

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار تلجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI, LAGHOUAT



كلية الهندسة المدنية و المعمارية
Faculté de Génie Civil et d'Architecture
قسم الهندسة المدنية
Département de Génie Civil

Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Option : Ressources Hydrauliques

Présenté par : Mohamed Ben Dhiba BRIHOUM

THEME

**Etude de faisabilité de station d'épuration par phytoépuration
sur pilote de laboratoire
Application à la station d'épuration de Laghouat**

Soutenance publique devant le Jury compose de :

Mr TADJ Walid	Maître-Conférence B	Président
Mr BOUACHE Mohamed	Maître-assistant A	Examineur
Mr SEKOUM Mohamed	Maître-assistant A	Promoteur

Année universitaire 2019/2020

☞ Remerciements ☞

« Quiconque ne remercie pas les gens, ne remercie pas Dieu »

Je réserve ces quelques lignes, par lesquelles je tiens juste à exprimer une pensée sincère pour toutes les personnes qui, comme mes amis **Kamal Rayan, Roueghi Mohamed, Terbah Mohamed, Tadj Mustapha** ainsi que **Talbi Abdelkader** par leurs connaissances, leurs compétences, leurs qualités humaines ou tout à la fois, ont contribué à l'aboutissement des travaux de cette thèse. Aussi je remercie du fond du cœur toutes les personnes qui par leur encouragement, leur confiance ou leur soutien, ayant compté dans la réalisation de ce travail.

La première personne concernée par la lecture du manuscrit est celle par laquelle j'aimerais débiter mes remerciements. Je remercie donc mon Encadreur **Mr. Sekoum Mohamed** de m'avoir offert la possibilité d'effectuer ce travail sous sa Direction. Je le remercie pour la confiance qu'il m'a accordée et l'autonomie qu'il m'a laissé acquérir, sans oublier **Mr Bouache Mohamed** de ma voire beaucoup aidée pour finalise ce travail.

Je tiens à dédier une partie de ces remerciements à tout le corps enseignant du département de Génie civil, qui avec cœur nous ont si bien guidé au cours de notre cycle de formation de master en ressources hydrauliques. A **Mr Gafci Noredin, Mr Hadjouja Morad, Mr Hamlat Abdelkader, Mr Tadj Walid, Mr Bouziani Tayab** et **Mr Gidoum Azzedine** et qui, on plus de m'avoir permis l'accé à ce cycle de formation, m'on accompagné, qu'ils puissent trouver ici l'expression de ma profonde gratitude et éternelle reconnaissance.

Il m'est agréable de pouvoir exprimer mes vifs et sincères remerciements à l'adresse du personnel des bibliothèques de notre université pour leur généreux accueil et dévouement qui m'ont toujours réservé, et mettant à ma disposition toutes les références dont j'avais besoin.

Je ne voudrais surtout pas continuer en oubliant de remercier très vivement et exprimer mes respects à l'adresse de **Mr Ouado Mohamed** Directeur centrale d'exploitation de l'ONA et **Mr Ourahmoun Abdelhalim** pour avoir volontairement acceptés de satisfaire mon interrogatoire d'investigation tout en me recevant gracieusement pour m'assurer d'une visite guidée dans les lagunes gérée.

Il est temps pour moi de remercier, les personnes qui furent présentes dans le quotidien de ma période de thésard, « la petite famille » qui en plus de supporter les situations abracadabrantesques dans lesquelles je laissais les différents espaces après mes nuits blanches à la maison, ils ont sacrifié leurs vacances afin de m'offrir les meilleures conditions pour le bon déroulement de mon travail.

A tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, à quelque niveau que ce soit, ont contribué à la réalisation de ce travail, je dis merci du plus profond du cœur et que Dieu vous bénisse !

Mohamed Brihoum

œ Dédicaces œ

Je dédie ce modeste travail de recherche à la mémoire de celui qui a toujours été l'exemple du labeur, du dévouement, de la persévérance, de la patience et celui qui donnait sans contrepartie... Mon père.

A ma mère qui me symbolise l'amour, qui a toujours été source de tendresse, de générosité, de patience et qui pour mon confort, de nuit comme de jour, ne ménageait aucun effort, pour que je réussisse dans ma vie, que Dieu me la préserve et la garde en bonne santé et m'accorde ses pardons.

A mes beaux-parents, mon beau père, O.Djerfaf un Monsieur à la sagesse emblématique qui arrivait sans peine à gagner ou plutôt arrachait le respect de tout-un-chacun, avec lui nous avons appris la tolérance et l'amour du prochain, aussi ma soucieuse belle-mère D.Naima, qui transmet parfaitement le sens de la noblesse de l'âme et l'échelle des valeurs humaines à ses petits-fils, qu'ils trouvent ici mes sincères expressions de considération et profonds estimes.

A ma chère et dévouée épouse, compagne de joie et de bonheur où le temps à perdus son poids et ne s'est pas fait sentir dans les meilleurs comme dans les pires moments, même si je reconnais de n'être suffisamment reconnaissant j'avoue ma fièreté et ma gratitude à son égard, et que le meilleur nous reste à vivre.

A mes enfants, source de ma joie de vivre et ma raison d'être, qu'ils puissent trouver ici la force, la patience, le courage et la persévérance dans la détermination de leurs convictions ainsi que l'escalade du sentier de la réussite, que Dieu tout puissant miséricordieux me les préserve.

Mohamed Brihoum

ETUDE DE FAISABILITE DE STATION DEPURATION PAR PHYTOEPURATION SUR PILOTE DE LABORATOIRE Application à la station d'épuration de Laghouat

RESUME

Le but de ce travail consiste à une étude technique de faisabilité de traitement sur pilote de laboratoire de l'eau usée par l'application d'un protocole expérimental de la phytoépuration, technique écologique, peu coûteuse, facile à installer et efficace pour le traitement des eaux usées.

Elle se base sur la faisabilité d'une expérience de laboratoire sur un pilote simulant la filière des filtres plantés uniquement de roseaux (phragmites australes), afin d'apprécier le fonctionnement de la filière, les rendements épuratoires seront comparés à ceux des eaux épurées par la filière de la station d'épuration de la ville de Laghouat.

ABSTRACT

The objective of this work consists of a technical study of the feasibility of treatment on a laboratory pilot of waste water by the application of an experimental protocol of phytopurification, an ecological technique, inexpensive, easy to install and effective for the treatment of used waters.

It is based on a laboratory experiment on a pilot simulating the process of filters planted only with reeds (australes Phragmites), in order to assess the functioning of the sector, the purification yields will be compared with those of water purified by the sector of the Laghouat city wastewater treatment plant.

ملخص:

يتمثل الهدف من هذا العمل في دراسة تقنية لإمكانية المعالجة التجريبية للمياه الصرف الصحي من خلال تطبيق بروتوكول تجريبي لتنقية النباتات ، وهي تقنية بيئية ، غير مكلفة وسهلة التركيب وفعالة لمعالجة مياه الصرف الصحي.

يعتمد على تجربة معملية على تجربة تجريبية لمحاكاة قطاع المرشحات المزروعة بالقصب فقط (الفراجميت الجنوبي) ، من أجل تقييم أداء القطاع ، ستتم مقارنة محصول التنقية مع إنتاج المياه المنقاة من قبل محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة الأغواط.

SOMMAIRE

Remerciements.....	I
Dédicace	II
Résumé	III
Sommaire	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des figures.....	VI
Introduction Général	2
Chapitre 1 : Revue Bibliographique	5
Introduction	2
1. Généralités sur l'eau.....	5
1.1 Caractéristiques physicochimiques de l'eau.....	5
1.2 Disponibilité et forme de l'eau sur terre	6
1.3 La problématique de l'eau et le milieu aride	6
1.4 Importance de l'eau en Algérie.....	7
2. les eaux usées et leur traitement	8
2.1 Les différents types des eaux usées	8
2.1.1-Les eaux usées domestiques.....	8
2.1.2-Les eaux usées industrielles.....	8
2.1.3-Les eaux usées pluviales.....	9
2.2 Composition des eaux usées	9
2.2.1- Les matières en suspension	10
2.2.2-Les micropolluants	10
2.2.3-Les éléments traces.....	10
2.2.4- Les micropolluants organiques.....	10
2.2.5- Les substances nutritives	10
2.2.6 -La Demande Biochimique en Oxygène (DBO).....	10
2.2.7 La Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	11
2.3. Les différentes méthodes d'épuration des eaux usées.....	11
2.3.1-Prétraitement.....	12
2.3.2-Traitement primaire.....	12

2.3.3- Traitement secondaire (traitement biologique).....	13
2.3.4- Traitement tertiaire.....	13
3. Le système de phytoépuration	13
3.1-Historique de la phytoépuration	15
3.2-Généralités sur l'écologie des systèmes de phytoépuration.....	16
3.3-Les filtres artificiels.....	17
3.3.1- Les composantes d'un filtre artificiel	17
3.3.2- Les types des filtres artificiels	20
3.3.2.1- filtre à écoulement horizontal en surface	20
3.3.2.2- filtre sous-surfaciés à flux horizontal ..	21
3.3.2.3- Les filtres filtrants sous-surfaciés à flux vertical	22
3.3.2.4- Les filtres hybrides	22
3.4- Principe de fonctionnement	23
3.4.1- Rôle des microorganismes	24
3.4.2- Rôle des macrophytes	24
3.5- La végétation utilisée en phytoépuration.....	25
3.6- Les substrats de la filière.....	26
3.7- Mécanismes épuratoires dans les filtres plantés de macrophytes...	27
3.8- Rôle des plantes dans le système de phytoépuration	27
3.9- Plantes utilisées	28
3.9.1- Phragmites Adans-Roseau	29
3.9.2- Bambusa.sp	30
3.9.3- Cyperus papyrus	31
3.9.4- Nerium Oleander	32
3.10- Dimensionnement des filtres	33
3.11- la réutilisation des eaux usées après épuration ...	35
3.12- Avantages et inconvénients de la phytoépuration	35
Conclusion	37

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat	39
Introduction	39
1- Situation géographique de la région de la station de Laghouat	39
1.1-Aperçu historique de la wilaya de Laghouat.....	39
1.2-Présentation géographique de la wilaya de Laghouat.....	40
2- Cadre climatique.....	40
2.1- Précipitations.....	40
2.2-Température	41
2.3- Evapotranspiration.....	41
2.4-Classification du climat.....	41
3-Présentation de la STEP de Laghouat	42
3.1- Localisation	42
3.2- Donnée spécifiques de la station	42
3.3- Fonctionnement et description des ouvrages de la station.....	43
3.3.1- Le prétraitement et Filière eau	43
3.3.2- Filière boues	43
3.3.3- Les ouvrages et équipements annexes	43
4- Situation des eaux usées dans la région	44
4.1- Caractéristiques des eaux usées a traité	46
4.2- Paramètres physico-chimiques prises en compte	46
4.2.1- Paramètres physiques	46
4.2.2- Paramètres chimiques	46
4.2.3- les résultats d'analyses physico-chimiques	48
Conclusion	49
Chapitre 3 : Etude de faisabilité	51
Introduction	51
1. Dimensionnement du pilote des filtres vertical et horizontal	51
2. Description des différents éléments de la filière	52

2.1. Substrat	52
2.2. Etanchéité	52
2.3. Dégrilleur	53
2.4. Siphon auto amorçant	53
2.5. Dispositif d’alternance	53
2.6. Distribution des effluents sur les massifs filtrants	54
2.7. Système de drainage	54
2.8. Fossé filtrant	54
2.9. Point de prélèvement en sortie de filière	55
2.10. Dispositifs annexes et considérations diverses	56
3. Plans	57
4. Performances épuratoires.....	59
5. Calcul de la perméabilité.....	60
6. Matériels et méthodes d’analyse	62
6.1. Protocoles et méthodes d’analyse Physico chimiques	62
7. Période de plantation et densité.....	63
Conclusion	64
Conclusion générale	66
Bibliographie	67

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
1	Propriétés physicochimiques de l'eau et leurs conséquences sur l'environnement	5
2	Composants majeurs typique d'eau usée domestique	10
3	Performances des deux types de filtres	24
4	Mise en relief une comparaison technique des FPRH et FPRV	34
5	La pluviométrie moyenne mensuelle (entre 2004-2015) de la région de Laghouat	40
6	Les maxima, minima et température mensuelle moyenne de Laghouat (2004-2015).	41
7	Les bases de dimensionnement de la station	42
8	Le traitement est avec une qualité de rejet conforme aux normes ci-après	43
9	Etat de traitement des eaux usées des communes de la wilaya de Laghouat 2020	45
10	Paramètres physiques et chimiques	47
11	Les résultats des analyses des paramètres de l'auto-surveillance réalisées sur des échantillons à l'entrée et à la sortie de la STEP	48
12	Les résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur des échantillons à l'entrée et et à la sortie de la STEP	48
13	Classe de perméabilité des sols en fonction de la valeur du coefficient de perméabilisé	62

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
1	Répartition des stocks d'eau disponibles sur terre	06
2	Vue en coupe d'un marais surfacique à flux horizontal a) à plantes flottantes b) à plantes enracinées.	21
3	Vue en coupe d'un marais sous-surfacique à flux horizontal.	21
4	Vue en coupe d'un marais sous surfacique à flux vertical.	21
5	Vue en coupe d'un marais filtrant hybride avec la combinaison d'un marais sous-surfacique à flux vertical suivi d'un marais sous-surfacique à flux horizontal.	20
6	Le Phragmites communise	29
7	Bambusa.sp	30
8	Cyperus papyrus	31
9	Nerium oleander	32
10	Cartes de situation géographique de la wilaya de Laghouat.	39
11	Rejet d'eaux usées brutes de la commune de Ben Nacer Ben Chohra dans le lit de Oued M'zi.	44
12	Profil hydraulique tout au long de la filière	55
13	Le plan de masse de la station d'épuration	57
14	Vue de dessus du filtre planté de roseaux à écoulement vertical	58
15	Coupe longitudinale et coupe transversale du filtre planté de roseaux à écoulement vertical coupe longitudinale	58
16	Coupe longitudinale et coupe transversale du filtre planté de roseaux à écoulement vertical coupe transversale	58
17	Coupe longitudinale du filtre planté de roseaux à écoulement vertical : disposition des cellules en PEHD	59
18	photo illustrant le teste de perméabilité	60

Introduction générale

INTRODUCTION GENERAL

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays du bassin méditerranéen particulièrement les pays du sud qui vivent déjà un stress hydrique. Effectivement, la sécheresse étant une donnée incontournable du climat Algérien, sa présence est permanente sur une grande partie du pays dès lors faisant partie des régions arides. En effet, les zones arides occupent plus de 95% de la superficie du territoire Algérien dont 80% se situent en zones "hyperarides" (Bessah, 2014).

Ainsi, pour pouvoir vivre dans ces zones arides, des systèmes et méthodes de gestion de l'eau ont été mis au point par les pionniers et les autochtones. Effectivement, par la création d'un environnement végétal « oasis », répondant aux contraintes climatiques, se traduisant par un équilibre harmonieux entre l'homme et le milieu naturel (Boudjellal, 2009).

Dans ces zones arides, la gestion durable des ressources en eau est un challenge permanent (Servat et *al*, 2009), dont la difficulté s'accroît depuis plusieurs décennies à cause, d'une part, de l'accroissement des populations et, d'autre part de leurs besoins en eau croissant à cause de l'évolution des modes de vie.

La situation actuelle en Algérie, se caractérise par un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles. La croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux dernières décennies à un accroissement considérable des besoins en eau potable et agricole. Les besoins exprimés par les utilisateurs sont supérieurs aux ressources en eau mobilisée (Khemici, 2014).

La théorie économique classique a toujours considéré, l'eau comme un bien libre disponible en quantité illimitée et sans valeur économique d'échange. Sa rareté par la conjugaison de plusieurs facteurs la rendue un bien économique et une partie intégrante du capital naturel (UNEP, 2012 *in* Kherbach, 2014).

D'autre part, et d'après les estimations de l'ONU (2014), plus de 80 % des eaux usées à travers le monde (plus de 95 % dans certains pays en développement) sont rejetées dans l'environnement sans traitement. Les conséquences sont alarmantes. La pollution de l'eau s'aggrave dans la plupart des fleuves d'Afrique, d'Asie et d'Amérique Latine. En 2012, plus de 800 000 décès à travers le monde étaient causés par une eau potable contaminée (FAO, 2015). La gestion des eaux usées implique la réduction de la pollution à la source que l'élimination de contaminants des flux d'eaux usées et la réutilisation des eaux récupérées, ce sont là trois actions induisant des avantages sociaux, environnementaux et économiques pour la société (FAO, 2003).

La nécessité de traiter les eaux usées est indéniable, ce traitement est régi, soit par une réglementation qui est fonction de la fragilité du milieu récepteur en cas de rejet direct, soit par une qualité d'usage requise en cas de volonté de réutilisation des eaux traitées. Ainsi, une fois collectées et avant leur évacuation, il faut donc traiter ces eaux pour les rendre à un niveau de pollution « acceptable » par le milieu récepteur (Molle et al., 2004).

La réutilisation des eaux usées épurées afin de subvenir aux besoins en eau croissants (agricole, espaces verts, lavage des rues, lutte contre les Incendies...), a longtemps été entravée en raison de la vétusté des stations d'épuration en Algérie. Nombre de stations d'épuration, quant elles existent, connaissent en effet des dysfonctionnements tels qu'ils affectent la pérennité même des ouvrages, sans parler de l'impact dommageable pour le milieu récepteur d'une épuration inefficace.

La phytoépuration reçoit actuellement, une attention considérable dans les pays développés (en Europe et en Amérique), cette utilisation est en croissance, les expériences à travers le monde, montrent l'usage grandissant au recours à cette technique (Boutin, 1981 in Benslimane, 2015). Par contre, en Algérie l'expérience est encore jeune (Benyagoub et al, 2013), elle a débuté en 2007 par la réalisation d'une station pilote de filtres plantés à écoulement horizontal au niveau de la Wilaya d'Ouargla (Temacine).

Le constat que les eaux usées de 18 communes, sur 24 que compte la wilaya de Laghouat, sont déversées dans la nature sans nul traitement. Fut la principale motivation de cette étude.

Vu que le recours aux techniques d'épuratoires naturelles connaît un regain d'intérêt pour des raisons multiples, notamment d'ordre technologique, énergétique, économique et de gestion

Notre présente contribution, basée sur le procédé de la phytoépuration, pour le traitement sur pilote de laboratoire des eaux usées par l'application d'un protocole expérimentale appliqué à la station d'épuration de la ville de Laghouat, nous avons organisé dans ce mémoire cinq chapitres.

A travers le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur l'eau et la présentation des eaux usées et leurs traitements, aussi les systèmes de phytoépuration et leurs mécanismes épuratoires ; Le deuxième chapitre, s'est intéressé à la présentation de la station d'épuration de Laghouat ; Le troisième chapitre, à été consacré au matériels et méthodes utilisées Ainsi que les fonctions attribuées à chacune des composantes du système de protocole expérimental. Enfin, nous finissant avec une conclusion et des perspectives.

