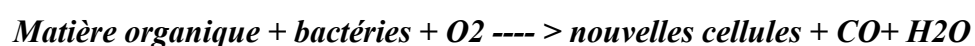
(Dans le système allemand, ce phénomène est cependant réduit par l'utilisation d'un réservoir d'eaux pluviales en amont du filtre. Par ailleurs, les macrophytes ont un rôle de déclamation physique de par leurs mouvements latéraux. Ils contribuent ainsi à fissurer cette couche de dépôt.

Les particules plus fines passent au travers du filtre ou sont retenues par les pores du matériau filtrant. Elles contribuent alors à en diminuer la porosité et la conductivité hydraulique. Elles peuvent également subir une adsorption, qui peut être biotique ou abiotique. Les rendements sur les MES des filtres plantés sont constamment élevés et augmentent avec la charge appliquée. Concernant la DCO particulaire sont généralement très élevés (>90%). Les concentrations dans l'effluent atteindraient 2 à 4 mg.l-1 sur des installations à taille réelle

### II.5.3. La matière organique

La matière organique est dégradée par des bactéries hétérotrophes aérobies ou anaérobies. L'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> est assuré par une biodégradation à partir des micro-organismes aérobies ou anaérobies.

➤ La dégradation aérobie transforme la matière organique en biomasse bactérienne et en éléments minéraux simples :



Les nouvelles cellules ainsi formées seront dégradées à leur tour.

➤ La *dégradation anaérobie* est limitée par la présence d'oxygène. C'est pourquoi elle peut avoir lieu dans les filtres horizontaux, saturés en eau en permanence et où des zones dépourvues d'oxygène existent à proximité de zones aérobies, et très peu dans les filtres verticaux. [37]

Les plantes et le sol n'ont pas d'influence directe sur l'enlèvement de la  $DBO_5$  mais indirecte en favorisant la croissance des micro-organismes. De plus, les plantes fournissent une proportion de l'oxygène nécessaire [38]

#### II.5.4. Les métaux

Dans les eaux usées, on trouve les métaux sous forme soluble ou particulaire. Les formes particulières sont retenues par *filtration*. Les formes solubles sont éliminées, par principalement deux mécanismes. D'une part, les métaux *précipitent* sous forme d'oxydes et de sulfides métalliques grâce à, respectivement, des bactéries métallo-oxydantes dans les zones aérobies et des bactéries sulfato-réductrices dans les zones anaérobies. Ils sont ensuite retenus dans la matrice du filtre. D'autre part, à l'interface racine/sédiment, on rencontre de forts gradients rédox qui provoquent la précipitation d'hydroxydes ferriques complexes. Ceux-ci s'accumulent dans la rhizosphère formant une sorte de gaine autour des racines. Elle constitue une barrière efficace contre l'assimilation végétale et favorise la *co-précipitation* avec d'autres métaux lourds dans la plaque d'hydroxyde ferrique.

### II.6. Les Avantages et les inconvénients de la phytoépuration

#### II.6.1. Les Avantages

- ✓ Elle ne dégrade pas l'environnement principalement dut au fait qu'elle ne dégage pas de gaz à effet de serre. Ainsi elle est constituée de matériaux naturels.
- ✓ L'exploitation de la station d'épuration est simple et peu contraignante que se soit au niveau du temps qu'au niveau de sa complexité, elle demande donc peu de compétences.
- ✓ Le cout de la station d'épuration sur lit de roseaux est peu élevé, en effet à rapport a un système d'épuration intensif, on réalise 20 à 30% d'économie sur les couts d'investissement et de 40 a 50% sur les frais de fonctionnement.
- ✓ Du fait qu'elle soit naturelle elle s'intègre totalement dans ce qui l'entoure, ne cassant ainsi pas le paysage. Par les roseaux elle maintient la perméabilité, ce qui laisse peu d'odeur remonter, ainsi il y a peu de nuisances olfactives.
- ✓ l'eau traitée par cette station d'épuration est de bonne qualité par rapport a d'autres infrastructures.
- ✓ Elle possède une excellente élimination de la pollution microbiologique.

- ✓ Contribue au développement et à la diversification de la flore locale, ainsi qu'à la protection de la faune et de la biodiversité.
- ✓ Le traitement est 100% naturel, sans produit chimique.
- ✓ La tolérance aux variations de charges et de débits est très importante. (Pauline, 1995).

### II.6.2. Les inconvénients:

- ✓ Elle ne s'adapte qu'aux petites collectivités de moins de 2000 équivalent-habitants, plus il y a d'habitants plus il y a besoin d'une grande surface, en effet il faut entre 2 et 4.5 m<sup>2</sup> par habitants.
- ✓ Il faut également une pente naturelle suffisante, c'est dire au moins 4m entre l'entrée et la sortie de la station pour que l'eau puisse couler.
- ✓ De plus même si l'eau a été nettoyée elle n'est pas potable on peut seulement la rejeter dans la nature.
- ✓ Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie.
- ✓ En cas de mauvais fonctionnement, risque d'odeurs

[39]

## II.7. Conclusion

La dernière décennie a vu apparaître sur le marché, des systèmes d'épuration «rustiques», techniques alternatives aux procédés biologiques classiques, tels les lits filtrants plantés de macrophytes. Cette technique s'étend maintenant à de nombreuses localités, les élus locaux ont réalisé les atouts de ce type de système d'épuration. Il s'agit d'une technologie peu coûteuse, fiable, simple d'exploitation, qui facilite la gestion des boues et qui s'intègre bien dans le paysage. La conception de filtres plantés de macrophytes possède réellement de nombreux avantages; c'est une technique simple, économique, efficace, fiable, adaptable au lieu.

Les plantes vont soit absorber le contaminant pour le métaboliser ou le stocker, soit réduire voire empêcher la libération du contaminant dans d'autres compartiments de l'environnement.

Le plus souvent, les composés organiques ou non peuvent être dégradés et métabolisés pour la croissance de la plante. Ces qualités font de ce système un atout pour la commune car contrairement à la majorité des autres systèmes d'épuration, il bénéficie d'une image positive de la part des habitants. Une description des plantes utilisées a été également effectuée.

**DEUXIEME PARTIE**

**ANALYSE**

**EXPERIMENTALE**

*Chapitre I:*  
**Méthodes et  
matériels**

## I.1.Introduction

Pour répondre aux besoins des petites collectivités ayant des contraintes techniques et financières leur interdisant les systèmes techniques d'épuration classiques, il y a l'apparition des systèmes d'épuration rustiques, techniques alternatives aux procédés artificiels, tels que le lagunage, l'épandage ou encore les lits filtrants plantés de macrophytes.

Les eaux à travers un lit de gravier planté avec des espèces dont les racines se nourrissent des éléments nutritifs de l'eau. C'est un système qui permet non seulement de traiter les eaux usées sans produits chimiques ni énergie mais aussi d'irriguer des plantes utiles avec ces eaux épurées. Les potentialités épuratoires des plantes aquatiques et plus particulièrement du (papyrus, Phragmites, Typha...) ont été mises en évidence par plusieurs chercheurs pour traiter des effluents domestiques et industriels contenant des substances organiques et inorganiques.

Le but de ce chapitre est de montrer le protocole expérimental installé afin de tester le pouvoir épurateur des filtres plantés à épurer les eaux usées. Pour cela, il a été procédé à l'analyse de quelques paramètres physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie des filtres plantés.

## I.2. Le site de nos essais expérimentaux

Nos essais expérimentaux ont été effectués au niveau de la station du département d'hydraulique (université de Biskra), aménagée spécialement pour examiner le pouvoir épuratoire des plantes phragmites. Nous avons été amenés à d'écrire les méthodes et les matériels utilisés, et évaluer les différents paramètres relatifs aux essais de Phytoépuration.



