

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed khider – Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie civil et Hydraulique

Référence :...../ 2020



جامعة محمد خيضر- بسكرة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة المدنية والري

المرجع: ..... / 2020

## Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité: Hydraulique urbaine

Thème:

*Effet du substrat sur l'élimination des polluants  
des eaux usées de la ville de Biskra par filtres  
plantés*

Etudiante:

•Deroues Nadjah

Encadreur:

•M<sup>me</sup>.Mimeche Leila

Promotion : 2019/2020

# *Remerciements*

*Avant tout, je loue et remercie infiniment **ALLAH** tout puissant de m'avoir accordé la force, le courage, la patience et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.*

*Également, je remercie spécialement mes parents qui m'ont toujours guidé, encouragé et aidé à arriver à ce jour*

*Mes remerciements les plus vifs et ma gratitude vont à mon encadreur **M<sup>me</sup>.MIMECHE LEILA** pour son encadrement, son orientation, ses conseils, ses remarques et critiques et la disponibilité qu'elle a témoignée pour me permettre de mener à bien ce travail.*

*Mes grands remerciements aussi aux membres de jury qui ont pris la peine d'évaluer mon travail*

*Aussi, je remercie l'ensemble des personnes qui m'ont aidé de prêt ou de loin à réaliser ce travail.*

# *Dédicace*

*Avec un grand amour et gratitude je dédie ce modeste travail à:*

*Le meilleur et le plus beau père du monde **Deroues Mostefa** ,« que dieu aie son âme »*

*Ma très chère **Mère** pour son amour, son tendresse et ces sacrifices.  
Que dieu te protéger*

*Mon cher frère **Brahim** qui m'a toujours encouragé, conseillé et soutenu dans mon travail.*

*Ma belle sœur **Farah** qui m'a soutenu toujours dans le bienheur et malheur*

*Mes chères sœurs : **Nihad, Chaima** pour m'encourager tout le temps*

*La petite belle famille : **Ahmed, Meriem, Arwa***

*Mes cher qui a nous quittés cette années : mon frère **Med Taher**, mes sœurs : **Dalila, Fatima Zohra, Soraya** et à ma grande mère « que leur âme repose en paix »*

*Mes chers petits **Vito et Inddolini***

***Deroues Nadjah***

### Résumé

Aujourd'hui, les filtres plantés deviennent une solution importante pour le traitement des eaux usées, Cette méthode appelée phyto-épuración est devenue très répandue dans le monde entier spécialement dans les pays développés. 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.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence l'effet de substrat sur l'efficacité de filtre planté de phragmites Australis et non plantés en fonction de temps de séjour. Les résultats obtenus montrent qu'il ya une variation remarquable dans les valeurs des paramètres mesurés à la sortie des filtres, cette variation est due à la nature du matériau de remplissage (sable, argile et gravier). Le filtre en sable planté a donné des résultats remarquables, satisfaisants et encourageants par rapport aux autres filtres.

Mots clés : phytoépuración, plantes aquatiques, substrat, filtre planté, phragmites Australis, matériau de remplissage.

### الملخص

اليوم، أصبحت المرشحات المزروعة حلاً هاماً لمعالجة مياه الصرف الصحي. أصبحت هذه التقنية التي تسمى التنقية النباتية شائعة جداً في جميع أنحاء العالم، وخاصة في الدول المتقدمة. إنه نظام مبتكر، فعال بشكل خاص، والذي يستخدم قوة النباتات المائية، ويوفر بديلاً بيئياً، إقتصادياً، دائماً وجمالياً للنظام الكلاسيكي.

الهدف من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على تأثير الركيزة على قدرة المرشحات المزروعة بالقصب وغير المزروعة، وفقاً لوقت الإقامة. توضح النتائج التي تم الحصول عليها أن هناك إختلاف ملحوظ في قيم المعلمات المقاسة عند مخرج المرشحات، هذا الإختلاف راجع إلى طبيعة المادة التي تشكل كتلة المرشح (رمل، طين، حصي). أعطى مرشح الرمل المزروع نتائج ملحوظة، مرضية و مشجعة مقارنة بالمرشحات الأخرى.

الكلمات المفتاحية: التنقية النباتية، النباتات المائية، الركيزة، المرشحات المزروعة، القصب.

***Partie bibliographique***

<b><i>Liste des figures</i></b>		
<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.1</b>	Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées	<b>10</b>
<b>Figure I.2</b>	Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP	<b>10</b>
<b>Figure I.3</b>	Schéma d'un décanteur primaire.	<b>12</b>
<b>Figure I.4</b>	Schéma du traitement biologique par lit bactériens	<b>13</b>
<b>Figure I.5</b>	schéma du traitement biologique par disque biologique.	<b>14</b>
<b>Figure I.6</b>	Schéma du traitement biologique par boue activée	<b>15</b>
<b>Figure I.7</b>	Schéma du traitement biologique par lagunage.	<b>16</b>
<b>Figure I.8</b>	Schéma du traitement biologique par la filtration (percolation).	<b>17</b>
<b>Figure I.9</b>	Schéma du traitement biologique par phytoépuration.	<b>18</b>
<b>Figure II.1</b>	Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical	<b>21</b>
<b>Figure II.2</b>	Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal	<b>22</b>
<b>Figure II.3</b>	Système hybride de marais filtrants avec une cellule de MEVS suivi d'une cellule de MEHS	<b>22</b>
<b><i>Liste des photos</i></b>		
<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Photo II.1</b>	Papyrus	<b>24</b>
<b>Photo II.2</b>	Le roseau commun « Phragmite Australis »	<b>25</b>
<b>Photo II.3</b>	Typha Latifolia	<b>25</b>
<b>Photo II.4</b>	Tamarix	<b>26</b>

## *Listes des figures, tableaux, acronymes des symboles et des sigles*

<i>Liste des tableaux</i>		
N°	Titre	page
<b>Tableau I.1</b>	Normes de L’OMS de rejet des eaux usées	<b>7</b>
<b>Tableau I.2</b>	Normes algérienne de rejet des eaux usées	<b>8</b>
<b>Tableau I.3</b>	Le prétraitement d’une STEP	<b>11</b>
<b>Tableau I.4</b>	Les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par lits bactériens	<b>13</b>
<b>Tableau I.5</b>	Les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par disque biologique	<b>14</b>
<b>Tableau I.6</b>	les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par boues activées	<b>15</b>
<b>Tableau I.7</b>	Les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage	<b>16</b>
<b>Tableau I.8</b>	les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par la filtration	<b>17</b>
<b>Tableau I.9</b>	Les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par phytoépuration	<b>18</b>
<b>Tableau II.1</b>	Principaux mécanismes d’élimination des différents types de polluants	<b>27</b>

## *Partie expérimentale*

<i>Liste des photos</i>		
N°	Titre	Page
<b>Photo I.1</b>	Le site des essais (département d’hydraulique, Université Biskra 2020)	<b>30</b>
<b>Photo I.2</b>	Préparation des filtres	<b>31</b>
<b>Photo I.3</b>	Le développement des racines des jeunes tiges de phragmites Australis	<b>33</b>
<b>Photo I.4</b>	Le remplissage des bacs avec l’eau usée	<b>36</b>
<b>Photo I.5</b>	PH mètre	<b>36</b>
<b>Photo I.6</b>	Conductimètre	<b>37</b>
<b>Photo I.7</b>	spectrophotomètre UV-VIS	<b>38</b>
<b>Photo I.8</b>	La gamme des Nitrates	<b>39</b>
<b>Photo I.9</b>	La gamme de Nitrite	<b>41</b>
<b>Photo I.10</b>	La gamme d’ortho phosphate	<b>44</b>
<b>Photo I.11</b>	Spectromètre UV-visible	<b>45</b>
<i>Liste des figures</i>		
N°	Titre	Page
<b>Figure I.1</b>	La courbe d’étalonnage des Nitrates	<b>39</b>

## *Listes des figures, tableaux, acronymes des symboles et des sigles*

<b>Figure I.2</b>	La courbe d'étalonnage des Nitrite	<b>42</b>
<b>Figure I.3</b>	La courbe d'étalonnage des phosphates	<b>44</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>47</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>47</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>48</b>
<b>Figure II.4</b>	Evolution du NO <sub>3</sub> - des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et les filtres non plantés en fonction du temps de séjour	<b>49</b>
<b>Figure II.5</b>	Evolution du NO <sub>2</sub> - des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et les filtres non plantés en fonction du temps de séjour	<b>49</b>
<b>Figure II.6</b>	Evolution du Po <sup>4</sup> des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et les filtres non plantés en fonction du temps de séjour	<b>50</b>
<b>Figure II.7</b>	Evolution de la DCO dans les eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et non plantés	<b>51</b>
<b>Figure II.8</b>	Rendements d'élimination de la DCO à la sortie de tous les filtres plantés et non plantés	<b>52</b>

### *Liste des tableaux*

N°	Titre	page
<b>Tableau I.1</b>	Les caractéristiques du substrat et les différentes couches utilisées	<b>32</b>
<b>Tableau I.2</b>	Les caractéristiques physico- chimiques des eaux usées domestiques du rejet de Biskra sur le tableau	<b>35</b>
<b>Tableau I.3</b>	Préparation des solutions étalons de Nitrate	<b>38</b>
<b>Tableau I.4</b>	Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrates	<b>39</b>
<b>Tableau I.5</b>	Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrites	<b>41</b>
<b>Tableau I.6</b>	Etablissement de la courbe d'étalonnage du phosphate	<b>43</b>

*Listes des figures, tableaux, acronymes des symboles et des sigles*

---

<i>Liste des acronymes des symboles et des sigles</i>	
<b>ADE</b>	Algérienne des Eaux
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demande biologique en oxygène après 5 jours
<b>DCO</b>	la demande chimique en oxygène
<b>h</b>	La profondeur du filtre en m.
<b>MES</b>	Matières En Suspension
<b>MVS</b>	Matières Volatiles en Suspension
<b>NO<sub>2</sub>-</b>	Nitrite
<b>NO<sub>3</sub>-</b>	Nitrate
<b>PH</b>	potentiel d'hydrogène
<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup></b>	Ortho phosphate
<b>T</b>	la température



## *Sommaire*

<b>Partie bibliographique</b>		
N°	Titre	Page
<b>Chapitre I : Notions sur les eaux usées</b>		
<b>I.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>I.2</b>	<b>Généralités sur les eaux usées</b>	<b>3</b>
<b>I.2.1</b>	<b>Les eaux domestiques</b>	<b>3</b>
<b>I.2.2</b>	<b>Les eaux industrielles</b>	<b>4</b>
<b>I.2.3</b>	<b>Les eaux pluviales</b>	<b>4</b>
<b>I.2.4</b>	<b>Les eaux agricoles</b>	<b>4</b>
<b>I.3</b>	<b>Origine et type de la pollution des eaux usées</b>	<b>5</b>
<b>I.3.1</b>	<b>Classification de la pollution des eaux</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Pollution physique</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Pollution par les substances chimiques</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>pollution microbiologique</b>	<b>5</b>
<b>I.3.2.</b>	<b>Les principaux paramètres de la pollution</b>	<b>5</b>
<b>I.3.2.1</b>	<b>Les paramètres physiques</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Température</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Les Matières En Suspension (MES)</b>	<b>6</b>
<b>I.3.2.2</b>	<b>Les paramètres chimiques</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Le potentiel Hydrogène (pH)</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Demande chimique en oxygène (DCO)</b>	<b>7</b>
<b>I.4</b>	<b>Normes de rejets des eaux usées</b>	<b>7</b>
<b>I.4.1</b>	<b>Normes de l'OMS</b>	<b>7</b>
<b>I.4.2</b>	<b>Normes internationales</b>	<b>7</b>
<b>I.4.3</b>	<b>Normes de rejets appliqués en Algérie</b>	<b>8</b>
<b>I.5</b>	<b>Réutilisation des eaux usées épurées</b>	<b>9</b>
<b>I.6</b>	<b>Différents procédés d'épuration des eaux usées</b>	<b>9</b>
<b>I.6.1</b>	<b>Les prétraitements</b>	<b>10</b>
<b>I.6.2</b>	<b>Traitement primaire (physico- chimique)</b>	<b>11</b>
<b>I.6.3</b>	<b>Traitement secondaires (traitement biologique)</b>	<b>12</b>
<b>I.6.3.1</b>	<b>Traitement biologique intensifs</b>	<b>12</b>
<b>I.6.3.2</b>	<b>Traitement biologique extensifs</b>	<b>15</b>
<b>I.6.4</b>	<b>Traitement tertiaire</b>	<b>18</b>
<b>I.7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>19</b>
<b>Chapitre II : Traitement des eaux usées par les filtres plantés à macrophytes</b>		
<b>II.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>20</b>
<b>II.2</b>	<b>Généralité sur la phytoépuration</b>	<b>20</b>
<b>II.3</b>	<b>Les différents filtres plantés</b>	<b>20</b>
<b>II.3.1</b>	<b>Filtres plantés à écoulement vertical</b>	<b>21</b>
<b>II.3.2</b>	<b>Filtres plantés à écoulement horizontal</b>	<b>21</b>
<b>II.3.3</b>	<b>Systèmes hybrides</b>	<b>22</b>
<b>II.4</b>	<b>Rôle des constituants d'un filtre planté de macrophytes</b>	<b>23</b>
<b>II.4.1</b>	<b>Rôles des plantes</b>	<b>23</b>

