

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT



FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
Option : Ressources en eau

THEME

Etude de faisabilité de pilotes de stations de phytoépuration

*-Application à la station d'épuration de Djelfa et à la station de
lagunage aéré de TadjMout.*

Réaliser par :

BENYAGOUB Imane

Encadré par :

Mr. BOUACHE Mohammed

Membres de jury:

PRESIDENT: HAMLAT Abdelkader
EXAMINATEUR: DJEHICHE Abdelkader
EXAMINATRICE: HARATH Samira

Année 2016 / 2017

*« Certes, il y'a des travaux
pénibles ; mais la joie de la réussite
n'a-t-elle pas à compenser nos
douleurs ? »*

Jean de la bruyère





Dédicaces

*A l'homme de ma vie, mon exemple
éternel, mon soutien moral et source
de joie et de bonheur, celui s'est
toujours sacrifié pour me voir réussir,
que dieu te garde dans son vaste
paradis, à toi mon père.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur,
ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à mes frères :
Ahmed et Youcef et mes sœurs : Ichrak et Souad, mon neveu Rayane, ma
grand-mère, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en
premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à
mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin, mes aimables
amis, toi Ouidad, Nour el Imane, Ahmed. Y, Adel et Salim.*

*A tous les étudiants de la promotion 2016/2017
Option : Ressources en eau.*

A tous mes amis et collègues.

A tous les membres de Bridge Club.

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de
continuer...*

Imane.





Remerciement



*Je remercie dieu le tout
puissant de m'avoir donné la
santé et la volonté d'entamer
et de terminer ce mémoire.*

*Je tiens à remercier tout d'abord Mr. BOUACHE,
pour ses valeureux conseils et pour la confiance et
la sympathie qu'il m'a accordée en acceptant de
m'encadrer.*

*J'exprime toute mes reconnaissances a
Mr. HAMLAT, d'avoir bien voulu me faire
l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Mr
DJEHICHE. Et Mme. HARATH, membre de jury,
pour avoir accepté d'être examinatrice de ce
manuscrit.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Mr
BRIHOUM.H Et Mr. KISSARI.D. pour leurs
soutiens durant les traveaux*



pour traiter les eaux usées qui sont de différentes origine alors de différents caractéristiques l'être humain a développé plusieurs techniques, qui se divisent en techniques intensives et techniques extensives tels que la phytoépuration

Cet ouvrage a pour objectif principal l'étude de faisabilité d'un pilote de phytoépuration (*application à la station d'épuration de Djelfa et à la station de lagunage aère de TadjMout*). Qui est passé par deux étapes la première ce résumé essentiellement dans les recherches bibliographique sur la phytoépuration, la deuxième étape décrit le travail sur terrain : étude de faisabilité et dimensionnement et description de la filière.

Mots clés : phytoépuration- étude de faisabilité- techniques intensives/extensives- eaux usées

to treat wastewater which are from different origin so different characteristics, human being has developed several techniques, like intensive techniques and extensive techniques as pyto-purification

This work has one principal subject, which is possibility to make phyto-purification station in Djelfa and TadjMout stations. The work has twostapes the first one is bibliographic stadies, and the second one is outside work : feasibility study and sizing and description of the station.

key words : phyto-purification - feasibility study- intensive/ extensive techniques- wastewater.

لتصفية المياه القذرة التي تأتي من أصول مختلفة و بذلك مواصفات مختلفة. قام الإنسان بتطوير تقنيات مختلفة مثل التقنيات المكثفة والتقنيات الواسعة الـ مثل التصفية عن طريق النباتات .

هذا العمل يتمثل في إمكانية إنشاء محطة تصفية المياه في محطتي تاج موت و الجلفة .

الكلمات المفتاحية : التصفية عن طريق النباتات- إمكانية إنشاء- التقنيات المكثفة والتقنيات الواسعة
- المياه القذرة

Table des matières

Introduction générale	1
-----------------------------	---

PARTIE A

chapitre I: revue bibliographique des filieres d'epuration

Introduction	3
I.1 Origine et caractéristiques des eaux usées	3
I.1.1 Définition	3
I.1.2 Origine des eaux usées	4
I.1.3 Caractéristiques des eaux usées	4
I.2 Epuration des eaux usées	5
I.2.1 Les techniques intensives classiques.....	5
I.2.1.1 Les lits bactériens	6
I.2.1.2 Les disques biologiques	6
I.2.1.3 Les boues activées	7
I.2.2 Les filières modernes	8
I.2.2.1 Bioréacteurs à membranes	8
I.2.2.2 Biofiltration	8
I.3 Les techniques extensives	9
I.3.1 Lagunage naturel.....	9
I.3.2 Lagunage aéré	12
I.3.3Filtres à sable draine /non draine	15
I.3.4 Tertre d'infiltration	17
I.3.5Les filtres plantés à écoulement vertical	18
I.3.6 Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	19
Conclusion	20

chapitre II: etude de la phytoepuration

Introduction	21
II.1Historique de la phytoépuration	21
II.2 Quel est le principe de la phytoépuration	23
II.3 Pourquoi choisir les roseaux pour l'épuration	24
II.4 Principe de fonctionnement	25

II.4.1 Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRV)	26
II.4.2 Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal (FPRH).....	28
II.5 Dimensionnement	28
II.6 Gestion et entretien	29
II.7 Risques inhérents au système	29
II.8 Performances épuratoires	30
II.9 Avantages et inconvénients	31
II.10 Rappel de la réglementation	31
II.11 Plantes utilisées	32
II.12 Les mécanismes d'élimination de l'azote	33
II.13 Mécanisme d'abattement du phosphore	34
Conclusion	35

PARTIE B

chapitre I: études de la faisabilité

Introduction	36
I.1 Etude de faisabilité dans la station de Tadjmout	36
I.1.1 Etude topographique	39
I.1.2 Etude de la végétation	40
I.1.3 Etude des profils de sol	41
I.1.4 Test de perméabilité	41
I.2 Etude de la faisabilité dans la station de Djelfa.....	46
I.2.1 Etude topographique	48
I.2.2 Etude de la végétation	48
Conclusion	49

chapitre II: études des filières d'épuration

Introduction	50
II.1 Dimensionnement et implantation sur le site du filtre planté de roseaux pour la station de Tadjmout 51 EH	50
II.1.1 Détermination de la filière	50
II.1.2 Dimensionnement de l'installation	51
II.1.3 Description des différents éléments de la filière	52
II.1.3.1 Substrat	Erreur ! Signet non défini.
II.1.3.2 Etanchéité	Erreur ! Signet non défini.

Table des matières

II.1.3.3 Les systèmes de bâchées	Erreur ! Signet non défini.
II.1.3.4 Dispositif d’alternance	55
II.1.3.5. Distribution des effluents sur les massifs filtrants	55
II.1.3.6. Système de drainage	56
II.1.3.7 Le rejet	57
II.1.3.8 la pompe	57
II.2 Dimensionnement et implantation sur le site du filtre planté de roseaux pour la station de Djelfa pour 20EH	58
II.2.1 Détermination de la filière	58
II.2.2 Dimensionnement de l’installation	59
II.2.3 Description des différents éléments de la filière	59
II.2.3.1 Substrat	59
II.2.3.2. Etanchéité	60
II.2.3.3. Les systèmes de bâchées	Erreur ! Signet non défini.
II.2.3.4. Dispositif d’alternance	Erreur ! Signet non défini.
II.2. 3.5. Distribution des effluents sur les massifs filtrants ..	Erreur ! Signet non défini.
II.2. 3.6. Système de drainage	Erreur ! Signet non défini.
II.2.3.7 Le rejet	Erreur ! Signet non défini.
II.2.3.8 la pompe	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
chapitre III: évaluations	
Introduction	Erreur ! Signet non défini.
III.1 Evaluation de l’étude de faisabilité	Erreur ! Signet non défini.
III.2 évaluation de l’étude des filières d’épuration	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale	Erreur ! Signet non défini.
Annexe.....	65
Bibliographie.....	66

Liste des abréviations

MES : Matières en suspensions.

PH : Potentiel Hydrogène.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

DBO : Demande Biochimique en Oxygène.

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours.

ERU : Eaux résiduaires urbaines.

FPR : Filtre plante de roseaux.

FPRV : Filtre plante de roseaux à écoulement vertical.

FPRH : Filtre plante de roseaux à écoulement horizontal.

EPDM : Caoutchouc synthétique.

PEHD : Polyéthylène haute densité.

PP : Polypropylène.

PVC : Polychlorure de vinyle.

DDASS : *Direction départementale des Affaires sanitaires et sociales.*

EH : Equivalent habitant.

Figure. 1: Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.....	6
Figure. 2: Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique	7
Figure. 3: Synoptique d'une boue activée - aération prolongée	8
Figure. 4: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel (d'après Agences de l'Eau, CTGREF).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure. 5: Schéma de principe d'un lagunage aéré (d'après Agences de l'Eau, CTGREF)	Erreur ! Signet non défini.
Figure. 6: Vue de dessus du filtre à sable non drainé	15
Figure. 7: Vue de dessus du filtre à sable drainé	17
Figure. 8 : Schéma d'un terre d'infiltration	18
Figure. 9 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical (Source : CEMAGREF).....	19
Figure. 10: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal (Source : CEMAGREF).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure. 11: La filtration par les roseaux.....	24
Figure. 12 : Filtre plante de roseaux à écoulement vertical (FPRV) en coupe transversale..	27
Figure. 13: Le Phragmites communis	Erreur ! Signet non défini.
Figure. 14: photo de la station de Tadjmout	38
Figure. 15 : Plan de la station de Tadjmout	39
Figure. 16 : photo qui montre le profil topographique	39
Figure. 17 : Photo des roseaux et des arbres existante dans le site.....	40
Figure. 18 : Photo des arbres de fruits	40
Figure. 19 : photo montre le profil du sol	41
Figure. 20: photo lors du creusement du trou.....	43
Figure. 21 : photo du trou carre de 30cm par 30 cm.....	43
Figure. 22 : photo lors du remplissage du trou.....	43
Figure. 23 : Les résultats obtenus sous forme de courbe de mesure de la perméabilité (mm/h)	44
Figure. 24: une image aérienne de la station.....	47
Figure. 25 : photo montre le profil du terrain.....	48
Figure. 26 : la végétation environnante	48
Figure. 27 : traçage de la forme des filtres	Erreur ! Signet non défini.
Figure. 28 : l'habillement du bassin par des géomembranes	53
Figure. 29: L'auget basculant	54
Figure. 30 : les canalisations d'alimentation.....	55
Figure. 31 : Alimentation d'un filtre plante de roseaux a écoulement horizontal	56
Figure. 32 : photos montrent deux types des systèmes de drainage.....	56
Figure. 33 : Photo de la pompe utilisée	57
Figure. 34 : traçage de la forme des filtres	58
Figure. 35: Photo d'un marais	Erreur ! Signet non défini.

Liste des tableaux

<i>Tableau. 1:Caractéristiques des eaux usées.....</i>	<i>4</i>
<i>Tableau. 2: avantages et inconvénients techniques.....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau. 3 : avantages et inconvénients du lagunage aéré.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau. 4 : Avantages et inconvénients de la filière des filtres plantes de roseaux.</i>	<i>31</i>
<i>Tableau. 5 : présentation de la station de Tadjmout</i>	<i>36</i>
<i>Tableau. 6: Rendements épuratoires de la station de tadjMout Janvier 2017.</i>	<i>37</i>
<i>Tableau. 7 : Charges de pollution éliminée station de TadjMout Janvier 2017.</i>	<i>38</i>
<i>Tableau. 8 : tableau des résultats obtenus de la perméabilité du sol.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau. 9 : Classe de perméabilité des sols en fonction de la valeur du coefficient de perméabilité.Enseeiht.2008-2009.</i>	<i>45</i>

Introduction générale :

L'eau est une ressource vitale pour l'homme, sa survie et son alimentation ; elle est également indispensable pour ses activités agricoles, industrielles et touristiques, et la qualité de son environnement.

Le traitement des eaux usées est devenu un impératif et un enjeu social et environnemental incontournable puisqu'un effluent non traité contamine le milieu naturel et celui de l'homme compte tenu des risques sanitaires qu'il présente. Néanmoins, les méthodes conventionnelles d'assainissement sont marginales du fait de leurs coûts capables de traiter efficacement les eaux.