Chapitre 1 :
Revue Bibliographique

Chapitre 1: Revue Bibliographique

Introduction

L'eau est au cœur du développement durable. Les ressources en eau et les services qui en dépendent sont essentiels pour la lutte contre la pauvreté, la croissance économique et la viabilité environnementale. Selon un rapport de l'(UNESCO, 2015), qu'il s'agisse d'alimentation ou de sécurité énergétique, de santé humaine ou de salubrité de l'environnement, l'eau contribue à améliorer le bien-être social, favorise une croissance pour tous et affecte les conditions de vie de milliards de personnes.

1. Généralités sur l'eau

1.1 Caractéristiques physiques de l'eau

Même si l'eau est un liquide inodore, incolore et sans saveur, d'autres propriétés physiques ou chimiques lui confèrent le rôle fondamental aussi bien pour les écosystèmes que pour les êtres vivants (tableau 1) (CIEAU, 2017).

Tableau 1. Propriétés physicochimiques de l'eau et leurs conséquences sur l'environnement.

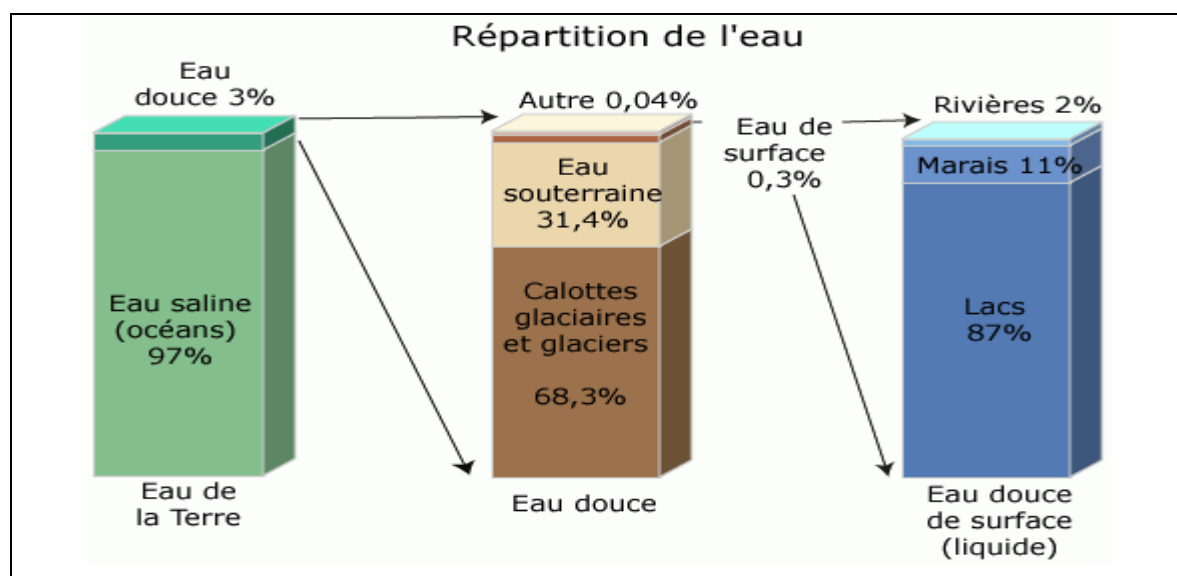
Propriétés	Conséquences
Densité	Rend le gel plus difficile ; les lacs gèlent à partir de la surface, dans les profondeurs, la température est toujours de 4° C ; alternance des différentes couches d'eau au printemps ou à l'automne ; des blocs de pierre contenant des inclusions d'eau explosent (formation des sols)
Points de fusion et d'ébullition	Permet l'existence d'eau liquide à la surface du sol
Capacité calorifique	Sert de tampon contre les changements extrêmes de température ; stockage de grandes quantités de chaleur même pour de petites différences de température (les océans et les lacs servent de réserves de chaleur)
Conductivité thermique	Rend plus difficile le gel complet des masses liquides (océans et lacs) jusqu'au fond
Enthalpie d'évaporation	Effet de refroidissement lors de la transpiration des plantes, des animaux et des hommes (avec seulement de faibles pertes d'eau)
Enthalpie de fusion	Petite baisse du point de fusion dans de l'eau contenant du sel, par conséquent formation d'une couche de glace (protection) à des températures voisines de 0 °C jusqu'à ce que toute l'eau se soit solidifiée / Point de fusion de l'eau de mer contenant une proportion massique en sel de 2,463 % : -1,338 °C.
Tension superficielle	Facilite la formation de gouttes dans les nuages et dans la pluie
Moment dipolaire	Solvant remarquable pour un grand nombre de composés polaires et des sels (ions) ;
Constante diélectrique	Transport de substances dissoutes dans le circuit hydrologique et dans les organismes vivants ; Transport jusqu'aux cimes des arbres ;
Absorption de la lumière	Importante pour la régulation des activités biologiques (photosynthèse) et de la température de l'atmosphère

Source : CIEAU, (2017).

1.2 Disponibilité et forme de l'eau sur terre

L'eau représente un enjeu vital pour toutes les sociétés, particulièrement en milieux arides et semi-arides, où elle est peu abondante. Lorsque les prises d'eau et les puits s'assèchent sur une longue période, les populations doivent quitter leurs domiciles (Anctil.2008).

Le volume en eau sur Terre est estimé à quelque 1 386 000 000 km³ (un kilomètre cube égale un milliard de litres), dont 96,5% forment les océans. Le 3,5 % restant constitue, par ordre d'importance, les réserves des glaciers, des eaux souterraines, des eaux de surface, de l'atmosphère et de la biomasse. Seulement 2,5% de l'eau est douce et la très forte majorité de celle-ci est difficilement accessible pour consommation. C'est dire le défi à relever (Anctil.2016). Voir (figure 1').



Source <https://www.consoglobe.com/combien-eau-et-eau-douce-sur-terre-cgcg>

Figure 1' Répartition des stocks d'eau disponibles sur terre.

Le cycle de l'eau décrit l'existence et le mouvement de l'eau sur, dans et au-dessus de la Terre. L'eau de la Terre est toujours en mouvement et change toujours d'états, du liquide à la vapeur à la glace et vice versa, de sorte que toute vie sur Terre en dépend.

1.3 La problématique de l'eau en milieu aride

La première préoccupation dans les zones arides peuplées, c'est la disponibilité en eau par rapport à une demande sociétale croissante, comme le montrent Servat (2009) autour de la Méditerranée, avec comme problématique les ressources en eau renouvelables, les perspectives d'évolution de la demande et les risques de pénurie, particulièrement les risques

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

de tension sur la ressource dans les régions où la demande augmente (le cas en Afrique du Nord et au Proche-Orient, notamment) (Servat et Mahé 2009) les solutions de gestion des crises et l'adaptation des politiques de gestion de l'eau, sur la base de la Stratégie méditerranéenne pour le développement durable adoptée en 2005. Les ressources identifiées, il reste à les mobiliser, grâce à des techniques dont Le Goulven dresse un inventaire, à partir d'exemples en Tunisie, au Brésil et au Mexique. Qu'il s'agisse d'eaux de surface ou d'eaux souterraines, les moyens sont multiples pour stocker l'eau : barrages, réservoirs souterrains, aménagements superposés. Mais d'autres techniques permettent d'utiliser des ressources en eau non conventionnelles : désalinisation, réutilisation d'eaux usées, capture d'eau atmosphérique ou de rosée (MATE, 2002).

Les instruments de la gestion sont l'irrigation traditionnelle ou localisée (goutte à goutte) et les techniques d'économies, qui doivent être accompagnées d'outils économiques et réglementaires. Un troisième aspect de la problématique de l'eau dans les zones arides est la compréhension des processus hydrologiques à la surface et en subsurface et de leur variabilité en fonction de l'évolution des contraintes climatiques et anthropiques (Servat et Mahé, 2009).

1.4 Importance de l'eau en Algérie

La demande globale en eau a considérablement et rapidement augmenté. Multipliée par 4 au cours des quarante dernières années, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisables. A ce rythme, la limite maximum du potentiel hydraulique sera atteinte avant 2050 (Mozas et Ghosn, 2013).

Dans ce contexte, une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisation. La part de l'alimentation en eau potable s'est accrue en volume et en proportion. De 16 % de la consommation globale en 1975, elle est passée à 35 % actuellement. Durant la même période, la part de l'eau agricole a chuté de 80 % à 60 %, celle de l'industrie restant égale à 3,5 % (Benblida, 2011).

L'Algérie est située entre l'espace méditerranéen et l'espace saharien, elle subit des influences climatiques contrastées où les précipitations sont insuffisantes et irrégulières, les variations interannuelles et saisonnières très marquées, l'évaporation intense et les températures élevées avec une amplitude plus ou moins forte (Akli, 2015).

Cette aridité touche la majeure partie du pays, depuis les rives de la méditerranée (littoral ouest), s'étend sur les hautes plaines, souvent à vocation pastorale et s'accroît sur la bordure du Sahara septentrional. C'est dire l'amplitude des espaces soumis à cette contrainte

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

climatique et les surfaces menacées par le processus de désertification (MATE, 2002). Ces zones sont pauvres en ressources en eau naturelles.

2. Les eaux usées et leur traitement

L'eau est altérée par l'activité humaine, en effet, après usage, l'eau est dite « eau usée », dans ce cas elle sera appelée « polluée » (Swish, 98). On peut retenir comme **définition** selon Rejsek (2002), les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine.

Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels (Grosclaude, 1999). Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles) (Berne et al, 1996 ; Grosclaude, 1999).

Auparavant, les eaux, après utilisation, étaient conduites directement dans la nature, après être passées dans les égouts. Cela a eu des impacts néfastes sur l'environnement et la solution trouvée été : l'épuration de l'eau (Bourrier, 2008) (Bourrier et al, 2011) et (CIEAU, 2017). En 2017 selon l'ONU, 70 % des eaux usées sont traitées en moyenne dans les pays à revenu élevé, mais seulement 8 % dans les pays en développement et 80 % environ des eaux usées semblent rejetées sans traitement (ONU, 2017).

2.1 Les différents types des eaux usées

2.1.1 Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. L'équivalent habitant (EH), correspond à la pollution quotidienne que génère un individu. Chacun est sensé utiliser 180 à 300 l d'eau par jour (Baha et al., 2014).

Selon Metahri (2012), la pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à 57 g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES), 15 g de matières azotées (MA), et 4 g de matières phosphorées (MP). Enfin, la concentration des germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml.

2.1.2 Les eaux usées industrielles

Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Les grandes entreprises sont toutes équipées d'unités de traitement interne. En vingt ans, la pollution industrielle a été réduite de moitié. Ce sont actuellement les PME (garages, pressing, entreprises de peintures...) qui produisent plus de 90% de la pollution par déchets toxiques (BERNE.F et al, 1996).

2.1.3 Les eaux pluviales

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de 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...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement ("délestage") (BOURRIER et al, 2010).

2.2 Composition des eaux usées

La composition des eaux usées (Tableau 2), est extrêmement variable en fonction de leur origine. Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que des microorganismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les matières en suspension, les micro-organismes, les éléments traces (minéraux ou organiques), et les substances nutritives (Baumont et al. 2004).

Tableau 2. Comparaison de composants majeurs typique d'eau usée domestique

Constituants	Concentration (mg/l)		
	Fort	Moyen	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous (TDS)	850	500	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote (en N)	85	40	20
Phosphore (en P)	20	10	6
Chlore1	100	50	30
Alcalinité (en CaCO ₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO ₅	300	200	100

Source (Dekhil, 2012 in Zeghoud, 2014).

2.2.1 Les matières en suspension

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (Faby, 1997).

2.2.2 Les micropolluants

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. Cependant, ils représentent la principale voie de contamination, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, et l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante (Baumont *et al.* 2004).

2.2.3 Les éléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus fréquents (de l'ordre de quelques µg/l) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Toutefois certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. Apportés par l'irrigation, à partir d'eaux usées (Faby, Brissaud, 1997).

2.2.4 Les micropolluants organiques

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement.

2.2.5 Les substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. (FAO,2003).

2.2.6 La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène (après 5 jours DBO_5) devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épurateur et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration. (Rodier, 2005)

2.2.7 La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quel que soit leur origines organique ou minérale. La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation. (Rodier, 2005). En plus c'est une des mesures principales des effluents pour les normes de rejet (Medjdoub, 2014).

L'azote : La nitrification est une transformation chimique de l'azote organique par l'intermédiaire de bactéries (Chellé et *al.* 2005 *in* Zeghoud, 2014).

Le potassium (K^+) : Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K_2O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins (Faby,97).

Le phosphore : La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en P_2O_5). Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement (FAO, 2003).

Chlore et sodium : Leur origine est :

- * Naturelle (mer : 27g/l NaCl, et terrains salés)
- * humaine (10à 15g/l NaCl dans les urines/j).

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

* industrielle (potasse, industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire) (Gaujous, 95 in Faby,97).

2.3 Les différentes méthodes d'épuration des eaux usées

Définition: Selon l'encyclopédie wikipédia, l'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable.

Le traitement des eaux résiduaires urbaines représente la moitié des activités de traitement de l'eau dans le monde. Avec l'évolution démographique, le développement économique, ou encore l'extension et l'intensification de l'urbanisme, le volume des eaux résiduaires ne cesse de croître (ONEMA, 2015).

À l'échelle mondiale, plus de 4 000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour de diarrhées liées à l'absence de traitement des eaux et au manque d'hygiène OCDE, 2009).

Afin de préserver l'environnement et les ressources en eau, les eaux usées doivent subir des traitements biologiques et physico-chimiques avant de les rejetés dans la nature, ces traitements s'effectuent dans les stations d'épuration des eaux polluées (Bourrier et al, 2010).

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différentes techniques à divers niveaux technologiques souvent très élaborées ceci est illustré comme étant des méthodes classiques de traitement ; ainsi que de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel ont apparus, celle-ci connue sous le vocable de lagunage (Gaid, 1984) et (Edeline, 1993).

2.3.1 Prétraitement

Consistes-en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques (Grosclaude, 1999) destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont :

* Le dégrillage : permet de protéger la station contre l'arrivée des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages au niveau de différentes unités de l'installation et d'éliminer les matières volumineuses charriées par l'eau brute.

* Le dessablage : a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion.

* Le dégraissage - déshuilage : Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide. Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient ensuite.

2.3.2 Traitement primaire

* Décantation : 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) (Rejsek, 2002 *in* Abibsi, 2011).

L'eau ainsi clarifiée s'écoulera par débordement et les MES qui ont décanté au fond du bassin (boues primaires) seront extraites et envoyées vers les ouvrages de traitement des boues.

* Flottation : Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient. Les bulles d'air fines s'accrochent aux particules fines à éliminer.

2.3.3 Traitement secondaire (traitement biologique)

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer donc de favoriser la croissance de communautés de bactéries aérobies, c'est-à-dire qui prélève l'O₂ pour leur métabolisme (Rejsek, 2002 *in* Abibsi, 2011). On en distingue :

* Les boues activées: Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu. Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer.

* Le lagunage : L'eau décantée est dirigée vers les lagunes où a lieu le traitement biologique. Celui-ci a pour but principal l'élimination des excédents d'azote, de phosphore et de matières organiques. Le lagunage recrée le processus naturel de l'autoépuration. L'épuration par lagunage est réalisée par un équilibre biologique auquel participent des bactéries, du zooplancton et des algues pour le cas des « lagunage naturel » (Morel et Kane, 1995 *in* Abibsi, 2011).

2.3.4 Traitement tertiaire

Les traitements tertiaires permettent donc d'éliminer les substances non voulues pour répondre à un objectif de qualité prédéfini. Les principaux traitements tertiaires sont la déphosphatation chimique, la filtration et la désinfection (Belbachir et Habbeddine, 2017).

*Traitement bactériologique par rayonnement UV: Le principe d'action des UV repose sur le fait que les rayons ultraviolets sont des ondes électromagnétiques qui correspondent à une

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

gamme de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. L'absorption de ces rayons par les micro-organismes provoque une modification de leur ADN qui bloque toute réplication du matériel génétique et engendre leur mort (Solène et *al in* Belbachir et Habbeddine, 2017).

* Traitement par voie physico-chimique : Le traitement tertiaire inclut des processus tels que:

- Désinfection par le chlore ou l'ozone (pour éliminer les germes pathogènes).

- Neutralisation des métaux en solution dans l'eau : en faisant varier le pH de l'eau, on obtient une décantation de ces polluants (Allouche et *al*, 1999).

* Traitement des odeurs : Les eaux usées, peuvent dégager des odeurs désagréables suivant un processus biologique bien connu. Les composés odorants des stations d'épuration font partie essentiellement des familles des produits soufrés et azotés (Baha et Bensari, 2014).

3. Le système de phytoépuration

Définition 1, la bioremédiation est une technique de gestion des déchets qui implique l'utilisation d'organismes pour supprimer ou neutraliser les polluants et/ou contaminants à partir d'un site contaminé. Les technologies peuvent être généralement classées comme in situ ou ex situ. La biorestauration in situ consiste à traiter le matériel contaminé sur le site, tandis que ex situ implique l'enlèvement de la matière contaminée pour la traiter ailleurs.

(<https://www.aquaportail.com/definition>)

Définition 2, La phytoremédiation est l'une des techniques de bioremédiation à l'aide de plantes vasculaires. La phytodépollution est généralement désignée par l'assainissement des sols contaminés ou l'eau souterraine souillée à l'aide de plantes. Le processus se déroule in situ étant donné que le traitement du sol ou de l'eau a lieu surplace. (<https://www.aquaportail.com/definition>)

De nombreuses techniques d'épuration se sont logiquement inspirées des différents mécanismes naturels à l'oeuvre dans les écosystèmes. Et sont regroupées sous l'appellation « filières biologiques » parce qu'elles utilisent les propriétés de microorganismes.

On distingue couramment les techniques dites extensives des techniques dites intensives (IEW, 20017).

Dans les premières on reconstitue des écosystèmes artificiels simplifiés. Il s'agit de faire intervenir l'ensemble des processus de dégradation présents naturellement dans un écosystème. Avec ces techniques on reproduit le principe de l'auto-épuration, mais dans des écosystèmes artificiels optimisés. L'appellation « extensive » provient du fait que ces techniques nécessitent de grandes surfaces pour être pratiquées. Les charges appliquées par unité de surface sont par conséquent très faibles. La surface minimale requise est de 3 à 5

m²/EH. L'extensif offre des techniques d'épuration qui sont des solutions tout à fait adaptées aux collectivités rurales (moins de 2000 EH) et aux zones d'habitat dispersé.

Les techniques intensives visent à la maîtrise des mécanismes épuratoires : elles les isolent et les modélisent, de manière à permettre un contrôle des opérations. Les techniques intensives classiques, comme les boues activées, les disques biologiques et les lits bactériens, exploitent les propriétés de bactéries aérobies, soit libres dans des bassins munis d'aérateurs, soit fixées sur des supports. Ces techniques sont particulièrement utilisées dans le traitement des effluents des agglomérations de plus de 2000 équivalents-habitants (EH). Elles se combinent à des procédés physico-chimiques qui utilisent notamment des techniques de décantation, filtration, flottation, coagulation et floculation.

Le procédé de traitement des eaux résiduaires urbaines par Filtres Plantés de Roseaux (FPR) constitue un des modes extensifs de traitement biologique aérobie par cultures fixées sur support fin. Cette filière d'épuration est parfaitement adaptée aux petites et moyennes collectivités et permet d'obtenir des performances épuratoires très élevées, en ce qui concerne l'élimination de la pollution carbonée, des matières en suspension et des formes réduites de l'azote (ONEMA, 2015).