II.4.1.1	Les plantes les plus utilisées dans l'épuration des eaux usées et leurs caractéristiques	23
II.4.2	Rôle du substrat	26
II.4.3	Rôle des micro-organismes	27
II.5	Les mécanismes d'élimination et les performances épuratoires	27
II.6	Phytoépuration en Algérie	28
II.7	Les Avantages et les inconvénients de la phytoépuration	28
II.7.1	Les Avantages	28
II.7.2	Les inconvénients	29
II.8	Conclusion	29
<b>Partie expérimentale</b>		
<b>Chapitre I : matériels et Méthodes</b>		
I.1	Introduction	30
I.2	Le site de nos essais expérimentaux	30
I.2.1	Préparation des filtres plantés et choix des matériels d'étude	30
I.2.2	Préparation du substrat	31
I.2.3	Préparation et choix des plantes	32
I.2.4	Préparation des filtres plantés	33
I.3	Choix des eaux usées	35
I.3.1	Calendrier de remplissage et prélèvement des échantillons	35
I.4	Analyse des paramètres physico- chimiques des eaux usées	35
I.4.1	Mesure de (pH, CE, et la température)	36
1	PH	36
2	La conductivité électrique	37
3	La température (T)	37
I.4.2	Les paramètres chimiques	37
1	Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	37
2	Nitrite NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	40
3	Ortho phosphate PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	42
I.4.3	Les paramètres biologiques	44
1	DCO	44
I.5	Conclusion	45
<b>Chapitre II : L'effet du substrat sur l'élimination des polluants des eaux usées par filtre planté</b>		
II.1	Introduction	46
II.2	Variation des paramètres physico-chimiques	46
II.2.1	Evolution du pH	46
II.2.2	La température (T)	47
II.2.3	La Conductivité électrique (CE)	48
II.2.4	Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	48
II.2.5	Nitrite NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	49
II.2.6	Ortho phosphate PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	50
II.2.7	DCO	51
II.3	Conclusion	52
<b>Conclusion générale</b>		54
<b>Références bibliographiques</b>		



*Introduction*

*Générale*

### **Introduction générale**

« L'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut

Protéger, défendre et traiter comme tel ». (**Directive Cadre européenne sur l'Eau, 2000**)

Dans la plupart du pays du monde on assiste à un intérêt et irréversible du grand public pour la protection de l'environnement .Le problème de pollution des eaux est de moins en moins tolérées et les techniques d'épuration dont le traitement par les filtres plantés à macrophytes sont largement utilisées et deviennent aujourd'hui une alternative intéressante pour le traitement des eaux usées vues les grands avantages qu'ils présentent. (**Laabassi.A 2016**)

Lorsqu'on évoque le traitement des eaux usées, la première image qui vient à l'esprit est celle d'une station d'épuration. Ces systèmes classiques et intensifs ne sont pas toujours adaptés aux contraintes économiques et techniques des petites et moyennes industries, des petites collectivités, des exploitations agricoles et des particuliers. Des systèmes dits "extensifs", telle la phytoépuration, caractérisés par de faibles contraintes d'exploitation se sont ainsi développés.

La phytoépuration est un système de traitement des eaux usées en utilisant le pouvoir épurateur des plantes. Ces dernières sont des macrophytes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser la dépuración naturel, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore. (**Zoubiedi.A 2016**)

L'objectif de cette étude est d'étudier le rôle du substrat sur l'élimination des polluants des eaux usées par filtre planté en fonction de temps de séjour.

Notre modeste travail est constitué de quatre chapitres :

Les deux premiers concernent une synthèse bibliographique sur les caractéristiques physicochimiques des eaux usées ainsi que leur origine et leur impact 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.

Le troisième et Le quatrième chapitre ont été dédiés respectivement aux méthodes et procédure expérimentale et à la présentation et discussion des résultats obtenus. En fin nous

## *Introduction générale*

---

avons terminé le manuscrit par une conclusion générale relatant les principaux résultats de cette étude.

***PREMIERE PARTIE***  
***REVUE***  
***BIBLIOGRAPHIQUE***

*Chapitre I :*  
*Notions sur les eaux*  
*usées*



**I.1. Introduction :**

L'eau est altérée par l'activité humaine qu'elle soit domestique, industrielle, artisanale, agricole... En effet, après usage, l'eau est dite « polluée » et se doit d'être traitée avant de rejoindre le milieu naturel. Sans cela, elle pourrait causer de graves dommages car la capacité naturelle d'épuration des cours d'eau a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière. Ce qui n'est pas sans conséquences sur la flore et la faune aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'autoépuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable et les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates favorise le phénomène d'eutrophisation, soit la prolifération d'algues nuisible à la faune aquatique, pouvant rendre la baignade dangereuse et perturber la production d'eau potable.

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

Les eaux usées sont celles qui ont été déjà utilisées par les différents utilisateurs. On distingue : Les eaux ménagères, les rejets des toilettes ou eaux "vannes", les eaux industrielles, les eaux de pluie, etc (**Sadik.Z 2017**). Les eaux usées sont, en général, collectées dans les réseaux d'assainissement ou égouts, épurées dans des STEP avant d'être rejetées dans le milieu naturel. On distingue quatre catégories des eaux usées :

**I.2.1. Les eaux 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, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques...etc. Et en eaux "vannes" ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux. (**GOMELLA C, GUERREE H 1978**)

En Algérie, la pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eaux est évaluée :

- de 70 à 90 g de matières en suspension
- de 60 à 70 g de matières organiques
- de 15 à 17 g de matières azotées
- 4 g de phosphores

- Plusieurs milliards de germes pour 100 ml

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

D'après (**Metahri M, 2012**), elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir:

- Des graisses (industries agroalimentaires...).
- Des hydrocarbures (raffineries).
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie).
- Des acides des bases et divers produits chimiques (industries chimiques diverses, tanneries)
- De l'eau chaude (circuit de refroidissements des centrales thermiques).
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas les fonctionnements des stations d'épurations.

**I.2.3. Les eaux pluviales:**

D'après (**Desjardins. R, 1997**) Elles peuvent aussi constituer la cause 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, résidus de pneus et métaux lourds).

**I.2. 4. Les eaux agricoles:**

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les épandages d'engrais nitrés et phosphatés, sous une forme ou en quantité, telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues. Parmi les polluants d'origine agricole, il faut tenir compte aussi des détergents se dispersant lors des applications de traitement des cultures. (**Bouassaba F, 2013**).

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

#### **I.3.1. Classification de la pollution des eaux :**

On peut classer qualitativement la pollution en plusieurs catégories en fonction de sa nature, de sa nocivité et de ses effets. On distingue :

##### **1) Pollution physique :**

Elle est due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau). 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) (**Rahou .K 2014**)

##### **2) Pollution par les substances chimiques :**

On trouve aussi dans les eaux usées domestiques diverses substances chimiques plus ou moins nocives. Ces substances proviennent des différents produits que nous utilisons. On répertorie sur le marché 100.000 substances chimiques différentes, en quantité très faible, mais en nombre de molécules important. Ces produits combinés les uns aux autres constituent de véritables « cocktail » de molécules à effets inconnus. Les seuils de toxicité définis par la réglementation s'appliquent aux substances isolées, mais ne prennent pas en compte ces effets du cocktail. (**Rahou .K 2014**).

##### **3) pollution microbiologique :**

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. (**Kebsi.R 2016**).

#### **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 :**

#### **1/ Température :**

Elle joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des Sels et des gaz. Comme elle détermine le taux et la vitesse des réactions de dégradation, elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité- PH- O<sub>2</sub>) (**Rejsek 2002**). L'augmentation de la température diminue la solubilité des gaz ce phénomène est important dans le cas de l'O<sub>2</sub> ce qui implique une insuffisance de la réserve en O<sub>2</sub> (**Gaid.A 1984**).

#### **2. Les Matières En Suspension (MES) :**

D'après (**Haoua.A, 2007**), il s'agit de matières qui ne sont ni solubles 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.

### **I.3.2.2. Les paramètres chimiques :**

#### **1 / Le potentiel Hydrogène (pH) :**

Ce paramètre donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau le PH est le reflet de la concentration d'une eau en ions H<sup>+</sup> il traduit la balance entre acide et base. Son rôle est capital pour la croissance des micro-organismes, cette croissance sera directement affectée lorsque le PH est inférieur à 5 ou supérieure à 8 (**Hamdani 2002**). Ce paramètre doit être mesuré sur le terrain par un pH mètre ou par colorimètre (**Olivier 1995**) dont sa valeur optimum est entre 7 et 8.5.

#### **2 / Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :**

Elle caractérise la consommation en oxygène (mg/L) des bactéries épuratrices, c'est-à-dire la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes vivants pour assurer l'oxydation et la stabilité des matières organiques présentes dans l'eau usée, les conditions de mesures sont l'incubation à 20°C et dans l'obscurité. La durée du processus complet est de trois semaines (DBO<sub>21</sub>), mais cette durée est très longue. Elle présente ainsi la concentration en matière

biodégradable. Par convention la valeur de la DBO obtenue est cinq jours d'incubation et que l'on note DBO<sub>5</sub>. (Sadik .Z 2017).

### 3 / 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 (Mekhalif.F 2009). Elles représentent la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales). Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure II (complexant des chlorures), à chaud pendant 2h .

## 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 de l'OMS:

L'organisation Mondiale de la Santé (OMS) est considérée comme la plus haute autorité dans le domaine de la santé et donne des recommandations au niveau mondial. Elle propose des normes sanitaires depuis des décennies et elle est en passe de les modifier pour les rendre plus sévères et diminuer les risques sanitaires. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale et sont adaptées aux pays en voie de développement. (Rotbardt A, 2011).

Tableau I.1 Normes de L'OMS de rejet des eaux usées (Rotbardt A, 2011).

Caractéristiques	Normes	Unités
pH	6,5-8,5	-
Température	<30	°C
DBO <sub>5</sub>	<30	mg/l
DCO	<90	mg/l
MES	<20	mg/l
NH <sup>+</sup> <sub>4</sub>	<0,5	mg/l
NO <sub>2</sub>	1	mg/l
NO <sub>3</sub>	<1	mg/l

<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<2	mg/l
<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 ci-dessous :

Tableau I.2 Normes algérienne de rejet des eaux usées (Journal officiel algérien ,2006).

<b>paramètres</b>	<b>Valeurs limites</b>	<b>Unités</b>
<b>Température</b>	30	C°
<b>PH</b>	6,5 à 8,5	mg/l
<b>MES</b>	30	mg/l
<b>DBO<sub>5</sub></b>	30	mg/l
<b>DCO</b>	90	mg/l
<b>Azote</b>	30	mg/l
<b>Phosphates</b>	02	mg/l
<b>Phosphore total</b>	10	mg/l
<b>Cyanures</b>	0.5	mg/l
<b>Aluminium</b>	20	mg/l
<b>Cadmium</b>	0,05	mg/l
<b>Fer</b>	20	mg/l
<b>Manganèse</b>	10	mg/l
<b>Mercure total</b>	0,01	mg/l
<b>Nickel total</b>	02	mg/l
<b>Plomb total</b>	10	mg/l
<b>Nickel total</b>	05	mg/l
<b>Zinc total</b>	10	mg/l
<b>Huiles et Grasses</b>	20	mg/l
<b>Hydrocarbures totaux</b>	20	mg/l
<b>Indice phénols</b>	0,3	mg/l
<b>Fluor et composés</b>	15	mg/l
<b>Etain total</b>	02	mg/l
<b>Fluor et composés</b>	05	mg/l
<b>Chrome total</b>	01	mg/l
<b>(*)Chrome III+</b>	03	mg/l
<b>(*)Chrome VI+</b>	0,1	mg/l
<b>(*)Solvants organiques</b>	20	mg/l
<b>(*)Chlore actif</b>	01	mg/l
<b>(*)PCB</b>	0,001	mg/l
<b>(*)Détergents</b>	02	mg/l
<b>(*)Tensioactifs anioniques</b>	10	mg/l

### **I.5. Réutilisation des eaux usées épurées:**

La réutilisation des eaux usées épurées est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages. Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Economique et Environnementale.

Le réseau national d'assainissement totalise un linéaire de 27000 kilomètres. Le taux de recouvrement est, hors population éparsée, de 85%. Le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m<sup>3</sup>, dont 550 pour les seules agglomérations du nord. Ce chiffre passerait à près de 1150 millions de m<sup>3</sup> à l'horizon 2020. La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle. Parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office nationale d'assainissement) à travers les 43 wilayas (Départements), quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. A fin 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m<sup>3</sup>/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles. Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative d'environ 17 millions de m<sup>3</sup> en 2011 à environ 200 millions de m<sup>3</sup> en 2014, et le nombre de stations concernées sera de 25 stations d'épurations à l'horizon 2014. Les stations d'épurations gérées par l'ONA concernées par les projets de réutilisation des eaux usées épurées en cours d'étude ou de réalisation, sont au nombre de 12, pour l'irrigation de plus de 8 000 hectares de terres agricoles [MRE, 2012].