La technique classique d'épuration (ou à boue activée) est généralement la plus utilisée dans la pratique. Un des inconvénients majeurs de cette technique est la forte consommation de l'énergie lors de l'homogénéisation et l'aération des eaux chargées. De plus, elle nécessite d'ajouter des additifs et des désinfectants. A la fin, on se heurte au problème de l'élimination des boues décantées qui s'accumulent généralement en amont avant le traitement par les bactéries.

Actuellement, il existe des alternatives connues, tant du point de vue technique, que du point de vue socio-économique : ce sont les méthodes naturelles de traitement des eaux usées.

Parmi elles, le système d'épuration par filtres plantés à macrophytes est le moyen le moins onéreux et le plus naturel pour le traitement des eaux usées urbaines. En effet, cette technique d'épuration dite la phytoépuration vent dire l'action de l'épuration des eaux usées en présence de plantes.

La phytoépuration se fait par l'action combinée de plantes et de microorganismes dans un lit filtrant. Les stations de phytoépuration s'intègrent parfaitement dans le paysage, sans aucun impact négatif. On peut dire que cette technique respect l'homme et la nature.

Le filtre planté de macrophyte est un mode de phytoépuration. La technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées de collectivités est une technique au développement récent ; apparu en France dans les années 80 ce type

de traitement a vu son développement s'accroître depuis 1997. Il s'agit d'une technologie fiable et simple, permettant la gestion intégrale des effluents, plus précisément les eaux et les boues.

Ce type de traitement a l'avantage d'être simple dans sa mise en oeuvre, écologique, économique, il garantit une très bonne qualité des rejets et en plus il ne provoque ni bruit ni odeurs.

En Algérie, à l'exception de la station de phytoépuration qui se trouve à N'Goussa, aucune installation de ce type n'est réalisée et pour cela nous sommes intéressés à étudier la faisabilité d'un pilote de station de phytoépuration dans la station d'épuration de Djelfa et à la station de lagunage aère de TadjMout.

Notre travail se présente en deux volets:

Une première partie bibliographique qui regroupe le nécessaire des connaissances théoriques de quelque filières non conventionnelle et celle en rapport avec notre thème et une deuxième partie expérimental.

Ces derniers se divisent en cinq chapitres :

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épurations.

Chapitre II : Etude de la phytoépuration.

Chapitre III : Etude de la faisabilité.

Chapitre IV : Etude de la filière d'épuration.

Chapitre V : Evaluation.

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

Introduction :

L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour réutiliser ou recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable.

Parmi les techniques, on distingue les filières d'épuration non conventionnelles, qui sont conçues pour des petites collectivités ou bien l'usage individuel.

Dans ce chapitre nous touchons quelque filière non conventionnelle, on étudiant le principe de fonctionnement, la performance, les avantages et les inconvénients de chaque filière.

Les filières étudiées sont les suivantes :

- lagunage naturel.
- lagunage aère.
- L'infiltration-percolation sur sable.
- les filtres plantes de roseaux à écoulement vertical.
- les filtres plantes de roseaux à écoulement horizontal.

I.1 Origine et caractéristiques des eaux usées :

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition, son origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration.

I.1.1 Définition :

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

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

I.1.2 Origine des eaux usées :

On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées par des eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urines ; toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole.

L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables. En plus des eaux de pluies, les eaux résiduaires urbaines sont principalement d'origine domestique mais peuvent contenir des eaux résiduaires d'origine industrielle d'extrême diversité. Donc les eaux résiduaires urbaines (ERU) sont constituées par :

- * Des eaux résiduaires ou eaux usées d'origine domestique, industrielle et/ou agricole
- * Des eaux pluviales ou de ruissellement urbain.

I.1.3 Caractéristiques des eaux usées :

Les principaux paramètres physicochimiques ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées :

Tableau. 1:Caractéristiques des eaux usées.

Paramètres Physiques	Paramètres Organoleptiques	Paramètres Chimiques	Paramètres Bactériologiques
-La température -La matière en suspension (MES)	-La Turbidité -La couleur	-Le potentiel Hydrogène (pH) -La Conductivité -L'Oxygène Dissous -La Demande Chimique en Oxygène (DCO) -La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) -L'azote -Les nitrates -L'azote ammoniacal -Le Phosphore -Le sulfate	-Les coliformes -Les streptocoques fécaux et Enterococcus -Les bactéries sulfite-réductrices

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

I.2 Epuration des eaux usées :

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 est démontré sous le vocable de lagunage ou phytoépuration.

Les méthodes classiques de traitements :

La ligne de traitement complète des eaux résiduaires peut être schématiquement scindée en deux filières :

La filière eau dans laquelle l'eau est débarrassée de tous les polluants avant son rejet dans le milieu naturel;

La filière boue dans laquelle les résidus générés par la filière eau sont traités et déshydratés avant leur évacuation.

La filière eau comprend généralement :

Un prétraitement pour l'élimination des objets de taille comprise entre 0, 1 et 50 mm (dégrillage, tamisage), des graisses et du sable,

Un traitement primaire pour l'élimination des matières en suspension facilement décantables,

Un traitement secondaire composé d'un réacteur biologique pour l'élimination de la pollution biodégradable organique (DBO5) ou minérale (NH₃, NO₃⁻, P).

Dans le traitement secondaire on trouve :

*Les techniques intensives classiques.

*Les techniques extensives.

I.2.1 Les techniques intensives classiques :

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs.

Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel.

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

Trois grands types de procédés sont utilisés :

I.2.1.1 Les lits bactériens :

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux.

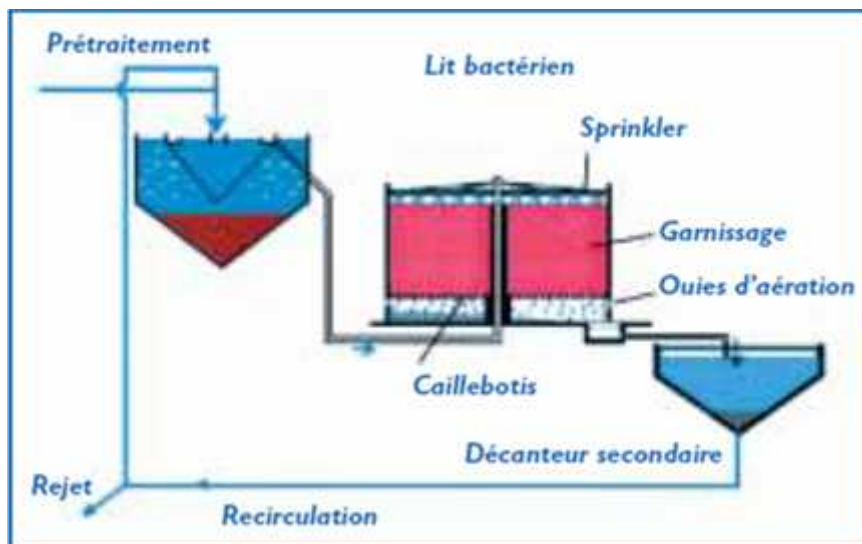


Figure. 1: Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien

(D'après site internet de Cartel : <http://www.carteleau.org> - rubrique guide des services)

I.2.1.2 Les disques biologiques :

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants.

Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

Il convient, sur ce type d'installation, de s'assurer :

- de la fiabilité mécanique de l'armature (entraînement à démarrage progressif, bonne fixation du support sur l'axe),

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

- du dimensionnement de la surface des disques (celui-ci doit être réalisé avec des marges de sécurité importantes).

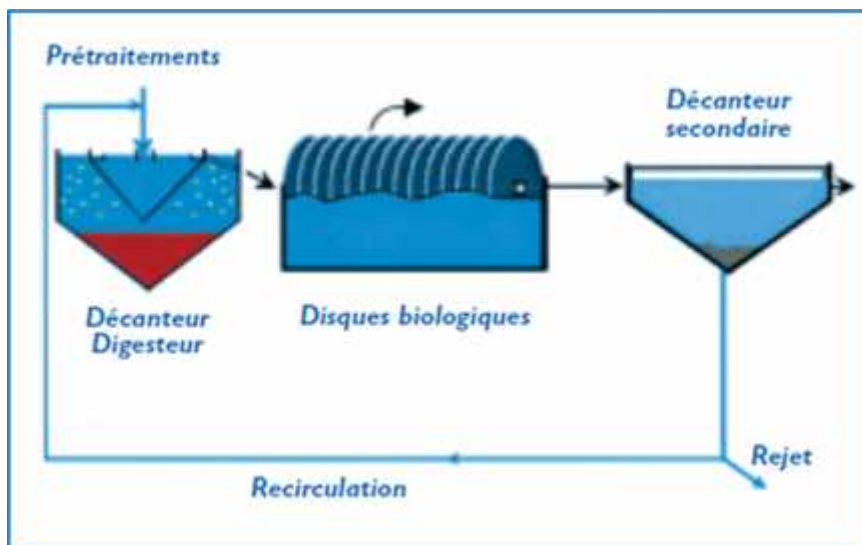


Figure. 2: Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique
(D'après site internet de Cartel : <http://www.carteleau.org> - rubrique guide des services)

I.2.1.3 Les boues activées :

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'auto-épuration que l'on rencontre dans les milieux naturels.

Le procédé "boues activées" consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées liquides, bactériologiquement très actives. La dégradation aérobie de la pollution s'effectue par mélange intime des microorganismes épurateurs et de l'effluent à traiter. Ensuite, les phases "eaux épurées" et "boues épuratrices" sont séparées.

Une installation de ce type comprend les étapes suivantes :

- les traitements préliminaire et, éventuellement, primaire ;
- le bassin d'activation (ou bassin d'aération) ;
- le décanneur secondaire avec reprise d'une partie des boues ;
- l'évacuation des eaux traitées ;
- les digesteurs des boues en excès provenant des décanneurs.

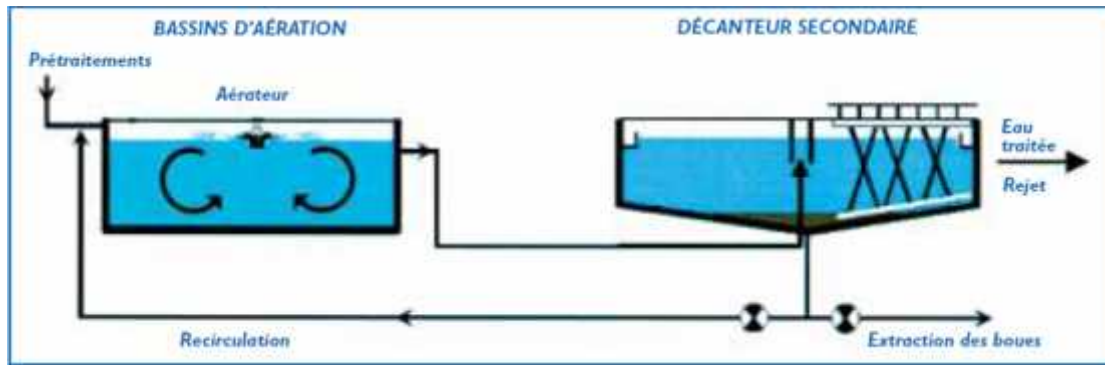


Figure. 3:Synoptique d'une boue activée - aération prolongée

(d'après site internet de Cartel : <http://www..carteleau.org> - rubrique guide des services)

I.2.2 Les filières modernes :

I.2.2.1 Bioréacteurs à membranes :

La technologie des bioréacteurs à membrane est basée sur le procédé de boues activées. Un ensemble de micro-organismes contenus dans un réservoir dégradent la matière organique provenant d'un effluent entrant. Cette consommation entraîne la croissance de la biomasse qui décante. La séparation entre l'eau à traiter et les micro-organismes se fait donc par différence de densité.

Toutefois, des problèmes de décantation sont observables lorsque la biomasse n'est pas suffisamment alimentée en oxygène ou bien lorsque la température est trop faible. Il est donc nécessaire d'installer un système de séparation physique afin de recueillir les eaux traitées et de conserver la biomasse active à forte charge dans le réacteur.

Un système de membranes de micro ou ultra-filtration est alors couplé au procédé. Il existe deux grands types de bioréacteurs à membrane : les bioréacteurs à membrane "à boucle externe" (les membranes se situent alors à l'extérieur du réacteur) et les bioréacteurs à "membranes immergées".