**Photo I.1: Le site des essais (département d'hydraulique, Université Biskra 2019)**

### I.2.1. Préparation des filtres plantés et choix des matériels d'étude

- six bassines en plastique identiques de forme ronde, d'une hauteur de 36 cm, de base supérieure de 50 cm et de base inférieure de 20cm de diamètre ;
- Tube en PVC de 02 cm de diamètre pour assurer l'aération ;
- Robinets en plastique au fond des bassines pour la collecte du filtra ;
- Gravier de différentes tailles tamisés et lavés ;
- Le sable terre naturel ;
- La poussière ;

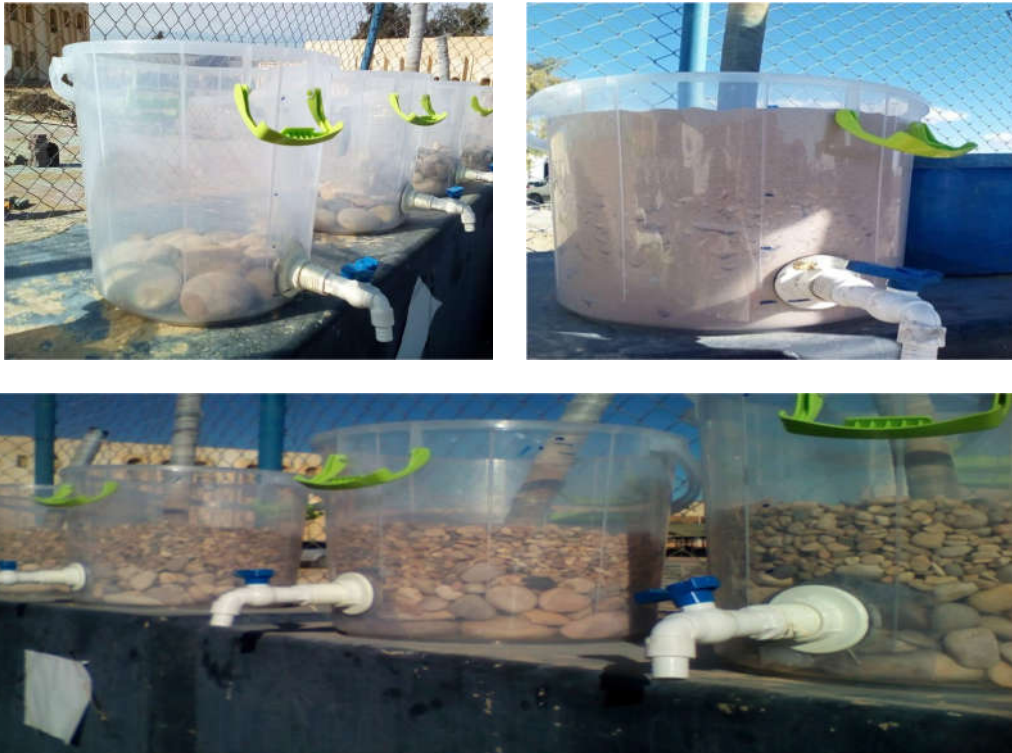


Photo I.2 : Préparation des filtres

### I.2.2. Préparation du substrat

Le substrat consiste à une superposition verticale de trois couches différentes en dimensions des particules de gravier qui a été préalablement tamisé et lavé. Ci-dessous un tableau (I.1) présentant les caractéristiques du substrat et les différentes couches de substrat utilisées.



Tableau I.1 : Les caractéristiques du substrat et les différentes couches utilisées





Les couches	Substrat	Diamètre (mm)	Epaisseur de la couche (cm)	Photo de la couche du substrat
1 <sup>ère</sup> couche	Gravier grossier	40-60	6	
2 <sup>ème</sup> couche	Gravier moyen	20-30	6	
3 <sup>ème</sup> Couche	Gravier fin ou bien sable ou bien Terre naturelle	16-10	12	 



Photo I.3 : Les différentes couches du substrat de chaque filtre

### I.2.3.Préparation et choix des plantes

Notre étude est basée essentiellement sur le système racinaire de plante Phragmite Australis. Les jeunes tiges de la plante ont été prises à partir de leurs lieux initiaux à un stade moyen de leurs croissances pendant le mois de Février, puis les mettre dans l'eau pendant 15 jours, jusqu'au développement remarquable des racines. Ce sont des macrophytes qui appartiennent

au groupement des hélrophytes et se caractérisent tout particulièrement par leurs systèmes racinaires très actifs et capables de résister à des conditions très difficiles même lorsque la partie aérienne de la plante est desséchée.



**Photo I.4 : Le développement des racines des jeunes tiges de phragmites Australis**

Généralement le choix des végétaux à implanter s'appuie sur un certain nombre de critères importants :

- ✓ adaptation aux conditions climatiques locales ;
- ✓ durée du cycle de végétation ;
- ✓ vitesse de croissance ;
- ✓ facilité d'exportation de la biomasse produite et efficacité d'épuration.

#### I.2.4.Préparation des filtres plantés

La disposition des substrats en superposition de diamètre le plus gros en bas vers le plus petit en haut, et des jeunes tiges dans les bacs comme suit :

	<p>1- Ceci est placé avant la première couche afin de maintenir le niveau d'eau.</p>
	<p>2- Le remplissage de la 1ère couche du Gravier grossier, et sur cette couche des tubes en PVC (entourés par un filtre en plastique pour éviter le colmatage) ont été placés, afin d'assurer l'aération des bacs.</p>

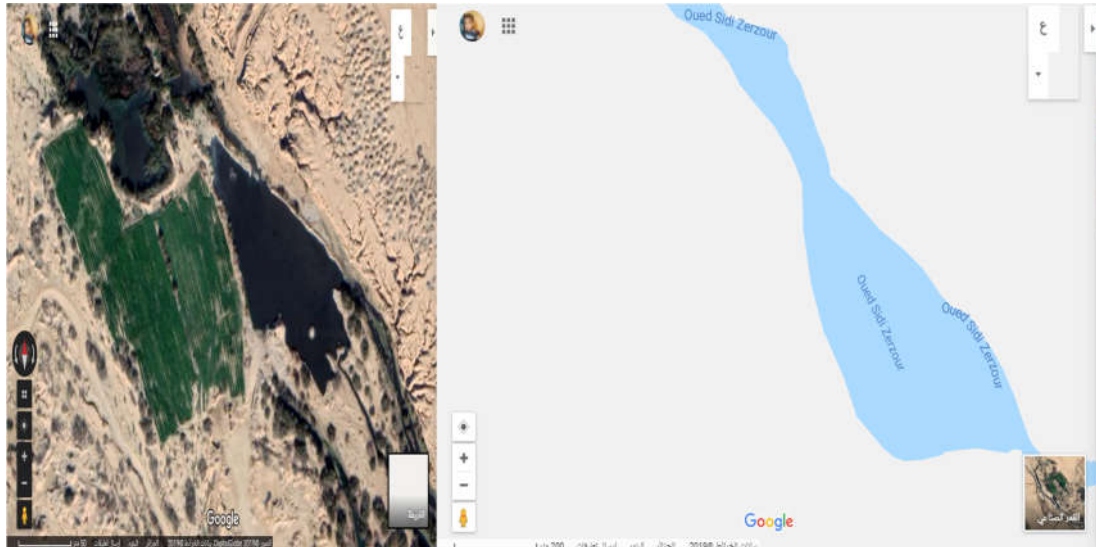
	<p>3- Le remplissage de graviers moyen</p>
	<p>4- le remplissage de la dernière couche Gravier fin ou bien sable ou bien terre naturelle</p>
	<p>1- L'irrigation des bacs plantés avec de l'eau usée</p>

**Photo I.5 : Les filtres plantés**

### **I.3.Choix des eaux usées :**

Les eaux usées utilisées pour cette étude sont d'origine domestique de la région de Biskra.

Les eaux usées domestiques ont été prélevées du rejet domestique de la commune de Reger de Biskra. Elle est située à l'Est de chef-lieu de la wilaya de Biskra.