Un plan d'action entre ONA et ONID (Office national d'irrigation et de drainage) est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des stations d'épurations exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par l'ONID au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale.

### **I.6. Différents procédés d'épuration des eaux usées :**

Suivant le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. La figure ci-dessous représente les différents procédés biologiques d'épuration. (Metahri M, 2012).

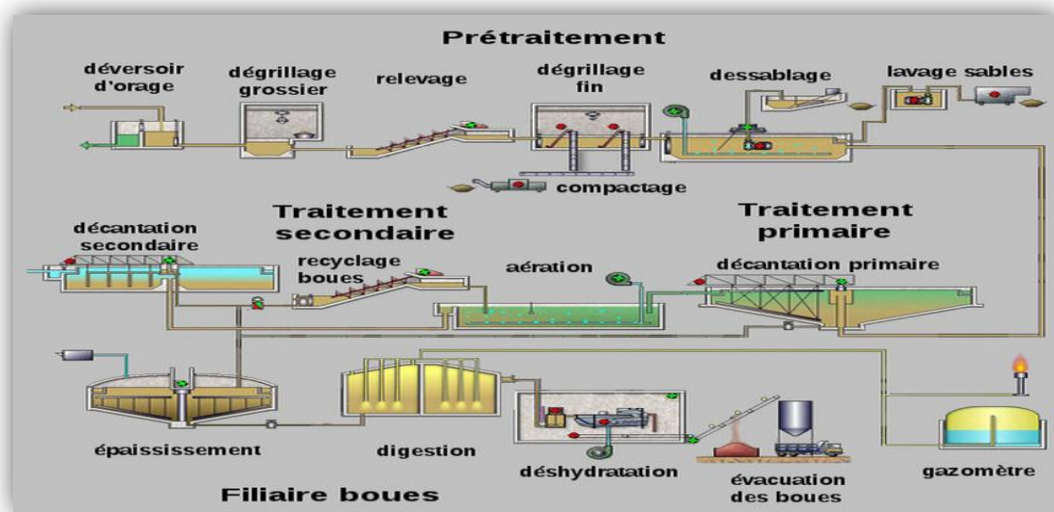


Figure I.1 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées

### I.6.1. Les prétraitements :

Le Prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. (Perera et Baudot, 1991)

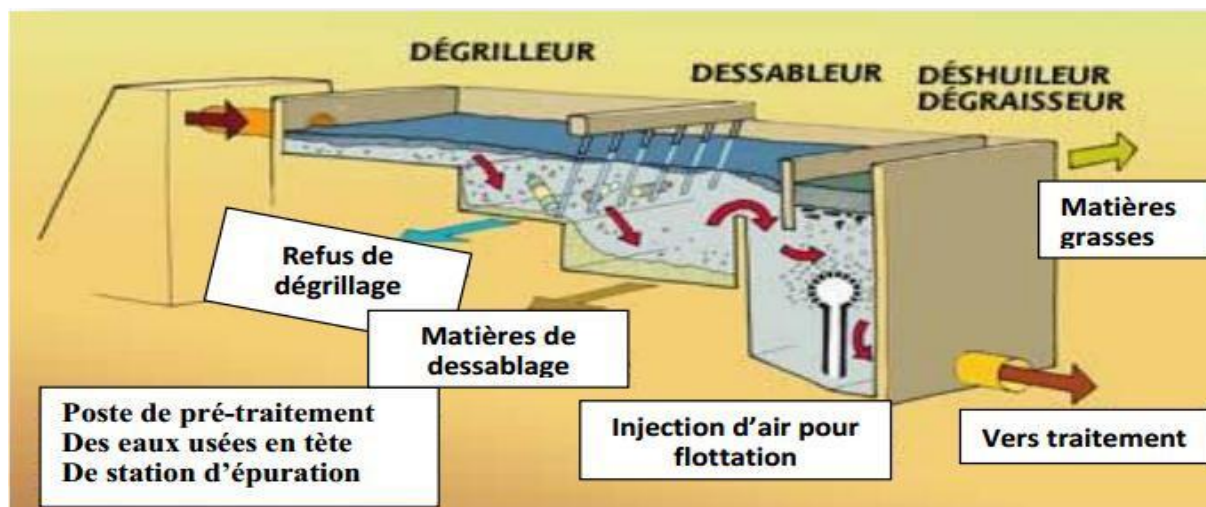





Figure I.2: Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP (Medjdoub T, 2014)

Le prétraitement peut comprendre:

- Le dégrillage principalement pour les déchets volumineux ;
- Le dessablage pour les sables et les graviers ;
- Le dégraissage-déshuilage ou d'écumage-flottation pour les huiles et les graisses



Tableau I.3:Le prétraitement d'une STEP :

Prétraitements	figures
<p><b>Dégrillage</b></p>	
<p><b>Dessablage</b></p>	
<p><b>Déshuilage et dégraissage</b></p>	

**I.6.2 Traitement primaire (physico- chimique) :**

D'après (Abibsi.N 2011), il s'agit le plus souvent d'une décantation qui permet d'éliminer les matières en suspension décantables en deux heures. L'utilisation de réactifs chimiques pour éliminer des particules plus fines constitue un traitement physico-chimique. Ce traitement permet donc essentiellement l'élimination de la pollution particulaire et d'une partie de la pollution organique sous forme particulaire (de l'ordre de 65 à 80% de la DCO avec un traitement physico-chimique) (Voir la figure I.3)

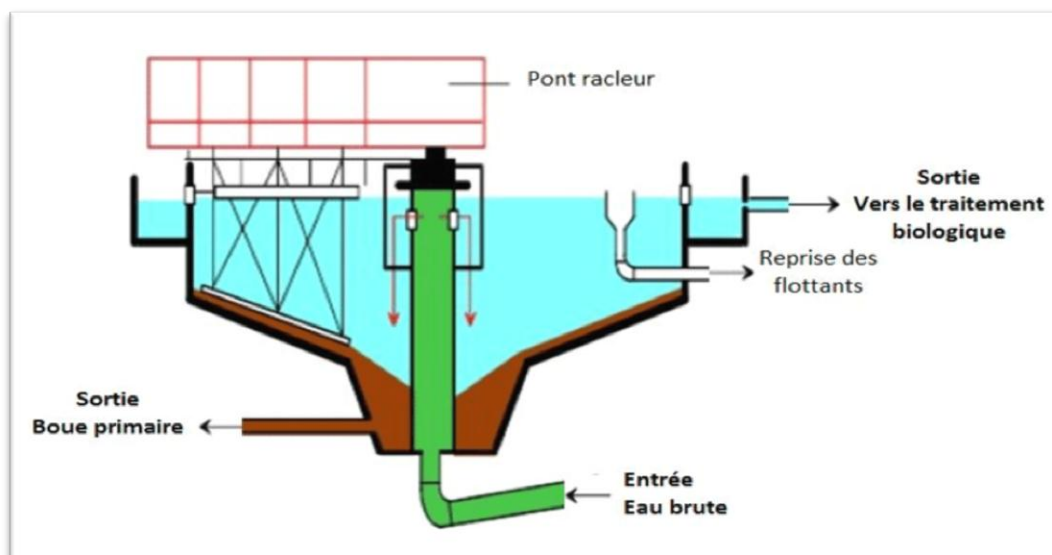


Figure I.3: Schéma d'un décanteur primaire.

### 1.6.3. Traitement secondaires (ou traitement biologique) :

L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants, essentiellement des bactéries.

Ces traitements sont basés sur la capacité des micro-organismes à oxyder la matière minérale ( $\text{NH}_3$ , ...) et les matières constitutives de la DCO et de la DBO d'une part (aérobie), et à réduire d'autre part les molécules comportant de l'oxygène :  $\text{NO}_3$  (anoxie),  $\text{SO}_4$  et  $\text{CO}_2$  (anaérobie). Ils vont permettre ainsi d'éliminer la pollution soluble biodégradable et une partie des MES. (Grosclaude, 1999).

#### 1.6.3.1 Traitement biologique intensif:

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries présentes dans l'eau, qui dégradent les matières organiques. Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. (Himour A, Guendouz A. 2017)

Trois grands types de procédés sont utilisés :

#### A/ Les lits bactériens :

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. (Bensayah. N, Lekehel .I 2017).

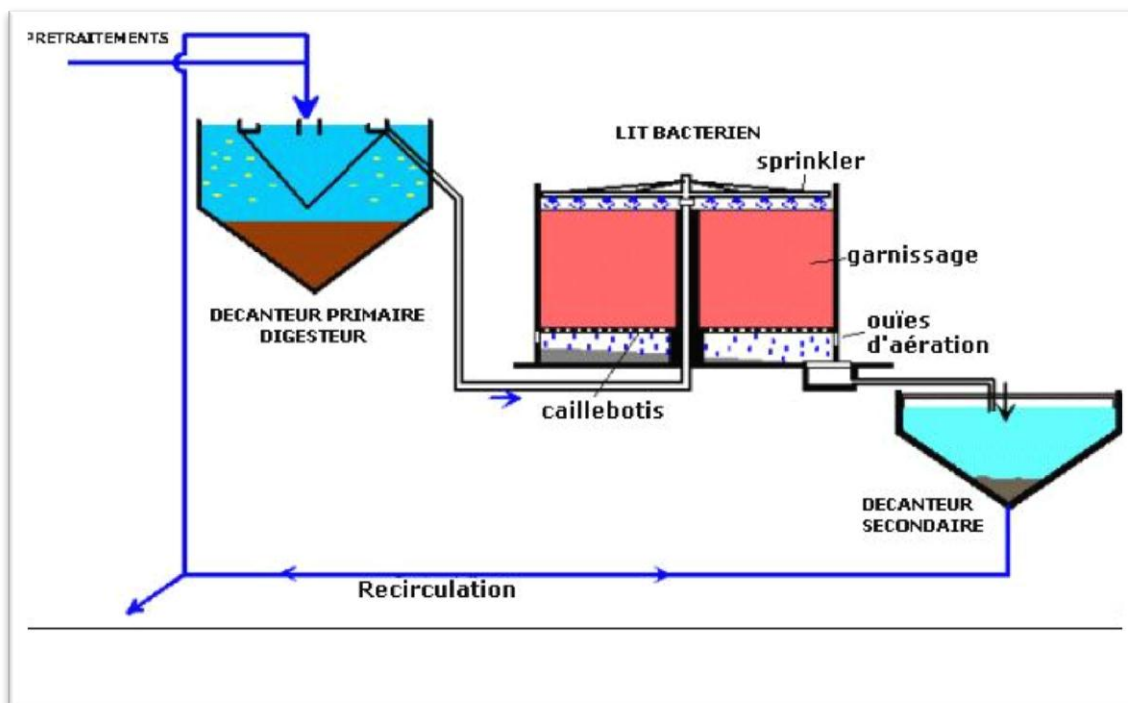


Figure I.4 Schéma du traitement biologique par lit bactériens.

Tableau I.4: Les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par lits bactériens

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées.</li> <li>- Faible consommation d'énergie.</li> <li>- Bonne décantabilité des boues.</li> <li>- l'exploitation d'une station à lits bactériens reste très simple.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coûts d'investissement assez élevés.</li> <li>- Source de développement d'insectes et d'odeurs.</li> <li>- Sensibilité au colmatage et au froid.</li> <li>- Boues fermentescibles.</li> </ul>

### B/ Les disques biologiques :

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. (Bensayah. N, Lekehel .I 2017).

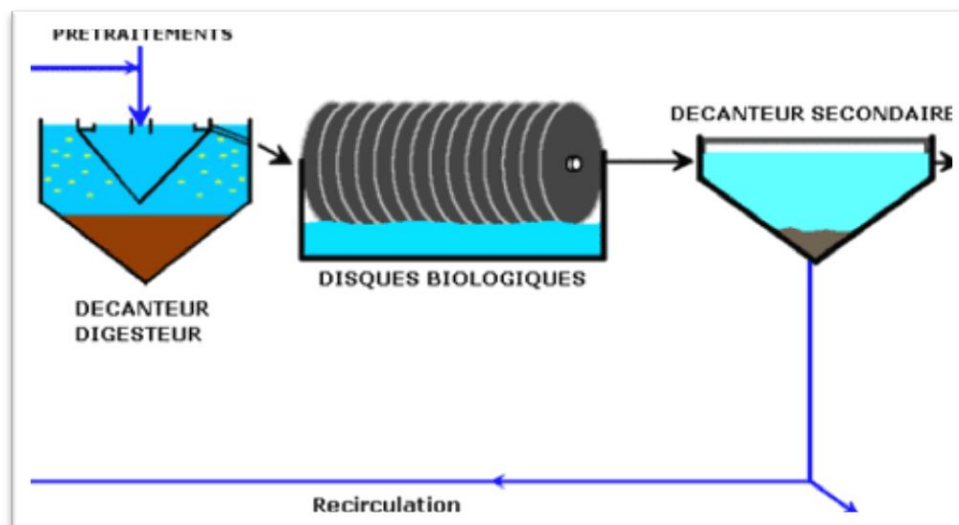


Figure I.5: schéma du traitement biologique par disque biologique.