I.2.2.2 Biofiltration :

L'épuration des eaux usées par biofiltration est une technologie biologique qui se caractérise par le fait que le développement de la biomasse apte à dégrader la pollution et le rôle de filtration qui permet de séparer l'eau claire des boues, sont réalisés dans un seul et même réacteur rempli d'un matériau support et filtrant.

La biofiltration peut traiter la pollution carbonée (DCO, DBO5) et /ou azotée en nitrification et dénitrification. Du fait de sa fonction « filtration », et quelque soit le

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

résultat final recherché, il est nécessaire d'abattre la concentration de l'effluent brut en matières en suspension (MES) à hauteur de 100 à 120 mg.L-1, par une décantation, généralement de type lamellaire, précédée par une étape de coagulation-floculation. Il est rarement envisagé de faire précéder la biofiltration par une filière boues activées à forte charge.

I.3 Les techniques extensives :

Cultures libres :

Fonctionnement : principes en jeu

Le processus d'épuration par "cultures libres" repose sur le développement d'une culture bactérienne, de type aérobie principalement. L'oxygène provient de diverses sources selon les filières.

La culture bactérienne est ensuite séparée de l'eau traitée par mécanisme de sédimentation dans un ouvrage, le plus souvent, spécifique (clarificateur, lagune de décantation...).

I.3.1 Lagunage naturel

Principe de fonctionnement :

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique.

Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées "microphytes". Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau.

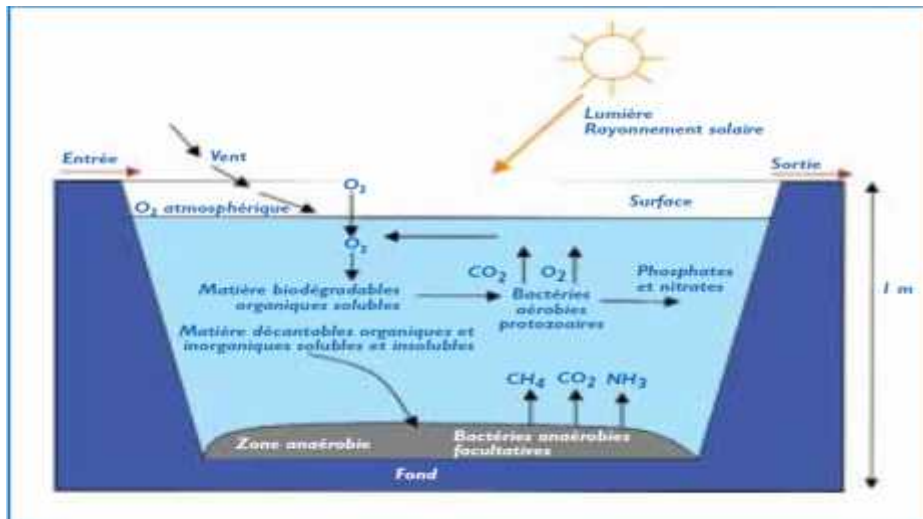


Figure. 4: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel (d'après Agences de l'Eau, CTGREF)

Performances :

Les rendements, calculés sur les flux de matière organique, atteignent en moyenne près de 70 % (plus de 85 % en ne prenant en compte que la DCO filtrée en sortie, brute en entrée), ce qui correspond à une concentration en DCO filtrée de 125 mg/l. De plus, le débit, et donc le flux rejeté, est souvent réduit en été (-50 %) par l'évapotranspiration.

Les concentrations en azote total au niveau du rejet sont très faibles en été, mais peuvent atteindre plusieurs dizaines de mg/l (exprimés en N) en hiver.

L'abattement du phosphore est remarquable les premières années (60 %), puis diminue pour atteindre un rendement nul au bout de 20 ans environ. Cette baisse est due à un relargage du phosphore depuis la vase du fond. Les conditions initiales seront restaurées par le curage des bassins (lorsque le milieu est sensible au phosphore, le curage doit avoir lieu au terme d'un délai plus court que les 10-12 ans généralement estimés et sur l'ensemble des lagunes).

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

La désinfection est importante, particulièrement en été (abattement > 10.000). Cette performance est liée au long temps de séjour de l'effluent (de l'ordre de 70 jours pour un traitement complet), à la compétition biologique et aux ultraviolets solaires.

Tableau. 2: avantages et inconvénients techniques.

Les avantages	Les inconvénients techniques
<ul style="list-style-type: none">_ Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ;_ L'exploitation reste légère, mais si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ;_ Elimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été) ;_ Très bonne élimination des germes pathogènes en été (4-5 logs), bonne en hiver (3 logs) ;_ S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ;_ Pas de construction "en dur", le génie civil reste simple ;_ Bonne intégration paysagère ;_ Absence de nuisance sonore ;_ Les boues de curages sont bien stabilisées (sauf celles présentes en tête du premier bassin) et faciles à épandre sur sol agricole	<ul style="list-style-type: none">_ Forte emprise au sol ;_ Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ;_ Performances moindres que les procédés intensifs sur la matière organique. Cependant, le rejet de matière organique s'effectue sous forme d'algues, ce qui est moins néfaste qu'une matière organique dissoute pour l'oxygénation du milieu en aval. Ce rejet reste faible en été (évapotranspiration), période la plus défavorable pour les cours d'eau, ce qui permet un rendement excellent en flux rejeté._ Qualité du rejet variable selon les saisons

I.3.2 Lagunage aéré :

Principe de fonctionnement :

Description générale :

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW/kg DBO5 éliminée).

Grands mécanismes en jeu :

Dans l'étage d'aération, les eaux à traiter sont en présence de micro-organismes qui vont consommer et assimiler les nutriments constitués par la pollution à éliminer. Ces micro-organismes sont essentiellement des bactéries et des champignons (comparables à ceux présents dans les stations à boues activées).

Dans l'étage de décantation, les matières en suspension que sont les amas de micro-organismes et de particules piégées, décantent pour former les boues. Ces boues sont pompées régulièrement ou enlevées du bassin lorsqu'elles constituent un volume trop important. Cet étage de décantation est constitué d'une simple lagune de décantation, voire, ce qui est préférable, de deux bassins qu'il est possible de by-passer séparément pour procéder à leur curage.

En lagunage aéré, la population bactérienne sans recirculation conduit :

- _ à une densité de bactéries faible et à un temps de traitement important pour obtenir le niveau de qualité requis ;
- _ À une floculation peu importante des bactéries, ce qui contraint à la mise en place d'une lagune de décantation largement dimensionnée.

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

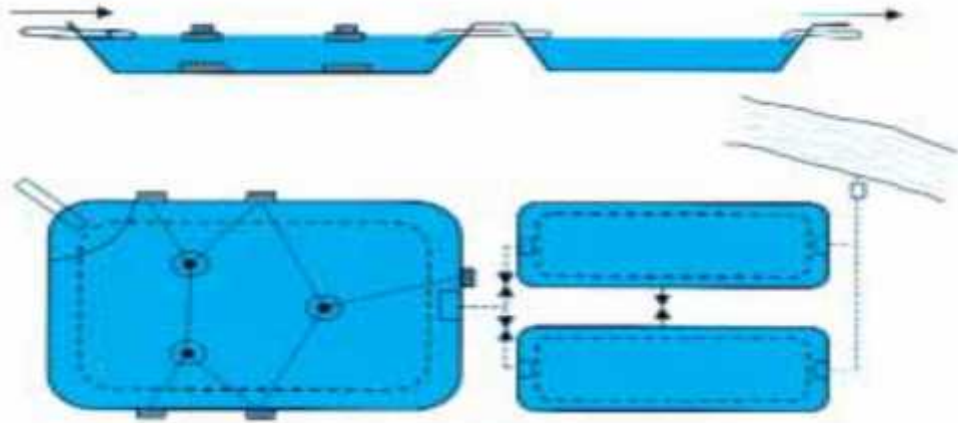


Figure. 5: Schéma de principe d'un lagunage aéré (d'après Agences de l'Eau, CTGREF)

Performances :

Le niveau de qualité de l'effluent est bon pour la matière organique : plus de 80 % d'abattement. Pour les nutriments, l'élimination reste limitée à l'assimilation bactérienne et reste de l'ordre de 25-30 %.

La filière se prête aisément à l'apport complémentaire d'adjuvants physico-chimiques en vue d'éliminer les orthophosphates.

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

Tableau. 3 : avantages et inconvénients du lagunage aéré

Les avantages	Les inconvénients techniques
<p>Ce procédé est particulièrement tolérant à de très nombreux facteurs qui engendrent, en général, de très sérieux dysfonctionnements dans les procédés d'épuration classiques :</p> <ul style="list-style-type: none">_ Variation de charges hydrauliques et/ou organiques importantes ;_ Effluents très concentrés ;_ effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamenteux en boues activées) ;_ Traitements conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables ;_ Bonne intégration paysagère ;_ Boues stabilisées ;_ Curage des boues tous les deux ans.	<ul style="list-style-type: none">_ Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ;_ Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé ;_ Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ;_ Forte consommation énergétique.

Les cultures fixées sur support fin :

Fonctionnement : mécanismes en jeu.

Les procédés d'épuration à culture fixées sur support fin consistent à faire ruisseler l'eau à traiter sur plusieurs massifs indépendants.

Les deux principaux mécanismes sont :

_ **Filtration superficielle** : les matières en suspension (MES) sont arrêtées à la surface du massif filtrant et, avec elles, une partie de la pollution organique (DCO particulaire) ;

_ **Oxydation** : le milieu granulaire constitue un réacteur biologique, un support de grande surface spécifique, sur lequel se fixent et se développent les bactéries aérobies responsables de l'oxydation de la pollution dissoute

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

(DCO dissoute, azote organique et ammoniacal).

L'aération est assurée par :

- _ Une convection à partir du déplacement des lames d'eau ;
- _ Une diffusion de l'oxygène depuis la surface des filtres et les cheminées d'aération, vers l'espace poreux.

I.3.3 Filtres à sable draine /non draine :

Principe de fonctionnement :

Si les effluents sortants de la fosse toutes eaux sont répartis sur un calcaire à tendance fissuré, la contamination des eaux souterraines est probable. En effet, le calcaire n'a pas de rôle épuratoire (ce n'est pas un sol mais une roche). Ces eaux devront être "filtrées" et épurées au travers d'un massif de sable avant de s'infiltrer en sous-sol.

- Le fond de fouille du filtre à sable vertical non drainé doit se trouver dans le sous-sol (ex : calcaire) dont il faudra s'assurer de la bonne perméabilité lors de l'exécution des travaux.
- Pour ce type de dispositif, préférez un sable roulé siliceux lavé de type 0/4 mm.

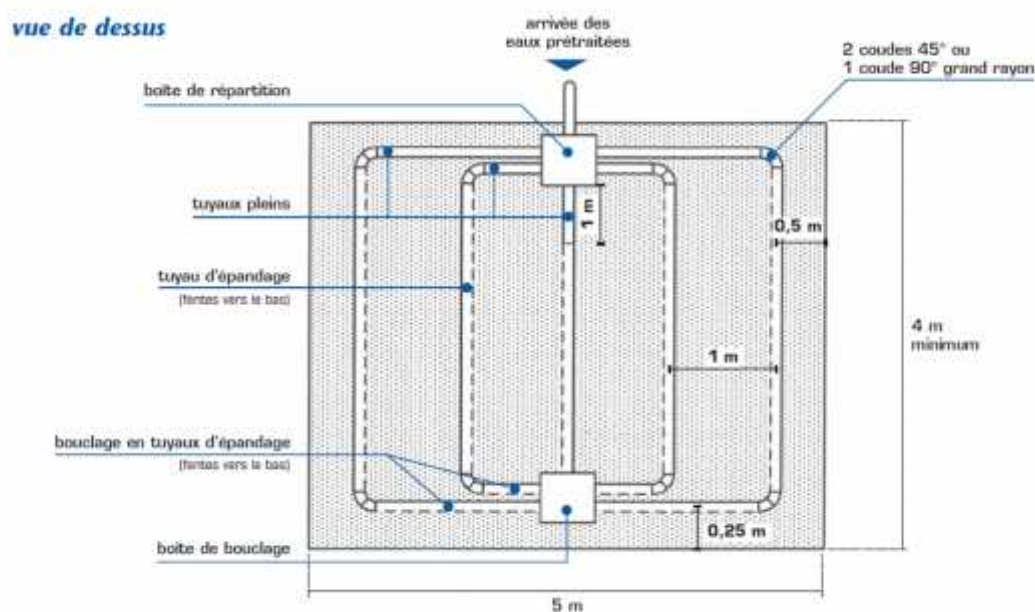


Figure. 6: Vue de dessus du filtre à sable non drainé

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

Filtre à sable drainé :

Épandage en solreconstitué :

Ce dispositif est à prévoir lorsque le sol est inapte à un épandage naturel et lorsqu'il existe un exutoire pouvant recevoir l'effluent traité.