3.1 Historique de la phytoépuration

Les premières expériences avec des filtres plantés de macrophytes ont été faites au début des années 50 par un biologiste, SEIDEL. A partir d'une observation rigoureuse de la vie des plantes des marais et des marécages. (Rakatoarisoa, 2011 *in*, Rajaonarivelo, 2013).

Par la suite, basée sur une recherche de SEIDEL, La technique de traitement des eaux usées par les plantes est apparue en Europe de l'Ouest durant les années soixante (1960), et par KICKUTH à la fin des années soixante-dix (1970) et dernièrement durant les années quatre-vingt (1980). Des travaux avancés ont commencé aux Etats Unies au début des années quatre-vingt (1980's) avec la recherche de WOLVERTON et GERBERGET et al (Abibsi, 2011).

L'usage des végétaux aquatiques dans le traitement des eaux usées « phytoépuration » provient de l'observation des rôles de zones humides dans la préservation de la qualité des milieux aquatiques d'où le nom de marais filtrant artificiel ou filtres plantés de macrophytes (Mimeche L, 2014).

La phytoremédiation est une technique de réhabilitation environnementale qui utilise les capacités des plantes pour éliminer, contenir, ou rendre moins toxiques les polluants. Ce

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

n'est que récemment que l'utilisation des plantes pour la réhabilitation des sols a pris son essor (Baker and Brooks, 1989; Salt et al., 1995 in Kirpichtchikova, 2010).

Selon Poulet et *al* (2004), la technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées domestiques est une technique au développement récent. Apparue en France dans les années quatre-vingt 80, cette technique de traitement a vu son développement s'accroître depuis 1997. La forte demande actuelle pour ce type de station d'épuration de la part des responsables locaux est réelle. Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant la gestion des boues d'épuration et qui est bien acceptée par les habitants en raison de son intégration paysagère. Ainsi, elle s'avère fortement recommandée pour les petites collectivités et les pays à faibles ressources financières.

Particulièrement, en Provence-Alpes-Côte d'Azur l'évolution du nombre d'installations depuis 1998, où le nombre de stations d'épuration de ce type a connu une progression exponentielle, pour atteindre plus de 140 ouvrages en service en mai 2012 (ARPE, 2012).

Actuellement, 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.

En Algérie, tout récemment (2007), à l'initiative du ministère de l'hydraulique avec l'assistance de l'UNESCO, une station pilote de traitement WASTEWATER GARDENS (WWG : de l'anglais, Jardin d'épuration des eaux usées) de 400 m² a été installée pour l'assainissement d'un groupe de maisons et d'une mosquée du Vieux Ksar de Témachine, un site historique qui fut pendant longtemps une halte sur la route vers la Mecque pour les populations du nord-ouest de l'Afrique. (Nelson.M, 2010).

3.2 Généralités sur l'écologie des systèmes de phytoépuration

Les producteurs primaires représentés par des végétaux supérieurs macrophytes, sont derrière la technique d'épuration des eaux usées par les plantes ou phytoépuration qui a pris plusieurs dénominations tels que : le lagunage, les maraichages ou marais construits, le photofiltre, la technique des zones humides, les lits filtrants, ...etc.

La pollution est alors dégradée par l'activité bactérienne, l'activité photosynthétique et l'assimilation des substances minérales. Elle permet une épuration à charges organique élevées, une bonne élimination de l'azote et du phosphore, ainsi qu'une faible production de boues en excès, mais nécessite des superficies importantes et un contrôle d'exploitation fréquent et rigoureux (Roques, 1983 in Abibsi, 2011).

3.3 Les filtres artificiels

Inspirés des filtres en milieu naturel, un filtre artificiel est constitué par un bassin désigné proprement pour contenir de l'eau, un substrat, et souvent, des plantes vasculaires. Les filtres se forment quand l'eau est dirigée vers une dépression profonde et où une couche superficielle imperméable empêche l'eau de s'infiltrer dans le sol. Ces conditions peuvent être créées pour construire un marais artificiel. Mettant à profit les interactions entre espèces appartenant à diverses familles situées en bordure du biotope aquatique. Près de la rive existe une ceinture de végétation constituée par des joncs, des roseaux et autres plantes amphibies dénommées hélrophytes (Ramade, 2003).

Les plantes, les microorganismes et le sol, les filtres artificiels sont des systèmes autosuffisants, nécessitant peu d'énergie et offrant une solution durable à l'épuration des eaux. (Gagnon et Brisson).

La principale classification divise les filtres en fonction de leur hydrologie, selon que l'eau soit libre ou sous la surface du substrat : (1) les systèmes à écoulement horizontal en surface ; (2) les systèmes à écoulement sous-surfacique à flux horizontal; (3) les systèmes à écoulement sous surfacique à flux vertical et (4) les systèmes hybrides (Marchand et *al.*, 2010 in Dufresene, 2015).

3.3.1. Les composantes d'un filtre artificiel :

Un filtre construit est constitué par un bassin désigné proprement pour contenir de l'eau, un substrat, et souvent, des plantes vasculaires. D'autres composantes importantes des filtres, tels que les communautés microbiennes et les invertébrés se développeront naturellement :

Les filtres se forment quand l'eau est dirigée vers une dépression profonde et où une couche superficielle imperméable empêche l'eau de s'infiltrer dans le sol. Ces conditions peuvent être créées pour construire un filtre. Un filtre peut être construit presque n'importe où dans le paysage en formant la surface du sol afin de collecter l'eau en scellant le bassin pour retenir l'eau.

L'hydrologie est le facteur le plus important dans la conception d'un filtre construit car il lie tous les fonctions dans le marais et car il est souvent le facteur primaire du succès ou l'échec d'un filtre construit. L'hydrologie d'un marais construit n'est pas très différente de celle des surfaces d'eau, bien qu'elle diffère en quelques aspects importants :

- De petits changements dans l'hydrologie peuvent avoir des effets assez significatifs sur un filtre et l'efficacité de son traitement ;

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

- A cause de sa large superficie et sa petite profondeur, un système de filtre communique vigoureusement avec l'atmosphère à travers la pluie et l'évapotranspiration (la perte combinée de l'eau par l'évaporation de la surface d'eau et la perte à travers la transpiration par les plantes) ;
- La densité de la végétation d'un filtre influence vigoureusement son hydrologie, premièrement, en gênant les voies d'écoulement, quand l'eau parcourt son chemin sinué à travers le réseau des tiges, des feuilles, des racines et rhizomes et, deuxièmement, en bloquant l'exposition au vent et au soleil. (DUPOLDT et al; 1995).

Le substrat, sédiments, et détritit :

Les substrats utilisés pour construire un filtre comprennent le sol, le sable, le gravier, les pierres et des matériaux organiques comme le compost. Les sédiments, et les détritits s'accumulent dans le filtre à cause des vitesses basses d'eau et la haute productivité typique des filtres. Les substrats, les sédiments, et le détritit sont importants pour plusieurs raisons :

- Ils supportent beaucoup d'organismes vivant dans le filtre;
- La perméabilité du substrat influence le mouvement d'eau à travers le filtre;
- Plusieurs transformations biologiques (spécialement microbiennes) ont lieu dans le substrat ;
- Les substrats fournissent un stockage pour plusieurs contaminants ;
- L'accumulation du détritit augmente la quantité de la matière organique dans le filtre.

La matière organique fournit des sites pour l'échange de matériaux et l'attachement microbien, c'est une source de carbone ; la source d'énergie qui règle certaines réactions biologiques importantes dans le marais.

Les caractéristiques physiques et chimiques des sols et autres substrats sont altérées quand ils sont submergés. Dans un substrat saturé, l'eau remplace les gaz atmosphériques dans les espaces des pores et le métabolisme microbien consomme l'oxygène disponible. Dès que l'oxygène est consommé il peut être remplacé plus rapidement par diffusion à partir de l'atmosphère, les substrats deviennent anoxiques

(Sans oxygène). Ce milieu réducteur est important dans le prélèvement des polluants tels que l'azote et les métaux. (DUPOLDT et al; 1995).

La végétation :

Toutes deux, les plantes vasculaires (les hautes plantes) et les plantes non vasculaires (algues) sont importantes dans les filtres construits. La photosynthèse par les algues augmente le contenu d'oxygène dissous dans l'eau qui à son tour affecte les réactions des nutriments et des métaux. Les plantes vasculaires contribuent au traitement des eaux résiduaires et des eaux de ruissellement en différentes manières :

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

- Elles stabilisent les substrats et limite l'écoulement ;
- Elles ralentissent la vitesse de l'eau, permettant aux matières suspendues de se déposer ;
- Elles prélèvent le carbone, les nutriments, et les éléments traces et les incorporent dans les tissus des plantes ;
- Elles transfèrent les gaz entre l'atmosphère et les sédiments ;
- La fuite d'oxygène des surfaces supérieures des structures de la plante crée des macro sites oxygénés dans le substrat ;
- Les systèmes racinaires et leurs tiges fournissent des sites pour l'attachement microbien ;
- Elles créent le détritus quand elles meurent et pourrissent.

Les marais construits sont souvent plantés par une végétation immergée, qui se développe avec leurs racines dans le substrat et leurs tiges et feuilles apparaissent sur la surface d'eau. Les plantes émergentes communes utilisées dans les lits filtrants comprennent : les joncs, les massettes, les roseaux et un nombre d'espèces de feuilles larges. (DUPOLDT et al; 1995).

Les microorganismes :

Les microorganismes comprennent les bactéries, les levures, les champignons, les protozoaires, les algues des écorces. La biomasse microbienne est un évier majeur du carbone organique et plusieurs nutriments. L'activité microbienne consiste à :

- Transformer un grand nombre de substances organiques et inorganiques en solution inoffensive ou insoluble ;
- Altérer les conditions réduction/oxydation (redox) du substrat et ainsi influence la capacité des processus du marais ;
- Elle est impliquée dans le recyclage des nutriments.

Quelques transformations microbiennes sont aérobiques (c.à.d. nécessitent l'oxygène libre) et d'autre sont anaérobiques, c.à.d., elles sont capables de fonctionner sous les deux conditions aérobiques ou anaérobiques selon le changement des conditions du milieu.

La communauté microbienne d'un filtre construit peut être influencée par les substances toxiques, tels que les pesticides et les métaux lourds, et des soins doivent être prises pour éviter de tels substances chimiques d'être introduites à des concentrations préjudiciables. (DUPOLDT et al; 1995).

Les animaux :

Les filtres construits offrent un habitat pour une diversité riche d'invertébrés et de vertébrés. Les animaux invertébrés, tel que les insectes, et les vers ; contribuent au processus de traitement en fragmentant le détritit et consommant la matière organique ; les larves de plusieurs insectes sont aquatiques et consomment des quantités significantes des matériaux durant leurs stades larvaires, qui peut durer pour plusieurs années. Les invertébrés accomplissent aussi un nombre de rôles écologiques ; par exemple, les nymphes des libellules sont des prédateurs importants des larves des moustiques.

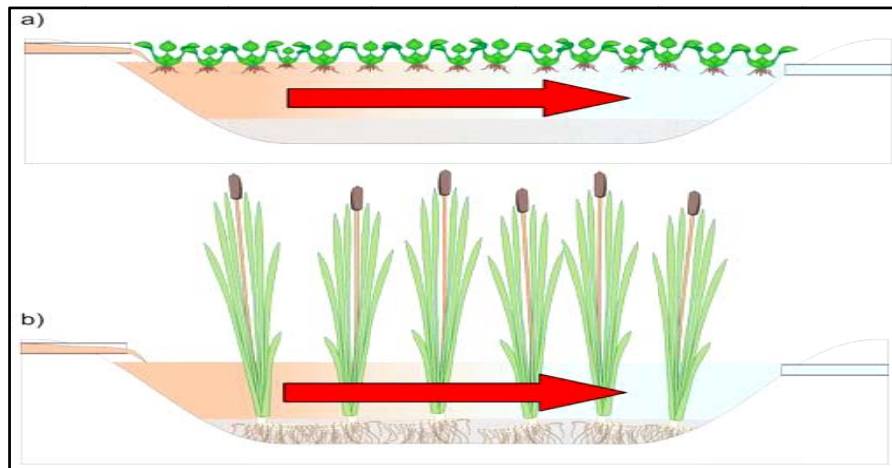
Malgré que les invertébrés sont les animaux les plus important en matière de l'amélioration de la qualité d'eau, les marais construits attirent aussi une variété d'amphibiens, tortues, oiseaux et mammifères. (DUPOLDT et al; 1995).

3.3.2. Les types des filtres artificiels :

Il y a différents types de marais construits : bassin à écoulement en surface, bassin à écoulement sous surface et des systèmes hybrides, qui incorporent les deux systèmes précédents. (DUPOLDT et al; 1995).

3.3.2.1 Filtres à écoulement horizontal en surface

Ce type de filtre est caractérisé par un bassin d'eau libre passant principalement au-dessus de la surface du sol et l'écoulement se fait horizontalement de l'entrée vers la sortie pour un temps (TRH) minimal recommandé de 10 jours (Reed et Brown, 1995; Verhoeven et Meuloman, 1999; Higgins et Whitford, 2003; USEPA, 2014 *in* Dufresne, 2015). Les plantes sont généralement émergentes ou flottantes, alors que le bassin est souvent entre de 0,2 à 0,4 m de profondeur. Ce type de filtre est un choix quasi exclusif pour le traitement des eaux pluviales urbaines, pour les eaux domestiques en milieu tropical ou subtropical, car c'est le type de marais le plus économique. Dans les filtres horizontaux surfaciques, les mécanismes de traitement des eaux usées comprennent (fig 2): la décantation des solides en suspension; la diffusion des nutriments dissous dans les sédiments; la minéralisation de la matière organique; l'absorption des éléments nutritifs par les microorganismes et par la végétation; l'adsorption sur les sédiments et les organismes vivants et la précipitation dans les sédiments (Verhoeven et Meuloman, 1999 *in* Dufresne, 2015). Cependant, ils demandent une plus grande superficie pour traiter un même débit.



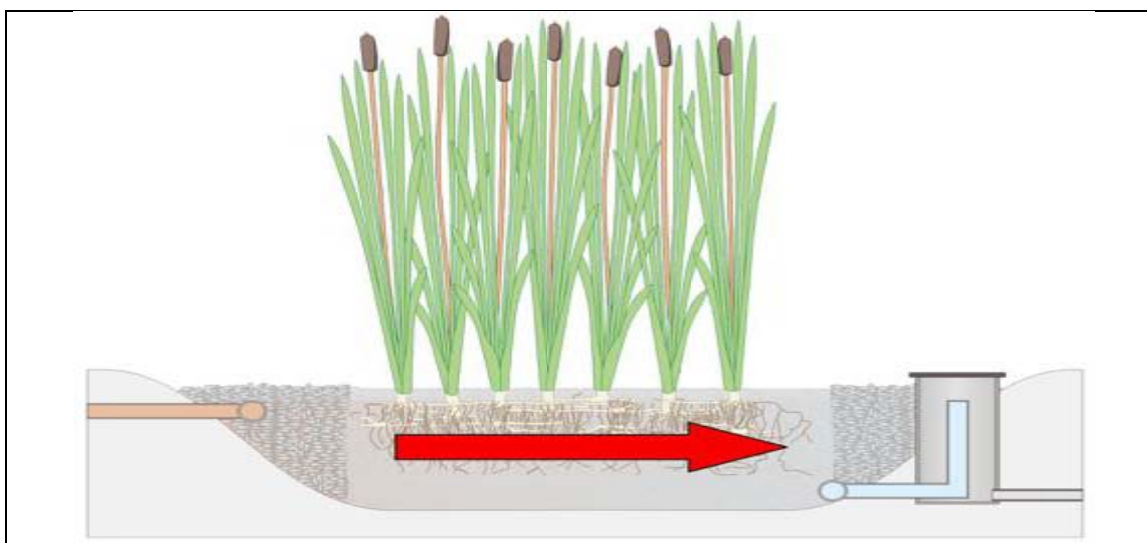
Source : Gagnon (2014)

Figure 2. Vue en coupe d'un filtre surfacique à flux horizontal
a) à plantes flottantes b) à plantes enracinées.

3.3.2.2. Filtres sous-surfaciques à flux horizontal

Ce type de filtre est constitué de macrophytes émergentes ensemencées dans un milieu poreux (souvent du gravier ou du sable) et dont l'apport en effluent se fait par écoulement horizontal sous la surface du filtre (Higgins et Whitford, 2003; Nivala et al., 2012; Ranieria et al., 2013 *in* Dufresne, 2015).

Le traitement de la contamination se fait par dégradation microbologique et par des processus chimiques et physiques dans un environnement aérobie (près des racines) (fig 3). Le TRH est très variable, de 12 heures à 8 jours (Akratos et Tsihrantzis, 2007; Gikas et al., 2013; Fu et al., 2014 *in* Dufresne, 2015). Les filtres sous-surfaciques à flux horizontal sont très exploités pour traiter les eaux usées domestiques et municipales dans le monde entier. A l'heure actuelle, ces systèmes sont aussi utilisés pour les eaux de ruissellement.



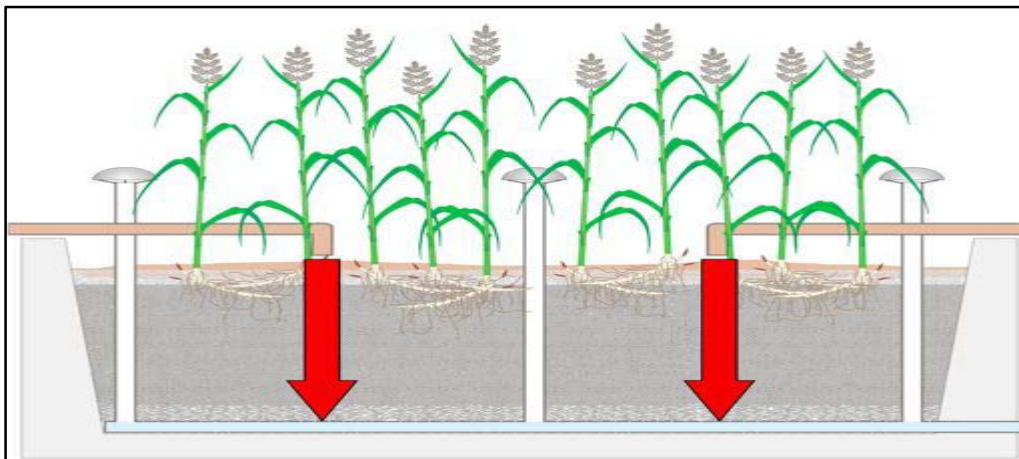
Source Gagnon (2014)

Figure 3 : Vue en coupe d'un filtre sous-surfacique à flux horizontal.

3.3.2.3 Les filtres filtrants sous-surfaciques à flux vertical

Les filtres sous-surfaciques à flux vertical sont construits de telle sorte que l'eau se déplace uniformément vers le bas ou vers le haut, à travers le substrat. L'alimentation se fait en lot et l'eau usée se déplace verticalement au travers du milieu, qui est très souvent constitué du sable ou du gravier.