Tableau I.5: Les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par disque biologique

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment)</li> <li>- L'exploitation de ce procédé est relativement simple ne nécessitant pas de recyclage.</li> <li>- Généralement adaptés pour les petites collectivités.</li> <li>- Faibles consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Très sensible à la quantité des eaux à traiter.</li> <li>- La sensibilité au gel et aux huiles et graisses.</li> <li>- Coûts d'investissement assez élevés.</li> <li>- Ce procédé pose des problèmes dans la construction.</li> </ul>

### C/ Les boues activées :

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. (Bensayah. N, Lekehel .I 2017).

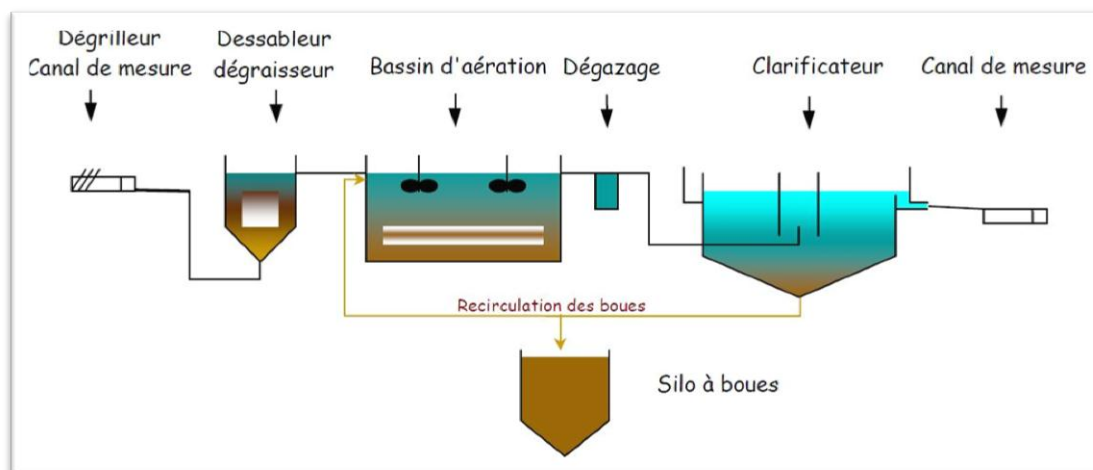


Figure I.6: Schéma du traitement biologique par boue activée

Tableau I.6: les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par boues activées.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO5, N par nitrification et dénitrification).</li> <li>- Adapté pour toute taille de collectivité (sauf les très petites).</li> <li>- Adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser</li> <li>- Consommation énergétique importante.</li> <li>- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière.</li> <li>- Sensibilité aux surcharges hydrauliques.</li> </ul>

### I.6.3.2 Traitement biologique extensifs :

#### A/ Le lagunage :

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 (**Roques, H, 1983**). Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur tropiques. On distingue deux types du lagunage :

Le lagunage aussi utilisé en complément ou en association avec d'autres procédés de traitement :

- Lagunage anaérobie /lagunage aéré.
- Décanteur digesteur /lagunage (aéré, naturel).
- Décanteur primaire ou physico-chimique / lagunage (aéré, naturel).

- Lagunage naturel / lagunage (aéré, naturel).

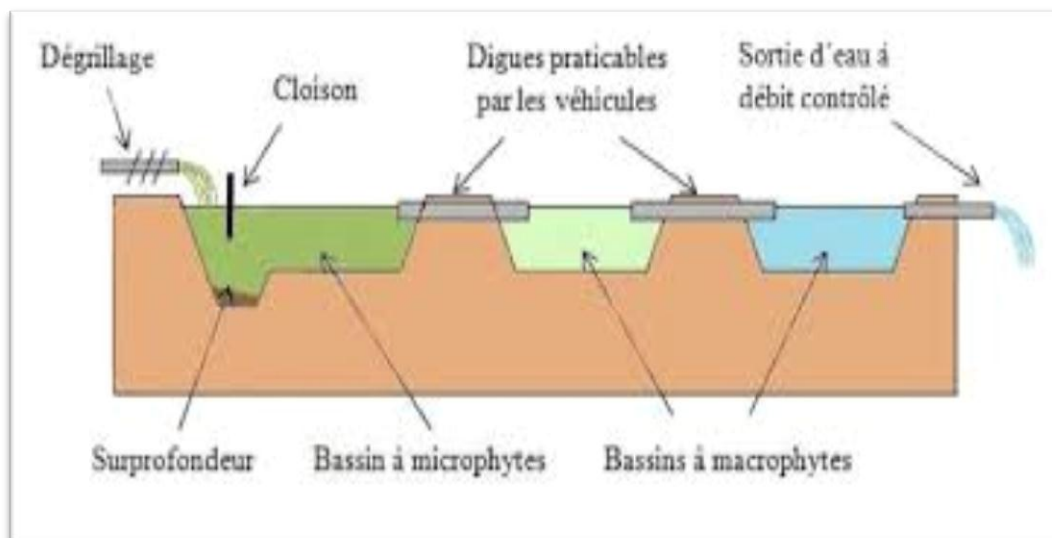


Figure I.7: Schéma du traitement biologique par lagunage.

Tableau I.7: Les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par lagunage.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fiabilité et facilité d’exploitation.</li> <li>- Bonne adaptation aux à-coups des flux polluants.</li> <li>- Investissement modéré si l’on dispose de surface en terrains importantes dont la nature. La structure et la topographie sont adaptées.</li> <li>- Coût d’exploitation limité et ne nécessite pas la qualification du personne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité de surfaces importantes en terrains</li> <li>. - Contraintes de sous-sol: terrains imperméables (protection de la nappe).</li> <li>- Risque de prolifération de moustiques et d’odeurs (pour les bassins anaérobies)</li> <li>- Curage périodique indispensable</li> </ul>

### B/ L’infiltration percolation sur sable :

L’infiltration percolation d’eaux usées est un procédé d’épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L’eau est successivement distribuée sur plusieurs unités d’infiltration.

Les charges hydrauliques sont de plusieurs centaines de litres par mètres carré de massif filtrant et par jour. L’eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n’a pas recouvert.

La plage de distribution des eaux est maintenue à l’air libre et visible. (Medjdoub T, 2014)

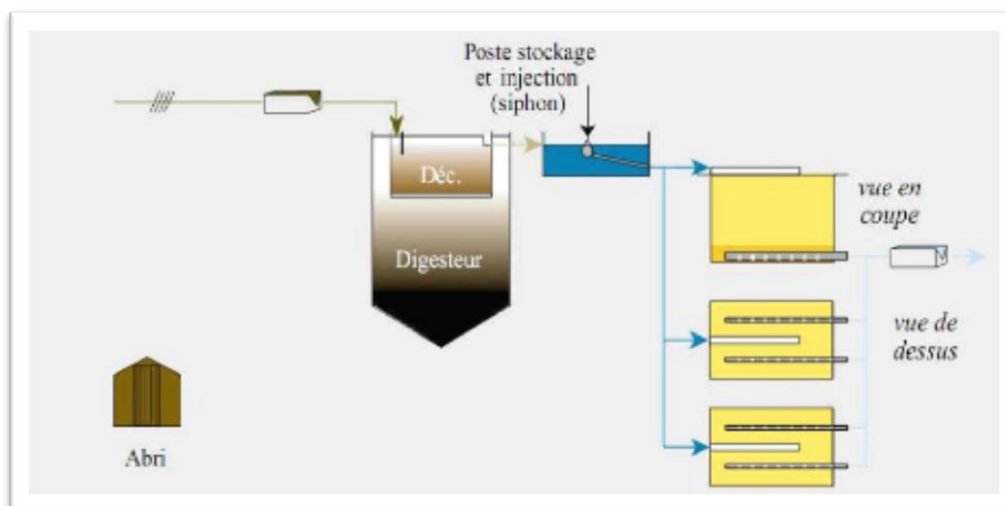


Figure I.8: Schéma du traitement biologique par la filtration (percolation).

Tableau I.8: les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par la filtration

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procédé simple à gérer en alimentation gravitaire (pas d'éléments électromécaniques).</li> <li>- Rendements importants sur la dégradation de la matière organique: 90 à 95% sur DCO, DBO5 et MES.</li> <li>- Capacité de décontamination intéressante.</li> <li>- Nitrification importante des composés azotés.</li> <li>- Surface nécessaire bien moindre que pour un lagunage naturel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace.</li> <li>- Risque de colmatage à gérer.</li> <li>- Nécessité d'avoir à disposition de grandes quantités de sables, ce qui peut engendrer des investissements importants.</li> <li>- Adaptation limitée aux surcharges hydrauliques</li> </ul>

### C/ Lagunage à macrophytes (ou phytoépuration)

Les filtres plantés de roseaux se classent parmi les filières de traitement biologique à culture fixée sur supports fins (sable, gravier), rapportés et alimentés à l'air libre, au même titre que « l'infiltration-percolation ». Il y'a différents termes pour nommer ce type de filière de traitement à cultures fixées: - Lits à macrophytes (macrophytes = végétaux supérieurs ou roseaux). (Himour A, Guendouz .A 2017).

Rhizosphères (c'est ainsi qu'est appelé le milieu biologique et physico-chimique existant autour des racines des roseaux).

- Filtres plantés de roseaux

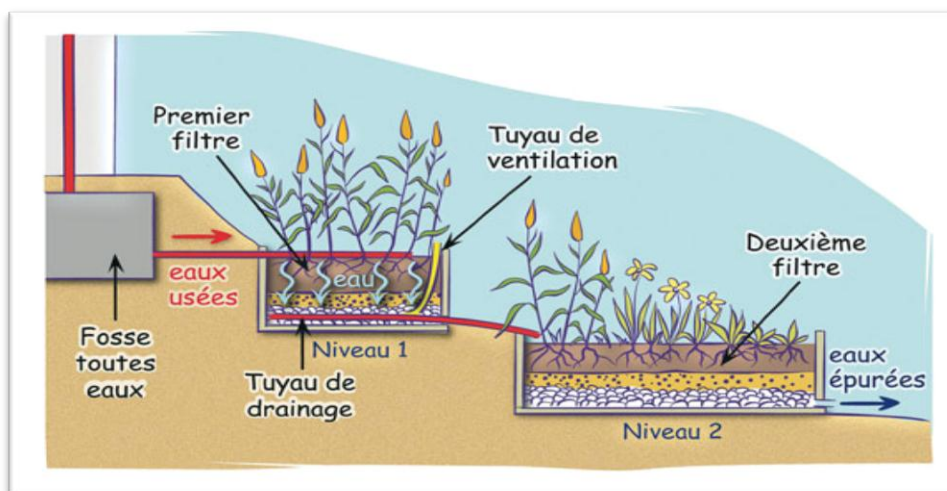


Figure I.9: Schéma du traitement biologique par phytoépuration.

Tableau I.9: Les principaux avantages et inconvénients du traitement biologique par phytoépuration.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité et faible coût d'exploitation.</li> <li>- Aucune consommation énergétique si la topographie est suffisante.</li> <li>- Possibilité de traiter des eaux usées domestiques brutes.</li> <li>- Gestion réduite au minimum des boues.</li> </ul> Bonne adaptation aux variations saisonnières de population.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de présence d'insectes ou de rongeurs.</li> <li>- Exploitation régulière, faucardage annuel de la partie aérienne des roseaux.</li> <li>- Désherbage manuel avant la prédominance des roseaux.</li> <li>- Nécessité d'un déssableur en tête sur réseau unitaire.</li> </ul>

#### I.6.4. Traitement tertiaire :

Appelés aussi les traitements complémentaires qui visent l'élimination de la pollution azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux usées domestique, ayant déjà subi au préalable des traitements primaires et secondaires qui s'avèrent insuffisants pour arriver au bout de ces polluants. Pour cela les traitements tertiaires s'imposent et deviennent plus que nécessaires, afin de garantir une meilleure protection des milieux naturels récepteurs. **(Bennia.A (2018)).**

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 dé phosphatation biologique ou mixte (biologique et physicochimique)
- La désinfection bactériologique et virologique

### **I.7 Conclusion :**

Le traitement des eaux usées est nécessaire pour protéger 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 les filtres***  
***plantés à macrophytes***

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

Pour le moment, une attention considérable est donnée en Europe et en Amérique à l'épuration par filtres plantés à macrophytes (Phytoépuration) pour traiter les eaux usées urbaines et industrielles. La phytoépuration veut dire l'action de l'épuration des eaux usées en présence des plantes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétaux, de façon à en favoriser la dépurabilité naturelle, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part de microorganismes et de la flore. Les systèmes de phytoépuration sont utilisés pour la dépurabilité d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes. (**Himour A, Guendouz A, 2017**)

La phytoépuration est avantageuse surtout pour les petites communes à population dispersée et pour les pays en voie de développement. 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. (**Mimeche BL., Mancier H., Debabeche M, 2010**)

## **II.2. Généralité sur la phytoépuration :**

La phytoépuration est un système de traitement des eaux usées en utilisant le pouvoir épurateur des plantes. Ces dernières sont des microphytes et/ou des macrophytes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétaux, de façon à en favoriser la dépurabilité naturelle, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore. Les macrophytes et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites Australis*) ont la particularité de former un tissu racinaire et un réseau de galeries qui drainent et apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies. Ces bactéries, ainsi que la macrofaune du sol, ont un rôle de dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes. Ainsi le système ne produit pas de boues, lesquelles sont compostées et forment un humus sur place. (**Zoubiedi.A 2016**)

## **II.3. Les différents filtres plantés :**

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. Filtres plantés à écoulement 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. Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué. L'oxygène est apporté par convection et diffusion. L'apport d'oxygène par les racinelles des plantes est, ici, négligeable par rapport aux besoins. (Berland J.M et al, 2001).