Conditions de mise en œuvre :

Le lit filtrant vertical drainé se réalise dans une excavation à fond à pente identique à celle des tuyaux, d'une profondeur minimale de 1 m sous le niveau de la canalisation d'amenée. Les tuyaux d'évacuation sont posés avec une pente minimale de 0,5 %, de bas en haut, on observe :

- un film imperméable (si nécessaire),
- une couche de graviers roulés lavés (10-40 mm) de 0,10 m d'épaisseur dans laquelle des canalisations drainent les effluents traités vers l'exutoire,
- une géogridde perméable à l'eau et à l'air,
- une couche de sable siliceux lavé (0-40 mm) de 0,20 m d'épaisseur,
- une couche de graviers roulés lavés (10-40 mm) de 0,20 m d'épaisseur dans laquelle sont noyées les canalisations de distribution qui assurent la répartition sur le lit,
- un géotextile perméable à l'eau et à l'air qui recouvre l'ensemble,
- une couche de terre végétale de 0,20 m d'épaisseur.

Pose des tuyaux:

Les tuyaux d'évacuation sont posés avec fentes orientées vers le bas (pente jusqu'à 1 %).

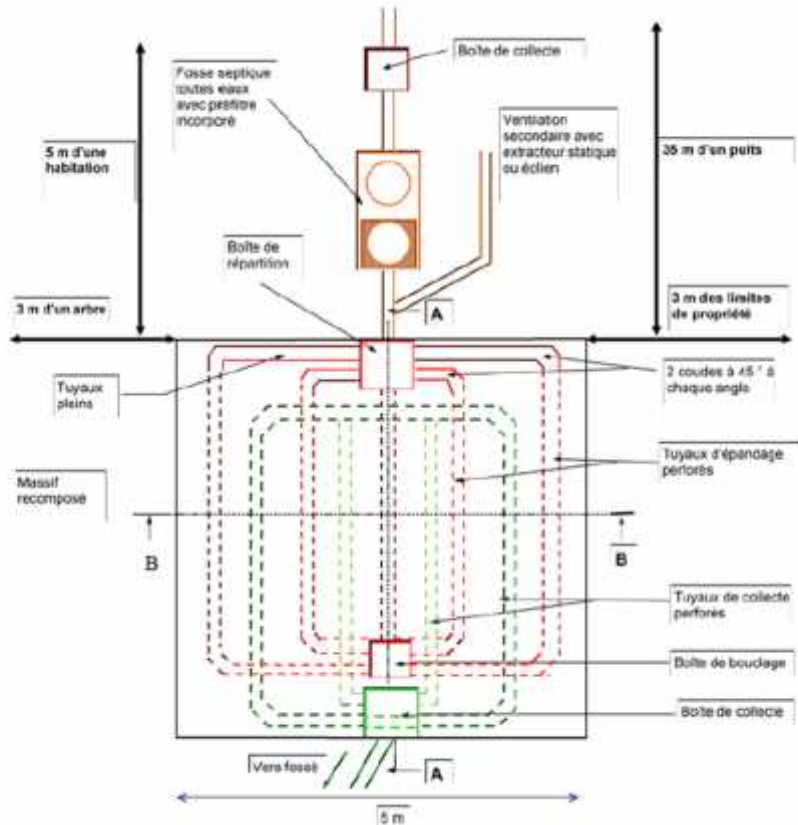


Figure. 7: Vue de dessus du filtre à sable drainé

I.3.4 Terte d'infiltration :

Le terte d'infiltration est inspiré du lit filtrant à flux vertical. Il se réalise sous forme d'un massif sableux hors sol. Les phénomènes sont les mêmes qu'à travers un épandage souterrain, l'épuration se faisant ici à travers un sol reconstitué surélevé par rapport au terrain naturel.

- Le terte d'infiltration utilise donc un système granulaire comme système épurateur et le sol en place comme moyen dispersant.
- La diffusion de l'effluent se fera en aval de la fosse toutes eaux à l'aide d'une pompe de relèvement (dans certain cas, le système peut être gravitaire).
- Le terte peut s'appuyer sur une pente, être en partie enterré ou être totalement hors sol.

CONDITIONS DE REALISATION

Ce dispositif exceptionnel est à mettre en place lorsque :

- La nappe phréatique se trouve à faible profondeur ($< 0,80$ m),
- Le sol récepteur possède une bonne perméabilité de surface.

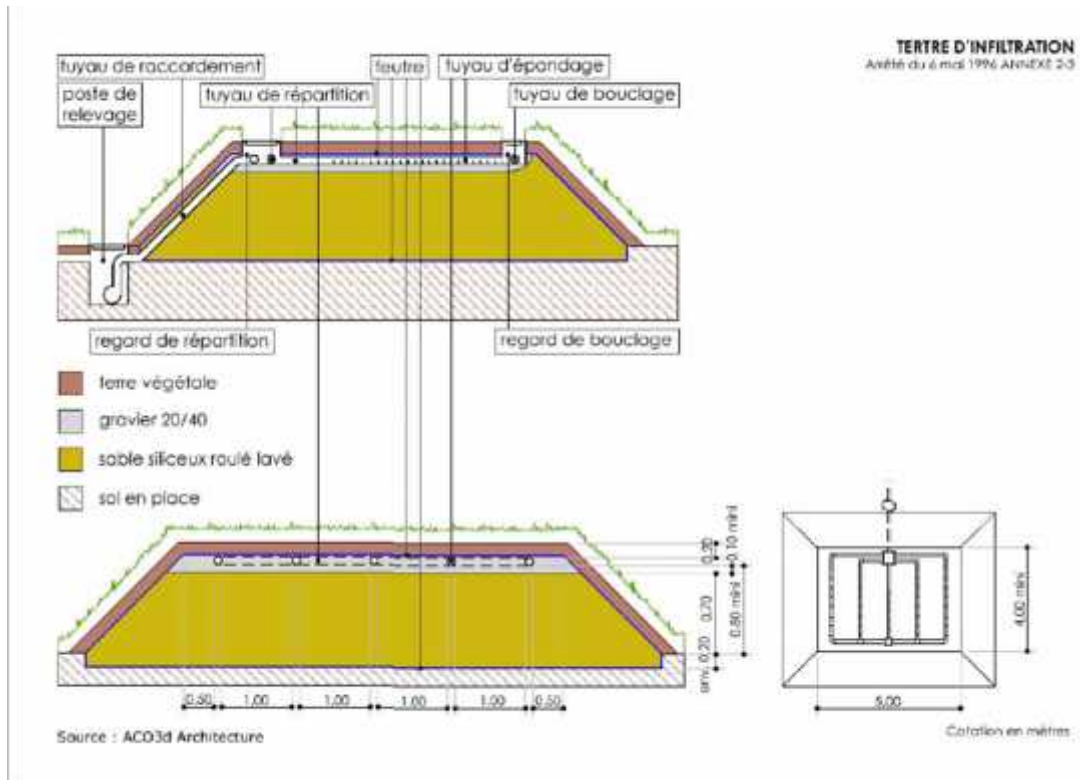


Figure. 8 : Schéma d'un tertre d'infiltration.

1.3.5 Les filtres plantés à écoulement vertical :

Principe de fonctionnement :

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

Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué. L'oxygène est apporté par convection et diffusion. L'apport d'oxygène par les racelles des plantes est, ici, négligeable par rapport aux besoins (Armstrong; 1979).

La filière se compose :

- D'un dégrillage ;
- D'un premier étage de filtres verticaux ;

-D'un second étage de filtres verticaux.

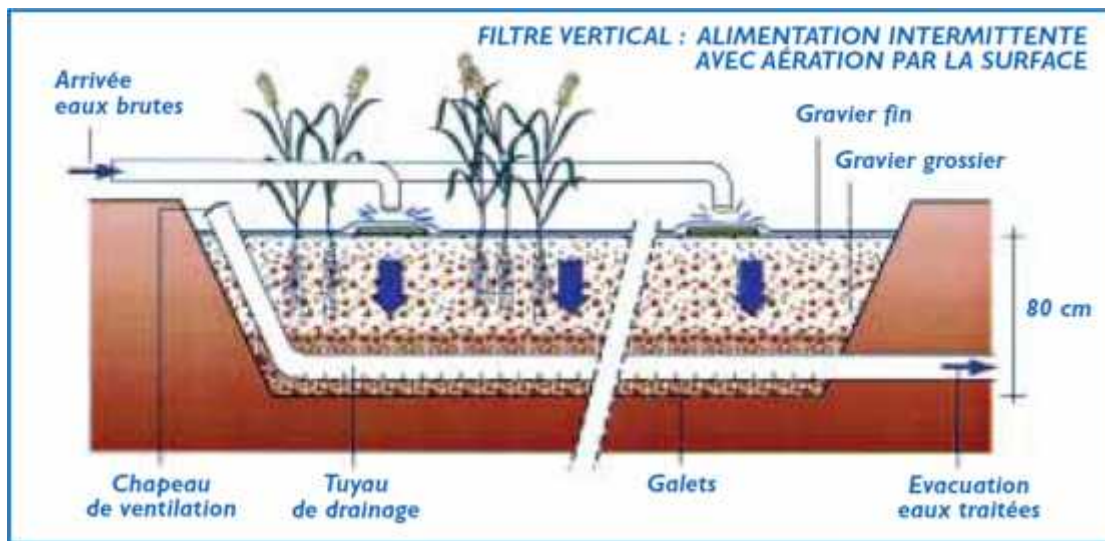


Figure. 9 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical (Source : CEMAGREF)

I.3.6 Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal :

Principe de fonctionnement :

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin ; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible.

L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse, et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau. En effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la chaîne de traitement ; il n'y a donc pas d'eau libre et pas de risque de prolifération d'insectes.

Chapitre I : Revue bibliographique des filières d'épuration

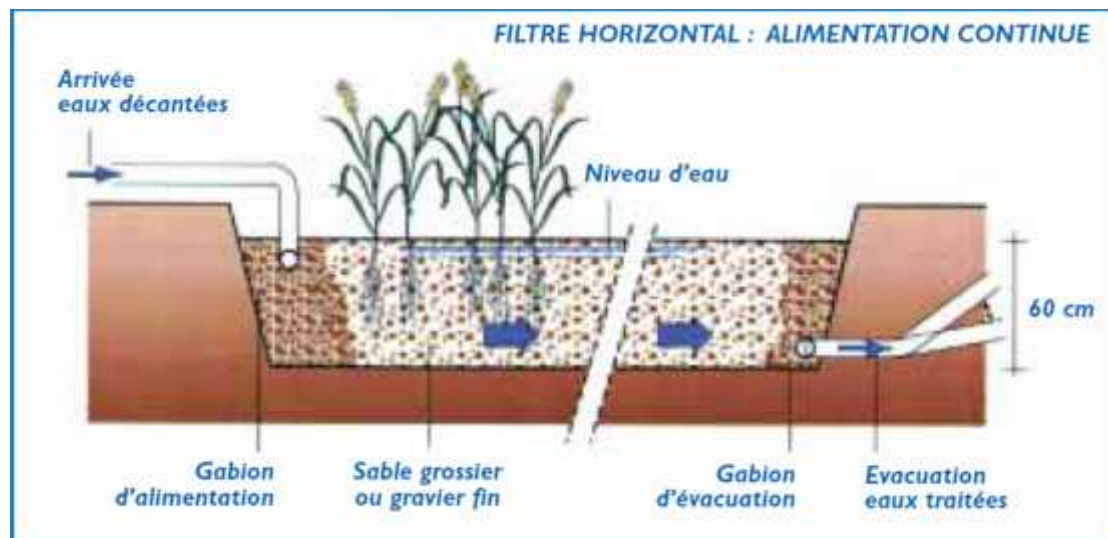


Figure. 10: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal (Source : CEMAGREF)

Conclusion :

Les eaux usées des différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre d'une part, les origines et caractéristiques des eaux usées, et d'autre part, les différentes méthodes utilisées pour leur épuration. L'intérêt consiste à trouver la méthode la moins coûteuse et celle qui présente une basse nuisance, ce qui est le cas des méthodes quasi nature tel que la phytoépuration.