En conséquence, les filtres sous-surfaciques à flux vertical offrent des conditions aérobies et fournissent des conditions adéquates pour la nitrification (Fig 4). Aussi, comparativement aux filtres horizontaux à écoulement surfaciques, ils exigent une plus petite superficie pour une efficacité de traitement comparable. Ils sont largement utilisés pour traiter les eaux usées domestiques et municipales, mais peuvent aussi être employés pour traiter des effluents de raffineries, par exemple (Viau, 2014).

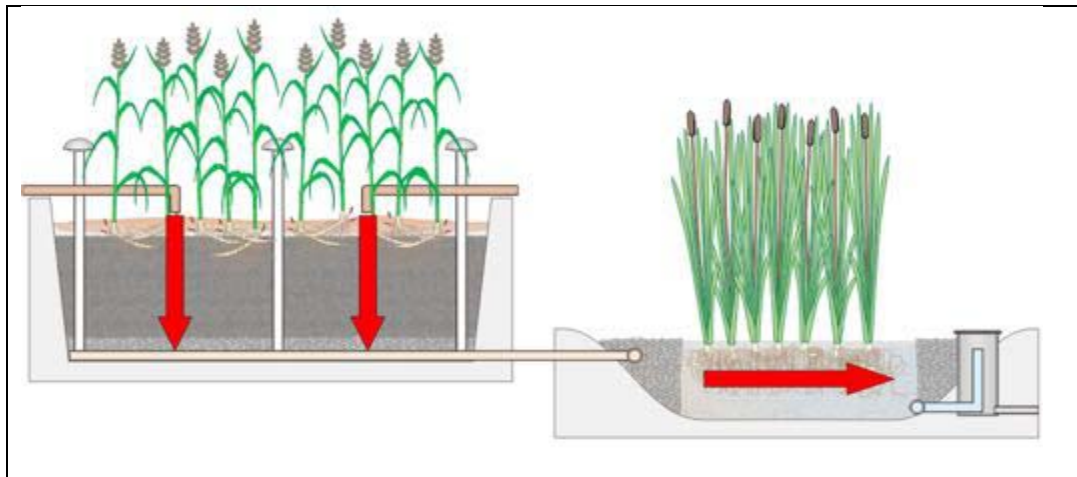


Source Gagnon (2014)

Figure 4. Vue en coupe d'un filtre sous surfacique à flux vertical.

3.3.2.4 Les filtres hybrides

Pour le traitement des eaux usées domestiques, il est courant de combiner plusieurs types de filtre filtrants. Les filtres horizontaux et verticaux sont efficaces dans l'enlèvement de la matière organique et des solides en suspensions. Cependant, l'épuration de l'azote total demeure limitée puisque le filtre horizontal seul présente des conditions anaérobies qui favorisent la dénitrification (la transformation des nitrates en azote gazeux), tandis que le filtre vertical est bien aéré et permet la nitrification (l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite et ensuite en nitrate). Ainsi, dans les systèmes hybrides les avantages des différentes configurations peuvent être utilisés pour se compléter (Viau.E. 2014) (Dufresne, 2015). (Figure 5).



Source Gagnon (2014).

Figure 5. Vue en coupe d'un filtre filtrant hybride avec la combinaison d'un filtre sous-surface à flux vertical suivi d'un filtre sous-surface à flux horizontal.

3.4 Principe de fonctionnement :

L'épuration est réalisée selon le principe de l'épuration biologique majoritairement aérobie dans les milieux granulaires fins à grossier. (POULET et al, 2004). Selon LECOMTE (1998), le principe consiste à développer des étendues marécageuses au travers desquelles coulent les effluents. Lors de la traversée du marécage, les métaux lourds, présents en grande quantité dans l'effluent, sont immobilisés par l'action de végétation (flore bactérienne, algues, phragmite et plantes supérieures du filtre.....). Lorsqu'il s'agit d'eaux usées, l'action des microorganismes et de la végétation provoque la dégradation des matières organiques et la dénitrification des eaux. En aval, on obtient ainsi une eau de qualité acceptable qui peut être envoyée telle qu'elle dans le réseau hydrologique, sans risquer d'empoisonner le milieu naturel.

Lors de la mise en place de zones humides, retenant temporairement les effluents, on crée un milieu riche en matière organique et en végétation, où vont se développer des conditions anaérobies. De telles conditions favorisent la réduction des composés, solubilisés précédemment par l'oxydation. Elles provoquent notamment la précipitation des métaux lourds sous forme sulfurée, principalement grâce à l'action catalytique des bactéries (appelées d'ailleurs sulfo-réductrices). Les métaux, immobilisés sous forme sulfurée, peuvent rester dans cet état, sans préjudice pour le milieu, tant que les conditions sont maintenues. (LECOMTE, 1998)

Selon le même auteur, le phénomène provoque également la neutralisation de l'acidité de l'eau, notamment par la forte production d' H_2S gazeux liée à l'activité bactérienne.

Si le mécanisme prépondérant reste la sulfo-réduction bactérienne, l'action des autres groupes de végétaux n'est pas négligeable; par exemple, l'absorption d'ions métalliques est effective par les algues ou d'autres plantes supérieures : ou encore, la filtration des particules fines en suspension est réalisée au travers des enchevêtrements des racines ou d'appareils végétaux immergés. (LECOMTE, 1998)

3.4.1 Rôle des microorganismes:

Particulièrement en milieu humide, les bactéries se nourrissent des matières dont sont chargées les eaux usées. Véritables « ciseaux biologique » elles les transforment en molécules inoffensives. La dégradation de la matière organique et la dénitrification d'azote dans la région des racines des plantes où s'effectue le traitement est médiateur par les microorganismes. L'émission d'oxygène par les racines des macrophytes crée des zones oxydées autour des racines. La plupart du contenu organique des eaux résiduaires est décomposé en dioxyde de carbone (CO₂) et eau dans ces zones en utilisant l'oxygène comme dernier accepteur d'électrons. En plus l'ammoniaque est oxydée en nitrates par bactéries nitrifiante dans ces zones. Ici la dégradation de la matière organique peut avoir lieu par bactéries dénitrifiant. Par ces processus les nitrates sont convertis en azote (N₂), qui s'évapore vers l'atmosphère. Dans une région de la rhizosphère, la matière organique peut être décomposée anaérobiquement en dioxyde de carbone (CO₂) et méthane (CH₄) par des processus fermentifs. L'existence simultanée des zones oxydées, anoxiques, et de réduction, et l'interaction entre les différents types de processus de dégradation microbiennes dans ces zones, est essentiel pour une décomposition de la matière organique et un prélèvement des nutriments efficace dans la région des racines des plantes où s'effectue le traitement. En plus de tels interactions peuvent être favorables pour la décomposition des composés persistants, tel que les hydrocarbures chlorés (KOBAYASHI et RITTMAN,1982 ; TIEDJE et AL,1984 in BRIX, 1986).

3.4.2 Rôle des macrophytes:

Au-delà de l'aspect esthétique, les macrophytes contribuent indirectement à la dégradation des matières volatiles en suspension (MES) de l'effluent brute ;

La croissance des racines et des rhizomes permet une régulation de la conductivité hydraulique initiale. La faible granulométrie du substrat (sable ou gravier) ainsi que l'apport important de matière organique sont propice au colmatage du filtre. La croissance des parties racinaires limite ces risques en formant des pores tubulaires le long des racines qui se

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

développent. Toutefois dans des filtres à écoulement horizontal, il ne faut pas escompter une conductivité hydraulique supérieure à celle des matériaux d'origine. (POULET et al, 2004).

La couverture foliaire est un régulateur thermique ayant un impact sur les rendements épuratoires sous des climats froids.

De petites quantités d'oxygène provenant des parties aériennes sont rejetées à l'apex des racinelles des plantes, mais elles sont insuffisantes pour contribuer seules à la satisfaction des besoins d'oxygène de la biomasse bactérienne, responsable de la dégradation. (POULET et al, 2004)

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

Le rôle du métabolisme des plantes (assimilation des nutriments) affecte plus ou moins le traitement en fonction des surfaces mises en jeu. Si pour les filtres plantés verticaux l'assimilation est négligeable, les surfaces plus importantes mises en jeu dans les filtres horizontaux peuvent conduire à de prélèvement pouvant être raisonnablement prises en compte dans les bilans, mais qui devraient cependant se situer au maximum à 20% pour l'azote et 10% pour le phosphore. Tous ces éléments ne sont pas directement exportables dans la biomasse faucardable, mais se trouvent aussi piégés dans le système racinaire dont le devenir à long terme, c'est-à-dire 10-15 ans, n'a pas encore été étudié. (POULET et AL, 2004)

3.5 La végétation utilisée en phytoépuration

Les plantes jouent un rôle essentiel en filtre filtrant puisque la rhizosphère crée un milieu favorable au développement des microorganismes.

Les plantes utilisées en filtre filtrants doivent être des plantes aquatiques ou bien des plantes adaptées au milieu humide. De plus, elles doivent répondre à plusieurs critères afin d'être utilisées en marais filtrant (Poulet et al, 2004), dont :

➤ Tolérance à des concentrations élevées de polluants (composé toxique, pH, salinité, métaux)

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

- Facilité d'établissement (par ensemencement ou propagation par rhizome)
- Taux de croissance rapide
- Importante biomasse
- Adaptées au climat local
- Ne pas être une espèce envahissante dans la région d'implantation.

Une première étape bibliographique a permis d'avoir une large idée sur les végétaux utilisés sur les filtres plantés de végétaux (FPV) et de recenser dans la littérature, particulièrement les travaux de recherche de (ONEMA.2, 2015). Qui a élargi ses choix de recherches sur la base de critères bien définis, par des échanges avec des spécialistes des plantes (Conservatoires Botaniques, botanistes locaux), lui a permis d'étoffer la liste des végétaux les plus utilisés suivante:

Phragmites mauritanus ; *Canna indica* ; *Heliconia Caribea* ; *Heliconia psittacorum* ; *Heliconia rostrata* ; *Alpinia purpurata* ; *Cyperus papyrus L.* ; *Cyperus alopecuroides* ; *Cyperus alternifolius* ; *Schoenoplectus littorali* ; *Echinochloa polystachia* ; *Echinochloa guadaloupensis* ; *Brachiaria brizantha* ; *Brachiaria decumbens* ; *Eleocharis interstincta* ; *Costus speciosus* ; *Cladium jamaicense* ; *Fuirena umbellata* ; *Clinogyne comorensis* ; *Curculigo angustifolia*.

Où *Heliconia psittacorum*, *Canna indica*, *Clinogyne commorensis* et *Costus spiralis*. Se sont remarquablement bien adaptées aux filtres. Toutes font parties de l'ordre des Zingibérales et sont des plantes ornementales. Pour le cas de la station du vieux ksar de temacine les plantes utilisées sont celles de la région d'Oued Righ à savoir : Le jonc (*Juncus sp*), La rose de chine (*Hibiscus rosa-sinensis*), Balisier rouge (*Canna indica*), Le laurier rose (*Nerium Oleander*), La massette (*Typha latifolia*), Le papyrus (*Cyperus papyrus*) (Djallebi et al, 2015), (Benyagoub et al, 2013) et (Bachi et Bissati, 2011).

3.6 Les substrats de la filière

La taille des grains composant le milieu filtrant du filtre épurateur artificiel a de l'influence sur sa performance puisque celui-ci doit fournir des conditions optimales pour la croissance microbienne de même que pour l'adsorption des contaminants présents dans les eaux usées. La granulométrie du substrat varie en générale de 2 à 128 mm, pour une porosité de 28 à 45%. Dans la majorité des marais artificiels, le milieu filtrant est composé d'éléments naturels comme du gravier, de la pierre concassée ou du sable et de la matière organique (Calheiros et al, 2008; Vymazal et Kröpfelová, 2011; Gikas et al., 2013; Ranieri et al., 2013; Fu et al., 2014 in Dufresne, 2015).

Aussi, le substrat dans le filtre artificiel joue un rôle primordial dans l'augmentation du pH et l'enlèvement des métaux. La présence d'une source de carbone organique comme du fumier d'ovin, de bovin, de poule ou encore des copeaux de bois va permettre aux bactéries BSR d'augmenter grandement le pH et l'alcalinité et de favoriser la précipitation de métaux sous forme de sulfures métalliques par la production de sulfures.

3.7 Mécanismes épuratoires dans les filtres plantés de macrophytes

Les filtres filtrants artificiels sont des écosystèmes qui ont été conçus pour recréer les processus naturels mettant à profit les interactions entre le sol, les microorganismes et les plantes (Vymazal, 2010 *in* Dufresne, 2015).

Au cours des processus d'absorption, les racines libèrent des glucides, des enzymes et d'autres nutriments, utilisables par les micro-organismes. L'intense réseau racinaire favorise donc la fixation des bactéries épuratrices sur les rhizomes. Elles abritent donc une flore bactérienne importante, qui se nourrit des effluents et dégrade la matière organique.

Ces micro-organismes vont favoriser la minéralisation de l'azote et du phosphore, qui seront alors disponibles pour la plante. Ainsi se crée une étroite coopération entre plantes et micro-organismes (Mimeche, 2014).

3.8 Rôle des plantes dans le système de phytoépuration

Au-delà de l'aspect esthétique et de leur rôle mécanique primordial les macrophytes contribuent indirectement à la dégradation des matières organiques d'effluent brut. Ces plantes disposent d'un système racinaire très dense qui améliore l'oxygénation des filtres, et par conséquent le développement des micro-organismes adéquats. Poursuivant leur croissance même en hiver les rhizomes assurent enfin le fonctionnement permanent de la station d'épuration limitant le colmatage des surfaces filtrantes (Bhupinder et *al.*, 2009 *in* Mimeche, 2014).

Parmi les nombreux rôles, que jouent les plantes selon (Brix et *al.*, (2003), on peut citer comme **rôles directs** :

-Elles empêchent la matière organique retenue en surface de former une croûte relativement imperméable qui gênerait l'infiltration des eaux, et ce grâce aux rhizomes qui émettent des tiges perçant la couche de boues.

-Elles favorisent le développement de micro-organismes cellulo-lytiques grâce à l'ombrage qu'elles procurent et à l'hygrométrie qu'elles maintiennent, la couche de boues à la surface des FV est ainsi plus rapidement minéralisée.

- De même la présence des rhizomes, des racines, des radicelles et d'une grande quantité de lombrics garantit une minéralisation poussée des dépôts qui donnent une sorte de terreau parfaitement aéré et dont la perméabilité reste élevée.

- Elles servent, de support au développement microbien au niveau de leurs parties souterraines. Les populations microbiennes présentes dans le matériau support et sur la rhizosphère sont plus importantes que dans les filtres non plantés.

- Elles fournissent de l'oxygène aux bactéries, par transfert depuis les parties aériennes (tiges et feuilles), vers les parties souterraines par : l'aérenchyme, ce rôle est particulièrement important dans les FH, où le seul, autre mécanisme d'aération est l'échange par la surface du filtre

Rôles indirects :

- Elles assimilent certaines substances, telles l'azote et le phosphore, pour leur métabolisme propre et / ou pour les stocker.

- Au niveau de leurs racines, certaines plantes sécrètent des antibiotiques contribuant ainsi à l'élimination des micro-organismes pathogènes (Gabriela et *al.*, 2005).

- l'importance des plantes comme élément permettant d'intégrer les installations de traitement dans le paysage.

- la présence de plantes confine les odeurs d'eau usée à proximité du sol, lorsqu'elle est délivrée au débouché du réseau d'assainissement, sous le couvert des végétaux.

Les plantes ont de nombreux rôles supposés, mais dont l'apport quantifié au processus d'élimination n'est pas toujours bien établi. A ce jour, les travaux de recherche sur la thématique suscitent l'intérêt des scientifiques.

3.9. Plantes utilisées :

Plusieurs plantes ont été utilisées dans le processus de la phytoépuration, mais les espèces les plus utilisées sont celles supportant des conditions hydriques en excès ou se développant en bordures des cours d'eau; souvent des roseaux, jonc, massette, bambous, ...etc. Pour le nord africain on trouve les espèces.

3.9.1 Phragmites communis Adans-Roseau :

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, brunjaunâtre, 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, gueltas, un peu partout au Sahara septentrional, occidental et central. *Cosmop.* **Ph communis** Trin (OZENDA, 1991).



Figure.6 Le Phragmites communise

3.9.2 Bambusa.sp :

Les Bambous comprennent plusieurs genres botaniques d'origine tropicale dont certaines espèces sont rustiques. Ce sont des graminées ligneuses dont les chaumes ont été autrefois utilisés pour faire des cannes à pêche et sont encore d'excellent tuteur. Hormis le bambou nain assez différent, ils ont en commun plusieurs caractères : cannes bien droites, généralement non ramifiées, feuilles étroites, souvent vert foncé et brillant dessus, plus claires au revers. (BOUARD et al, 1992), tous ont des feuillages persistants, à croissance rapide, et sont faciles à installer. Mais, la prolifération rapide de leurs souche traçantes fait qu'ils envahissent l'espace rapidement. (PEREIRE, 2006).

Longueur : de 0,50 à 6 m selon les espèces ; Terre : toutes, mais humides ; Exposition : soleil

Multiplication : jeunes pousses prises en printemps ; Feuillage : persistant ou caduc.



Figure.7 Bambusa.sp

3.9.3 Cyperus papyrus:

Au bord de l'eau le *Cyperus* développe d'impressionnantes tiges souples bien vertes que coiffent des feuilles disposées en rayon. (PEREIRE, 2006).

Longueur : de 60 à 120 ; Etagement et distance de plantation : 30 cm ; Terre : ordinaire, humide ; Exposition : ensoleillée ; Multiplication : par bouture et par division des touffes

Ce genre compte plus de six cent espèces de laîches, dont des annuelles et des vivaces persistantes, répandus 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 paléiformes.

La plupart des espèces ornementales se plaisent au bord de l'eau ou en sol marécageux.

Elles tolèrent les rayons directs du soleil. Multiplier par semis ou division. (BURNIE et al ; 1999)



Figure.8 *Cyperus papyrus*

3.9.4 *Nerium Oleander*:

Son nom : *Nerium*, vient de Nerion qui signifie en grec « eau ». Laurier rose en effet, préfère les terres bien arrosées. Ses feuilles seront alors plus grandes et sa floraison plus abondante. (PEREIRE, 2006)

Le Laurier Rose est un arbuste vigoureux, touffu, à port dressé et arrondi. Feuilles de texture ferme, allongées, pointues. Fleurs en forme de Pervenche, groupées en bouquets terminaux, pendant toute la belle saison. C'est un arbuste d'une grande beauté dont il existe de très nombreuses variétés, à fleurs simples ou doubles, dans de merveilleux coloris vif ou pastel. A signaler que toutes les parties de la plante sont toxiques. (BOUARD P et al, 1992)

De hauteur de 1 à 4 m, à longues feuilles lancéolées, persistantes, glabres, verticillées par trois, à nervure médiane très saillantes en dessous ; inflorescence en cyme ; fleurs à grande corolle (3-5 cm), roses ou plus rarement blanches ; capsules longues (8-10 cm), libérant des graines couvertes de nombreux poils roux. La plante est très toxique, notamment pour les chameaux (OZENDA, 1991)



Figure.9 *Nerium oleander*

3.10. Dimensionnement des filtres

Les filtres horizontaux nécessitent un prétraitement des eaux pour ne pas risquer de se colmater. Dans ces filtres, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la surface du lit par un système situé à l'extrémité du bassin, il s'écoule ensuite dans un sens horizontal au travers du substrat, l'alimentation s'effectue en continu.