**Photo I.6 : Localisation de la commune et le rejet dans la wilaya de Biskra**

**Tableau I.2 : Les caractéristiques physico- chimiques des eaux usées domestiques du rejet de Biskra sur le tableau**

Paramètres	Eau usée brute	Unité
pH	6.80	-
C.E	17.8	ms/cm
Température	15.10	C°
NO <sup>3-</sup>	0.341	mg/l
NO <sup>2-</sup>	0.509	mg/l

### **I.3.2. Calendrier de remplissage et prélèvement des échantillons**

Les analyses ont été effectuées au niveau de deux laboratoires de recherche Hydraulique, laboratoire LARGHYDE et CRSTRA (Université de Biskra). Nous avons effectué un premier remplissage des filtres plantés avec l'eau usée d'origine domestique. Le temps de séjour varie de 3, 5, 7 jours.

### **I.4. Analyse des paramètres physico- chimiques des eaux usées**

Après la préparation des bacs, leur remplissage avec l'eau usée est réalisé, on commence à faire les prélèvements, en ajoutant pour chaque échantillon prélevé d'eau, une goutte d'acide nitrique afin d'éviter le changement des paramètres physico-chimiques.



**Photo I.7 : Le remplissage des bacs avec l'eau usée**

Les échantillons de l'eau brute et des eaux collectés à la sortie des filtres plantés après chaque temps de séjour ont été analysés au niveau du laboratoire. Ces échantillons ont fait l'objet d'une mesure de : pH, Conductivité électrique, Température, Nitrates, Nitrites, DCO et L'oxygène dissous.

#### **I.4.1. Mesure de (pH, CE, température et l'oxygène dissous)**

La mesure du pH et de la conductivité a été effectuée à l'aide d'un multi paramètre, en remplaçant pour chaque paramètre l'électrode. La lecture de la température a été réalisée aussi pendant la mesure de la conductivité.

##### **1. pH :**

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène  $[H^+]$  présent dans l'eau ou dans les solutions. La différence de potentiel existant entre une électrode plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$ . Pour cette mesure, nous avons utilisé une électrode de pH d'un multi paramètre de type Consort C5020.

##### **2. La conductivité électrique:**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise deux électrodes métalliques de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) et s'exprime généralement en micro siemens par centimètre ( $\mu S/cm$ ). Elle est mesurée une électrode de CE d'un multi paramètre de type Consort C5020.



**Photo I.8 : Multi paramètres utilisé pour la mesure des paramètres physiques**

### **3. L'oxygène dissous :**

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux microorganismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.



**Photo I.9 : Multi paramètres utilisé pour la mesure d'oxygène dissous**

### **4. La température (T) :**

La connaissance de la température est essentielle pour les réactions physico- chimiques et biologiques régies par leurs caractéristiques thermodynamiques et cinétiques., la concentration à saturation de l'oxygène dissous, plus l'eau n'est chaude et plus sa concentration limite diminue le pH et la conductivité est dépendante de la température de même que les processus de biodégradation carbonée Pour cette mesure, nous avons utilisé une électrode d'un multi paramètre de type Consort C5020



## I.4.2. Les paramètres chimiques :

### 1. Nitrates $\text{NO}_3^-$ :

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques, mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates.



Photo I.10 : spectrophotomètre UV-VIS

#### ➤ Méthode de dosage :

Le dosage de Nitrates est fait à l'aide de spectromètre UV-VIS. La lecture est effectuée à la longueur d'onde  $\lambda = 220 \text{ nm}$ .

#### ➤ Préparation des solutions étalons :

##### - Solution mère 100mg/l de $\text{N-NO}_3^-$ :

Dissoudre 0,7218g de nitrate de Potassium préalablement séché à  $105^\circ\text{C}$  pendant 24h dans 1000ml d'eau distillée.

##### - Solution fille 10mg/l de $\text{N-NO}_3^-$

Préparer une solution à partir de la précédente avec un rapport de dilution de 1/10

##### - Solutions étalons

A partir d'une solution fille à 10mg/l de  $\text{N-NO}_3^-$ , préparer une gamme étalon dans des fioles jaugées de 50 ml comme indiqué sur le (tableau I.) et la (photo I.) suivant : Tableau I.:

Préparation des solutions étalons de Nitrates.

Tableau I.3: Préparation des solutions étalons de Nitrates

Concentration des solutions étalons (mg/l)	0	0.2	0.4	0.8	1.4	2	4	5
Vol solution étalons (ml)	1	2	4	7	10	20	25	35
Vol E.D. (ml)	49	48	46	43	40	30	25	15
Mass d'azote des Nitrates $N-NO_3^-L^-$	0.2	0.4	0.8	1.4	2	4	5	7



Photo I.11 : La gamme des Nitrates

➤ **Mode opératoire**

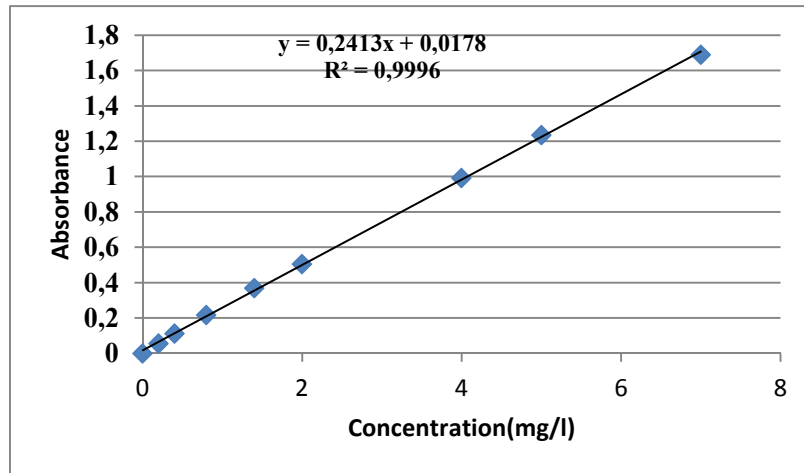
- ✓ Utiliser l'eau distillée pour régler le zéro d'absorbance ;
- ✓ Préparer un témoin : 50ml d'eau distillée + 1ml d'HCl à 1mol/l
- ✓ Préparer l'échantillon à analyser en prélevant une prise d'essai de 50ml de l'échantillon (filtrer si nécessaire pour éliminer le trouble du aux matières en suspension) puis en ajoutant 1ml d'HCl à 1mol/l et mélanger fortement.
- ✓ Le (tableau I.) et la (figure I.) ci-dessous montrent la gamme d'étalonnage.

Tableau I.4: Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrates

C (mg/l)	0	0,2	0,4	0,8	1,4	2	4	5	7
Absorbance (A)	0	0.057	0.113	0.218	0.369	0.506	0.992	1.236	1.689



Figure I.1 : La courbe d'étalonnage des Nitrate



## 2. Nitrite $\text{NO}_2^-$ :

Les ions nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et les ions nitratent ( $\text{NO}_3^-$ ). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène est la nitratisation. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates appelée dénitrification. Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température

### Méthode de dosage :

- Principe de dosage

Dans un milieu chlorhydrique, l'acide sulfanilique en présence d'ion ammonium et du phénol, forme avec  $\text{NO}_2^-$  un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites.

- Protocole d'analyse

Avant d'entamer les dosages, nous avons préparés toutes les solutions nécessaires pour le dosage, il s'agit de :

- Préparation du réactif de ZAMBELINE

Dans une fiole jaugée de 100 ml, nous avons traduit 26 ml de l'acide chlorhydrique et 62.5 ml d'eau distillée, puis y dissoudre 0.5 g de l'acide sulfanilique et 0.75 g du phénol cristallisé en chauffant légèrement au bain marie.

Après dissolution complète nous avons ajouté 13.5 g du chlorure d'ammonium avec agitation jusqu'à dissolution dans un bain marie avec agitateur, après nous avons complété le volume à 100 mL avec de l'eau distillée.

- Préparation de la solution mère étalon de NO<sub>2</sub> - à 0.23 g /L

Dans un bécher nous avons fait dissoudre 0.03 g de nitrite de sodium dans 100 mL d'eau fraîchement distillée.