Introduction :

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. La phytoépuration veut dire l'action de l'épuration des eaux usées en présence de plantes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser la dépuratation naturelle, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore. Les systèmes de phytoépuration sont utilisés pour la dépuratation d'eaux de différentes provenances et avec caractéristiques différentes. Cette technique présente quelques avantages relativement aux systèmes classiques d'épuration :

- fonctionne à faible frais d'exploitation ;
- peu de dépense d'énergie pour son fonctionnement;
- simple maintenance ;
- ne nécessite pas un personnel qualifié pour sa gestion.

La phytoépuration est avantageuse surtout pour les petites communes à population dispersée et pour les pays en voie de développement.

II.1 Historique de la phytoépuration :

Durant les deux dernières décennies les multiples fonctions et valeurs des marais ont été reconnus non seulement par les scientifiques et les sociétés exploitantes, mais aussi par le public. La capacité des marais de transformation et de stockage des matières organiques et des nutriments polluants permettant leur utilisation dans l'amélioration de la qualité des eaux usées, ce qui n'est pas une invention nouvelle ; en effet depuis longtemps l'homme évacuait les eaux usées et les marais naturels ont été plus ou moins impliqués dans l'épuration de ces eaux. L'assainissement des eaux usées est souvent orienté, directement ou indirectement, dans la nature.

La technologie de traitement des eaux usées en utilisant des plantes est apparue en Europe d'Ouest basée sur une recherche de SEIDEL qui a commencé durant les années soixante (1960's), et par KICKUTH à la fin des années soixante-dix (1970's) et dernièrement durant les années quatre-vingt (1980's). 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...

En 1955, SEIDEL discuta dans un rapport la possibilité « de diminuer la sur fertilisation, la pollution et l'envasement des eaux des terres intérieures à travers des plantes particulières permettant les eaux polluées de devenir capables de supporter la vie de nouveau ». L'auteur a proposé pour ce but le jonc commun « *Schoenoplectus lacustris* », ayant observé dans sa recherche que cette espèce est capable de retenir de grande quantité de substances organiques des eaux contaminées.

Dans des expériences supplémentaires durant les années cinquante 50's, SEIDEL a montré que *Schoenoplectus* améliore et enrichit le sol sur lequel il se développe, en bactérie et humus et ceci apparemment exsude les antibiotiques. Un rang de bactéries (Coliformes, Salmonella et Enterococci) évidemment disparaissent des eaux polluées en passant à travers une végétation de joncs.

Le système développé par SEIDEL comprend des séries de lits composés de sable ou gravier supportant une végétation aquatique immergée tel que la massette, le jonc, et le phragmite qui a été le plus communément utilisé, et dans la majorité des cas le plan d'écoulement été vertical.

Dans le nord d'Amérique, des observations de la capacité assimilative des terres émergées naturellement mène à l'expérimentation avec différents modèles de marécages construits durant les années soixante-dix 70's.

KICKUTH proposa l'utilisation de sols cohésifs au lieu du sable ou du gravier, la végétation préférée a été le Phragmites et le système d'écoulement a été horizontal.

Commençant en 1985, un nombre de systèmes de « lits de phragmites » a été construit en Angleterre basés sur les concepts de KICKUTH, mais plusieurs cas utilisaient le gravier au lieu des sols cohésifs dus à la conductivité hydraulique élevée

Un prélèvement effectif de la DBO5, d'azote, du phosphore et des composés organiques a été déclaré dans les recherches de KICKUTH. Comme résultat, en 1990 ; près de 500 systèmes de lits de phragmites ont été construits en Allemagne, Danemark, Australie et en Suisse. Les systèmes fonctionnelles comprennent des

unités pour famille individuelle sur site et des systèmes plus larges traitant des eaux usées ménagères et industrielles.

Les travaux de WOLVERTON en Louisiana ont commencé avec des gammes de plateaux (sur banc dans une serre) contenant du gravier et une végétation aquatique. En 1991, il y avait près de 60 systèmes fonctionnant ou en réalisation au sud central des Etats Unies.

Les travaux de GERSBERG ont été conduites sur plusieurs années, et ont concernés la profondeur de pénétration d'une variété de plantes (*Typha, Scirpus, Phragmites*).

En 1991 il y avait probablement au moins 80 systèmes en fonction dans plusieurs Etats, basés sur les critères et l'assistance du TVA.

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's, cette technique de traitement a vus son développement s'accroître depuis 1997. La forte demande actuelle pour ce type de station d'épuration de la part des élus est réelle. Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues d'épuration et qui, de surcroît, est bien acceptée par les habitants en raison de sa bonne aptitude à l'intégration paysagère.

Ainsi, elle s'avère fortement recommandée pour les petites collectivités et les pays à faibles ressources financières.

II.2 Quel est le principe de la phytoépuration ?

La phytoépuration comprend l'épuration par :

- Les **filières plantées de macrophytes**, qui favorisent la biodiversité des espèces végétales plantées dans les bassins. Une station d'épuration par filtres plantés de macrophytes fonctionne comme un marais naturel ;
- Les **filtres plantés de roseaux**.

Dans les deux cas, les eaux brutes (eaux grises et eaux vannes) passent à travers des bassins remplis d'un substrat minéral (sable, gravier, pouzzolane selon les cas) où sont plantés différents végétaux sub-aquatiques : roseaux, massettes, joncs, iris... (Espèces locales de préférence car elles sont adaptées au climat). Ces plantes,

et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites Communis* ou *Phragmites Australis*) ont la particularité de former un tissu racinaire et un réseau de galeries qui drainent, apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies. Ces bactéries, ainsi que la macrofaune du sol (lombrics...), ont un rôle de dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes. Ainsi le système ne produit pas de boues, lesquelles sont compostées et forment un humus sur place.

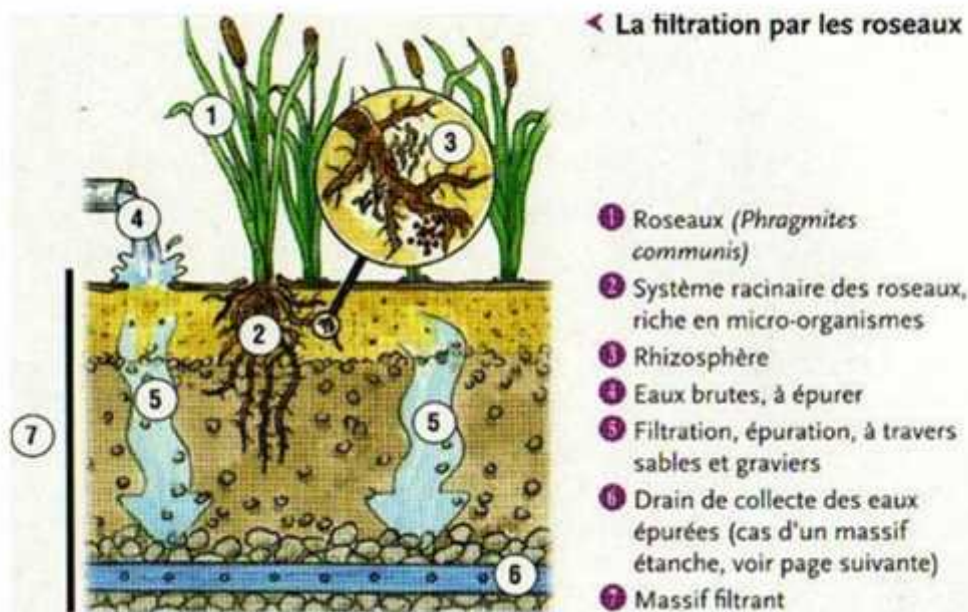


Figure. 11: La filtration par les roseaux

II.3 Pourquoi choisir les roseaux pour l'épuration ?

Les roseaux ont un système racinaire très développé. Ces racines, spécialisées dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux contenus dans le sol, accumulent des réserves et permettent à la plante de se fixer au substrat.

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.

Toute une population de bactéries, champignons et autres micro-organismes se concentre ainsi autour de la racine : on estime que les bactéries, dans cette zone privilégiée, sont 20 à 10000 fois plus nombreuses que dans un sol nu. 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.

Cette partie du sol où des organismes vivants sont associés est appelée la **rhizosphère**. L'activité microbienne au niveau de cette rhizosphère dépend de différents facteurs, comme la teneur en eau et en oxygène. Les bactéries fixées au niveau de cette rhizosphère sont aérobies : elles ont besoin d'oxygène pour dégrader la matière organique.

Outre leur implication, via leur système racinaire, dans la dégradation de la matière organique, les roseaux ont une action mécanique : avec le vent, ils cassent la croûte qui se forme à leurs pieds (dans le cas d'un filtre vertical seulement), ce qui permet de limiter les phénomènes de colmatage et de garantir la perméabilité du filtre en surface. Cette protection est possible grâce au mode de croissance très rapide des racines. La rhizosphère génère un système décolmatant grâce aux racines tubulaires (rhizomes traçants) et aux nouvelles tiges qui poussent à travers le massif filtrant et les boues accumulées. Les roseaux colonisent la totalité des casiers dès la deuxième année de fonctionnement.

L'intense réseau racinaire favorise la fixation des bactéries épuratrices sur les **rhizomes**.

Enfin, les roseaux offrent également une protection contre les faibles températures et protègent les bactéries contre l'action des rayons ultraviolets du soleil, qui sinon les tueraient.

II.4 Principe de fonctionnement :

On distingue deux types de filtres plantés :

- Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : l'eau s'écoule depuis la surface du lit vers l'intérieur, de manière verticale ;

- Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal : l'eau s'écoule dans le lit de manière horizontale.

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

Les stations de filtres plantés sont souvent des combinaisons de lits à écoulement vertical et/ou horizontal, en parallèle et/ou en série qui permettent d'assurer le prétraitement et le traitement des eaux usées.

II.4.1 Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRV) :

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

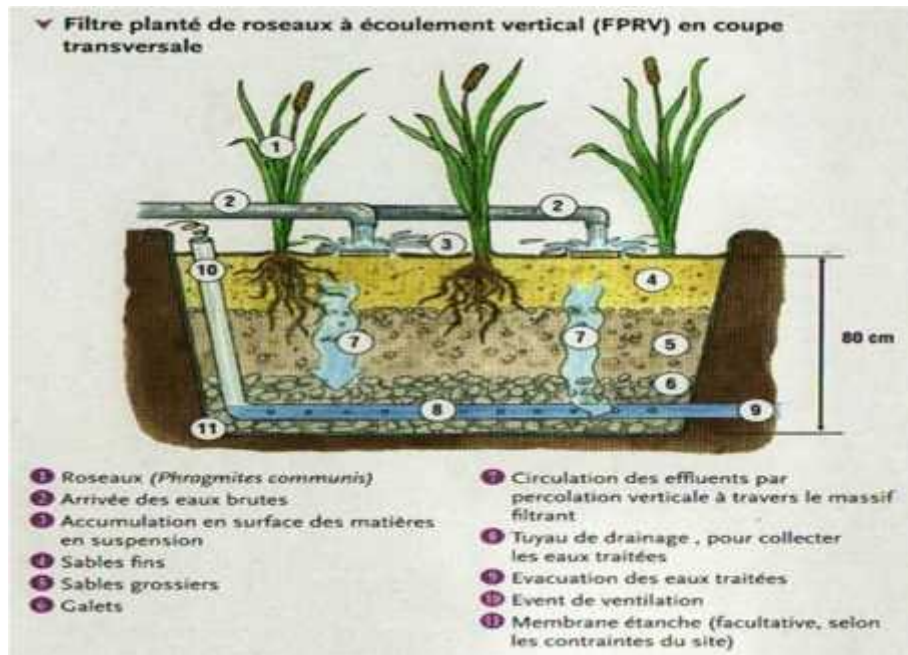


Figure. 12 : Filtre plante de roseaux à écoulement vertical (FPRV) en coupe transversale.