Quant à l'évacuation, elle se fait par un drain placé au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes, et relié à un siphon permettant de contrôler la hauteur de surverse qui correspond à celle de l'eau dans le lit. Le niveau d'eau dans ces filtres doit être maintenu à 5 cm sous la surface du substrat (Madjdoub, 2014).

Les filtres plantés à flux vertical sont généralement constitués de deux étages en série, eux-mêmes constitués de plusieurs filtres en parallèle fonctionnant en alternance. Afin de minimiser le colmatage du filtre grâce à la minéralisation de la matière organique accumulée.

Le temps de repos sur le premier étage est deux fois le temps de fonctionnement ; ce qui conduit à 3 lits en parallèle, pour le deuxième étage le temps de repos et de fonctionnement sont équivalents : 2 lits suffisent.

Les filtres à écoulement vertical sont alimentés en surface et l'effluent percole verticalement à travers le substrat. Subissant ainsi une première étape de filtration permettant une rétention physique des matières en suspension à la surface des lits du premier étage (Madjdoub, 2014)

Tableau 3. Performances des deux types de filtres

Paramètre	FPRH	FPRV
DBO5	Bon rendements 70 à 90%	<25 mgO ₂ /l rendement>98%
DCO	Bon rendements 70 à 90%	<90 mgO ₂ /l rendement de 95%
MES	Bon rendements 70 à 90%	<30 mg/l rendement>98%
NTK	/	< 10 mg/l en général, Les pic ne dépassent pas 20 mg/l
Phosphore	/	Abattement faible (dépend du substrat et l'âge de l'installation)
Germes pathogènes	Bon abattement	Elimination limitée : Abattement de 1à2 log

Source : IEW, 2007

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

Pour leur part les caractéristiques techniques (Molle et al, 2004 ; IEW, 2007; Bensmina, 2013 ARPE, 2014) préconisés sont :

pour les FPRH

- 5 m²/EH
- Un seul massif uniforme : 60 cm d'épaisseur, gravier de calibre 2-8 mm ;
- Zones d'entrée et de sortie : gabions (galets et graviers > 10 mm) ;
- Alimentation en continu : l'ensemble du massif est sous eau ;
- Niveau d'eau maintenu à 5 cm sous la surface ;
- 4 plants de roseau (Phragmites Australis).

Pour les FPRV :

- 2 à 3 m²/EH en deux étage : 1,5 m²/EH suivi de 0,8 m²/EH ;
- 3 compartiments dans le premier étage (phase de repos est 2/3 du temps) ;
- 2 compartiments dans le second étage (phase de repos ½ du temps) ;
- 80 cm d'épaisseur totale pour le premier étage ;
- 40 cm de gravier de calibre 2-8 mm ;
- Couches inférieures drainantes (10-20 et 20-40 mm) recueillant l'effluent dans des drains rigides ;
- Alimentation de l'effluent brut par bâchée aérienne, en alternance, via plusieurs points et une vitesse d'alimentation supérieure à la vitesse d'infiltration ;
- 4 plants par m² que soit roseau (Phragmites Australis) ou massette (Typha sp.).

Le tableau 4. Mise en relief une comparaison technique des FPRH et FPRV

	FPRV	FPRH
Eau usées	Brutes	Issues de FPRV
Condition	Aérobie	Anoxique
Dégradation	Carbone+nitrification complète	Carbone+nitrification partielle dénitrification complète
Alternance	Indispensable	Non
Alimentation	Bâchées	En continue
Dimensionnement	2- 2,5 m ² /EH	(1 ^{ère} étage FPRV)+2 m ² /EH de FPRV
Hauteur	60 cm	60 cm

Source : Chakroune, (2013).

3.11 La réutilisation des eaux usées après épuration :

Afin de garantir la protection de la santé publique, il a été mis en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures. Il existe deux grands groupes de normes : les recommandations de l'OMS (1989) et la réglementation californienne « titre 22 » (1978). L'objectif principal est d'éliminer les risques sanitaires (Lazarova, 1998).

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant (Ecosse, 2001).

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvre respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau.

A titre indicatif, l'expérience de Mexico City apparaît comme le plus important projet de réutilisation des eaux usées au niveau mondial (Cisneros et Mejia, 1997 *in* Medjdoub, 2014). Presque 100 % des eaux usées brutes de la capitale mexicaine (de 45 à 300 m³/s par temps de pluie) sont réutilisées pour l'irrigation de plus de 85 000 ha de diverses cultures agricoles.

Aux Etats-Unis, la réutilisation agricole est une pratique très répandue. 34 états disposent de réglementations ou de recommandations, souvent très sévères. Ces mesures et plus de trente ans d'expérience, font des Etats-Unis un pays phare au plan mondial dans le domaine de la réutilisation des eaux usées. En Floride et en Californie, respectivement 34 % (340 000 m³/j) et 63 % (570 000 m³/j) du volume total d'eaux usées réutilisée le sont pour l'agriculture (Wright et Missimer, 1995 *in* Mhdouj) et (FAO, 2003).

Le bassin méditerranéen est l'une des régions du monde où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée, sauf en Algérie. En Algérie l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des terres agricoles est encore à l'état «embryonnaire» et ne se pratique que sur de très faibles superficies et souvent à titre expérimentale (ONA. Setif, 2014).

3.12 Avantages et inconvénients de la phytoépuration :

La phytoépuration est environ 10 fois moins chère que les technologies classiques et devrait permettre aussi d'améliorer la qualité des sols. En effet, la croissance du système racinaire permet une aération des sols ce qui stimule l'activité microbologique, de même que l'apport de nutriments au travers des exsudats racinaires, les végétaux participent également à

Chapitre 1 : Revue Bibliographique

la diminution de l'érosion, la phytoépuration a un impact positif sur l'opinion publique en tant que "dépollution verte" et il reste la stratégie de dépollution la plus envisageable économiquement.

La phytoépuration présente cependant des inconvénients non négligeables. Les plantes doivent être en contact avec le polluant pour pouvoir agir, par conséquent, les propriétés du sol, les niveaux de toxicité et le climat doivent permettre la croissance des plantes envisagées, la phytoépuration est aussi limitée par la profondeur des racines des plantes utilisées et la vitesse de dépollution varie de l'ordre de quelques années pour la rhizodégradation à quelques dizaines d'années pour la phyto-accumulation d'autre part, la majorité des recherches a été effectuée en laboratoire dans des conditions très contrôlées, il est probable que la mise en place sur un site diminue l'efficacité de la dépollution à cause des conditions climatiques et environnementales du site (arrosage, présence de nuisibles...) non maîtrisées, en effet, un autre facteur limitant la phytoépuration est la présence sur les sites de plusieurs contaminants, souvent à des concentrations variables et de répartition hétérogène. Le sol peut alors devenir phytotoxique pour les plantes choisies alors que le seul contaminant de référence ne l'était pas.

En résumé, nous pouvons énumérer les avantages de la phytoépuration dans les points suivants:

- ✓ Moins coûteux à construire et à exploiter que les systèmes conventionnels.
- ✓ Facilité de mise en oeuvre.
- ✓ Nécessite peu d'équipements mécanisés.
- ✓ Consomme peu d'énergie.
- ✓ Nécessite une main d'oeuvre très réduite pour son entretien.
- ✓ Contrairement au lagunage, cette installation peut intégrer le tissu urbain

(HIMOUR ASMAA ET GUENDOZ AMIRA 2017)

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les principales recherches, relatives à la technique d'épuration par filtres plantés à macrophytes dite la phytoépuration ou Marais artificiels.

La technologie des filtres plantés de macrophytes au développement récent, la forte demande actuelle pour ce type de station d'épuration pour les petites agglomérations rurale est réelle, il s'agit d'une technologie faible, simple à exploitée, est bien acceptée par les habitations en raison de sa bonne aptitude à l'intégration paysagère. Ainsi elle s'avère fortement recommandée à faibles ressources financières.

Chapitre 2 :
Présentation de la station
d'épuration de Laghouat

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

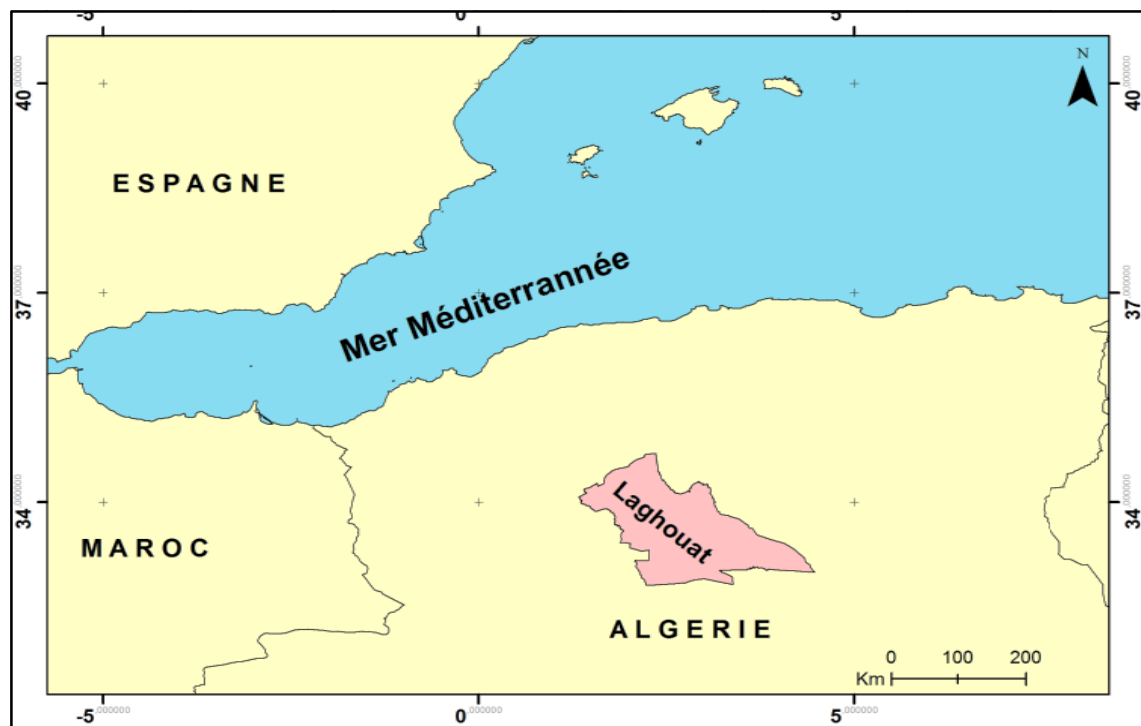
Introduction

Le présent chapitre est relatif à la présentation générale de la station d'épuration de Laghouat, son emplacement, description et fonctionnement de ces ouvrages ainsi que les résultats d'analyses des eaux (entré et sorti).

1- Situation géographique de la région de la station de Laghouat

1.1. Aperçu historique de la Wilaya de Laghouat

Laghouat qui serait un pluriel de «Ghaouth», maison dans un jardin, en arabe du sud, l'existence de stations de gravure rupestres, d'outils préhistoriques, de tumulus de pierres sèches, d'abris sous roches et des silex grossièrement taillés, prouvent la présence de communautés humaines dans la région et ce avant l'histoire. (DPSB, 2014).



Source Original, (2018).

Figure 10. Cartes de situation géographique de la wilaya de Laghouat.

Le 4 décembre 1852, les troupes coloniales françaises prennent la ville de Laghouat. Lors de cette terrible bataille, qualifiée par certains de génocide, après un siège de neuf (09) mois, les français ont occupé la ville, l'armée coloniale (6000 assaillants) décime une vaste partie de la population autochtone (2/3), sans distinction de sexe ni d'âge. (Association 1^{er} Nov, 1998).

Dès le déclenchement de la Guerre de libération nationale, le 1^{er} Novembre 1954, plusieurs personnes avaient rejoint les premiers maquis, en 1956 l'insurrection a embrasé

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

toute la région, cette résistance permanente, fructueuse et meurtrière contribuait à l'objectif du peuple Algériens celui de l'indépendance de l'Algérie fêtée le 05 Juillet 1962. (DPSB, 2014).

1.2 Présentation géographique de la wilaya Laghouat

Au piémont de l'Atlas Saharien, du côté nord, Laghouat s'étend sur le plateau saharien du côté sud. Avec une mosaïque, mixture naturelle, entre les hautes terres et les basses terres, elle constitue une liaison entre le Nord et le Sud du pays (Labiad, 2015).

La wilaya de Laghouat, reliée par la RN n° (01), est éloignée d'Alger la capitale, de 400 Km. Elle est située entre les latitudes Nord 34°67' et 32°65', et les longitudes Est 04°29' et 01°41'. Issue du découpage administratif de 1974, et fait partie des neufs Wilayat pastorales du pays, ainsi que des Wilayat du Sud. Sa superficie est de ; **25 052** km² pour une densité de : 23,22 Hab/km².

Laghouat est, délimité, géographiquement, au Nord et à Est par la wilaya de Djelfa, au Nord-ouest par la wilaya de Tiaret, à l'Ouest par la wilaya d'El Baydh, et au Sud par la wilaya de Ghardaïa. (DPSB, 2014).

2. Cadre climatique

Le type de climat de la région de Laghouat, est généralement présaharien. La zone Nord-Ouest se caractérise par une pluviométrie allant de 300 à 400 mm, avec des chutes de neige et des gelées blanches.

2.1. Précipitations

Tandis que dans la zone Sud-Est, la pluviométrie est de 50 à 150 mm, les mois les plus pluvieux étaient Aout-Septembre comme le montre le tableau (4), avec des gelées blanches en hiver, des étés chauds accompagnés de sirocco et des tempêtes de sable. (CDF, 2008 in Labiad, 2015).

Tableau 5. La pluviométrie moyenne mensuelle (entre 2004-2015) de la région de Laghouat.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Précip (mm)	8,68	7,69	12,57	21,3	15,05	11,1	7,9	11,18	27,27	22,63	14,69	18,88

Source : ONM, (2016).

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

2.2. La température

D'une moyenne annuelle de 17,3 °C. Le tableau (5) exprime les valeurs moyennes mensuelles des températures maxima T° et minima t° , et les températures mensuelles moyennes (Tm°) de la région de Laghouat. D'après le tableau, on constate que le mois de Janvier est le plus froid, avec une température de 1,33 C° ; le mois le plus chaud étant Juillet, avec une température mensuelle moyenne de 39,5 C°.

Tableau 6. Les maxima, minima et température mensuelle moyenne de Laghouat (2004-2015).

Moi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Moy
Max	17,85	16,09	20,17	24,79	29,43	35,06	39,51	38,67	32,37	26,94	19,10	14,52	26,21
Min	1,33	2,58	5,54	9,20	13,98	18,13	22,70	22,50	18,61	13,13	6,06	2,64	11,37
Moy	9,59	9,34	12,86	17,00	21,71	26,60	31,11	30,59	25,49	20,04	12,58	8,58	18,79

Source : ONM, (2016).

Quant à l'humidité relative de l'air, l'ONM constate qu'elle est beaucoup plus élevée durant les mois de novembre, décembre et janvier (56-65% qu'en période estivale, en juin, juillet et aout (25-30%).

Le vent étant un facteur écologique important, il enregistre dans la région de Laghouat une vitesse moyenne durant la période 2006-2016 de 3,68 m/s, avec la plus grande en Avril évaluée à 4,68m/s. (ONM, 2016).

2.3. L'évapotranspiration

L'indice d'aridité de la région de Laghouat durant la période de 2001 à 2013 est de **7,17**; donc le climat est très sec.

2.4. Classification du climat

Le climat des Hauts Plateaux Centre (dont la wilaya de Laghouat fait partie) est conditionné par plusieurs facteurs :

- L'altitude comme indiqué précédemment qui apporte des températures froides en hiver et chaudes en été en raison d'un fort ensoleillement ;
- La localisation géographique à l'intérieur des terres soit à environ 300 km de la mer en ligne droite, donc un effet très faible de l'influence méditerranéenne ;
- Les faibles précipitations qui résultent de l'effet de barrière que constitue l'Atlas Tellien et qui tombent en hiver dans l'Atlas Saharien sous forme de neige.

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

3. Présentation de la STEP de Laghouat

3.1. Localisation

La station d'épuration de Laghouat est située dans la zone Sud Est du Chef lieu de la wilaya de Laghouat, à environ 1 km, elle est implantée sur un site faisant parti du plateau saharien est actuellement gérée par l'ONA (Office National de l'Assainissement) de la wilaya de Laghouat elle est limité par (Oued M'ZI au Sud Est ; Benaceur Benchohra au Sud Ouest ; El Assafia à l'Ouest ; Kef Serridja au Nord ; Laghouat ville à l'Est).

Les points représentatifs suivants du site ont pour coordonnées Lambert :

- **X1 :492.591 Y1 :3740,76 Z1 :765**
- **X2 :492.591 Y2 : 3740,60 Z2 :756**
- **X3 :493.16 Y3 : 3740,60 Z3 :760**
- **X4 :493.16 Y3 : 3740,76 Z3 :764**

3.2. Données spécifiques de la station

Les bases de dimensionnement de la station sont rappelées ci-dessous :

Tableau 7. Les bases de dimensionnement de la station.

Paramètres	Unités	Horizon 2015/2033
Equivalent. habitant	E.H	167 000 / 250 500
Volume journalier	m ³ /j	26 700 / 49 050
Débit moyen de temps sec	m ³ /h	1113 / 1669
Débit de pointe temps sec	m ³ /h	1825 / 2704
Débit maximal admis en temps de pluie	m ³ /h	2704
Charge journalière en DCO	Kg/j	16 700 / 25 050
Charge journalière en DBO5	Kg/j	9 018 / 13 527
Charge journalière en MES	Kg/j	11 690 / 17 735
Charge en azote ammoniacal (N- NH4)	Kg/j	1 336 / 2 004

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

Tableau 8. Le traitement est avec une qualité de rejet conforme aux normes.

Parameters	Unite	Concentration en mg/l	Rendement delimitation en %
DBO5	mg/l	30 ≤	94 ≥
DCO	mg/l	90 ≤	89 ≥
MES	mg/l	30 ≤	95 ≥
N total	mg/l	40 ≤	20

3.3 Fonctionnement et description des ouvrages de la station d'épuration :

Le terrain réservé pour la station représente une superficie de 10 hectares, la station actuellement assure l'épuration d'un débit de 18000m³/j sur 26700 m³/j et produise plus de des boues évacuée a la décharge publique (CET Laghouat).

3.3.1 Le prétraitement et Filière eau : la filière de traitement comprend les postes suivants :

- Ouvrage de réception : station de relevage (relevage de tête).
- Dégrillage grossier mécanisé.
- Débite mètre de comptage des eaux brutes
- Dégrillage fin mécanisé et manuel.
- Ouvrage de dessablage (air lift) déshuilage aéré (par Aeroflot).
- Bassin d'aération (10 aérateurs de surface automatique)
- Ouvrage de Clarificateur (décanteur racleur)
- Ouvrage de désinfection (par l'hypochlorite de sodium).
- Débite mètre de comptage des eaux épurées.

3.3.2 Filière boues : la filière boues est caractérisée par les opérations suivantes :

- Poste de recirculation des boues et extraction des boues en excès.
- Epaisseurs raclés des boues et extraction des boues en excès.
- Lits de séchage de déshydratation des boues (20 lits de séchage).