- Préparation de la solution fille étalon de NO<sub>2</sub> - à 0.0023 g/L

Nous avons préparé une solution fille extemporanée avec une dilution de 1/100 ième.

- Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série des béchers numérotés, nous avons introduit, comme le montre le tableau ci-dessous, les quantités suivantes :

**Tableau I.5: Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrites.**

<b>Solution \ N° de Bécher</b>	<b>Témoin</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Solution fille étalon à 0.0023g/L (mL)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée	50	49	45	40	35	30
Réactif de ZENBELLI (mL)	2	2	2	2	2	2

Après 10 minutes nous avons ajouté 2 ml d'ammoniaque pure dans chaque tube, puis nous avons effectué les lectures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 435 nm (voir les absorbances obtenues et la courbe d'étalonnage dans les annexes).

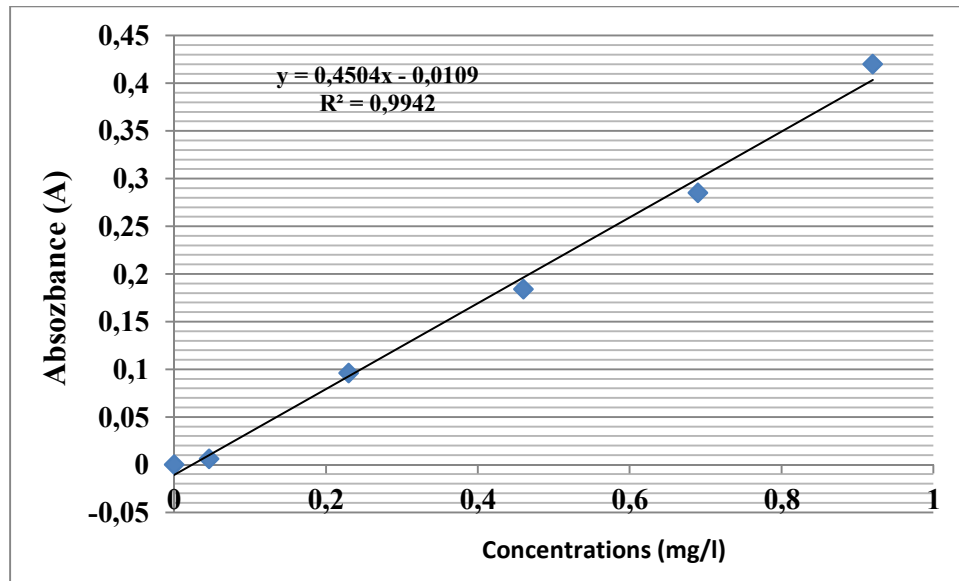
- Dosage des échantillons

Avec un volume de 50 ml de l'eau à analyser nous avons opéré comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage.

**La courbe d'étalonnage :**

l'échantillon	témoin	1	2	3	4	5
concentration mg/l	0	0,046	0,23	0,46	0,69	0,92
la lecture	0	0,006	0,096	0,184	0,285	0,42

Figure I.2 : La courbe d'étalonnage des Nitrite



#### I.4.3. Les paramètres biologiques :

##### 1. DCO :

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux, on la mesure à l'aide d'un spectrophotomètre à l'aide de l'équation suivante :

$$DCO = 336 * \lambda_{254} - 0.95 * R \text{ avec } R = 48.8$$



Photo I.12 : Spectromètre UV-visible

#### I.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons essayé de présenter le matériel et les méthodes utilisés afin d'évaluer le pouvoir épurateur des filtres plantés de Phragmites sur une période de plus d'un mois. Nous avons opté pour l'analyse au laboratoire, à fin de déterminer les

paramètres physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie des filtres plantés. Les paramètres testés sont: (pH, conductivité électrique, Température, Oxygène dissous, Nitrate, Nitrite, et DCO).

**Chapitre II :**  
**Le rôle du substrat sur le**  
**pouvoir épurateur des**  
**filtres plantés de phragmites**

### **II.1.Introduction :**

Parmi les techniques d'épuration des eaux usées, la phyto-épuration est un mode purement naturel où les agents actifs dans le processus sont des (plantes supérieures), pour cette technique l'intervention de l'homme est très limitée et l'installation n'est pas trop coûteuse. Ces systèmes d'épuration des eaux par plantes aquatiques, fonctionnant comme assimilateurs biologiques en éliminant des composés tant biodégradables que non biodégradables ainsi que les nutriments, les métaux et les microorganismes pathogènes.

Ce chapitre est dans l'objectif d'étudier les possibilités de rétention de certains composés inorganiques, présents dans les eaux usées domestiques provenant du rejet de Biskra sur des filtres planté de *Phragmit Australis* en variant le substrat du filtre. Une comparaison est également proposée en évaluant la qualité des eaux usées à l'entrée et à la sortie de ces filtres après un temps de séjours variant de 3 jours à 7jours.

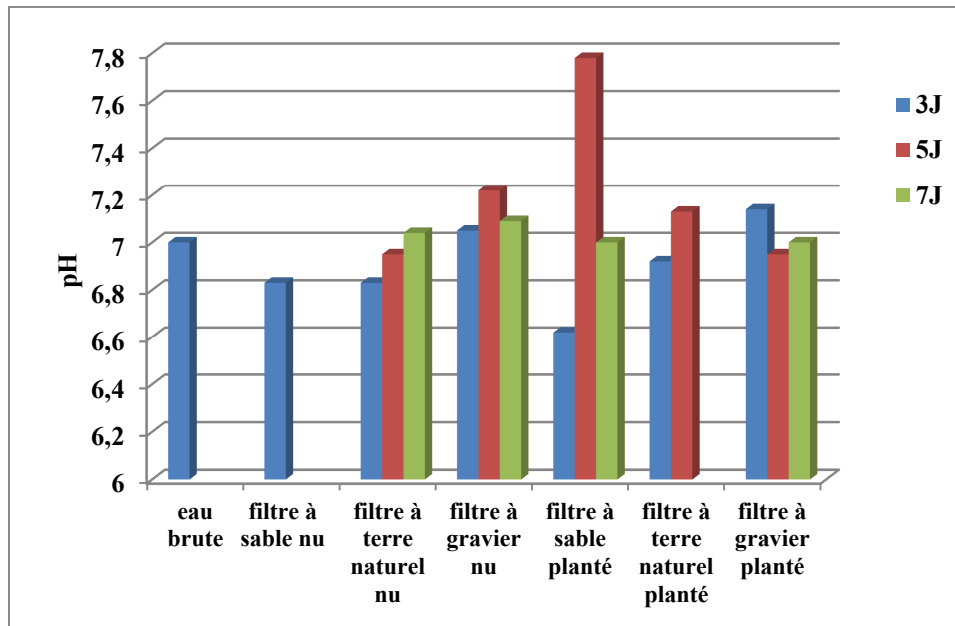
### **II.2 Variation des paramètres physico-chimiques :**

L'évaluation de l'efficacité du traitement résulte de la détermination d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques caractérisant cette eau usée avant et après traitement. Les échantillons d'eau à l'entrée et à la sortie de chaque filtre, ont fait l'objet d'une mesure de pH, température, conductivité électrique, Nitrite, Nitrates, DCO, L'oxygène dissous.

#### **II.2.1. Evolution du pH:**

Le pH est important pour la vie et le développement de la faune et de la flore existante dans les cours d'eau. Cependant, sa valeur peut être à l'origine des ennuis dans les canalisations (corrosion et dépôts calcaires) Les variations du pH des eaux durant notre expérimentation sont illustrées sur la figure II.1.

D'après les résultats mesurés on voit que les valeurs du pH se gravitent autour de neutralité que ce soit le temps de séjours, elles sont compris entre 6.62 et 7.14 dans les différents filtres plantés aux phragmites ou non planté par rapport aux différents substrats.