L'alimentation du filtre se fait généralement par bâchées : l'effluent s'accumule dans un réservoir en amont, puis un dispositif automatique d'alimentation permet de déverser un important volume d'effluents de façon séquentielle sur le filtre. Un système de distribution (drains) permet de répartir uniformément l'effluent sur toute la surface du lit. Ce type d'alimentation permet une utilisation optimale du volume du filtre.

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

Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical sont souvent constitués de deux étages en série, eux-mêmes constitués de plusieurs filtres en parallèle, qui fonctionnent en alternance : on alimente un seul filtre durant trois à quatre jours, puis un autre filtre en parallèle encore trois à quatre jours, pendant que les autres sont « au repos ». Les phases de repos doivent avoir une durée au moins égale à celle de la phase d'alimentation. Elles sont nécessaires pour favoriser l'aération et l'apport d'oxygène à l'intérieur du massif afin d'y maintenir des conditions aérobies et pour réguler la croissance de la biomasse fixée. Elles permettent également aux dépôts de matière organique accumulés à la surface du lit de se déshydrater et de se minéraliser.

II.4.2 Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal (FPRH)

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

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

L'aération de ce type de milieu filtrant, saturé en eau, résulte simplement de l'apport d'oxygène par les racines des plantes. Cet apport est donc faible, et l'action des bactéries aérobies est ici réduite, contrairement à celle des bactéries anaérobies qui sont très actives. Or les mécanismes anaérobies participent à la transformation des formes réduites de l'azote NO_3^- (nitrates) en azote gazeux. L'étape de dénitrification peut donc avoir lieu, à condition qu'il y ait eu une première étape de nitrification. C'est pourquoi ces filtres sont souvent utilisés en aval des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.

Le filtre planté de roseaux à écoulement horizontal est plus sensible aux températures froides car il y a une lame d'eau permanente à la surface du filtre et cette eau peut geler.

II.5 Dimensionnement :

La superficie des filtres est fonction de la quantité d'effluents à traiter. Les valeurs suivantes sont en général préconisées :

- 1,2 à 1,5 m²/EH pour le 1er étage
- 0,8 à 1 m²/EH pour le 2ème étage
- 2 à 5 cm de lame d'eau sur toute la surface du massif filtrant
- Débit minimum d'alimentation = 0,5 m³/m²/h
- 6 à 12 bâchées/jour
- 4 roseaux/m²

D'après le Cemagref, ce procédé peut être implanté pour 50 à 1 000 EH, voire 2000 EH. Il est particulièrement bien adapté aux petites communes rurales, hameaux, campings, groupement immobilier (gîtes...). Par contre, au-delà de 2000 EH, l'installation de filtres plantés de roseaux n'est plus vraiment rentable car trop complexe du fait du volume important à traiter.

II.6 Gestion et entretien :

Une fois par an, en automne, il faut couper la partie végétative des roseaux. Cette opération qu'on appelle le faucardage, permet d'apporter de l'oxygène aux bassins. En effet, en hiver, les roseaux sont secs et ne peuvent plus apporter de l'oxygène par leurs racines. En revanche les rhizomes étant creux et toujours en place quelque soit la saison, l'air circule à l'intérieur et c'est ainsi que se fait l'aération des bassins essentielle aux bactéries.

Les roseaux doivent être coupés à environ 20-30 cm de la surface du bassin, afin que les effluents n'entrent pas dans les tiges coupées (si l'eau gèle à l'intérieur des tiges, elle les fera éclater).

Il faut savoir que les FPRV sont compatibles avec les climats rigoureux, alors que les FPRH sont plus sensibles au froid (l'eau contenue dans le filtre étant susceptible de geler).

II.7 Risques inhérents au système :

Les stations d'épuration utilisant les filtres plantés de roseaux présentent des risques professionnels classiques que l'on retrouve sur les autres procédés d'épuration. Nous ne détaillons ici que le risque bactériologique, qui est le plus

important dans la filière que nous avons dimensionnée dans la mesure où elle ne comporte pas de poste de relevage, d'équipements électriques etc...

Risques bactériologiques :

Les installations traitant des eaux usées, les risques d'infection sont présents. L'intervention de maintenance, de vérification et de nettoyage des systèmes de bâchées ainsi que les opérations d'analyse de la qualité de l'eau traitée sont autant d'interventions où le contact direct avec les effluents ou matières contaminées est possible. La prévention de ce risque particulier renvoie notamment à des principes d'hygiène générale lors des opérations d'exploitation : port des gants et de bleus de travail, nettoyage de ces habits, présence d'un point d'eau potable sur le site, interdiction de fumer et de manger sur le site.

II.8 Performances épuratoires :

Si ces systèmes d'assainissement sont correctement dimensionnés, ils permettent de bonnes performances épuratoires (niveau D4).

Un très bon rendement est obtenu sur les MES, en fonction de la granulométrie du milieu (plus la granulométrie est fine, meilleur est l'abattement des MES, mais le risque de colmatage augmente).

La flore bactérienne développée au niveau du système racinaire permet la dégradation de la matière organique (rendement de 98% sur la DBO₅ et les MES).

La diminution des populations de bactéries fécales se fait grâce au temps de séjour dans le filtre : un temps de séjour de trois jours permet un bon abattement de ces populations bactériennes qui ne trouvent pas dans le filtre les conditions nécessaires à leur développement.

Pour les combinaisons de FPRV, la dénitrification n'est pas suffisante au regard du risque d'eutrophisation des milieux. Par contre la combinaison FPRV puis FPRH permet une bonne dénitrification, car l'épuration se poursuit dans un milieu pauvre en oxygène.

Mais dans tous les cas, les rendements sur le phosphore ne sont pas suffisants pour des zones sensibles à l'eutrophisation.

D'après les études faites par le Cemagref, les performances épuratoires des deux systèmes sont liées aux conditions d'alimentation des filtres : charge hydraulique sur le filtre et séquence d'alimentation. Par exemple, sur les FPRV, une alimentation trop longue par rapport à la phase de repos entraîne une mauvaise oxygénation du massif filtrant et donc une moindre efficacité.

A l'heure actuelle, on commence à avoir un retour d'expériences concernant cette technique mais il n'existe encore que peu de données chiffrées. Les fabricants connaissent les performances de leurs produits mais pas forcément celles des différentes combinaisons.

II.9 Avantages et inconvénients :

Tableau. 4 : Avantages et inconvénients de la filière des filtres plantes de roseaux.

Avantages	Inconvénients
Dispositif d'épuration efficace (très bonnes performances épuratoire)	Il faut y consacrer une surface inutilisable pour autre chose
Pas de production de boues	Ce dispositif n'est pas encore réglementaire
Valorisation des végétaux faucardés, production de compost de qualité	Visite régulière nécessaire pour alterner l'alimentation des filtres verticaux et vérifier que tout fonctionne bien
Aucun risque d'odeurs	Besoin d'un entretien minimum régulier (faucardage des roseaux chaque année)
Bonne intégration paysagère	
Entretien facile	
Faible cout d'exploitation (pas de besoin en ni en produit chimique)	
Faible technicité de la maintenance (entretien facile)	
Bonne adaptation aux variation de charges	
Sensibilise et responsabilise les usagers vis-à-vis de leurs eaux usées, puisque ce système est visible	

II.10 Rappel de la réglementation :

A priori, ce système n'est pas encore autorisé pour les particuliers pour un traitement des eaux brutes. Cependant, certains dispositifs ont été validés après une

autorisation dérogatoire par les autorités convaincues de leur efficacité et sont actuellement en fonctionnement pour des habitations individuelles.

Par contre, si un particulier souhaite mettre en place cette technique en traitement secondaire et/ou tertiaire après une fosse toutes eaux, dans la mesure où les filtres plantés de roseaux sont des cultures fixées, cela est réalisable.

II.11 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.

a) *Phragmites communis* :

Phragmites 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.



Figure. 13: *Le Phragmites communis*

II.12 Les mécanismes d'élimination de l'azote :

a. L'Ammonification

La première étape du traitement est l'ammonification qui peut se produire en présence ou en absence d'oxygène. Dans cette étape, qui se fait en entrée de station, l'azote organique se minéralise sous forme d'ammoniaque (NH_4^-). Pour obtenir de bons abattements sur l'azote, deux étapes sont ensuite nécessaires.

b. La Nitrification

Elle correspond à l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates. Cette réaction n'est possible qu'en milieu aérobie (présence d'oxygène) et est effectuée par des bactéries nitrifiantes se développant de façon naturelle dans les bassins. Les filtres verticaux offrent des conditions satisfaisantes à la nitrification par le fait qu'ils sont composés de lits de graviers aérés par des drains et alimentés par bâchées. Les filtres verticaux ont par conséquent de très bons rendements sur l'azote ammoniacal mais sont générateurs de nitrates. La nitrification ne peut par contre pas, s'opérer de façon convenable dans des filtres horizontaux qui sont en permanence en charge et ne contiennent que quelques zones aérobies très limitées en volume, principalement autour des racines des roseaux.

c. La Dénitrification

Pour compléter le traitement de l'azote, il faut ensuite réduire les nitrates en composés gazeux. Cette étape n'est possible qu'en milieu anoxique (absence d'oxygène). Les filtres verticaux ne sont pas adaptés pour la dénitrification du fait de leur aération importante. Pour que la dénitrification puisse se faire, il faut donc envoyer les eaux vers des filtres horizontaux présentant les conditions requises (zones d'anoxie, présence de nitrates issus de la nitrification dans un étage à filtration vertical antérieur). De même que pour la nitrification, la dénitrification est due à la présence de bactéries dénitrifiantes ne se développant qu'en absence d'oxygène.

d. Le rôle des roseaux

Les plantes aquatiques présentes dans les lits à macrophytes vont elles aussi assimiler de l'azote sous ses formes minéralisées. Cette élimination de l'azote par les plantes reste pourtant faible mais non négligeable puisqu'on estime qu'un quart de l'azote minéralisé peut être assimilé par les plantes. Pour ne pas remettre en circulation cette fraction de l'azote, il convient donc de faucher et évacuer annuellement les roseaux.

e. Le rôle du garnissage

Le gravier en place dans les bassins des filtres verticaux permet une rétention par adsorption des ions ammonium pendant les périodes de repos. Ils peuvent alors s'oxyder en nitrites puis nitrates avant d'être lessivés par les bâchées vers les étages de traitement suivants.

Les systèmes hybrides reliant des filtres verticaux à des filtres horizontaux permettent donc un abattement optimal de l'azote sur les stations d'épurations à lits à macrophytes. Ainsi peuvent s'opérer successivement l'ammonification, la nitrification puis la dénitrification permettant d'obtenir des rendements sur l'azote très satisfaisants.

II.13 Mécanisme d'abattement du phosphore :

Dans les eaux usées domestiques, le phosphore est présent sous forme de polyphosphates phosphores organiques orthophosphates

Les deux premiers sont hydrolysés, par l'action des microorganismes présents dans le milieu, en orthophosphates ($H_2PO_4^-$, $HP_04_2^-$, $P_04_3^-$). Ces orthophosphates vont être adsorbés aux oxydes de Fer, d'Aluminium et autres métaux, ainsi qu'à la calcite de la surface des graviers, pour former un complexe phosphato-métallique, par des actions d'échange de ligand. Ils sont stockés autour des graviers et mis à la disposition des plantes.

Les roseaux assimilent les orthophosphates pour leur croissance. L'exportation est d'environ 200 kg de phosphore par an et par hectare.

Ce mécanisme est relativement long. C'est pourquoi, il ne peut se réaliser que sur une filtration horizontale.

Il est à noter qu'un relargage est possible si le débit devient environ 5 fois supérieur au débit nominal de la station.

Conclusion :

La phytoépuration ou appelé aussi filtre implanté de macrophyte est une solution de traitement des eaux usées qui a montré son efficacité de point de vue technique et économique.

Le pouvoir des lits plantés à macrophytes à épurer les eaux usées dépend du rôle de tous les composants de ces lits. Chacun de ces composants prend un rôle bien déterminé selon l'environnement ou il se trouve et la qualité d'eau à épurer.

Introduction :

Au début de chaque projet une étude de faisabilité une étape très importante. Afin d'assurer la faisabilité du projet, le bon fonctionnement, la stabilité de la station et aussi la protection du milieu extérieure.

L'étude de faisabilité comprend les parties suivantes :

- Etude topographique.
- Etude de la végétation.
- Etude des profils des sols.
- Test de perméabilité.