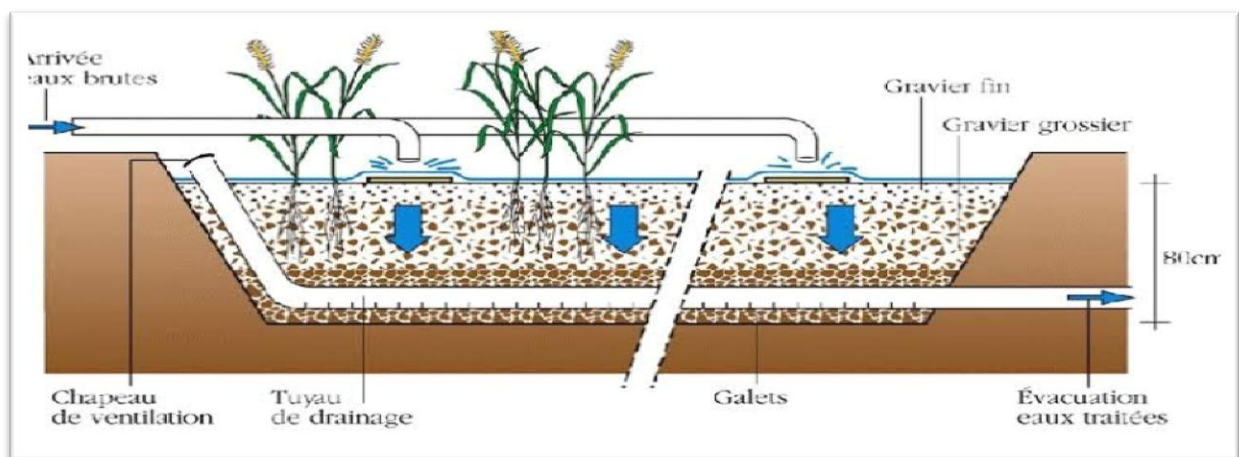


Figure II.1: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical (Berland J.M et al, 2001).

### II.3.2. Filtres plantés à écoulement horizontal :

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit 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 s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible. L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse, et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau. En effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la chaîne de traitement ; il n'y a donc pas d'eau libre et pas de risque de prolifération d'insecte. (Berland J.M et al, 2001).

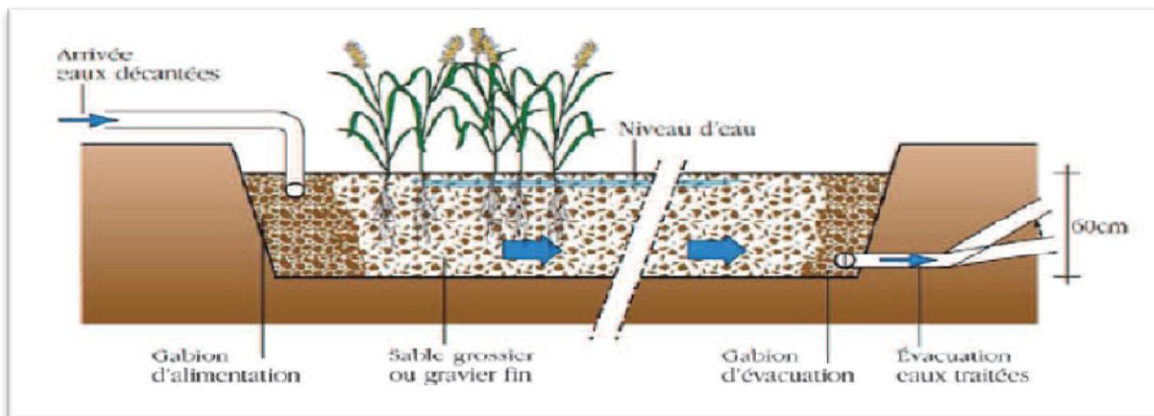


Figure II.2 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal (Berland J.M et al, 2001).

### II.3.3. Systèmes hybrides :

Son intérêt réside dans la combinaison des deux sortes de filtres : bonne nitrification dans les filtres verticaux bien oxygénés (dégradation de la matière organique) suivie d'une dénitrification dans les filtres horizontaux par des bactéries dénitrifiantes (conditions d'anoxie nécessaires). Les rendements de la dénitrification ne sont pas très élevés car les bactéries ont besoin de matière organique pour se développer et dénitrifier correctement. (Grison, 1999)

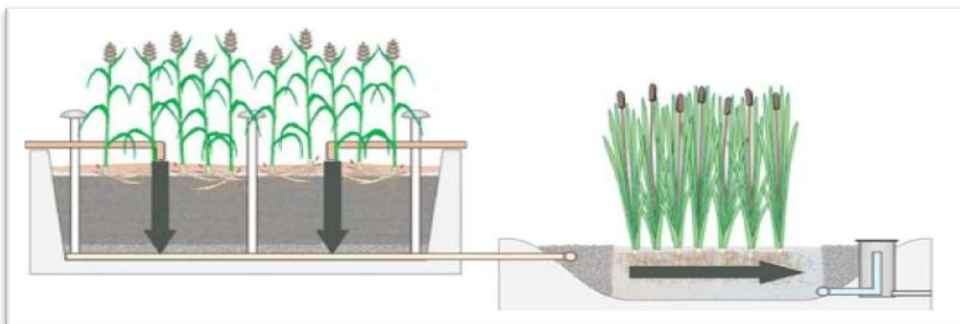


Figure II.3 : Système hybride de marais filtrants avec une cellule de MEVS suivi d'une cellule de MEHS (Gagnon et al).

## II.4. Rôle des constituants d'un filtre planté de macrophyte:

### 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.
- 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. **(Kleche .M 2013)**.
- 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.4.1.1 Les plantes les plus utilisées dans l'épuration des eaux usées et leurs caractéristiques :

##### A/ Papyrus :

Le papyrus est une plante qui pousse notamment sur les rives de Nil. 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. Ce genre compte plus de six cents espèces de laiches, dont des annuelles et des vivaces persistantes, répandues surtout dans les habitats humides de presque toutes les régions du globe, sauf les plus froides. Les larges touffes d'épaisses tiges cylindriques ou triangulaires portent des feuilles graminiformes issues de la base et sont coiffées d'inflorescences compactes ou de grandes ombelles de petits épis floraux palés formes. La plupart des espèces ornementales se plaisent au bord de l'eau ou en sol marécageux. Cultiver dans un compost riche, et bien arroser. Elles tolèrent les rayons directs du soleil. Multiplier par semis ou division. **(Burnie et Al 2006)**.



**Photo II.1 : Papyrus**

**B/ Phragmite Australis:**

Plante vivace à rhizome rampant, très ramifié, émettant des tiges nombreuses, élevées (de 60 cm à deux mètres), dures et luisantes ; feuilles glauques, à ligule courte et ciliée, à limbe de plusieurs décimètres de long et large d'un pouce, très pointu au sommet et rude sur les bords, strié en long sur les deux faces ; inflorescence grande, très étalée, brun jaunâtre, à axe velu sur les nœuds inférieurs ; épillet très nombreux, grands (1-2 cm), à glumes très inégales, à axe sinueux très velu, portant 4 – 10 fleurs à longue arête.- Espèce cosmopolite, surtout représentée au Sahara par une forme à feuilles courtes, raides et piquantes, un peu enroulées en long, à tiges plus courtes que dans le roseau habituel d'Europe. Lits des torrents, gueltes, un peu partout au Sahara septentrional, occidental et central. (Ozenda,1991)

Le roseau est la plante filtrante la plus utilisée au monde pour dépolluer les eaux usées que cela soit sous forme de filtre alluvionnaire végétalisme ou sous forme de bassins plantés : transportant de l'oxygène pur dans ses rhizomes, elle est très performante pour traiter les charges organiques (demande chimique en oxygène DCO ou DBO<sub>5</sub> ou MES). Elle est maintenant aussi utilisée pour traiter les boues urbaines.



**Photo II.2 : Le roseau commun « Phragmites 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, étranges, rivière dans presque toute la France, l'Europe, l'Asie, l'Afrique et l'Amérique boréale). 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>. (Quezel et al. (1962 – 1963).



**Photo II.3 : Typha Latifolia**



**D/ Tamarix :**

Dans leur habitat naturel du sud de l'Europe, d'Afrique du Nord et d'Asie tempérée, les quelques cinquante-quatre espèces d'arbustes et petits arbres composant ce genre croissent le long des côtes ou des cours d'eau, même souterrains, souvent en sol salin. La plupart sont caduques, quelques-unes persistantes. Elles forment un petit tronc et un houppier léger aux rameaux retombants et portent des feuilles, pareilles à de menues écailles, équipées de glandes sécrétant de sel. Les fleurs tenues blanches ou roses sont groupées en racèmes effilés. Les fruits sont des capsules. Culture : plantés en brise vent ou pour l'ornement, ces arbres s'adaptent à quantité de situations et de climats, tolérant même l'aridité et les embruns. De rusticité variable, ils apprécient un sol profond et sableux et peuvent être taillés après la floraison. Multiplier par semis, ou par boutures aoûtées en hiver ou semi- aoûtées en automne et en fin de printemps. (Burnie et Al 2006)

**Photo II.4 : Tamarix****II.4.2. 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. (Djoudi.R 2019)

#### II.4.2. Rôle des micro-organismes :

Ils ont un essentiel rôle est comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique.

Les micro-organismes assurent les différents processus d'oxydation et de réduction, minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes et assurent également les réactions de nitrification/dénitrification. Ils ont besoin d'un support de fixation pour se développer et ne pas être entraînés par les eaux usées ; celui-ci est assuré par les plantes (surtout leurs organes souterrains) et le matériau formant ainsi ce qu'on appelle la rhizosphère. La rhizosphère est une petite région autour des racines des roseaux où croissent de grandes populations de bactéries consommatrices ou non d'oxygène (aérobie/anaérobie). (Mejdoub.T 2014).

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

Les mécanismes d'élimination sont régis par les processus physiques, chimiques, physicochimiques ou encore biologiques qui sont résumés dans le tableau qui suit :

**Tableau II.1. : Principaux mécanismes d'élimination des différents types de polluants. [Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 1999]**

<b>polluants</b>	<b>Mécanisme d'élimination</b>
<b>Matières en suspension</b>	-Filtration
<b>Matière organique</b>	-Dégradation microbienne aérobie - Dégradation microbienne anaérobie
<b>Composés azotes</b>	-Ammonification suivie d'une nitrification et d'une dénitrification microbienne - Volatilisation de l'ammoniac - Assimilation végétale -Adsorption sur la matrice
<b>Phosphore</b>	-Adsorption sur la matrice - Assimilation végétale

<b>Métaux</b>	-Adsorption et échange de cations - Complexassions - Précipitation - Assimilation végétale - Oxydoréduction microbienne
<b>Micro-organismes</b>	Filtration - Mort naturelle - Prédation

## II.6 Phytoépuration en Algérie :

En Algérie, cette technique d'épuration, par filtres plantés, a fait son apparition que tardivement. En effet, ce n'est qu'en 2007 que le ministère des ressources en eau a procédé à la mise en place d'un système expérimental d'épuration des eaux usées basé sur un procédé naturel. Ce pilote expérimental, destiné pour les petites agglomérations de moins de 2000 habitants est le premier du genre en Algérie, réalisé dans la région de Témacine servira de test pour une éventuelle vulgarisation à travers les zones et les hameaux enclavés de notre pays et qui sont dépourvus de système d'épuration. (Zoubiedi.A 2016).

Les premiers résultats obtenus d'après ce pilote sont concluantes vis à vis des objectifs tracés relatifs aux rendements épuratoires des éléments responsables de la pollution. Ce travail constituera avant tout une contribution à la compréhension du système et mécanismes d'épuration par lits plantés particulièrement en zones arides.