3.3.3 Les ouvrages et équipements annexes :

- Poste toutes eaux.
- Préleveurs automatique pour échantillonnage (eaux brute et eaux épurées).
- Sondes de mesure de l'oxygène dissous.
- Groupe électrogène.
- Eaux industrielles.

4. Situation des eaux usées dans la région

Plus qu'ailleurs, dans les zones arides et semi-arides que nous sommes, la gestion durable des ressources en eau est un challenge permanent, selon Servat et *al* (2009), la difficulté s'accroît depuis plusieurs décennies à cause, d'une part, des impacts de la sécheresse récurrente et, d'autre part, de l'accroissement des populations et de leurs besoins en eau.

Le niveau d'eau particulièrement quand ces eaux ont eu pour origine des réserves souterraines, ainsi que la prise en charge des eaux usées au niveau de notre wilaya, le tableau 7 ci-après nous renseigne largement sur le devenir des eaux une fois utilisées.

Notre étude, comme indiqué en introduction, s'inscrit dans le contexte de la valorisation des eaux non conventionnelles pour, d'une part accroître aux potentialités de la phytoépuration et d'autre part, minimiser la pollution des ressources hydriques de l'environnement en particulier, quand la plupart de nos communes, déversent les effluents bruts d'eaux usées de leurs villes dans la nature Exemple commune de Ben Nacer Ben Chohra (Figure 6).



Figure 11. Rejet d'eaux usées brutes de la commune de Ben Nacer Ben Chohra dans le lit de Oued M'zi.

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

Tableau 9. Etat de traitement des eaux usées des communes de la Wilaya Laghouat 2020

Les Communes de Laghouat	Nombre d'Habitants	Nombre Foyers	% de raccordement	Volumes rejetés(m ³ /j)	Volumes traités(m ³ /j)
LAGHOUCAT	202 665	33 778	99	33866,35	33866
KSAREL HIRANE	33 280	5 547	98	3594,61	0
BENACEUR BENCHOHRA	14 035	2 339	97	1797,28	0
EL ASSAFIA	7 802	1 300	98	714,12	0
SIDI MAKHLOUF	17 072	2 845	98	1482,77	0
AIN MADHI	15 715	2 619	98	1627,40	0
TADJEMOUT	34 074	5 679	97	5491,72	5492
TADJROUNA	7 082	1 180	98	733,87	0
EL HOUITA	4 870	812	98	499,24	0
EL KHENEG	16 107	2 685	98	1660,03	0
HASSI R'MEL	31 284	5 214	98	3571,34	0
HASSI DELAA	18 041	3 007	98	1630,77	0
AFLOU	143 814	23 969	98	16564,47	0
SIDI BOUZID	9 175	1 529	98	786,40	0
SEBGAG	8 073	1 346	99	655,22	655
OUED MOURRA	8 147	1 358	98	718,89	0
OUED M'ZI	4 400	733	98	394,59	0
GUELTAT SIDI SAAD	17 333	2 889	98	1797,34	0
AIN SIDI ALI	14 553	2 426	98	1397,88	0
BEIDHA	12 311	2 052	98	805,14	805
BRIDA	8 455	1 409	98	525,33	0
TAOUIALA	4 421	737	98	407,67	0
EL GHICHA	9 013	1 502	99	938,94	0
HADJ MECHRI	8 922,00	1 487	99	554,79	555
24 Communes	650 644,00	108 441	98	82 216,16	41 373,22

Source : ONA et DRE, (2020).

4.1. Caractéristiques des eaux usées a traité

On a déterminé la composition des effluents des eaux usées en tête du future pilote expérimentale de la phytoépuration après analyse dans le laboratoire de la step de Laghouat.

4.2. Paramètres physico-chimiques prises en compte:

Les paramètres physico-chimiques des effluents des eaux usées en tête du future pilote expérimentale de la phytoépuration, sont ceux usuellement mesurés pour l'eau usée urbaine après le prétraitement dans la fille de la STEP de la ville de Laghouat, le détail de ces analyses est repris ci-dessous.

4.2.1. Paramètres physiques:

- Température de l'air et de l'eau eau brute.
- Conductivité,
- Oxygène dissous

4.2.2. Paramètres chimiques:

- Demande biochimique en oxygène (DBO5),
- Demande chimique en oxygène (DCO),
- Matières en suspension (105 °C),
- Matières Organique (mg/l),
- Matières décantables (ml/l),
- Azote ammoniacal (NH₄),
- Ortho phosphates (PO₄),

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

Tableau 10. Paramètres physiques et chimiques

Paramètres physiques et chimiques examinés	Unités	moyenne globale
Température de l'air	°C	10,50
Température de l'eau brute	°C	19,92
PH	--	7,54
Oxygène dissous	mg O2/l	0,00
Conductivité C25°C	μS/cm	2,86
Carbone organique total (COT)	mg/l	151,35
Demande biochimique en oxygène (DBO5)	mg O2/l	232,33
Demande chimique en oxygène (DCO)	//	598,33
Azote ammoniacal (NH4)	mg/l	23,20
Ortho-phosphates (PO4)	//	27,99
P/totaux	//	28,95
Matières en suspension (MES, à 105 °C)	//	347,67
Azote Kjeldahl	mg/l d'N	246,50
Matières décantables	ml/l	3,27
Matières organiques	mg/l	78,83
Huiles et graisses	mg/l	263,78
Rapport (DCO/DBO5)		2,60
Métaux lourds		
Pb	mg/l	<0.1
Zn		<0.096
Cd		<0.04
Cu		<0.03
Fe		<0,053
Mn		<0.02
Cr		<0.1
Ni		<0.05

Source : STEP de LAGOUAT, (Fevrier 2020).

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

4.2.3 Les résultats d'analyses physico-chimiques:

Tableau 11. Les résultats des analyses des paramètres de l'auto-surveillance réalisées sur des échantillons à l'entrée et à la sortie de la STEP

Paramètres de l'auto-surveillance	Débit moyen (m ³ /j)	MES (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	O ₂ dissous (mg/l)	Conductivité (µS/cm)	T (°C)	pH
Entrée STEP (Eau brute)	11 554	395	328	698	1.60	2 185	18.00	7.59
Sortie STEP (Eau épurée)	11 054	26	28	47	4.40	2 120	16.00	7.54

Source ONA, Laghouat, décembre 2020

Tableau 12. Les résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur des échantillons à l'entrée et et à la sortie de la STEP

Paramètres de l'auto-surveillance	N-NH ₄ (mg/l)	N-NO ₂ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	NTK (mg/l)	NT (mg/l)	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	PT (mg/l)	Salinité (mg/l)
Entrée STEP (Eau brute)	145,75	0,30	1.62	161,25	78.45	3.48	6.48	1.09
Sortie STEP (Eau épurée)	1,40	0,82	1.98	39,21	23.22	1.23	4.52	1.06

Source ONA, Laghouat, décembre 2020

Remarque:

Toutes les analyses physico-chimiques ont été faites au niveau du laboratoire d'analyse d'eau de la STEP de Laghouat.

Les valeurs limites des paramètres des rejets d'après le décret n° 06-141 du 19/04/2006 sont :

DBO₅ : 35 à 40 mg/l.

DCO : 120 à 130 mg/l.

MES : 35 à 40 mg/l,

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Laghouat

Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons passé en revue le fonctionnement et la description des ouvrages de la station d'épuration de la ville de Laghouat, ainsi que les résultats des analyses des paramètres d'auto-surveillance et physico-chimiques des eaux brute et des eaux épurée.

Chapitre 3 :
Etude de faisabilité

Chapitre 3: Etude de faisabilité

Introduction

Deux filières sont envisageables :

- Soit une filière en eaux brutes : siphon auto amorçant (dispositif d'alimentation), filtre vertical, fossé drainant, dissipation.
- Soit une filière en eaux décantées : fosse toutes eaux, auget filtrant, filtre vertical, lagune plantée, mare de stockage.

La filière qui nous apparaît la plus intéressante dans le cadre du pilote est celle en eaux brutes puisqu'elle ne comprend pas de fosse toutes eaux et permet donc d'éviter l'accumulation de boues.

Pour supporter les pointes et les à-coups hydrauliques, le lit filtrant sera séparé en deux (filtres en parallèle) afin d'assurer l'alternance des phases d'alimentation et de repos. Avec un seul étage de filtration, les résultats de l'épuration sont suffisants et garantis par Epuration nature. Il est donc inutile de prévoir un deuxième étage en série du premier.

La filière envisagée est donc la suivante : un filtre planté de roseau séparé en deux lits parallèles (orienté perpendiculairement au sens de la pente), suivi d'un fossé filtrant, les zones de dissipation en aval permettant de naturaliser le rejet.

1. Dimensionnement du pilote des filtres vertical et horizontal

On dimensionnera le pilote de la manière suivante : $1,5 \text{ m}^2/\text{EH}$. La réglementation impose un dimensionnement de $1,2\text{m}^2/\text{EH}$; on surdimensionnés légèrement les filtres afin d'être sûres d'avoir les résultats escomptés. Il faut cependant être très vigilant quant au surdimensionnement car les roseaux ont besoin d'une alimentation suffisante.

On dimensionnera le pilote pour 50 EH, la superficie du filtre doit être de 75 m^2 , on divise cette surface par deux pour avoir celle de chacun des lits et parties et on obtient une surface de 36 m^2 , sachant que nous avons négligé 3 m^2 afin d'avoir des filtres de forme carrée pour assurer une répartition homogène de l'effluent. Ceci n'est pas gênant étant donné que le filtre a été surdimensionné au départ.

Le volume d'eaux usées moyen est de 7500 litres par jour ($150 \text{ L}/\text{EH}/\text{j}$ imposés par la DDASS). Le volume du siphon auto amorçant a donc été calculé à 500 L de manière à assurer un minimum de 15 bâchées par jour.

2. Description des différents éléments de la filière

2.1 Substrat

La première couche de substrat est constituée de gravier 2/6 (granulométrie comprise entre 2 et 6 millimètres) concassé sur une épaisseur de 50 cm. La proportion entre les graviers de granulométrie 2/4 et 4/6 doit être homogène. Les graviers 2/4 ont plutôt un rôle filtrant tandis que les 4/6 permettent de limiter le colmatage. Le rôle majeur de cette couche est de retenir les matières en suspension MES en surface du filtre.

Au dessous, la deuxième couche est constituée de plus gros graviers de granulométrie 20/40 d'une épaisseur de 20 à 30 cm pour permettre la circulation de l'eau et de l'air (grâce au système de drainage). Il existe également du gravier 30/60, mais notre choix se porte plutôt vers du 20/40 car il est facilement « fermé » par le gravier 2/6.

On utilise du granulat de type alluvionnaire pour leur faible teneur en calcaire. En effet, celle-ci doit être connue et ne doit pas être trop importante sinon le substrat serait attaqué par l'acidité des eaux usées.

Le sable n'est pas utilisé ici puisque nous travaillons en eaux brutes. Les sables ne sont utilisés que pour des eaux prétraitées (décantées), donc en aval d'une fosse toutes eaux ou dans un deuxième étage de filtre planté de roseaux. La terre végétale n'est pas non plus utilisée d'une part car nous n'en avons pas l'utilité dans une filière en eaux brutes, d'autre part car sa mise en œuvre est techniquement complexe.

2.2 Etanchéité

L'étanchéité des bassins doit être fiable. Elle sert à protéger le milieu extérieur tant que le niveau de rejet souhaité n'est pas atteint, c'est-à-dire lorsque l'effluent a traversé la totalité de la filière. L'Agence de l'Eau impose que tout ce qui entre dans le système de traitement doit pouvoir être prélevé et analysé en sortie pour vérifier les performances épuratoires.

Le dispositif d'étanchéité est conçu de façon à habiller intégralement le terrassement : étanchéité de fond et étanchéité latérale pour laquelle on réalise un ancrage en bordure pour assurer une bonne fixation. On utilise des géo-membranes imperméables qui existent en différents matériaux : EPDM (caoutchouc synthétique), PEHD (polyéthylène haute densité), PP (polypropylène) ou encore PVC (polychlorure de vinyle). Nous préconisons des cellules étanches en PEHD pour l'étanchéité latérale et une géo-membrane en EPDM pour l'étanchéité de fond. Bien qu'étant relativement coûteux, l'EPDM est un matériau microporeux, très souple et élastique et permet donc de bien épouser le sol. Nous éviterons

le PVC car le chlore ne fait pas partie du cycle naturel (produit artificiel) et le PP car sa mise en œuvre est plus compliquée.

Les géo-membranes doivent être protégées du risque de poinçonnement (perforation par des racines ou des cailloux) et sont donc habillées par deux couches de géotextile en dessus et en dessous par souci de durabilité. Ceci constitue ce que l'on appelle le « complexe d'étanchéité ».

2.3. Dégrilleur

L'installation d'un dégrilleur a pour objectif de protéger les ouvrages aval de la présence de gros déchets (limitation des dépôts dans les ouvrages de bâchées et d'alimentation des filtres). Cependant, ce dispositif ne nous semble pas indispensable dans le cadre d'un éco-village dans la mesure où les habitants seront responsabilisés vis-à-vis de leur système d'épuration dans lequel de gros déchets ne devraient pas être introduits.

2.4. Siphon auto amorçant

L'alimentation est effectuée par bâchées grâce à un siphon auto amorçant, c'est-à-dire que l'effluent est collecté dans cet ouvrage jusqu'à atteindre un certain niveau suffisant avant d'être évacué automatiquement dans le filtre. Ce dispositif permet donc la création d'une « chasse d'eau » alimentant sur un temps très court la surface du massif sélectionné.

Ce système d'alimentation par bâchées permet à la fois d'assurer la bonne répartition de l'effluent sur le massif (et d'éviter tout colmatage) grâce à une charge hydraulique importante mais aussi de permettre la diffusion de l'oxygène dans le massif. En cas de défaut de fonctionnement, l'effluent est alors alimenté en continu et cela perturbe fortement l'efficacité du système.

Il est important de noter que les dépôts sédimentant dans cet ouvrage sont source de fermentation et provoquent des problématiques de sécurité (H₂S), de corrosion et d'odeur (nuisances). Le volume et la fréquence des bâchées doivent donc être calculés soigneusement de manière à éviter un temps de séjour trop important, et donc une stagnation trop longue des eaux dans cet ouvrage.

2.5. Dispositif d'alternance

Le dispositif d'alternance permet de sélectionner manuellement le massif qui va être utilisé pendant que les autres sont au repos. L'alternance d'alimentation des filtres

verticaux doit être régulier et le manque de rigueur quant à ce suivi est doublement dommageable car il conduit à surcharger le filtre qui aurait dû être mis au repos et cause des carences en eau pour les plantes, mais aussi en eau et en éléments nutritifs pour la biomasse.

2.6. Distribution des effluents sur les massifs filtrants

Les canalisations d'alimentation sont placées à environ 40 cm au dessus de la surface des filtres pour prévoir l'espace de la couche de matières accumulées qui peut atteindre une hauteur de 15 à 20 cm jusqu'au moment du curage (environ 1 cm par an). Une plaque de béton est placée juste en dessous du point d'alimentation pour casser le flux et permettre une distribution de l'eau la plus homogène possible dans tout le filtre. On dispose également du gros gravier sur un cercle d'environ un mètre de diamètre autour de la plaque en béton pour éviter que le lit ne soit creusé par le jet d'eau (zone anti affouillement).

Pour les filtres d'une dimension inférieure à 50 m² (ce qui est notre cas), un seul point d'alimentation par filtre, placé au centre, suffit à assurer une distribution homogène des effluents dans tout le massif filtrant. Tout déséquilibre de cette répartition entrainerait une perturbation des performances de traitement.

2.7. Système de drainage

Il est important de noter que le fond du filtre n'est pas plat : une pente de 10 cm permet de faire circuler les effluents vers la sortie. Un système de drainage au fond du lit permet ensuite la collecte des eaux traitées en sortie ainsi que la circulation d'air dans tout le filtre (par convection naturelle – effet « Venturi »). On a une cheminée d'aération en position haute et une prise d'air en point bas. Il convient d'espacer les drains de deux mètres environ : nous en placerons donc deux dans la longueur du filtre. Ces tubes, en PVC, ont un diamètre de 160 millimètres, c'est pourquoi la couche de gravier 20/40 en fond de filtre est d'une épaisseur de 20 cm pour recouvrir ces canalisations.

2.8. Fossé filtrant

A la suite du FPRV, le traitement des effluents est poursuivi par un fossé filtrant (également étanchéiste) qui permet de garantir et de fiabiliser dans la durée un bon niveau de rejet. Il est constitué de gravier sur 30 cm de profondeur où l'on irrigue des plantes (ornementales, semi-aquatiques...) ayant la particularité de capter les matières fines autour de leurs racines. De temps en temps, il faut « peler le tapis » de plantes et le secouer pour

enlever la matière organique que l'on place sur le côté du fossé en couverture de sol. Ce fossé permet également d'éviter le lâché de zooglyphes provenant du filtre (déchets de bactéries) directement dans le milieu naturel. Le fossé est dimensionné à 0,5m/EH et fait donc 25 mètres de longueur.

2.9. Point de prélèvement en sortie de filière

Il convient de prévoir une chute de la ligne d'eau d'environ 20 cm en sortie du fossé filtrant pour permettre le prélèvement des rejets, qui peut être effectué grâce à un godet.

Profil hydraulique

Le profil hydraulique est très important à déterminer. On utilise le dénivelé afin d'assurer une pente minimum entre chaque ouvrage. Ceci permet de garantir un débit de service minimum, notamment pour l'alimentation et pour l'auto curage des canalisations.

Nous avons représenté le fil d'eau tout au long de la filière sur le schéma du profil hydraulique (figure 12).