L'étude de faisabilité se fait dans les deux sites de Tadjmout et Djelfa.

I.1 Etude de faisabilité dans la station de Tadjmout

Station de Tadjmout :

Une station de lagunage de 15000 EH pour l'horizon 2030. La station a été dimensionnée pour assurer l'évolution de la station jusqu'à 15000 EH.

Tableau. 5 : présentation de la station de Tadjmout

Nom de la station	Station de lagunage aère Oxylag de Tadjmout
Commune de	Tadjmout
Wilaya de	Laghouat
Milieu récepteur	Oued m'Zi
Date de mise en service	Janvier 2015
Date de transfert de la station à l'ONA	/
Localité concernée par le traitement	Ville de tadjmout
Nature des eaux brutes	Domestique uniquement
Capacité de la station	15000 EQH 1200 m ³ /j
Charge journalière oxydable	DBC ₅ : 40g/EH

Température moyenne de l'effluent	20 à 30 C
Niveau de rejet demandé	(échantillon moyen 24 heures) <i>DBC₅</i> : 30 mg / litre DCO : 120 mg / litre MES : 30 mg / litre NTK : sans objet P : sans objet NGL : sans objet
Superficie de l'assiette	
Groupement de réalisation -Génie civil -Equipements	EPE SPA SOGERHWIT TLEMCEN
Le dispositif d'assainissement	Gravitaire DN 400
Système d'épuration	Oxylag : lagunage aère par insufflation d'air
Alimentation en eau usée	Ville de Tadjmout
Exutoire	L'Oued

Tableau. 6: Rendements épuratoires de la station de tadjMout Janvier 2017.

Paramètres	MES (Kg/j)	DBO ₅ (Kg/j)	DCO (Kg/j)	N-NH ₄ (Kg/j)	N-NO ₂ (Kg/j)	N-NO ₃ (Kg/j)	NTK (Kg/j)	NT (Kg/j)	PO ₄ ⁻³ (Kg/j)	PT (Kg/j)
Charge Entrée STEP (Eau brute)	180	200	304	31	0,15	0,75	37	38	6	15
Charge Sortie STEP (Eau épurée)	29	34	91	20	0,14	0,3	25	26	1	2
Rendements Épuratoires (%)	82,22	81,00	66,78	-	-	-	24,48	24,87	82,60	84,35

Tableau. 7 : Charges de pollution éliminée station de TadjMout Janvier 2017.

Paramètres	MES (Kg/m ois)	DBO, (Kg/m ois)	DCO (Kg/m ois)	N-NH ₄ (Kg/moi s)	N-NO ₂ (Kg/m ois)	N-NO ₃ (Kg/m ois)	NTK (Kg/m ois)	NT (Kg/moi s)	PO ₄ ⁻³ (Kg/mois)	PT (Kg/mois)
Charge Entrée STEP (Eau brute)	5 580	6 200	9 424	961	4,65	23,3	1 156	1 184	178	456
Charges Sortie STEP (Eau épurée)	893	1 060	2 818	614	4,19	11	786	801	31	64
Charge de pollution éliminée	4 687	5 140	6 606	-	0,47	13	370	383	147	392



Figure. 14: photo de la station de Tadjmout

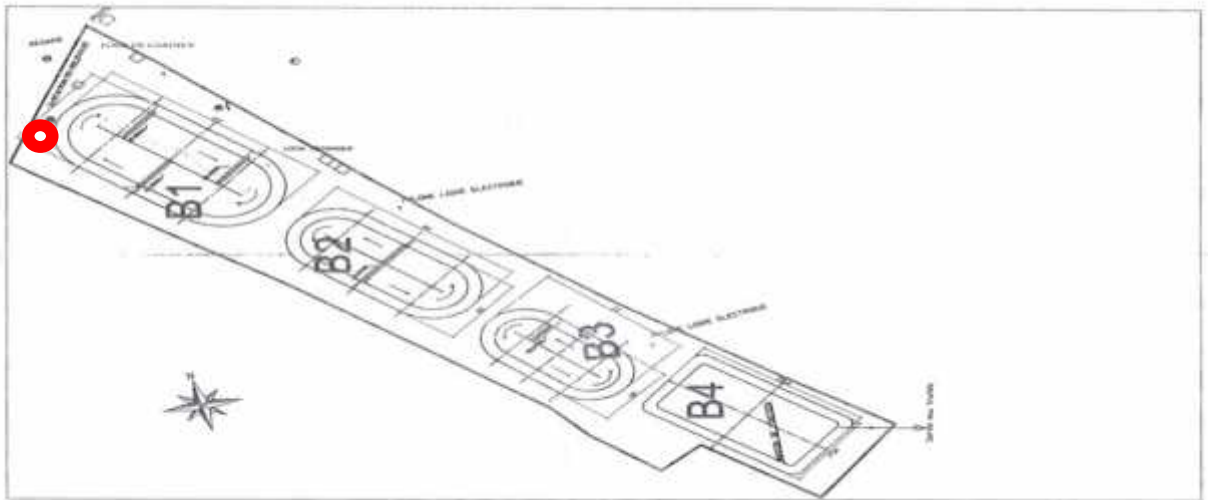


Figure. 15 : Plan de la station de Tadjmout (Annexe 1: le plan de la station agrandi)

I.1.1 Etude topographique :

Il est important d'étudier le profil du terrain car il détermine le sens d'écoulement des effluents et aura donc une influence sur l'emplacement de la filière et sur sa composition. En effet, elle est préférentiellement placée dans le bas du terrain afin de faciliter l'écoulement naturel des effluents et dans le cas contraire (cas d'une sortie de filière plus haute que son entrée) il faudra ajouter une pompe de relèvement pour s'assurer du bon sens d'écoulement.



Figure. 16 : photo qui montre le profil topographique

D'après ce qu'on a comme données on peut remarquer que le terrain est plat donc la pente est très faible ou bien nulle : ce qui nous amène à conclure dans ce cas la avoir une pompe en amont de la filière est très important

I.1.2 Etude de la végétation :

Ce terrain est agricole. La station est entourée de roseaux, et juste accoté ce trouve un jardin d'une végétation variées (abricotier,...etc.), et des arbres de certaine hauteur...

Les premiers arbres se situent à plus de 10 m de l'emplacement choisi. Il ne sera donc pas nécessaire de supprimer des arbres. Au contraire, cette zone permettra aux eaux traitées de se charger aux minéraux et ainsi de s'approcher des eaux naturelles, avant de rejoindre le milieu récepteur.



Figure. 17 : Photo des roseaux et des arbres existante dans le site



Figure. 18 : Photo des arbres de fruits

I.1.3 Etude des profils de sol :

Le sondage à la tarière à main consiste à réaliser un trou, jusqu'à un mètre vingt ou jusqu'au substratum s'il est atteint avant.

L'étude n'a pas été faite, par manque de matériels

Mais d'après le trou de l'étude de perméabilité on a remarqué que le sol est d'un profil homogène.



Figure. 19 : photo montre le profil du sol

Epaisseur de 0.20m, grains de sable fins.

Bilan :

D'après ce qu'on remarque de l'étude de sol et les bassins de la filière existante :

La zone de terrain choisie présente dans son ensemble un sol assez épais pour implanter la filière de traitement des eaux usées.

I.1.4 Test de perméabilité :

Ce test 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.

L'essai Porchet d'infiltration de l'eau dans le sol consiste à creuser un trou dans un sol, puis à le saturer d'eau pendant un certain temps.

Ensuite on maintient le niveau d'eau constant dans ce trou (en continuant à y verser de l'eau) et on mesure le volume d'eau qui s'infiltré dans le sol, pendant un certain temps.

Protocole :

1. Creuser un trou, à l'aide d'une bêche (trou carré de 30 cm par 30 cm ; largeur l) et sur une profondeur de 20 cm. Cette profondeur de 20 cm est considérée comme la profondeur d'infiltration dans le cas d'infiltration d'eaux usées par le sol (tranchées filtrantes ou lit d'épandage).
2. Pendant une période, maintenir, à l'aide d'un tuyau d'arrosage ou de bonbonnes d'eau, un niveau d'eau à 10 cm au-dessus du fond de trou soit à 10 cm de la surface (hauteur h ci-dessous). Cette opération a pour objet de replacer le sol dans les conditions de saturation en eau telles qu'elles seraient observées lors du fonctionnement d'une installation d'assainissement.
3. Au bout de cette période, mesurer (à l'aide d'une bouteille d'eau graduée par exemple) la quantité d'eau à rajouter pour maintenir le niveau d'eau constant ($h = 10$ cm du fond de trou ou 10 cm de la surface) et ceci pendant une durée de 10 minutes.

La valeur du coefficient de perméabilité K est donnée par : K (mm/h) = volume d'eau rajouté en 10 minutes (litres) x 6 / surface mouillée (m^2).

Dans le cas d'un trou carré de largeur l réalisé à l'aide d'une bêche, le calcul de la surface mouillée est donné par :

$$S_m (m^2) = l^2 + 4 \times l \times h$$



Figure. 20: photo lors du creusement du trou



Figure. 21 : photo du trou carre de 30cm par 30 cm



Figure. 22 : photo lors du remplissage du trou

Les résultats du test se présentent dans le tableau suivant :

Tableau. 8 : tableau des résultats obtenus de la perméabilité du sol

	A			B	C	D	E	F
1	heur			interval de temps	niveau d'eau		permeabilite	
2	h	min	s	min	av remplissag	ap remplisse	(mm/h)	
3	11h	22m	00	depart 0		100		
4				10			257,14	
5	11h	32m	00		0	100		
6				10			273,91	
7	11h	42m	00		-16,6	100		
8				10			257,14	
9	11h	52m	00		0	100		
10				10			205,71	
11	12h	02m	00		20	100		
12				10			200,57	
13	12h	12m	00		22	100		
14				10			187,71	
15	12h	22m	00		16,8	90		
16				10			192,85	
17	12h	32m	00		15	90		
18								
19								
20								

En remarque que la perméabilité(k) est de 192.85 mm/h à 257.14mm/h

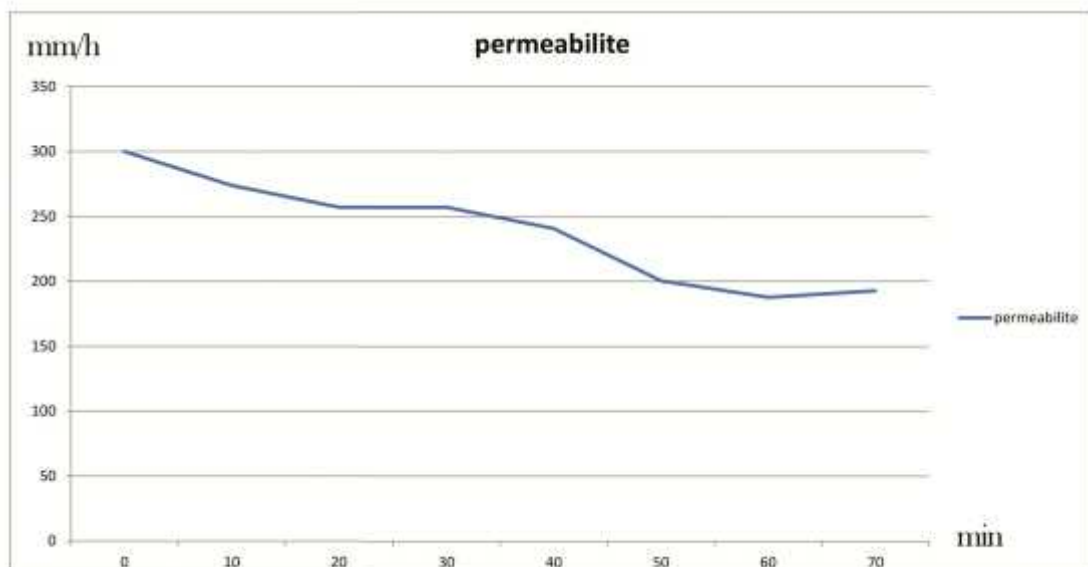


Figure. 23 : Les résultats obtenus sous forme de courbe de mesure de la perméabilité (mm/h)

D'après le tableau suivant de qui classe la perméabilité des sols en fonction de la valeur du coefficient de perméabilité.