## II.7. Les Avantages et les inconvénients de la phytoépuration :

### II.7.1. 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. (pauline, 1995)
- Moins coûteux à construire et à exploiter que les systèmes conventionnels
- Facilité de mise en œuvre
- Nécessite peu d'équipements mécanisés
- Consomme peu d'énergie

- Contrairement au lagunage, cette installation peut intégrer le tissu urbain. **(Cors, 2007)**.
- L'eau traitée par cette station d'épuration est de bonne qualité par rapport à 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. **(Yvan, 2002)**.

**II.7.2. 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. **(Anne., 2001)**.
- 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

**II.8. Conclusion :**

Ce chapitre montre la simplicité et l'efficacité des procédés naturels par filtres plantés par rapport à la complexité d'une station d'épuration classique qui fractionne les opérations de traitement de l'eau. La conception de filtres plantés de macrophytes possède réellement de nombreux avantages ; c'est une technique simple, économique, efficace, fiable, adaptable au lieu, demandant peu d'entretien et qui s'insère bien du paysage local.

***DEUXIEME PARTIE***

***ANALYSE***

***EXPERIMENTALE***

***Chapitre I:***  
***Matériels et Méthodes***

## **I.1 Introduction :**

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 les essais de la Phytoépuration (photo I.1). 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 2020)**

### **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 28 cm, de base supérieure de 50 cm et de base inférieure de 42cm 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
1ère couche	Gravier grossier	40-60	6	
2ème couche	Gravier moyen	20-30	6	
3ème Couche	Gravier fin ou bien sable ou bien Terre naturelle	16-10	10	

**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 hélophytes 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.3 : 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 :**

Pour la mise en place du filtre planté, nous avons procédé les étapes suivantes :

	<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>- L'irrigation des bacs plantés avec de l'eau usée</p>

### 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.

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

Paramètres	Eau usées brute	Unité
PH	6.92	-
C.E	5.29	ms/cm
Température	17	C°
NO <sub>3</sub>	0.073	mg/l
NO <sub>2</sub>	0.1	mg/l
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	1.03	mg/l

#### I.3.1. Calendrier de remplissage et prélèvement des échantillons :

Les analyses ont été effectuées au niveau de deux laboratoires de recherche Hydraulique, laboratoire d'ADE. Nous avons effectué un premier remplissage des filtres plantés avec l'eau usée d'origine domestique. Le temps de séjour varie de 2,5 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

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, Ortho phosphate et DCO.



**Photo I.4 :** Le remplissage des bacs avec l'eau usée.

#### **I.4.1. Mesure de (pH, CE, et la température) :**

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 (photo I.5).



**Photo I.5 :** PH mètre

## **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 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Elle est mesurée une électrode de CE d'un multi paramètre de type Consort C5020.



**Photo I.6 : Conductimètre**

## **3. 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 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.7 : 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 N-NO<sub>3</sub>- :**

Dissoudre 0,7218g de nitrate de Potassium préalablement séché à 105°C pendant 24h dans 1000ml d'eau distillée.

**- Solution fille 10mg/l de N-NO<sub>3</sub>-**

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 N-NO<sub>3</sub>-, préparer une gamme étalon dans des fioles jaugées de 50 ml comme indiqué sur le (tableau I.3) et la (photo I.6) suivant :

**Tableau I.3: Préparation des solutions étalons de Nitrate**

<b>Concentration des solutions étalons (mg/l)</b>	0	0.2	0.4	0.8	1.4	2	4	5
<b>Vol solution étalons (ml)</b>	1	2	4	7	10	20	25	35
<b>Vol E.D. (ml)</b>	49	48	46	43	40	30	25	15
<b>Mass d'azote des Nitrates N-NO<sub>3</sub> - L</b>	0.2	0.4	0.8	1.4	2	4	5	7

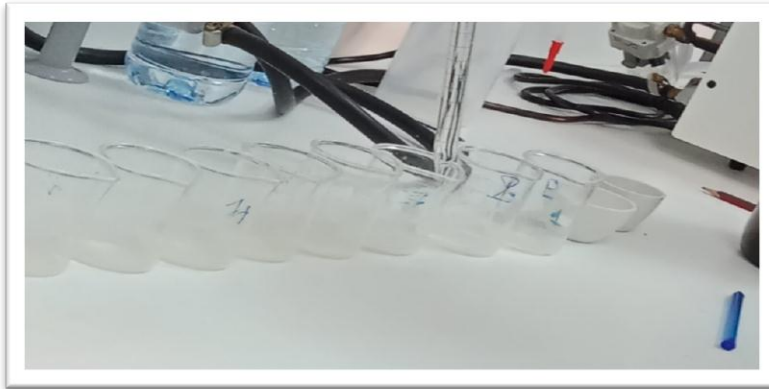


Photo I.8 : La gamme des Nitrates

➤ **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.4) et la (figure I.1) 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

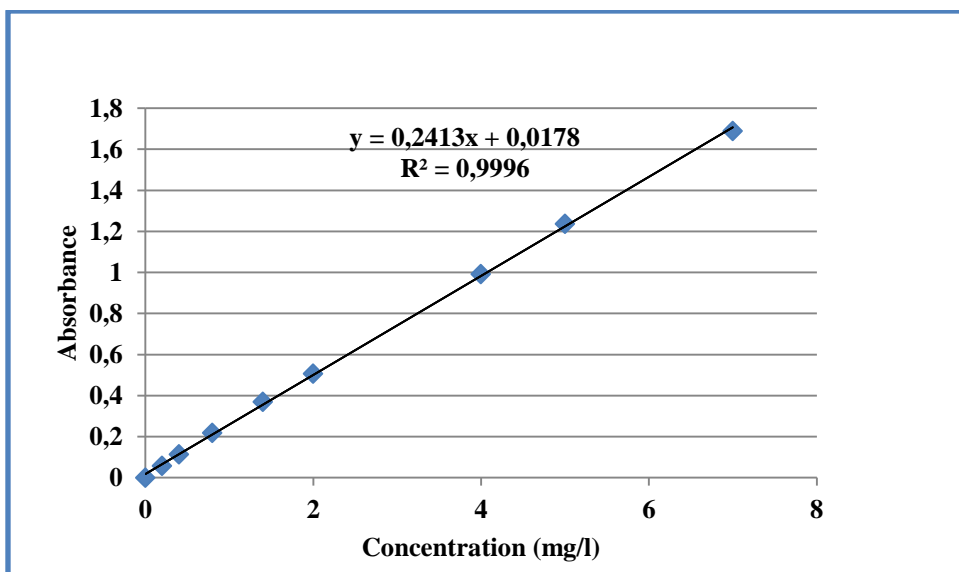


Figure I.1 : La courbe d'étalonnage des Nitrates



## 2. Nitrite NO<sub>2</sub><sup>-</sup> :

Les ions nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les ions nitratés (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène est la nitrification. 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 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 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><sup>-</sup> 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><sup>-</sup> 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 cidessous, les quantités suivantes : Tableau I.5: Etablissement de la courbe d'étalonnage des Nitrites.

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

N° de bécher / Solution	Témoin	1	2	3	4	5
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



Photo I.9 : La gamme de Nitrite

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 :

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

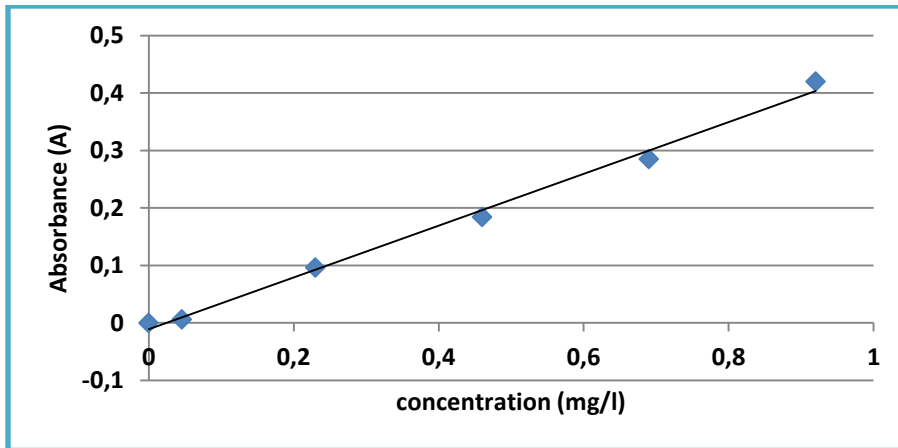


Figure I.2 : La courbe d'étalonnage des Nitrite

### 3. Ortho phosphate $\text{PO}_4^{3-}$ :

#### \*Dosage de l'ortho-phosphate :

C'est la méthode spectrométrique qui est utilisé pour ce dosage

#### Principe :

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phospho- molybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique

#### Réactifs :

##### 1. réactif mixte :

- A. Solution de molybdate d'ammonium
- B. Solution de tartrate double d'antimoine
- C. Solution d'acide sulfurique.

Mélanger A+B+C cette solution est stable pendant 2 mois si elle est gardée dans un flacon en verre bien fermé et 4 °c.

##### 2. acide ascorbique :

Peser 10 g d'acide ascorbique est dissoudre dans 100 ml d'eau distillait cette réactif est stable pendons une semaine.

**3. solution mère 50 mg/l d'ions  $\text{PO}_4^{3+}$  :**

Dissoudre 0.2197g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4^{3+}$  dans 800 ml d'eau distillait + 10 ml d'acide sulfurique 20% est complète à 1000 ml cette réactif est stable pendons une semaine.

**4. Solution fille 2 mg/l d'ions  $\text{PO}_4^{3+}$  :**

Diluer la solution mère 50 mg/l d'ions  $\text{PO}_4^{3+}$  au 20/500 ml préparer cette solution au moment De l'emploi.

**Appareillage :** Spectrophotomètre UV-VISIBLE.

**Tableau n°6 : Etablissement de la courbe d'étalonnage du phosphate**

<b>Fille 1mg/l</b>	0	2	4	6	8	10
<b>Eau distillée (ml)</b>	40	38	36	34	32	30
<b>Acide ascorbique</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Interaction mixte</b>	2	2	2	2	2	2
<b>Attente 10 minutes</b>						
<b>(<math>\text{po}_4^{+3}</math>) mg/l</b>	10	0.306	0.612	0.918	1.224	1.503

<b>Concentration</b>	<b>abc (880 nm)</b>
0	0
0.1	0.054
0.2	0.118
0.3	0.171
0.4	0.227
0.5	0.291

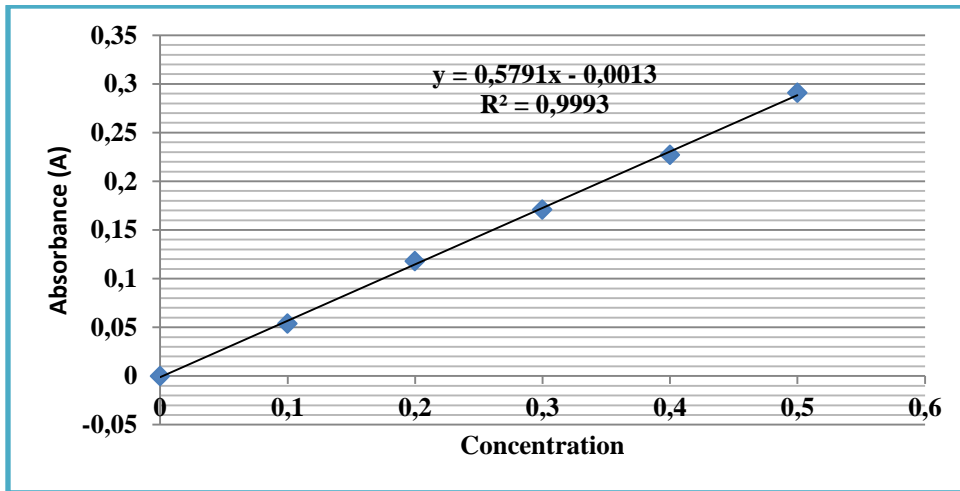


Figure I.3 : La courbe d'étalonnage des phosphates

• **Mode opératoire :**

Dans un la fiole prendre 40 ml d'eau à analyser + 1 ml d'acide ascorbique + 2 ml du réactif mixte et attendre 10 min. L'apparition de la coloration bleue indique la présence de  $[\text{PO}_4^{3-}]$  en mg/l. Effectuer la lecture à 880.