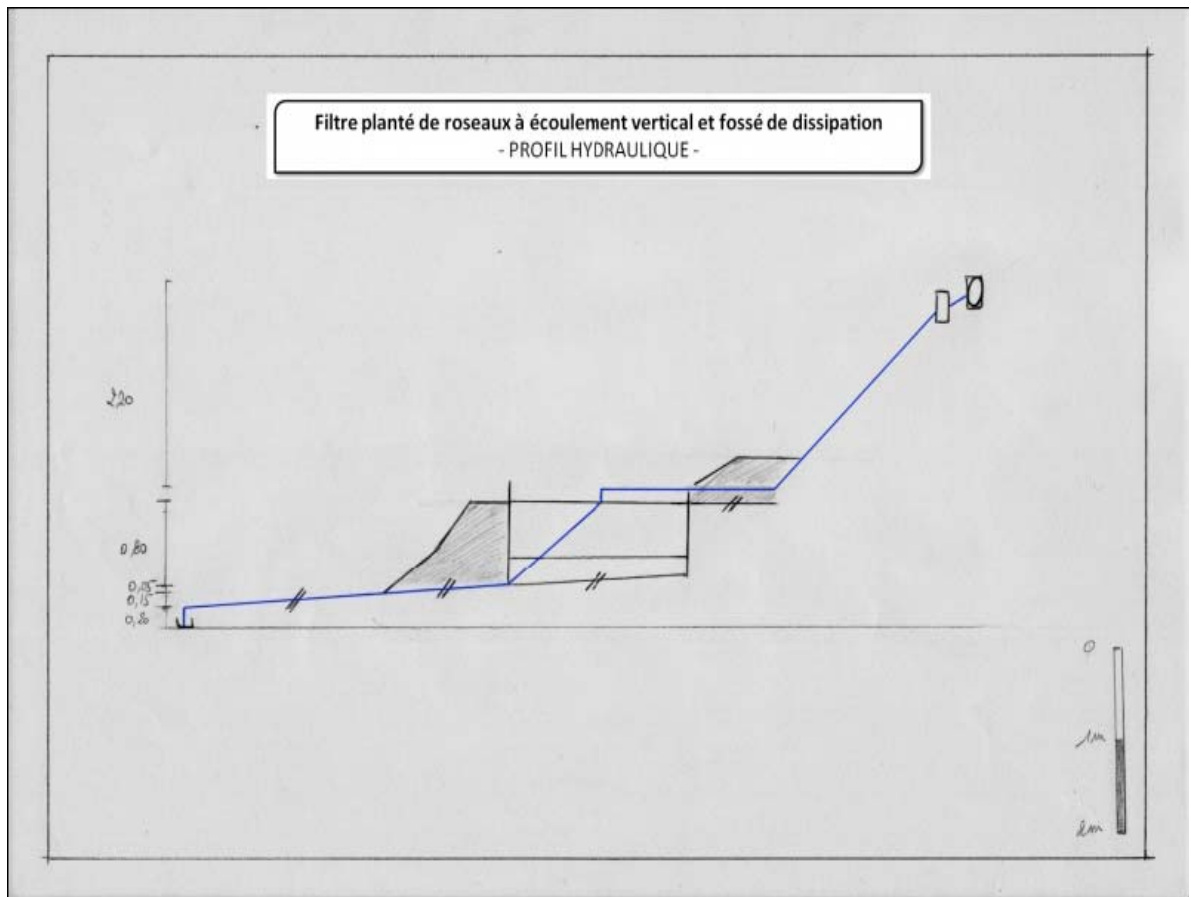


Figure 12. Profil hydraulique tout au long de la filière

On doit assurer le dénivelé suivant :

- 2,20 m entre le fil d'eau d'entrée (au niveau du dispositif d'alimentation) et la surface du lit.
- 0,80 m entre la surface du lit et le regard de sortie du lit.
- 0,05 m entre le regard du lit et le fossé filtrant (ces deux points sont séparés de 10 mètres linéaire et le dénivelé doit être d'au moins 0,5 cm par mètre linéaire, on obtient donc bien 5 cm).
- 0,15 m de dénivelé sur la longueur du fossé filtrant (celui-ci mesure 25 mètres de longueur, à raison de 0,5 cm de dénivelé par mètre linéaire, on obtient 12,5 cm, arrondi à 15 cm).
- 0,20 m nécessaires pour un point de prélèvement avec chute à la sortie du fossé filtrant.
- Au total, un dénivelé de 3,40 m est nécessaire entre fil d'eau d'entrée et d'arrivée.

2.10. Dispositifs annexes et considérations diverses

La canalisation d'alimentation du filtre est recouverte par environ 30 cm de terre. On réserve une garde hydraulique de 20 cm en haut du filtre de sorte à ce qu'il ne déborde pas en cas de pointe hydraulique forte.

Chaque habitation est raccordée à un collecteur principal (canalisations de diamètre 160 millimètres) grâce à des boîtes de branchement individuelles. Il n'est pas nécessaire de prévoir l'installation d'un déversoir d'orage puisque notre réseau est séparatif.

L'installation d'une clôture est obligatoire pour des raisons de sécurité. Elle doit s'élever à une hauteur de 1,5 mètre pour une installation privée. Il faut prévoir de réserver 3 mètres tout autour du filtre afin de laisser un passage pour la pelle mécanique lors du terrassement.

En cas d'absence prolongée des résidents, l'alimentation du filtre peut être insuffisante, ce qui serait défavorable pour les roseaux. On peut donc placer des vannes en amont et aval du bassin que l'on fermera afin de garder le système en eau.

La filière étudiée est conçue avec des « filtres à compost ». Tous les 15 à 20 ans, lors du curage, les matières sont placées sur le bord du filtre, ainsi que les roseaux lors du faucardage une fois par an. Ce mélange de matière azotée et carbonée aboutit à un compost de très bonne qualité.

3. Plans

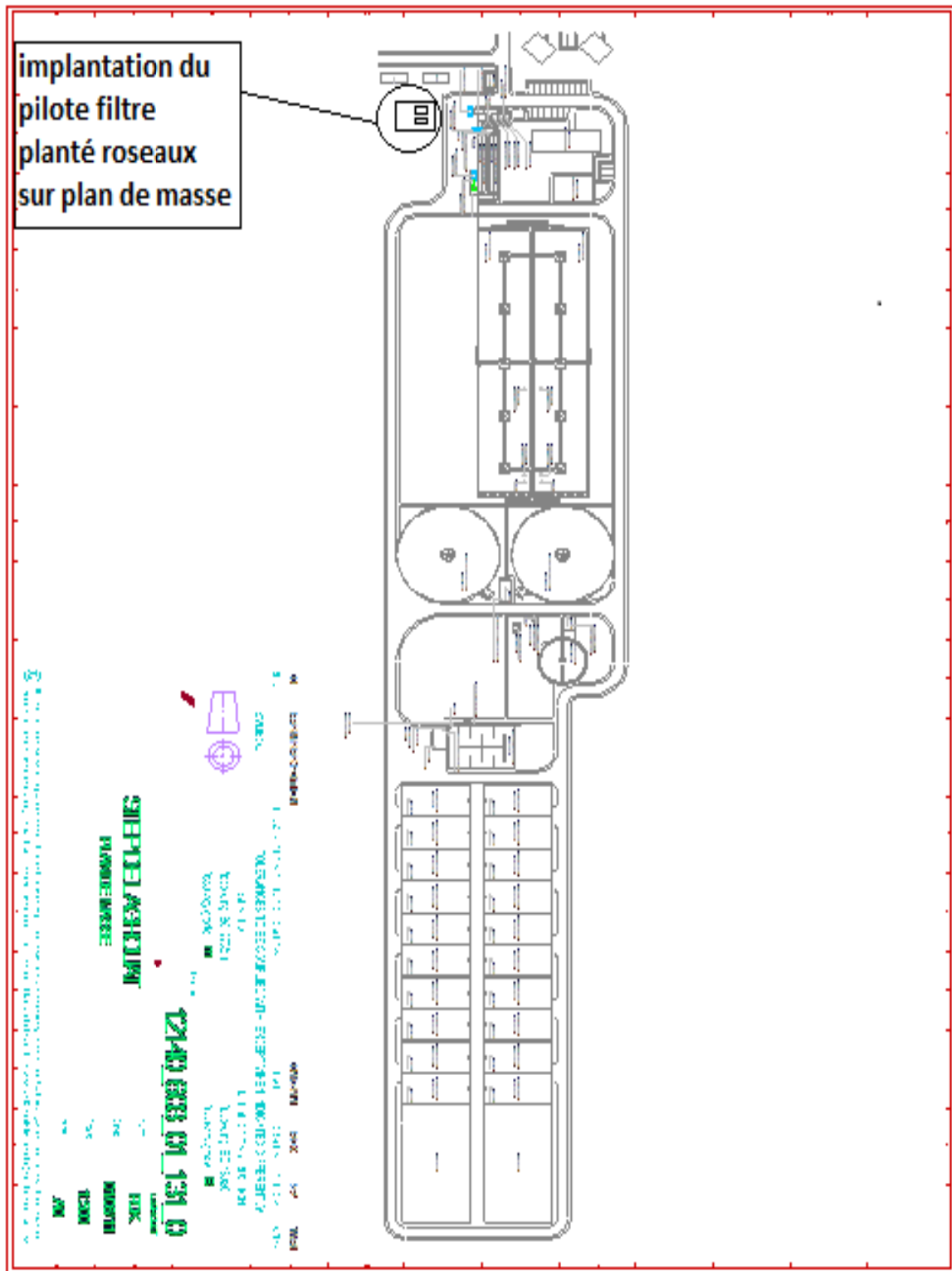


Figure 13 : Le plan de masse de la station d'épuration

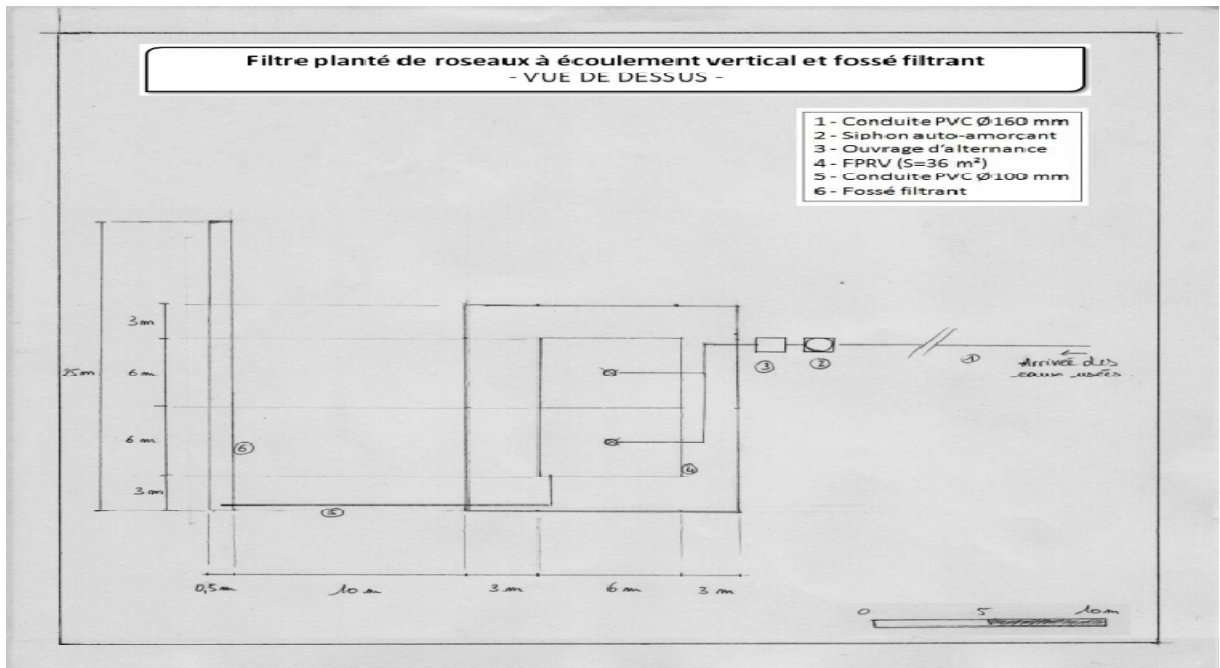
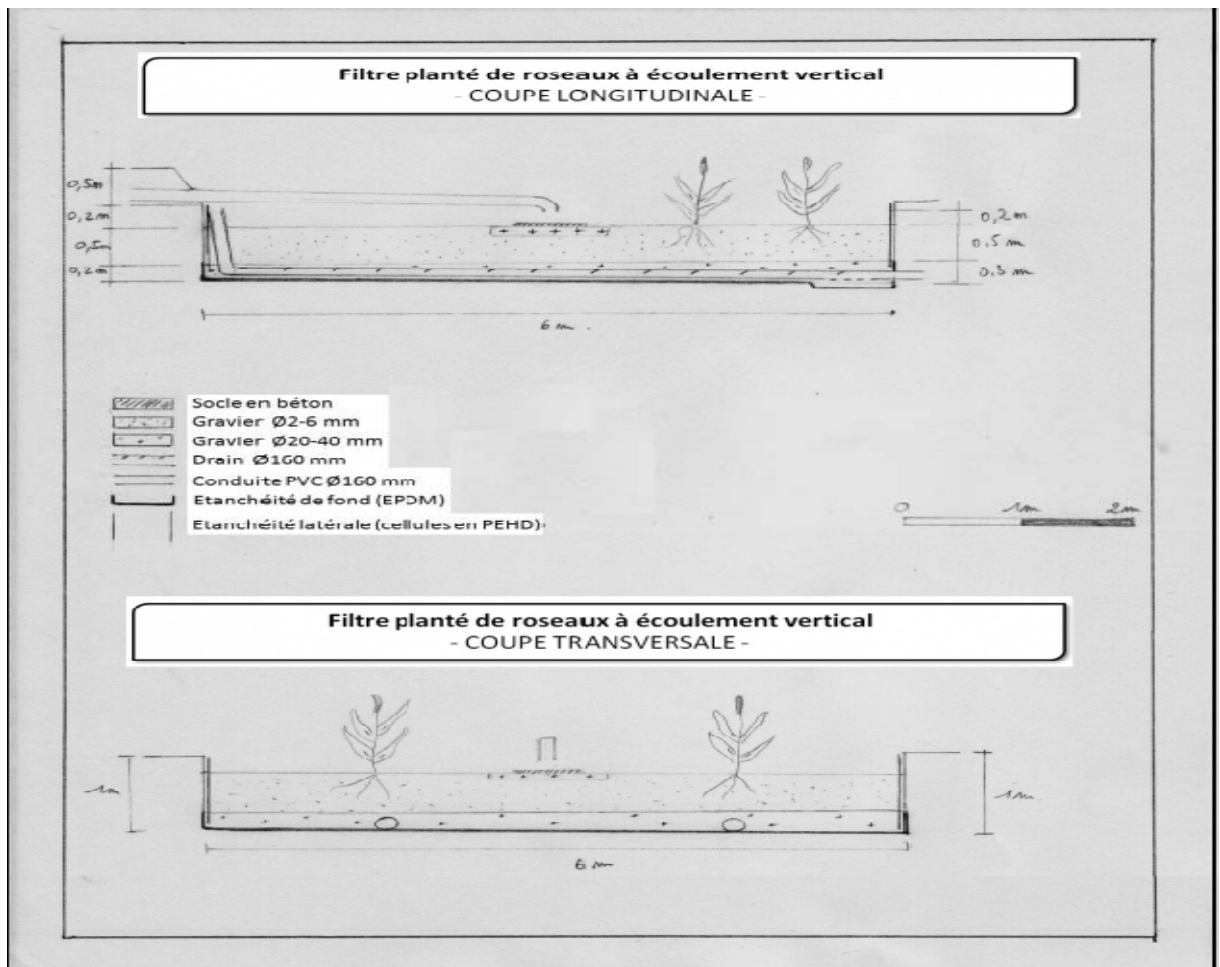


Figure 14 : Vue de dessus du filtre planté de roseaux à écoulement vertical



Figures 15 et 16 : Coupe longitudinale et coupe transversale du filtre planté de roseaux à écoulement vertical

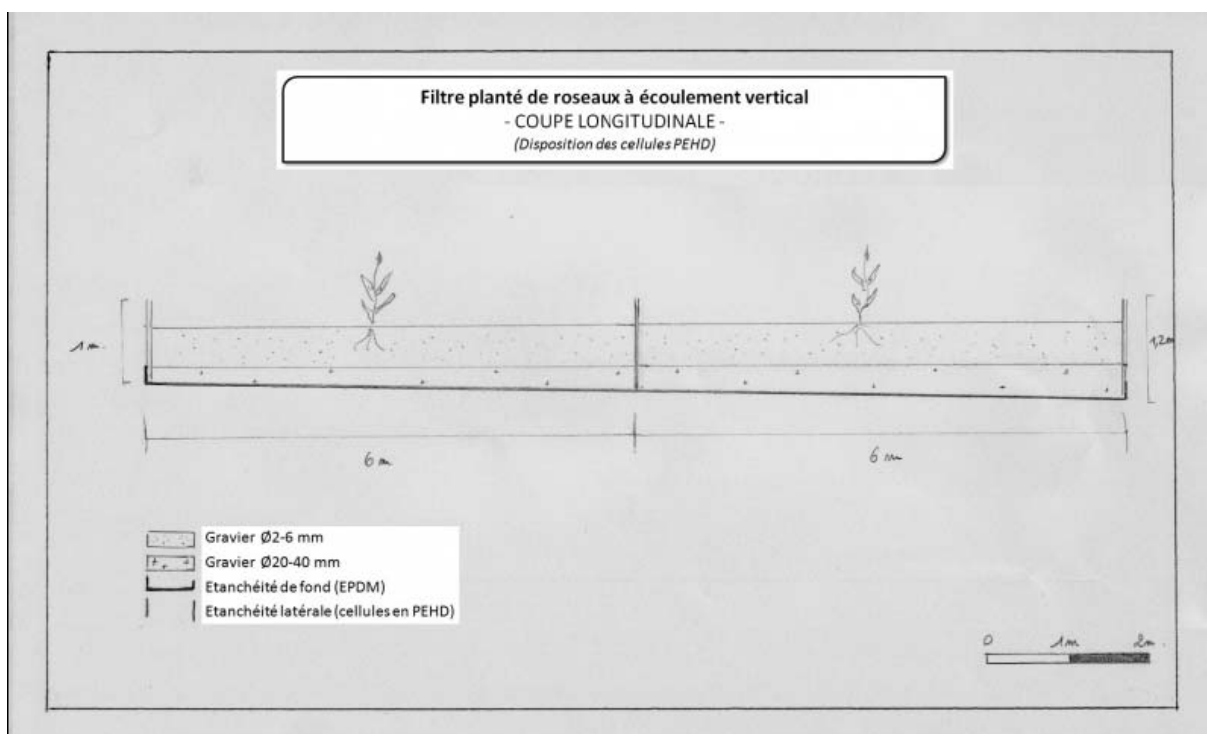


Figure 17 : Coupe longitudinale du filtre planté de roseaux à écoulement vertical :
disposition des cellules en PEHD

4. Performances épuratoires

Il est important de noter que le bon fonctionnement du dispositif d'alimentation par bâchées, la sélection des bonnes durées d'alimentation/repos par filtre ainsi que la bonne répartition de l'eau sur le massif sont des points clés pour la garantie des bonnes performances de la filière. Le système fonctionne dès sa mise en route, mais le rendement devient optimal au bout de trois à quatre mois.

Voici quelques valeurs de rejets obtenus en sortie d'une de la filière installées à la station d'épuration de Laghouat (pour 167 000 EH) :

- DBO5 < 28 mg/L (avec 328 mg/L en entrée ; soit environ 91 % de rendement).
- DCO < 47 mg/L.
- MES < 26 mg/L.
- NTK < 40 mg/L en moyenne.

Ces résultats sont valables uniquement pour la station concernée, et chaque installation aura ses propres rendements mais on peut considérer que les performances épuratoires restent aux alentours des valeurs citées ci-dessus.

Les roseaux contribuent à l'élimination de l'azote et de phosphore pour la synthèse de leurs cellules. Ce mécanisme est cependant minime comparé aux rendements globaux.

5. Calcul de la perméabilité

Ce calcul permet de mesurer la conductivité hydraulique à saturation d'un sol (ou perméabilité), celle-ci définissant l'aptitude du sol à permettre l'infiltration de l'eau et donc des futurs effluents.

Le nombre de points de mesure dépend de l'homogénéité présumée du terrain, nous avons choisi de proposer de réaliser qu'un seul essai, aux vues des résultats des profils de sol, celui-ci va être effectué au niveau du point bas de l'axe de levés topographiques, autrement dit à l'emplacement potentiel de la zone d'infiltration des eaux usées prétraitées.