**Figure II.1. Evolution du pH des eaux épurées sur les filtres plantés de phragmite et non plantés en fonction du temps de séjour**

### II.2.2. La température (T) :

La connaissance de la température est essentielle pour les réactions physico- chimiques et biologiques régies par leurs caractéristiques thermodynamiques et cinétiques. La concentration à saturation de l'oxygène dissous, plus l'eau n'est chaude et plus sa concentration limite diminue le pH et la conductivité est dépendante de la température de même que les processus de biodégradation carbonée

D'après nos résultats obtenus (figure II.2), on remarque que la température est variée en fonction de temps de séjours et elle est presque de même valeur dans six les bacs au moment de prélèvement, cette variation est dû aux conditions météorologiques de la zone expérimentale. La variation de la température influe sur la viscosité du fluide dans les filtres planté, la sédimentation, la solubilité de l'oxygène et donc sur le rendement de l'épuration.

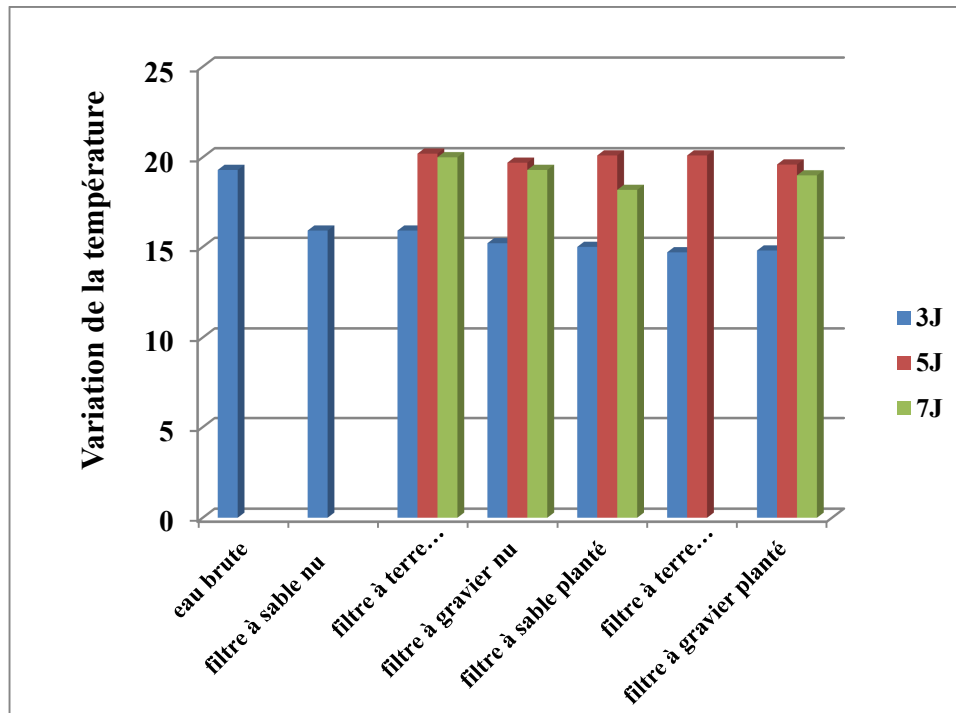


Figure II.2 : Evolution de la température des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et non plantés en fonction du temps de séjour

### II.2.3.La Conductivité électrique (CE):

La conductivité électrique est un paramètre non spécifique, est probablement l'une des plus simples et des plus importants pour le contrôle de la qualité des eaux usées

Elle permet d'évaluer, approximativement la minéralisation globale de l'eau. La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau Elle dépend de la Quantité des sels ionisables. Elle constitue une bonne appréciation des concentrations globales des matières en solution dans l'eau. Figure II.3 représente les valeurs de CE mesurées dans les eaux usées brutes et les eaux récupérées des lits plantés de phragmites.

On remarque d'après nos résultats que la conductivité électrique est augmentée dans les six bacs par rapport à l'eau usée brute, elle varié suivant le substrat et non pas suivant du temps de séjour. On voit que la valeur de la conductivité est très élevée dans les filtres de sable, aussi pour les filtres de l'argile, contrairement au filtre de gravier ou la conductivité est moindre.



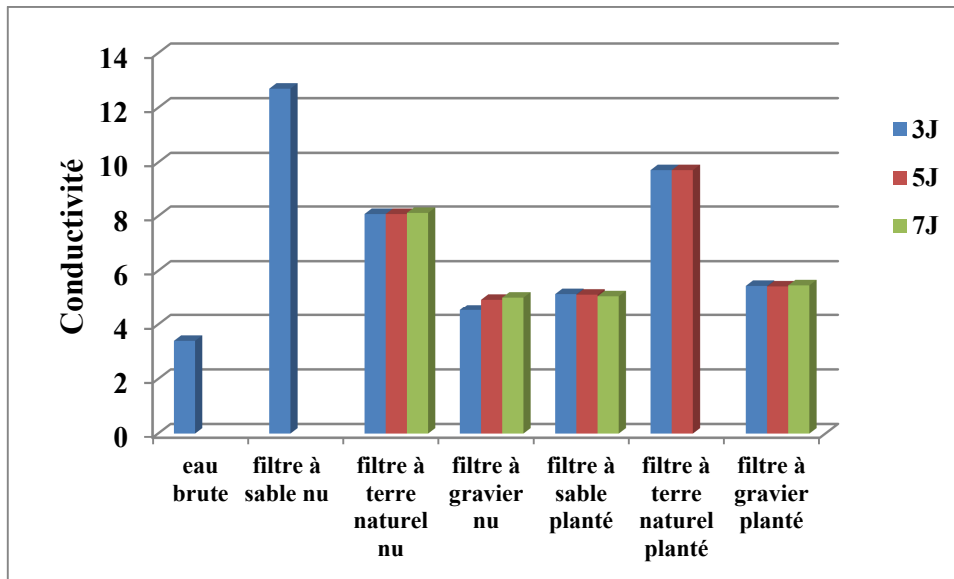


Figure II.3 : Evolution de la conductivité des eaux épurées à la sortie des filtres plantés de phragmite et non plantés en fonction du temps de séjour

On remarque d'après nos résultats que la conductivité électrique est augmentée dans les six bacs par rapport à l'eau usée brute, elle varié suivant le substrat et non pas suivant du temps de séjour. On voit que la valeur de la conductivité est très élevée dans les filtres de sable, aussi pour les filtres de l'argile, contrairement au filtre de gravier ou la conductivité est moindre.