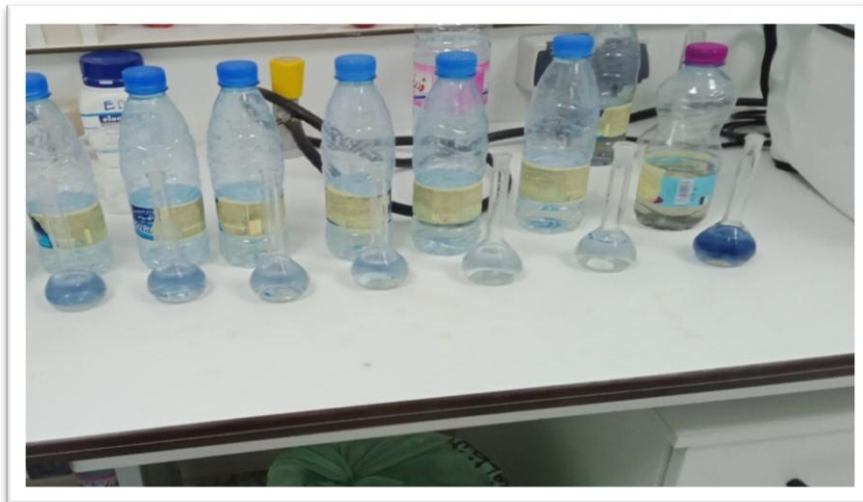


Photo I.10 : La gamme d'ortho phosphate

**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 a la mesurer à l'aide d'un spectrophotomètre à l'aide de l'équation suivante :

$DCO=336*\lambda^{254}-0.95*R$  avec  $R=48.8$



**Photo I.11 : Spectromètre UV-visible**

### **I.5. Conclusion :**

Dans ce Chapitre nous avons essayé de présenter les matériels et les méthodes utilisés afin d'évaluer le pouvoir épurateur des substrats 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, Nitrate, Nitrite, ortho phosphate et DCO).

## ***Chapitre II :***

***L'effet du substrat sur  
l'élimination des polluants  
des eaux usées par filtre  
planté***

## **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 *Phragmite 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 2 jours à 5 jours.

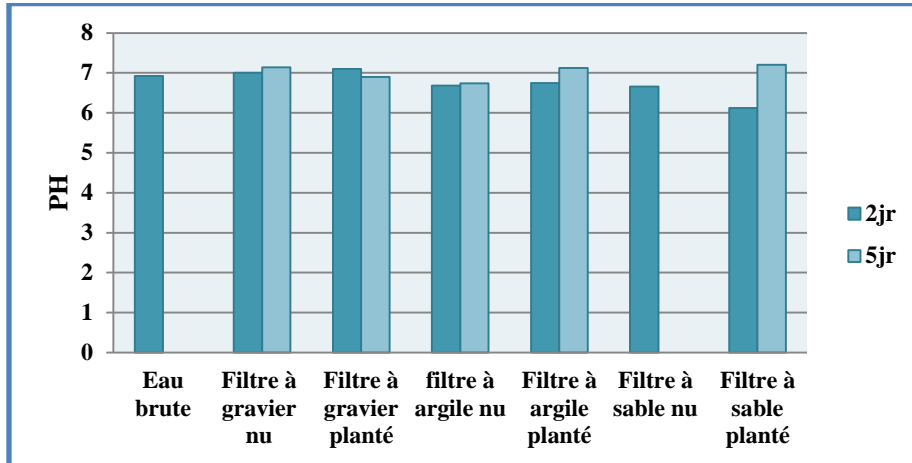
## **II .2 Variation des paramètres physico-chimiques :**

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, Nitrates, Nitrites, Ortho phosphates et DCO.

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

Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. (Rodier, 1996). La figure suivante représente Les variations du pH des eaux durant notre expérimentation.





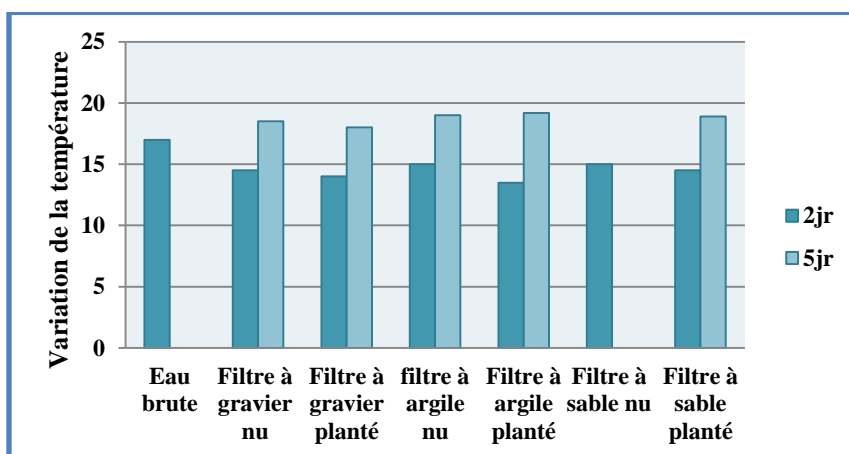
**Figure II.1 : Evolution du pH des eaux épurées sur les filtres plantés de phragmite et non plantés en fonction du temps de séjour**

D'après nos résultats on constate que les valeurs du PH enregistrées sont comprises entre 6.12 et 7.2 (PH neutre) dans les six bacs, et quelques soit la durée de séjour les valeurs de PH ne sont pas effectuées.

### **II.2 .2 La température (T) :**

D'après les résultats mesurés (Figure II.2) on voit que la température est variée suivant le temps de séjour et non pas suivant le substrat et cela explique la convergence des valeurs dans les six bacs.

De là on peut conclure que la variation de la température est due aux les conditions météorologiques de la zone d'étude.

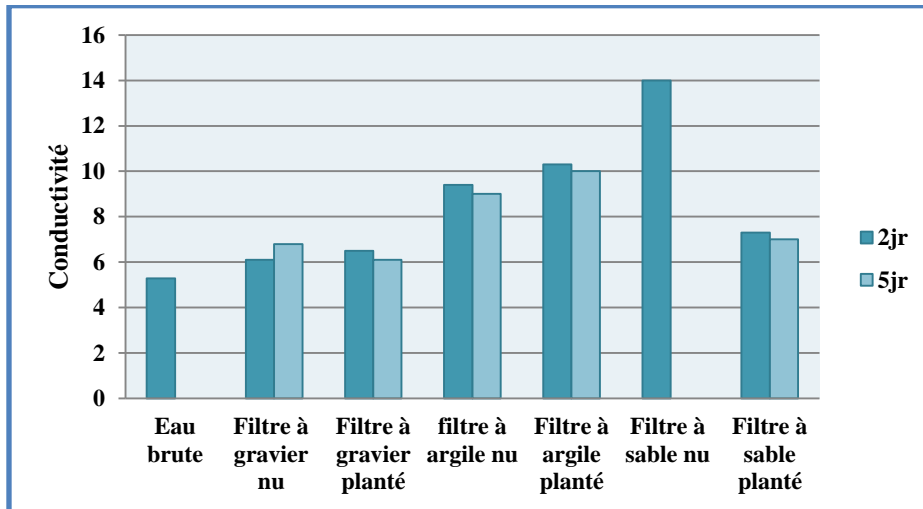


**Figure II.2 : Evolution de la température des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et non plantés en fonction du temps de séjour**

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

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier et al, 2005).

(La figure II.3) représente les valeurs de CE mesurées dans les eaux usées brutes et les eaux récupérées des lits plantés de phragmites.



**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**

D'après les résultats obtenus on remarque que la conductivité électrique est variée suivant le substrat pas suivant le temps de séjour, aussi elle est décroissant dans l'eau usées brute contrairement à les six bacs.

On constate que la valeur de la conductivité électrique est très élevée dans les filtres de sable et l'argile par rapport les filtres de gravier.

### II.2.4. Nitrate NO<sub>3</sub> - :

À l'aide d'un spectromètre UV- VIS, les résultats de dosage de nitrate sont présentés dans graphes suivant la figure (II.4).

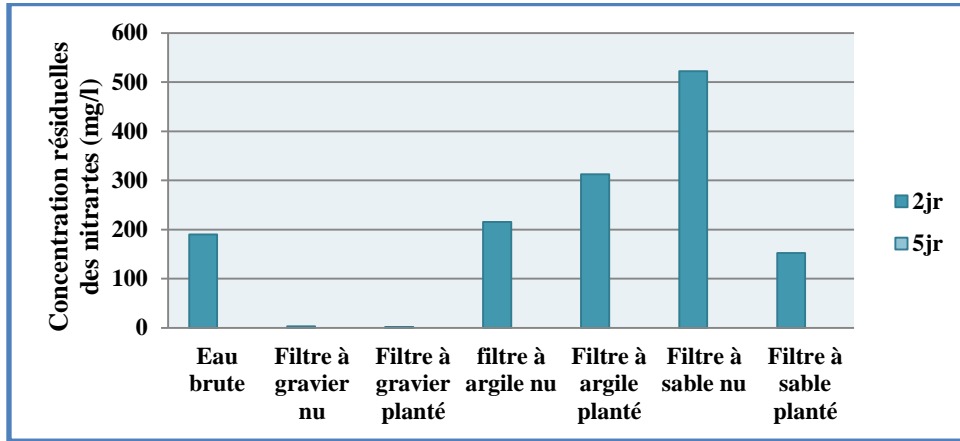


Figure II.4: Evolution du NO<sub>3</sub> - des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et les filtres non plantés en fonction du temps de séjour

D'après le graphe on voit qu'il ya une augmentation remarquable de nitrate dans le filtre à sable nu et le filtre à argile nu par rapport à l'eau usées brute, dans les bacs de filtre planté on remarque une diminution de nitrate dans les filtres de gravier. Après un temps de séjour de cinq jours on voit il ya une augmentation. Cette variation est due à la transformation des azotes en nitrates.

Véritablement 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.2.5.: Nitrite NO<sub>2</sub> - :

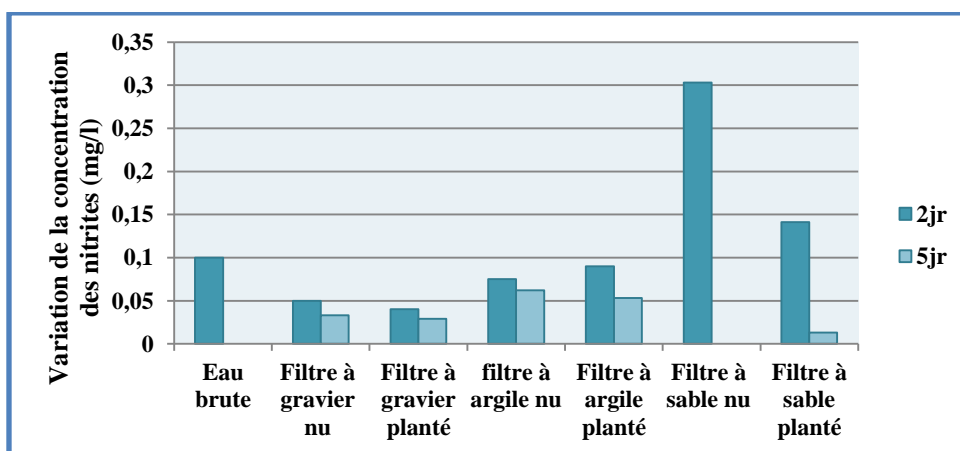


Figure II.5: Evolution du NO<sub>2</sub> - des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et les filtres non plantés en fonction du temps de séjour

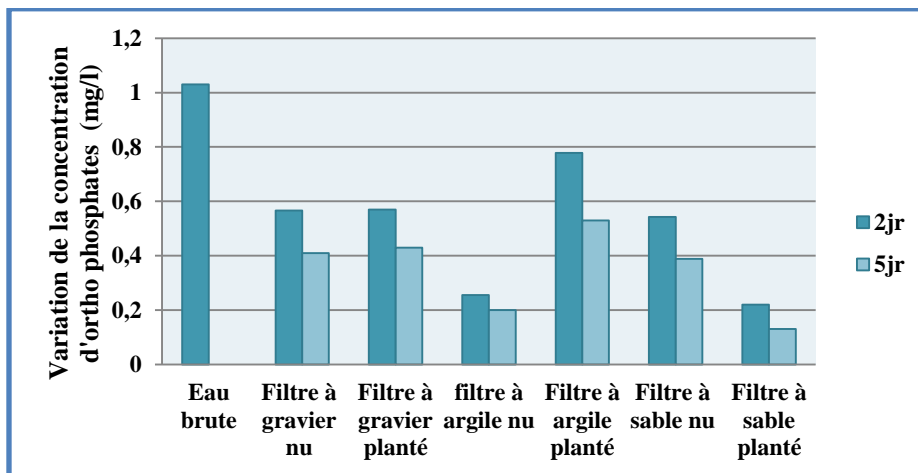
On constate d'après les résultats obtenus dans la figure (II.5) qu'après un temps de séjour de cinq jours il ya une élimination remarquable des nitrites dans le filtre en sable planté de phragmite par rapport aux filtres en gravier et en argile.

La concentration de nitrite est diminuée dans les filtres surtout les filtres plantés aux phragmites appart les filtres à argile nu ou on remarque une augmentation.

Cela signifie la capacité des filtres planté à transformer les nitrites aux nitrates ainsi éliminé 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.2.6 Ortho phosphate $PO_4^{-3}$ :

Selon la figure II.6 on remarque qu'il ya une différence entre la teneur de phosphate des eaux usées brute et celle récupéré des bacs comme on peut remarquer une diminution importante de cet élément dans tous les bacs et cela à partir du 2<sup>ème</sup> jour.