Normalement, le test de Porchet devrait être réalisé à niveau constant grâce à un infiltromètre, cependant, nous ne disposons pas de cet appareil donc nous proposons d'opérer un test plus simple, pour se faire, nous proposons de creuser un trou circulaire de 60 cm de diamètre et de faible profondeur (60 cm), celle-ci est en fonction de la profondeur prévue pour l'épandage, à savoir 40 à 70 cm., de l'eau est versée régulièrement, à hauteur de 15 cm dans le fond du trou et ce pendant 4 heures, de façon à saturer le sol (figure 13). En effet, il est admis que le sol est en général saturé au bout de cette période et donc que la perméabilité est stabilisée, une fois la saturation terminée, le niveau est réajusté à 15 cm. Puis le volume d'eau percolé pendant une heure est relevé.



Figure 18 : photo illustrant le teste de perméabilité

Chapitre 3: Etude de faisabilité

Les conditions sont celles d'un sol saturé. On applique la loi de Darcy

$$Q = K \times S \times \left(\frac{H}{L}\right)$$

(formule 1)

Avec :

Q = Quantité d'eau percolée (en mm³/h)

H = Charge d'eau (en mm)

L = Longueur de la colonne de terre (en mm)

S = Surface de la section de la colonne (en mm²)

K = Conductivité hydraulique ou coefficient de perméabilité (en mm/h)

La loi de Darcy est appliquée à une colonne de sol saturée soumise à un écoulement unidimensionnel dans un milieu homogène et isotrope. Avec H/L : la pente hydraulique si H - L est négligeable, alors H/L est assimilable à 1. Dans notre cas, le niveau étant constant, le rapport H/L est constant, et voisin de 1.

Après simplification de la formule 1, on obtient la formule 5

$$K = \frac{Q}{S} \quad (\text{formule 2})$$

Avec :

K = Conductivité hydraulique ou coefficient de perméabilité (en mm/h)

S = Surface d'infiltration, correspondant à la totalité des surfaces en contact avec l'eau (en mm²) :

Or :

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\Pi \times r^2 \times h'}{t} \quad (\text{formule 3})$$

S = Surface latérale + surface du fond

$$S = (2\Pi \times r \times h) + (\Pi \times r^2) \quad (\text{formule 4})$$

Avec :

V = volume d'eau percolée (en mm³)

r = rayon du trou (en mm)

h' = hauteur de la lame d'eau percolée (en mm)

t = temps écoulé (en heure)

h = hauteur de la colonne d'eau (valeur initiale, en mm)

Soit :

$$K = \frac{\Pi \times r^2 \times h'}{t \times (2\Pi \times r \times h + \Pi \times r^2)} = \frac{r \times h'}{t \times (2h + r)} \quad (\text{formule 5})$$

On applique alors la formule 5

$$K = \frac{300 \times 60}{1 \times (2 \times 150 + 300)} = 30 \text{ mm/h}$$

Détermination du coefficient de perméabilité (K)

Chapitre 3: Etude de faisabilité

D'après le tableau.11, le sol présente donc les caractéristiques d'infiltration d'un sol perméable. Le coefficient de perméabilité est inférieur au seuil autorisant la mise en place d'un épandage souterrain par tranchées d'infiltration ($K=50$ mm/h), mais supérieur à celui d'un filtre à sable non drainé. C'est pourquoi nous envisagerons ce dernier pour le traitement des effluents.

Tableau 13. Classe de perméabilité des sols en fonction de la valeur du coefficient de perméabilisé

Fourchette de valeurs du coefficient de perméabilité K (en mm/h)	0 à 6	6 à 10	10 à 20	20 à 50	50 à 500
Type de sol	Sol imperméable	Sol très peu perméable	Perméabilité médiocre	Sol perméable	Sol très perméable

6. Matériels et méthodes d'analyse

Des prélèvements hebdomadaires des eaux usées et des eaux traitées vont être effectués pendant deux mois aux laboratoires de la station d'épuration. Les analyses vont porter sur les principaux paramètres susceptibles de caractériser ces eaux. L'étude va être réalisée dans des conditions réelles.

6.1. Protocoles et méthodes d'analyse Physico chimiques

La DCO est déterminée par oxydation au dichromate de potassium en milieu acide conformément à la norme AFNOR T-90-101. La détermination de ce paramètre se fait suivant la méthode de détermination de l'indice permanganate obéissant à la norme (EN ISO 8467 : 1993). La lecture de la valeur de l'absorbance est faite par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 600 nm ou 420 nm selon la gamme de DCO choisie. La DBO5 est déterminée par la méthode manométrique avec des manomètres Oxitop WTW, selon la norme NF 90-103. Les concentrations en nitrates, nitrites, ammoniums et orthophosphates sont déterminées par la méthode colorimétrique, la lecture est faite au spectrophotomètre DR/2010 de HACH LANGE. Les paramètres physico-chimiques globaux (Température (T°), Potentiel hydrogène (pH), conductivité électrique (CE)) ont été mesurés *in situ* au moyen d'une sonde multiparamètres multi 340 i de WTW : de type Benchtop, HANNA, HI 221. (Norme NFT 90-017). La mesure de la matière en suspension est effectuée par la méthode de filtration sur filtre GF/C, (AFNOR, T90-101). Le sulfate est mesuré selon méthode de spectrométrie à la sulfanilamide (EN ISO5667).

Des statistiques descriptives (moyenne \pm écart-type) entre les éléments physico-chimiques sont tout d'abord présentées, ensuite la corrélation entre les différents paramètres de pollution et l'évaluation des valeurs significatives sont déterminées. Une analyse des données est déterminée par « L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) » qui permet de vérifier la signification des différences entre les produits physico-chimique et biologique par le test d'indépendance du Khi². Ce test permet de déterminer l'efficacité et le rôle des plantes dans l'élimination des polluants des eaux usées.

7. Période de plantation et densité

Les macrophytes peuvent être plantés en toute saison sauf en période de gel ou de grande chaleur, on plantera préférentiellement entre mars et septembre.

Une densité minimale de 4 plantes/m² doit être respectée, on peut aussi mettre en place des rhizomes (2 noeuds) seuls à raison de 5 par m².

On peut, pour le premier étage de filtres verticaux, adopter la surface plantée au taux de raccordement de la station et au volume journalier d'alimentation, en effet les eaux usées ne couvriront pas l'ensemble de la surface des filtres dès leur mise en service notamment en cas de sous charge initiale, les roseaux plantés au bord des filtres se développent donc mal, la plantation sur la seule zone humidifiée suffit, les autres zones seront envahies par les rhizomes à fur et à mesure que les débits d'eau usée augmentent et que les surfaces humidifiées s'étendent.

Sur le deuxième étage, grâce à la capillarité du sable, les conditions de développement des roseaux sont dès la mise en service favorables sur l'ensemble de la surface des filtres.

Pour les filtres horizontaux, il peut être intéressant de laisser une couche de quelques centimètres au-dessus de la surface, pendant le début de la croissance des plants (3 à 4 mois) pour le développement de mauvaises herbes.

Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons passé en revue le dimensionnement du pilote des filtres et les différents éléments des filières ainsi que la faisabilité d'une station d'épuration sur un pilote de laboratoire à la station d'épuration de la ville de Laghouat.

Conclusion générale

Conclusion générale

La technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées domestiques est une technique au développement récent. Apparue dans les années 80, cette technique de traitement a vu son développement s'accroître depuis 1997. La forte demande actuelle pour ce type de stations d'épuration de la part des élus et associations est réelle. Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues d'épuration. Ainsi, elle s'avère fortement recommandée pour les petites collectivités à faibles ressources financières.

Dans cette étude, il a été question la faisabilité d'une station d'épuration sur un pilote de laboratoire à la station d'épuration de la ville de Laghouat. et pour la comparaissent avec les résultats obtenus de la station d'épuration a boue activé de Laghouat.

Au terme de ce travail, nous pouvons aussi soutenir le rôle que peu jouer une telle station dans la préservation de l'environnement, par le fait qu'en cas de rejet dans les oueds, ces eaux traitées déjà sans odeur, ne polluent pas les nappes (phréatiques).

Les résultats qui aurait être obtenus du pilote de laboratoire ont pu permettre de confirmer la performance des filtres plantés de à traiter les eaux usées. Malgré la variation des concentrations, liée à la nature même des eaux usées, et à l'absence de prétraitement qui, parfois, réduit les concentrations de quelques paramètres (jusqu'à 30%), le traitement par filtres plantés à macrophytes semble être une alternative efficace et assez bien adapté aux eaux usées à charge polluante variable.

Toute fois, à ne pas négliger l'aspect esthétique paysager verdoyant, qu'offrent ces filtres plantés de roseaux.

Références Bibliographique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abibsi. N** : Réutilisation des eaux usées épurées par filtres (phytoépuration) pour l'irrigation des espaces verts, application à un quartier de la ville de Biskra. Magister UMK Biskra, 2011. P149
2. **Agence Régionale Pour l'Environnement, Provence Alpes et Cote d'Azur, 2007** : Guide pour la réalisation de station d'épuration par filtres plantés de roseaux. P14.
3. **Anctil. F** : L'eau et ses enjeux. Université Laval, Canada. 2^{ème} ed. deboeck 2016 p38.
4. **ARPE**, agence régionale pour l'environnement, 2012 "filtres plantés de roseaux").
5. **Bachi.O et Dr Bissati.S** : Caracteristiques des eaux uses domestiques epurees par les plantes (wwg), cas de la station du vieux ksar de temacine, Algerie Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2011 .
6. **Baha. S et Bensari.F** : Epuration des eaux usées domestique par les boues activées : étude de la performance de la STEP d'Ain El Houtz. Université Abou Bekr Belkaid, 2014, p90.
7. **Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A**, (2004), Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.
8. **BELBACHIR.S HABBEDDINE.S**: Etude d'un système d'épuration des eaux usées des localités de Nedroma et Ghazaouet. Thèse, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, 2017. P136.
9. **BENBLIDA, M**: L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique, Etude nationale Algerie. Plan bleu.PNUE/PAM, 2011, p24.
10. **BENSABER.I & OUALI.G** : La conception et le dimensionnement des filtres plantés de roseaux. Thèse, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah.Maroc. 2014, p34.
11. **BENSMINA-MIMECHE.L, DEBABECHE.M, SEGHAIRI.N et BENAMEUR.N** : Capacite de filtres plantes de macrophytes pour l'épuration des eaux uses dans le climat semi-aride. Université de Biskra. Courrier du savoir n°17,2013.
12. **BENYAGOUB.M, ADJIM.M et BENSAOULA.F** : L'épuration des eaux usées par des macrophytes. Université de Tlemcen, Algérie.2013. p4.

13. **BESSAH.R, 2014** : Gestion des ressources naturelles, valorisation de résultats de la recherche.CDER (centre de développement des énergies renouvelables) ;
14. **BETOUAF.N, 2012** : Réutilisation des eaux usées dans l'agriculture urbaine et périurbaine au Maghreb Arabe avantages et inconvénients. Thèse.Univers Abou-Bakr Blekaid Tlemcen, p93.
15. **BORNERT.G, BOUKBIR.L, CALVET.F, KOEHLE.O, JAAFAR.M et BORNERT.P** : Produire de l'eau en milieu aride : solutions alternatives issues de l'étude des écosystèmes. Bull. Acad. Vét. France. 2013. Tome 166-N°3.
16. **KHEMICI.Y, 2014** : Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique d'une eau usée épurée par un lit de plantes. Master profess. UKM Ouargla.
17. **Brix, H., Arias, C. A. (2005)**. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New danish guidelines. *Ecological Engineering*, p.500
18. **CABRIT-LECLERC.S** : Fosse septique, roseaux, bambous, traiter écologiquement ses eaux usées. BE, Eco-gestion d'habitats, 2009.
19. **Centre d'information sur l'eau (cieau), 2017** : <https://www.cieau.com/les-eaux-usees-une-realite-meconnue-mais-essentielle-2/>
20. **Conseil Général Loire** : Station d'épuration des petites collectivités, recommandations issues du retour d'expérience M.A.G.E 42, Loire. Rhône-Alpes, 2007
21. **DJALLEBIA, BOUTOUTAOU.D et ZEGGANE.H** : Phytoépuration en milieu saharien: cas de la STEP de Témacine. Université Kasdi Merbah Ouargla. 2015.
22. **DJELLOULI Y.** : Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du Sud-Oranais. Thèse 3ème cycle, UST. Alger ; p.178.
23. **Djellouli.Y, 2016** : Ressources en eau des zones arides : enjeux et complexité au Maghreb p181 ombredupalmier.com/wp-content/uploads/2016/08/ressources_eau_zones_arides_semi-arides_maghreb.
24. **D.P.S.B.** Direction de la programmation et suivi budgétaire ex D.P.A.T: Monographie de la wilaya de Laghouat, Algérie. 2014

Bibliographie

25. **DUFRESNE.K** : Traitement de polissage de drainage minier acide par marais épurateur. Thèse, école polytechnique de Montréal, 2015. P121.
26. **ECOSSE.D (2001)** :- Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sciences, Amiens, France, 62 p.
27. **Faby J.A., Brissaud F**, (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office.
28. **FAO**. (2003)., L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation.
29. <https://www.startupcafe.ch/vie-pratique/>
30. **Gabriela Vaccaa, Helmut Wandb, Marcell Nikolausza, Peter Kuschka, Matthias Ka., (2005)**. Effect of plants and filter materials on bacteria removal in pilot-scale constructed wetlands Water Research 39: p1361–1373.
31. **Gagnon.V et Brisson.J** : Les marais filtrants artificiels pour le traitement des polluants de source agricole. Institut de Recherche en Biologie Végétale. Montréal (Québec). 2014. p02.
32. **Grosclaude, G. (1999)** : L'eau usages et polluants.Ed INRA, Paris tomeII 1999.
33. **GFMTTE (Groupe français « macrophytes et traitement des eaux »), Agences de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse et Rhin Meuse**, Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes – Recommandations techniques pour la conception et la réalisation, juin 2005 ;
34. **HIMOUR ASMAA ETGUENDOZ AMIRA** Etude de l'utilisation des végétaux pour l'épuration des eaux usées, Université de Saïda 2017, p 59 et 60
35. **IEW (Inter Environnement Wallonie)** : Les techniques extensives d'épuration des eaux usées domestique. 2007.
36. **L'agence de l'eau Rhône Méditerranée** Epuration des eaux usées par filtres plantés de macrophytes - Recommandations techniques pour la conception et la réalisation Les Filtres Plantés de Roseaux à écoulement vertical en climat froid (montagne), , réalisé par Stéphanie Prost-Boucle, Pascal Molle et Olivier Garcia de l'Irstea, octobre 2017, p32.
37. **Journal Officielle, 2007** : Décret exécutif n° 2007-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation

- des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent, p. 8.
- 38. KHERBACH.N** : La problématique de l'eau en Algérie : Enjeux et contraintes. Université Abderrahmane MIRA (BÉJAIA), 2014, p268
- 39. Kirpichtchikova.T** : Phytoremédiation par Jardins Filtrants d'un sol pollué par des métaux lourds : Approche de la phytoremédiation dans des casiers végétalisés par des plantes de milieux humides et étude des mécanismes deremobilisation/immobilisation du zinc et du cuivre. Thèse.Doct- GrenobleI, 2009. P280 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00505033>
- 40. Labiad.R, 2015** ; Diachronique de La Dynamique des Aires Pastorales Dans La Wilaya de Laghouat Par L'utilisation de La Télédétection et du SIG, thèse Magis, UATLaghouat ; p137.
- 41. Lazarova.V et al**, « La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « L'eau, l'industrie, les nuisances », CIRSEE - Lyonnaise des Eaux, n°212, pp.39-46, mai 1998.
- 42. Medjdoub.T** : Etude, conception et dimensionnement d'une STEP par filtres plantés de roseaux des eaux usées des zones éparses de la commune de Terny, Master hydrolique, Aboubaker Belkaid-Tlem, 2014.
- 43. METAHRI Mohammed Saïd** : Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, Cas de STEP Est de ville de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012, pp 172.
- 44. Mimeche.L** : Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride -Application à la région de Biskra- Thèse, Doct- Université Mohamed Khider – Biskra. 2014, p159.
- 45. MOLLE P- LIENARD A. – BOUTIN C – MERLIN G – IWEMA A. – 2004** – Traitement des eaux usées par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France – Ingénieries EAT n° spécial 2004, 24-32
- 46. Mozas.M et Ghosn.a, 2013** : État des lieux du secteur de l'eau en Algérie, Etudes et Analyses. IPEMED.
- 47. M.A.T.E (MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT) 2002.** *Rapport annuel du Plan National d'Action pour l'Environnement et le Développement Durable* : PNAE-DD

48. **Nelson.M** : Wastewater Gardens International The Biosphere Foundation,2010
<http://www.biospherefoundation.org/> .
49. **OCDE, 2009** : Forum global sur l'eau et l'assainissement Paris, Dec 2009.
50. **OMM** : troisième Conférence mondiale sur le climat. 1997
51. **ONA** : Investir dans le développement durable: La réutilisation des eaux usées épurées. : Mme GHARZOULI.M Chef de Station d'Epuration de la ville de Séti,2014
52. **ONEMA.1**, office nationale (français) des eaux et des milieux aquatiques : Conception et exploitation des stations de traitement des eaux usées des petites et moyennes collectivités. EPNAC, Partenariat 2013-2015.p29.
53. **O.N.M** (Office nationale de météorologie) station de Lagouat. 2016
54. **ONEMA.2**, Quelles plantes pour les filtres plantés de végétaux dans les DOM ?
LOMBARD LATUNE.R, *irstea* 2014-2015. p76.
55. **ONU, 2017** : Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 - Les eaux usées une ressource inexploitée. ..
<https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-28664-rapport-onu-eaux-usees.pdf> risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.
56. **PHYTOTECHNO, SOCIÉTÉ QUÉBÉCOISE DE PHYTOTECHNOLOGIE** : Les marais filtrants. Montréal (Québec) Canada 2014. p12.
57. **POULET, J. B., TERFOUS, A., DAP, S. et GHENAIM, A.** (2004) : Station d'épuration a lit filtrants plantes de macrophytes. *Courier du savoir* n° 05 juin 2004.Université Mohamed Khider Biskra.
58. **RAJAONARIVELO Fanjatiana Justoberthe** La faisabilité de la phytoépuration des eaux usées dans la ville de Toliara, Madagascar. 2013
59. **Servat.E et Mahé.g**: Eau et zones arides : enjeux et complexité, *Sècheresse*, **2009**, p7-8.
60. **TINA, Startup café** : L'importance du traitement des eaux usées.Catégorie : vie pratique, Juil 2017.
61. **Swish, 98** : L'importance des eaux usées domestiques
<http://swish.fr/limportance-des-eaux-usees-domestiques/>

Bibliographie

- 62. UNESCO** : Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau. ONU, 2015. Université de Sidi Bel Abbes, Année 1999.
- 63. U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), 2000.** Manual Constructed Wetlands Treatment. a Technology Assessment, 200 pp
- 64. Viau.E** : L'utilisation des phytotechnologies pour améliorer la qualité des eaux de ruissellement issu des emprises routières. Thèse, Université environnement (Canada) 2014, p122.
- 65. Zeghoud.MS**: Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Thèse Université d'Eloued. , 2014