#### II.2.4. L'oxygène dissous :

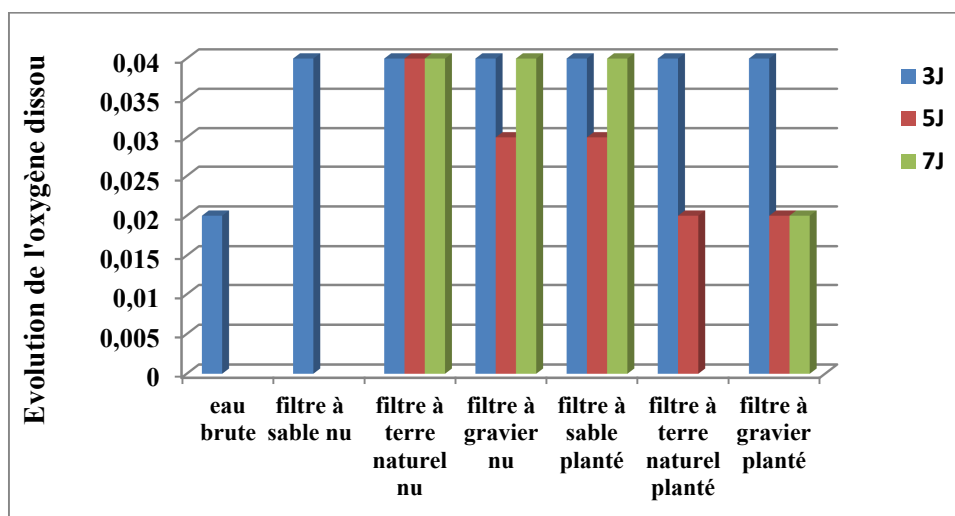


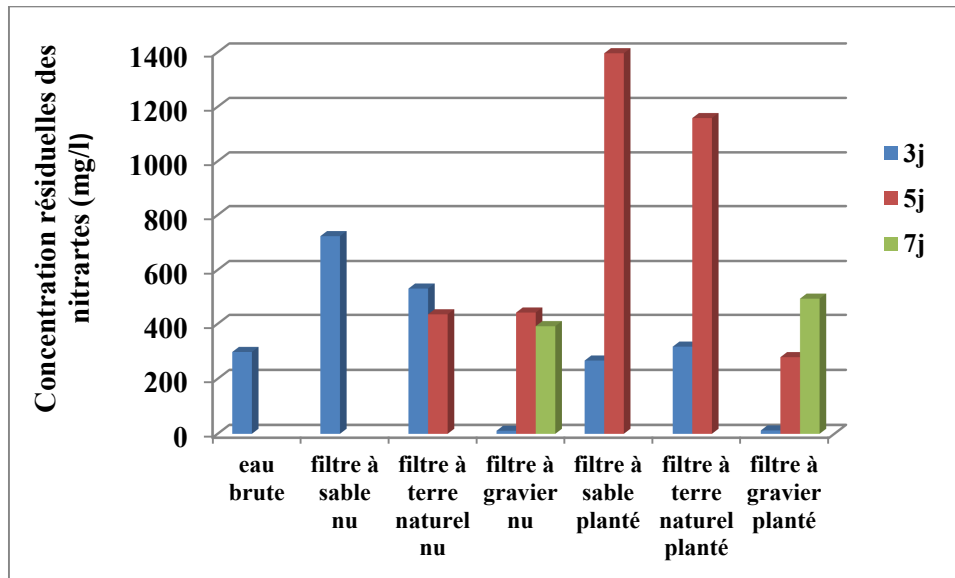
Figure II.4: Evolution du l'oxygène dissous des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et non planté en fonction du temps de séjour

## Chapitre II : Le rôle du substrat sur le pouvoir épurateur des filtres plantés de phragmites

On remarque d'après les résultats obtenue qu'il ya une légère augmentation de l'oxygène dissous dans l'eau par rapport à l'eau usée brute dans les six bacs expérimentaux que ce soit le type du substrat et plantés ou nus.

### II.2.5. Les nitrates $\text{NO}_3^-$ :

Les résultats de dosage de Nitrate, à l'aide d'un spectromètre UV- VIS, pour les eaux usées brutes et celles récupérées des lits cultivés sont présentés dans les graphes suivant la figure II.5.



**Figure II.5: Evolution du  $\text{NO}_3^-$  des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et les filtres non plantés en fonction du temps de séjour**

On remarque d'après nos résultats qu'après un temps de séjour de trois jours une augmentation de nitrate dans les filtres non plantés avec un substrat du sable et de terre naturel par rapport à l'eau usée brute, au filtres plantés on remarque une diminution de nitrates et une élimination presque totale dans les filtres du gravier, puis il y a une certaine augmentation au cinquième jour puis une diminution après un temps de séjours de sept jours. Cette variation est due au cycle de l'azote dans les filtres plantés. les macrophytes aquatiques tels que le roseau sont dotés d'une espace d'air interne bien développé à travers les tissus de la plante qui assure le transfert de l'oxygène vers les racines et les rhizomes. Ces quantités d'oxygène favorisent pratiquement la prolifération bactérienne nitrifiante au niveau de la rhizosphère.

### II.2.6.: Nitrite $\text{NO}_2^-$ :

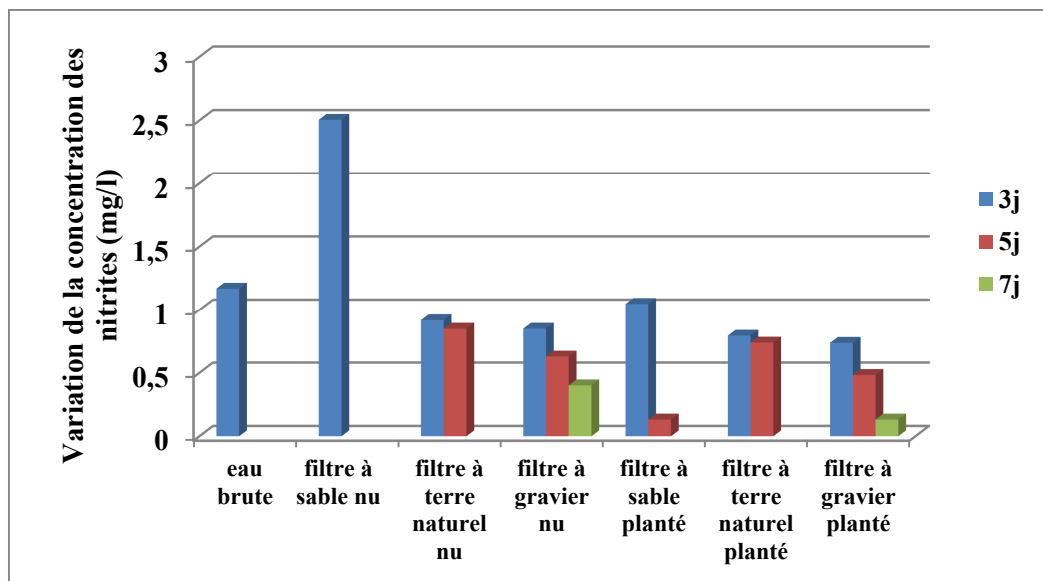


Figure II.6: Evolution du  $\text{NO}_2^-$  des eaux épurées par un filtre planté de phragmite :

Les résultats présentés sur la figure II.6, montrent une élimination très importante pendant un temps de séjour de 5 jours des nitrites à la sortie du filtre en sable planté de phragmites, par rapport au filtre en gravier. Et en terre naturelle. La concentration de nitrite est diminuée dans les filtres surtout les filtres plantés aux phragmites sauf les filtres non planté au substrat de l'argile ou on voit une augmentation. Cela signifie la capacité des filtres planté à transformer les nitrites aux nitrates et donc l'élimination de ce premier.

La nitrification suivie de la dénitrification devant conduire à l'élimination de l'azote est limité, compte tenu de l'état de saturation du massif qui ne favorise pas un processus aérobie d'oxydation d'aluminium

### II.2.7.DCO :

On remarque une diminution remarquable de la concentration de DCO dans les filtres plantés surtout dans les filtres en sable plantés aux phragmites par rapport aux autres. Cela est du au développement du système racinaire des plantes et des tiges qui assure de meilleures conditions d'aération du massif et de la couche de dépôt superficiel, tout en servant de support pour les bactéries. En outre, la présence du système racinaire qui crée des chemins préférentiels par lesquels les eaux usées percolent vers les couches inférieures, et sont mises en contact avec les bactéries. Ce rôle mécanique des macrophytes contribue à minimiser les

## Chapitre II : Le rôle du substrat sur le pouvoir épurateur des filtres plantés de phragmites

risques de colmatage du système. Ce qui explique la variation des concentrations à la sortie des filtres non plantés par rapport aux filtres plantés.