**Figure II.6: Evolution du  $PO_4^{-3}$  des eaux épurées par les filtres plantés de phragmite et les filtres non plantés en fonction du temps de séjour**

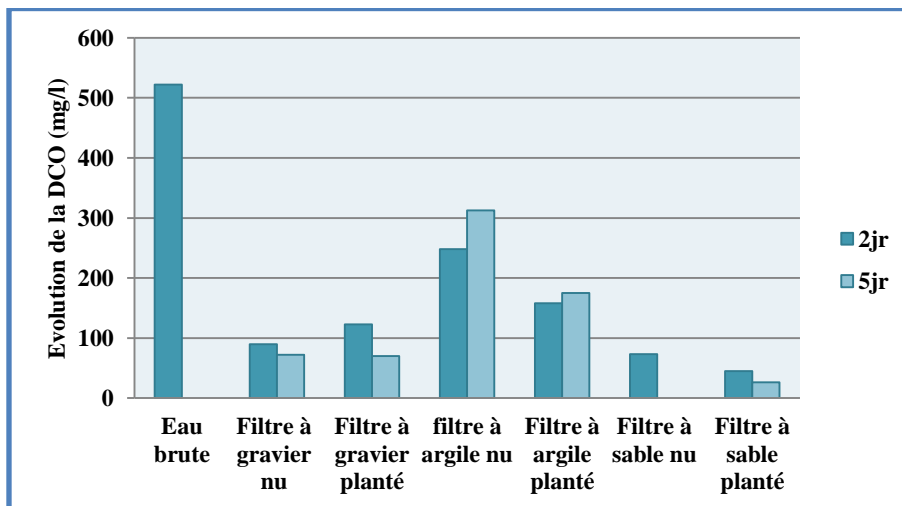
Ce qui implique deux phénomènes, soit l'élimination du ortho phosphate à long terme est généralement limitée par la capacité d'absorption du substrat y compris la litière. Il s'effectue également une adsorption du phosphore inorganique dissous par la plante. Cette absorption est rapide mais temporaire vu qu'une partie du phosphore peut retourner dans le système à la mort de ces végétaux.

Certaines plantes consomment une quantité appréciable de phosphore lors de leur croissance. Elles peuvent emmagasiner celui-ci dans les racines et rhizomes, les tiges et les feuilles. Une forte proportion du phosphate est emmagasinée par les plantes émergentes dans leurs racines lors de la fanaison.

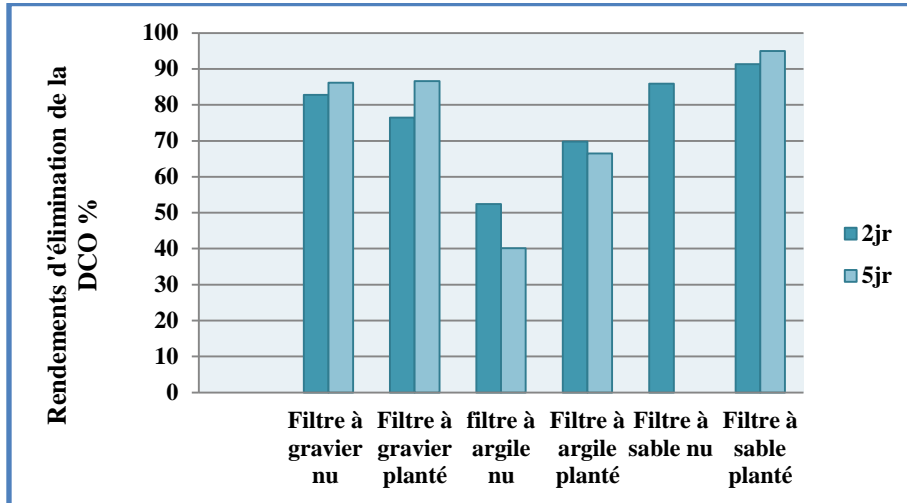
### **II.2.7 Demande chimique en oxygène DCO :**

A partir du graphe, on voit une baisse remarquable de la concentration de DCO dans les filtres plantés surtout dans les filtres en sable plantés aux phragmites par rapport aux filtres en gravier et en argile.

On peut dire que cette diminution est due 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 risques de colmatage du système. Cela 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 5 jours varie entre 94.95% pour le filtre en sable planté de phragmites australis, 86.85% pour le filtre en gravier planté et de 66.45% pour le filtre en argile planté.

Le matériau de filtration est le sable ayant une bonne capacité de traitement des eaux usées, spécialement dans l'élimination du phosphate, et une conductivité hydraulique adéquate. La vitesse de percolation du milieu filtrant se maintient normalement à environ 1 m/j pendant toute la période de l'utilisation d'un marais artificiel (environ 20 ans). Par conséquent, la vitesse de percolation initiale du milieu filtrant doit être supérieure à 1 m/j en raison du compactage subséquent du marais artificiel et du colmatage partiel du sol par les bactéries anaérobiques (Villeneuve, 1992).

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

L'objectif principal 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.

L'épuration des eaux usées par des filtres plantés est assurée par la présence des plantes macrophytes épuratrices et grâce à la prolifération des bactéries soit se trouvant au niveau des eaux usées ou bien aux niveaux des racines des plantés.

## ***Chapitre II L'effet du substrat sur l'élimination des polluants des eaux usées par filtre planté***

---

D'après l'ensemble des résultats obtenus on peut conclure qu'il ya une variation dans les paramètres mesurés à la sortie des filtres, cela est due à la nature du matériau constituant le massif filtrant.

Les résultats montrent que le filtre en sable planté a donné des résultats remarquables, satisfaisants par rapport aux autres filtres.

# *Conclusion générale*



## *Conclusion générale*

---

### **Conclusion générale**

Les filtres plantés sont une solution importante pour le traitement des eaux usées, l'effet se repose sur l'effet de plante et de substrat.

L'objectif de cette étude est 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 l'effet de substrat sur l'efficacité des filtres en le variant selon le matériau de remplissage (sable, argile 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 2 jours à 5 jours.

Les résultats obtenus ont montré que :

- ❖ Les valeurs de la conductivité électrique sont très élevées grâce aux conditions météorologiques de la zone d'étude
- ❖ Les résultats obtenus montrent qu'il y a une variation dans les paramètres mesurés à la sortie des filtres, cela est due à 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.
- ❖ Un abattement très important de la DCO et les nitrites 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.

# **Références bibliographiques**

## *Références bibliographiques*

- ❖ **Abibsi Nadjet, 2011:** Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantés (Phytoépuración) pour l'irrigation des espèces vertes. Application à un quartier de la ville de Biskra. Mémoire de Magister en Hydraulique, option: Hydraulique Urbaine. Université Mohamed Khider, Biskra
- ❖ **Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 1999,** Epuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes.
- ❖ **Anne, 2001:** Epuration des eaux usées domestiques par les bassins filtres à plantes aquatiques. Rivière de l'association Eau Vivante.
- ❖ **Zoubiedi Asma(2016) :** Etude du pouvoir épuratoire des eaux usées par filtre planté de macrophyte. Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université d'El-Oued.
- ❖ **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.
- ❖ **Bensayah Nassima Asma + Lekahel Ismail (2017) :** « 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.
- ❖ **Berland J.M., Boutin C., Molle P., Cooper P., (2001).** Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités. Ed. Office de publications officielles des communautés européennes de France, pp : 4-20
- ❖ **Burnie G., Forrester S., Greig D., Guest S., Harmony M., Hobley S., Jackson G., Lavarack P., Ledgett M., McDonald R., Macoboy S., Molyneux B., Moodie D., Moore J., Newman D., North T., Pienaar K., Purdy G., Ryan S., Schien G., Silk J., 2006,** Botanica, Encyclopedie de botanique d'horticulture. Plus de 10000 plantes du monde entier, place des victoires, 1020p.
- ❖ **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.

- ❖ **Cors Marie, 2007**: Techniques extensives d'épuration des eaux usées domestiques. Le meilleur choix environnemental en zone rurale Dossier IEW Inter-Environnement Wallonie
- ❖ **Desjardins. R., (1997)** : «Le traitement des eaux», 2ème édition, Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada.
- ❖ **Djoudi.Ramzi (2019)** : « Effet de substrat sur le pouvoir un épurateur d'un filtre un et d'un filtre planté de phragmites Austaurealis ». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique université de Biskra
- ❖ **Directive Cadre européenne sur l'Eau, 2000**
- ❖ **JORAD (2006)** : journal officiel de la République Algérienne Démocratique. Norme de rejet.
- ❖ **Hamadani 2002** : Caractérisation et essais de traitement des effluents d'une industrie laitière : aspects microbiologiques et physico-chimiques. Thèse de l'Université Chouaib Doukkali, El jadida, Maroc.
- ❖ **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
- ❖ **Himour Asmaa., Guendouz Amira, (2017)** : Étude de l'utilisation des végétaux pour l'épuration des eaux usées. Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique université de Dr Moulay Tahar- Saida
- ❖ **Gaid, A,** Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome 1.OPU, Alger, 1984.
- ❖ **Olivier. T, 1995** : Métrologie des eaux résiduaires
- ❖ **Gomella C, Guerree H (1978)**, Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées, Ed. Eyrolles, Paris, 262 p
- ❖ **Grison, 1999**: Epuration des eaux uses par des filtres plantés de macrophytes, étude bibliographie agence de l'eau Rhone Méditerranée et Corse
- ❖ **Grosclaude, G. (1999)** : L'eau usages et polluants. Ed INRA, Paris 1999 tome II.
- ❖ **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 Bakr Belkaid Tlemcen.
- ❖ **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.

- ❖ **Laabassi.Ayache ,( 2016) ;** « l'épuration des eaux usées par le système de lagunage à macrophytes » , Thèse de doctorat, option : biotechnologie végétal université Ferhat Abbas ,Sétif
- ❖ Le parlement européen et le conseil de l'union européenne. Directive 2000/60CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.JO L327du 22.12.2000
- ❖ **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.
- ❖ **Medjdoub Touria, (2014) :** Etude, conception et dimensionnement d'une STEP par filtres plantés de roseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny», Mém de master, université Abou Bakr Belkaid –Tlemcen.
- ❖ **Mekhalif.Faiza, (2009) :** réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université 20 aout 1955- Skikda.
- ❖ **Mimeche BL., Mancer H., Debabeche M, 2010.** Analyse du pouvoir épuratoire d'un filtre implante de Phragmite australis pour le traitement des eaux usées sous climat semi - aride - région de Biskra. International Network Environmental Management Conflits 1(1) ,10-15
- ❖ **MRE :** Ministère des Ressources en Eau (MRE) : 2012
- ❖ **Mr Metahri Mohammed Saïd, 2012:** Elimination simultanée de la pollution Azotée et Phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou. Mémoire de Doctorat, option: Génie des procédés. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- ❖ **Mr. Rahou Kada Boubakeur (2014),** Evaluation des performances des aérateurs de surface de la STEP d'El-kerma Oran , mémoire de master, département de génie chimie, université d'Oran.
- ❖ **Olivier. T, 1995.** Métrologie des eaux résiduaires
- ❖ **ONA :** (<https://ona-dz.org/article/comprendre-les-eaux-usees.html>)
- ❖ **Ozenda (1991):** Flore et végétation du Sahara. Ed CNRS, Paris 1991,2004.
- ❖ **Pauline M.S, 1995:** Cours de procédé unitaires biologiques et traitement des eaux. Edition OPU, Ben Aknoun, Alger

- ❖ **Perera, P et Baudot. (1991).** Etat procédés extensifs d'épuration des eaux usées relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Mise en œuvre de la directive du conseil N° 91/271 du 21 mai 1991
- ❖ **Quezal , P., Santa L., (1962-1963) :** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. Edition CNRS, tome 2. Paris. 1170p
- ❖ **Rejsek F. (2002).** Analyse des eaux, Aspects Réglementaires Et Techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. France
- ❖ **Roques, H. (1983) :** Fondement théorique du traitement biologique des eaux, techniques et documentations. Ed LAVOISIER, Paris
- ❖ **Rotbardt Alain,** Rapport final: Réutilisation des eaux usées traitées. Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action, Février 2011
- ❖ **Sadik Zoulikha Manel, (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 Lakhdar Evaluation 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 Hydraulique Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen
- ❖ **Villeneuve R., (1992).** "Conception d'un système de traitement d'eaux usées à partir de marais artificiels adapté aux conditions québécoises". Rapport d'étude présenté au: 15ème Symposium International sur le traitement des eaux usées à Montréal, 72 p
- ❖ **Yvan S. J, Cécile T, Michel J, 2002:** Dossier « Assainissement autonome. Histoires d'eau usée », revue la maison écologique n° 8.
- ❖ Livre (Filtres plantés roseaux)
- ❖ <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quest-ce-que-les-eaux-usees/#:~:text=%C3%80%20savoir%20en%20pr%C3%A9ambule,de%20rejoindre%20le%20milieu%20naturel.>