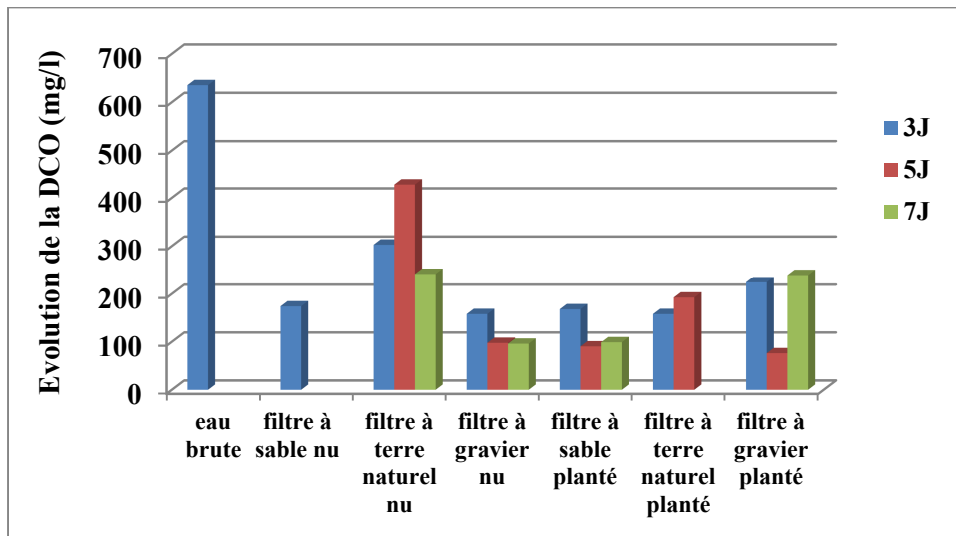


Figure II.7: Evolution de la DCO dans les eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et non plantés

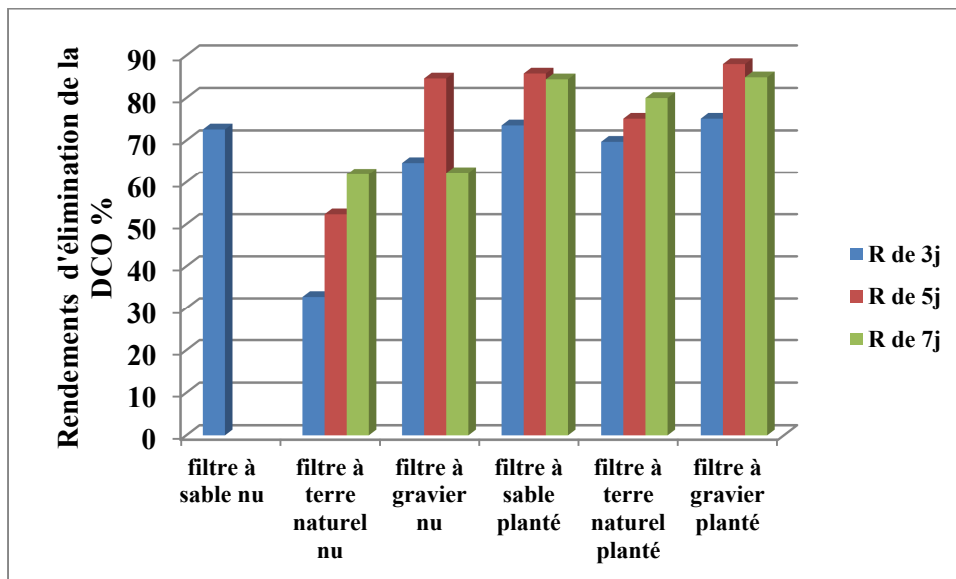


Figure II.8 : Rendements d'élimination de la DCO à la sortie de tous les filtres plantés et non plantés

Les résultats d'analyse présentent des teneurs en DCO, figure (II.8) variant d'un filtre à un autre. Le taux de rétention de la demande chimique en oxygène après 7 jours varie de 83.87%

## **Chapitre II : Le rôle du substrat sur le pouvoir épurateur des filtres plantés de phragmites**

---

pour le filtre en gravier planté de *phragmites australis*, 84.40% le filtre en sable planté et de 80.00 % pour le filtre en terre naturelle planté.

Le massif servant à la fois de support de cultures, de milieu filtrant et de milieu de fixation des des macrophytes doit présenter certaines caractéristiques à même d'assurer une conductivité hydraulique suffisant pouvant éviter des desfonctionnement de massif par colmatage (préférentiel des eaux ou de submersion du massif par colmatage. Les matériaux roulés sont préférables aux matériaux concassés [38]

### **II.3. Conclusion**

L'épuration des eaux usées par l'intermédiaire des plantes implanté dans de graviers est assurées par la prolifération des bactéries soit qui se trouvent au niveaux des eaux usées ou bien aux niveaux des racines des plantes. L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les potentialités d'une plante aquatique (Phragmites) à épurer les eaux usées brutes d'un rejet (domestique) provenant de la commune de Biskra.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs des paramètres mesurés à la sortie des filtres sont variables et dépendent de la nature du matériau constituant le massif filtrant. Les meilleures résultats sont obtenus sur le filtre en sable planté par rapport aux autres. Les résultats montrent que les abattements sur la DCO et les nitrites sont satisfaisants grâce à l'action conjuguée des macrophytes, des bactéries et de la barrière physique que constitue le massif de sable par rapport aux autres matériaux.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

Le traitement des eaux usées est devenu, de nos jours, une priorité, aussi bien pour préserver la santé humaine et l'environnement, que pour produire une eau qui pourrait être utilisée en agriculture, en industrie et en d'autres activités sociales. De nombreux procédés d'épuration ont été mis au point, parmi lesquels le lagunage à macrophytes se distingue par sa simplicité, sa fiabilité et son faible coût d'investissement et d'opération. Un système de traitement des eaux usées utilisant les plantes aquatiques peut être aisément implanté, il serait judicieux d'adapter la culture d'une plante aquatique dans un substrat pour filtrer la charge polluante d'une eau usée.

L'objectif de cette étude et d'étudier les possibilités d'épuration des eaux usées domestiques provenant du rejet de Biskra par des filtres plantés de phragmites Australis. Nous avons étudié le rôle du substrat constituant le filtre en le variant selon le matériau de remplissage (sable, terre naturelle et gravier). Une comparaison est également proposée en évaluant la qualité des eaux usées à l'entrée et à la sortie de ces filtres après un temps de séjours variant de 3 jours à 7 jours.

Les résultats obtenus ont montrés que :

- La forte évapotranspiration sous climat aride entraîne une réduction du volume d'eau usée avec pour conséquence une augmentation des concentrations en sels minéraux (augmentation de la conductivité).
- Les résultats obtenus montrent que les valeurs des paramètres mesurés à la sortie des filtres sont variables et dépendent de la nature du matériau constituant le massif filtrant. Les meilleurs résultats sont obtenus sur le filtre en sable planté par rapport aux autres.
- Les résultats montrent que les abattements sur la DCO et les nitrites sont satisfaisants grâce à l'action conjuguée des macrophytes, des bactéries et de la barrière physique que constitue le massif de sable par rapport aux autres matériaux.



**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**

### **Références bibliographiques :**

[1] :**Bouffard V., 2000.** Milieux humides artificiels pour l'amélioration de l'efficacité de traitement des eaux usées domestiques d'une petite municipalité. Mémoire du grade de maître ès sciences. Université de Sherbrook. 150p.

[2] :**Bensmina-Mimeche, L. Debabeche, M. Seghairi, N. Benameur. N. (2013) :** Capacité de filtres plantés de macrophytes pour l'épuration des eaux usées dans le climat semi-aride. Courrier de savoir N°17.

[3] :**Vymazal, J., (2005a)** Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetland systems for waste water treatment. Ecol. Eng. 25, 478–490.

[4] :**BenAmeur, N, 2010 :** Analyse des micro-organismes présents dans les lits à macro-phytes lors de la phyto-épuration des eaux usées. Mémoire de Magister en biologie. Université Med Khider – Biskra.

[5] : **Tiglyene, S., Mandi, L., et Jaouad, A. (2005).** Enlèvement du chrome par infiltration verticale sur lits de *Phragmites australis* (Cav.) Steudel. Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 18(2), 177-198.

[6] : **Seghairi, N., Debabeche, M. (2011).** Possibilités de rétention du cuivre et du zinc sur un filtre planté de papyrus, Communication orale, 3ème Edition du Congrès International sur Eau, Déchets et Environnement- Fès- Maroc.

[7] : **Sadik ZoulikhaManel, (2017) :** «Etude de faisabilité d'une STEP par filtre planté de roseaux des eaux usées de l'agglomération secondaire de Béni Ghazli— Commune d'Oued LakhdarÉvaluation des performances des aérateurs de surface de la STEP d'El-kerma ORAN». Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du Diplôme de Master en HydrauliqueUniversité Abou BekrBelkaid-Tlemcen

[8] : **C. Gomella & H. Guerre, (1978) :** «Le traitement des eaux publiques, industrielles et Privées», Ed. Eyrolles, Paris, 262 p.

[9]:**Y. Libes, (2010) :** «Les eaux usées et leur épuration».

[10] :**Grosclaude, (1999) :** «L'eau: usage et polluant», Tome II. 4ème Edition. INRA,Paris.

[11] : **DESJARDINS. R., (1997)** : «Le traitement des eaux», 2ème édition, Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada.

[12] : **Bouassaba. F., (2013)** : «Etude et dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées de l'agglomération urbaine de Sfisif (wilaya de Sidi Bel Abbès)». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université Abou BakrBelkaid-Tlemcen.

[13] : **Chekroun A., (2013)** : «Etude et conception d'une station d'épuration des eaux usées domestiques par lits de roseaux pour de petites agglomérations : Cas de Fraouna (Commune de Terny)». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université Abou BakrBelkaid-Tlemcen.

[14] : **Kesbi R., (2016)** : «Etude des performances épuratoires d'une STEP de l'Ouest Algérien cas de la nouvelle STEP d'Ain Témouchent». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université Abou BakrBelkaid-Tlemcen.

[15] : **Haoua A., (2007)** : «Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbains». Thèse de doctorat, université Louis Pasteur- Strasbourg I  
Discipline: Sciences pour l'ingénieur.

[16] : **Medjdoub T., (2014)** : «Etude, conception et dimensionnement d'une STEP par filtre plantés de roseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique. Université Abou BakrBelkaid-Tlemcen.

[17] : **Aanat, (2008)** : «Plan d'Aménagement du Terrain de la Wilaya de Tlemcen PATW». Phase I.

[18] : « L'étude des systèmes de collecte et épuration des eaux usées du Groupement urbain de Tlemcen ». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université Abou BakrBelkaid-Tlemcen

[19] : **Hatem Dhaouadi.** Traitement des Eaux Usées Urbaines Les procédés biologiques d'épuration » université Virtuelle de Tunis

[20] **Bennia Abdin (2018)** : « La dépollution des eaux usées provenant de deux rejets différents (domestique et industriel) par des filtres plantés de *Typha latifolia* et de *Phragmites Australis* ». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique université de Biskra

[21] : **Poulet, J. B., Terfous, A., Dap, S., et Ghenaim, A. (2004)**. Stations d'épuration à lits filtrants plantes de macrophytes. INSA Strasbourg–France et Brix1999 :Functions of macrophytes in constructedwetland, *Water Sci, Technol*, 29 (4), pp, 71-78

[22]:(livreFiltresplantésroseaux)

[23] : <https://tubi.net/fr/?s=Syst%C3%A8me+DE+Phyto%C3%A9puration&lang=fr>

[24] **Mimeche BL., Mancer H., Debabeche M, 2010**. Analyse du pouvoir epuratoire d'un filtre implante de *Phragmite australis* pour le traitement des eaux usées sous climat semi - aride - région de Biskra. *International Network Environmental Management Conflicts* 1(1),10-15.

[25] : **Liénard A., Guellaf H., Boutin C., 2000**. Choix de sable pour les lits d'infiltration- percolation Cemagref Lyon Qely. *Ingénieries- EAT*, n° spécial assainissement, traitement des eaux, p 59-66.

[26] : **Guilloteau J.A., Liénard A., Vachon A., and Lesavre, J., 1993a**. Wastewater treatment by infiltration basins. *Case study : Saint Symphorien de Lay, France. Wat. Sci. Tech.*, 27 (9), pp 97-104

[27] : **Boutin, C., Liénard, A., and Esser, D., 1997**. Development of a new Generation of Reed-Bed Filters in France : First results. *Wat.Sci.Tech.*, 35 (5), 315-322

[28] : **L'OMS,1989**.L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Série de rapports techniques n° 778. OMS.

[29] :**Genèveet SADIK ZoulikhaManel : (2017 )**:Etude de faisabilité d'une STEP par filtre planté de roseauxdes eaux usées de l'agglomération secondaire de Béni Ghazli— Commune d'Oued LakhdarMémoire de fin d'étude en vue d'obtention du Diplôme de Master en Hydraulique

[30]:Molle.P, 2003) : Waste water Treatment in Constructed wetlandswith horizontal sub-surface flow (HF CWs) 407, 3931-3943.

[31] Kleche Meriem.2013. Utilisation des systèmes biologiques dans l'épuration des eaux usées cas de la région d'Annaba. Thèse de doctorat. Université d'Annaba.

[32] : Quezel et al. (1962 – 1963). :Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. Edition CNRS, tome 2. Paris. 1170p

[33] :<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/environnement-ressources/sol-eaux-eelements-nutritifs/ecologie-de-la-rhizosphere.html>)

[34] : Heinrich & al. 2007. Role of Cdc42-Cla4 interaction in the pheromoneresponse of *Saccharomyces cerevisiae*. *EukaryotCell* 6(2):317-27

[35] :Zhao & al, 2009). Structural and mutationalstudies on the importance of oligosaccharide binding for the activity of yeastPNGase. *Glycobiology* 19(2):118-25

[36] Wozniak, 2008: IDF 2008 : pleins feux sur Steve Wozniak

[37] Radoux, 1986 b). :IDF 2008 : pleins feux sur Steve WozniakRadoux M. (1986). Epuration des eaux usées domestiques par hydrosères reconstituées sous climat tempéré. Hypothèses d'application sous climat sahélien. 39ème Journées Internationales du CEBEDEAU. Liège, 27 – 28 octobre 1986.

[38] : Wanko A., R. Rose, Lienard A. (2005). Capacities of infiltration-percolation processes for the treatment of a synthetic effluent. *Rev. Sci. Eau.* 18 (2): 165-175.

### Résumé

L'utilisation des filtres plantés pour traitement des eaux usées est en augmentation partout dans le monde. Ces systèmes de phyto-épuration sont utilisés pour l'épuration d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes. Les filtres plantés dépendent d'un certain nombre de facteurs et d'apports énergétiques extérieurs, ainsi que de la végétation, le substrat et de la biomasse des micro-organismes liés à ces plantes et aux sédiments. L'objectif de cette étude est d'étudier l'influence du substrat sur le pouvoir épurateur des filtres plantés de phragmites Australis et non plantés en fonction de temps de séjour. Les résultats obtenus montrent que les valeurs des paramètres mesurés à la sortie des filtres sont variables et dépendent de la nature du matériau constituant le massif filtrant. Les meilleurs résultats sont obtenus sur le filtre en sable planté par rapport aux autres matériaux.

**Mots clés: Filtres plantés, phragmites, matériaux de remplissage, eau usée**

### الملخص

أصبحت المرشحات المزروعة تستعمل لمعالجة مياه الصرف في جميع أنحاء العالم. تستخدم أنظمة تنقية النباتات هذه لتنقية المياه من مصادر مختلفة وذات خصائص مختلفة. تعتمد المرشحات المزروعة على عدد من العوامل ومدخلات الطاقة الخارجية، وكذلك الغطاء النباتي والركيزة والكتلة الحيوية للكائنات الحية الدقيقة المرتبطة بهذه النباتات والرواسب. الهدف من هذه الدراسة هو دراسة تأثير الركيزة على قدرة المرشحات المزروعة مع وليس المزروعة وفقا لوقت الإقامة. توضح النتائج التي تم الحصول عليها أن قيم المعلمات المقاسة عند مخرج المرشحات متغيرة وتعتمد على طبيعة المادة التي تشكل كتلة المرشح. يتم الحصول على أفضل النتائج على مرشح الرمل المزروع مقارنة بالمواد الأخرى.

الكلمات المفتاحية: المرشحات المزروعة، القصب، الركيزة تصفية،