Tableau. 9 : Classe de perméabilité des sols en fonction de la valeur du coefficient de perméabilité. (D'après Enseiht.2008-2009.)

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

On remarque que le sol est d'une très grande perméabilité, ce qu'il faut prendre en considération lors du dimensionnement pour assurer l'étanchéité du sol.

I.2 Etude de la faisabilité dans la station de Djelfa

La station d'épuration de Djelfa :

La station d'épuration de Djelfa a été construite en 1984, seulement en 1986 qu'a été mis en exploitation par les services de l'APC, par manque de main d'œuvre spécialisée, elle a été soumise aux arrêts jusqu'à son inauguration après réhabilitation et extension en 2014.

Site de la station d'épuration :

Le site de la station d'épuration est défini par l'étude d'assainissement, qui le mit en aval dans le côté nord de la ville de Djelfa dans le lieu dite Kaf Haouas, à une distance de 3 km du centre-ville Djelfa, en côtoyant oued Mellah. Ainsi limité :

- ♣ Au Nord : par l'ancienne route nationale N°1 et oued Mellah.
- ♣ Au Sud : par une butte.
- ♣ À l'est : par un abattoir communal.
- ♣ À l'ouest : par un terrain nu. Le site présente les avantages suivants :
- ♣ Il se trouve en aval par rapport à la ville ;
- ♣ La zone ne se trouve pas dans l'extension de la ville ;
- ♣ Zone non inondable ;
- ♣ Facilité d'accès ;
- ♣ Présence de la ligne électrique à basse et moyenne tension à proximité ;
- ♣ À proximité de l'oued Mellah.

Données techniques et caractéristiques fondamentales :

Les travaux de réhabilitation et extension ainsi que les équipements de la station d'épuration ont été réalisés par BUTEC en Joint-Venture avec OTV, Veolia par supervision des services de l'ONA.

Les rejets de la ville de Djelfa sont unifiés, et aboutissent à la STEP par gravité à l'aide d'un seul collecteur de diamètre 1500mm muni à l'aval d'un déversoir d'orage qui sert à limiter le débit d'eau à traiter à 4500 m³/h.



Figure. 24: un dessin de la station

I.2.1 Etude topographique :

Aussi pour des raisons impérieuses on n'a pas pu faire l'étude topographique, mais d'après les visites et l'aperçu du site, le terrain est d'une très faible pente, ce qui nous ramène aussi dans ce cas-là de pensé d'avoir une pompe en amont de la filière.



Figure. 25 : photo montre le profil du terrain

I.2.2 Etude de la végétation :

Le terrain est d'une zone très agricole, il procède une couverture végétale de hauts arbres.



Figure. 26 : la végétation environnante

Conclusion :

Dans ce chapitre on a étudié la faisabilité de la filière de filtre plante de roseaux dans la station de TadjMout et la station de Djelfa, on suivant ces étapes : l'étude topographique, étude de la végétation, étude des profils des sols et le test de perméabilité.

L'étude de faisabilité pour le site de Djelfa n'a pas été complète, à cause de quelque empêchement concernant la sortie sur terrain. (Étude des profils du sol et le test de perméabilité).

D'après les études faites, la filière (FPR) est très faisable dans les deux sites (sol, végétation....etc.). Donc le dimensionnement peut être commencé.

Introduction :

Après une étude de faisabilité réussie, commence l'étude de la filière (le dimensionnement).

L'étude de la filière pour chaque site débute par la détermination de la filière qui convient aux cas étudiés.

Suivi par le dimensionnement, puis une description des différents éléments de la filière (Substrat, Etanchéité, Les systèmes de bâchées, Dispositif d'alternance, Distribution des effluents sur les massifs filtrants, Système de drainage et rejet.).

II.1 Dimensionnement et implantation sur le site du filtre planté de roseaux pour la station de Tadjmout 51 EH:**II.1.1 Détermination de la filière :**

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 cas de notre site c'est celle en eaux décantées, puisque les eaux sont déjà prétraitées.

Les lits filtrants seront séparés en deux (filtres en parallèle) afin d'assurer l'alternance des phases d'alimentation et de repos. Avec deux étages de filtration.

La filière envisagée est donc la suivante : un filtre planté de roseaux à écoulement vertical séparé en deux lits parallèles (orienté perpendiculairement au sens de la pente), suivi d'un deuxième étage (filtre planté de roseaux à écoulement horizontal).



Figure. 27 : traçage de la forme des filtres

La surface totale : 307.8 m²

Le premier étage : 153.9 m²

76.95 m², pour chaque lit

Le deuxième étage : 153.9 m²

II.1.2 Dimensionnement de l'installation :

On dimensionnera le filtre de la manière suivante : 1,5 m²/EH. On surdimensionnent 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.

La superficie du filtre doit être de 153.9 m². On divise cette surface par deux pour avoir celle de chacun des lits et parties et on obtient une surface de 76.95 m²

Le volume d'eaux usées moyen est de 7650 litres par jour (150 L/EH/j imposés par la DDASS). Le volume de l'auget basculant a donc été calculé à 510 L de manière à assurer un minimum de 15 bâchées par jour.

Nous avons 4roseaux/m² : il faut 304 roseaux pour chaque lit

II.1.3 Description des différents éléments de la filière :**II.1.3.1 Substrat****a) Le 1^{er} étage :**

La première couche de substrat est constituée de sable fins sur une épaisseur de 10 cm

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 gravillons de granulométrie 4/8 d'une épaisseur de 30 cm, dans ces deux couches là ou se passe la filtration et l'épuration.

Au-dessous, la troisième couche constituée de gros graviers (galets) de granulométrie 10/20 d'une épaisseur de 20 cm pour permettre la circulation de l'eau et de l'air (grâce au système de drainage).

b) Le 2^{ème} étage :

Le substrat est d'une seule couche constituée de sable grossier ou bien de gravier fin d'une épaisseur de 50 à 60 cm, avec de gabion d'alimentation et gabion d'évacuation a l'entrée et la sortie du filtre.

II.1.3.2 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.

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 géomembranes 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 géomembrane en EPDM pour l'étanchéité de fond.

Les géomembranes 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 « complexe d'étanchéité ».



Figure. 28 : l'habillement du bassin par des géomembranes

II.1.3.3 Les systèmes de bâchées :

Les systèmes de bâchées permettent de transformer un flux d'eau continu en flux d'eau par intermittences. Le cycle de fonctionnement d'un tel dispositif est simple : d'abord, il accumule de l'eau sans en laisser passer, puis, une fois sa capacité de stockage atteinte, toute l'eau est relâchée d'un seul coup. Ensuite l'accumulation recommence. Ces systèmes sont utilisés dans les stations d'assainissement pour alimenter par intermittence des filtres à sable ou des filtres plantés verticaux.

L'auget basculant :

L'auget basculant est un récipient monté sur un axe pivotant dans lequel l'eau arrive par en haut. Il est conçu de manière qu'il bascule à partir d'un certain niveau de remplissage, et se vide entièrement avant de revenir à sa position initiale. Il convient surtout aux petites installations. En phase de remplissage, le centre de masse se trouve à droite de l'axe, l'auget repose sur la butée de droite. Un poids supplémentaire sur la droite de l'auget peut être nécessaire pour que l'auget soit dans cette position lorsqu'il est vide.

Grâce à la forme de l'auget, le centre de masse se déplace vers la gauche au fur et à mesure que l'auget se remplit, jusqu'à ce que le tout bascule. L'auget vient alors se poser sur la butée de gauche le temps qu'il se vide.

Lors de la mise en place de l'auget, il est nécessaire de jouer sur la position des butées et sur l'ajout d'éventuels poids dans l'auget afin d'assurer que la vidange soit complète à chaque cycle.



Figure. 29: L'auget basculant

II.1.3.4 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 régulière 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.

II.1.3.5. Distribution des effluents sur les massifs filtrants :

Les canalisations d'alimentation DN 100 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

Le filtre est d'une dimension supérieure à 50 m² ($50 < 79$), il faut deux points d'alimentation par filtre, pour assurer une distribution homogène des effluents dans tout le massif filtrant. Tout déséquilibre de cette répartition entraînerait une perturbation des performances de traitement.



Figure. 30 : les canalisations d'alimentation

Pour une filtre plante de roseaux horizontal l'alimentation ce fait par une canalisation immergée pour assurer l'écoulement horizontal

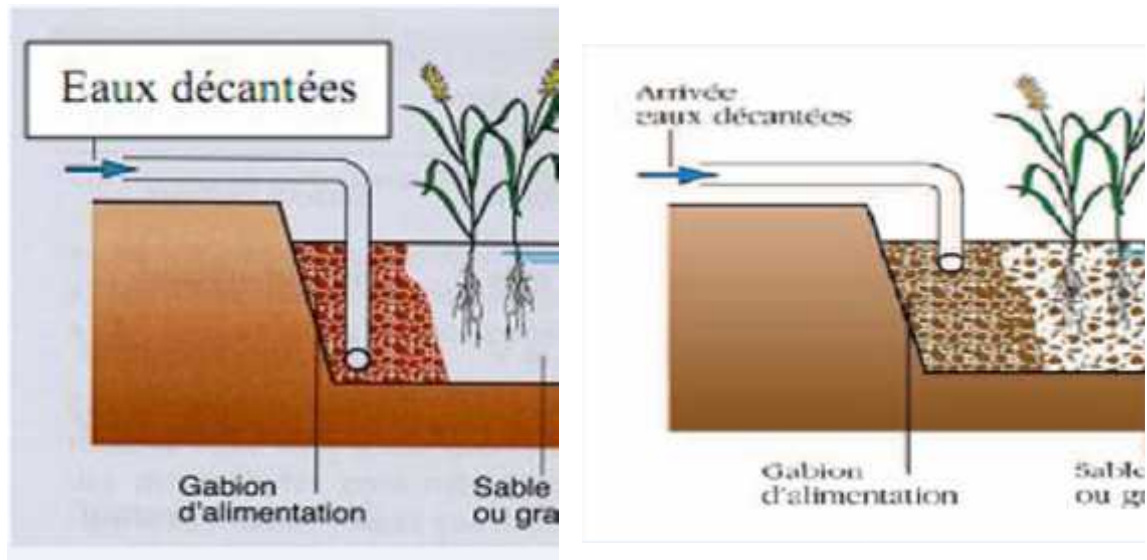


Figure. 31 : Alimention d'un filtre plante de roseaux a écoulement horizontal

II.1.3.6. 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. On a une cheminée d'aération en position haute. Il convient d'espacer les drains de deux mètres environ : nous en placerons donc trois dans la longueur du filtre. Ces tubes, en PVC, ont un diamètre de 160 millimètres, c'est pourquoi la couche de gravier 10/20 en fond de filtre est d'une épaisseur de 20 cm pour recouvrir ces canalisations.



Figure. 32 : photos montrent deux types des systèmes de drainage

II.1.3.7 Le rejet :

L'eau traitée à la sortie de la filière, se dirige vers le début de la filière existante (lagunage aère par insufflation d'air), afin qu'elle continuera le traitement et aide aussi la filière par délier les eaux.

II.1.3.8 la pompe :

Nous avons besoin d'une pompe à l'amont de la filière.

Avec un débit aussi faible comme $0.34 \text{ m}^3/\text{h}$, n'importe qu'elle pompe de n'importe qu'elle HMT suffira.

POMPE POUR EAUX USÉES

S series

Débit: 0 m³/h - 8 m³/h

Pression: 0 bar - 100 bar

Hauteur: 0 m - 45 m

Pompe pilote pour réacteur en boucle Jusqu'à 8 m³/h et Pression de service jusqu'à 100 bar Température de service jusqu'à 280 °C



Figure. 33 : Photo de la pompe utilisée

II.2 Dimensionnement et implantation sur le site du filtre planté de roseaux pour la station de Djelfa pour 20EH :

II.2.1 Détermination de la filière :

La filière qui nous apparaît la plus intéressante dans le cas de notre site c'est celle en eaux décantées, puisque les eaux sont déjà prétraiter.

Les lits filtrant seront séparés en deux (filtres en parallèle) afin d'assurer l'alternance des phases d'alimentation et de repos. Avec deux étages de filtration.

La filière envisagée est donc la suivante : un filtre planté de roseau à écoulement vertical séparé en deux lits parallèles (orienté perpendiculairement au sens de la pente), suivi d'un deuxième étage (filtre planté de roseaux à écoulement horizontal).

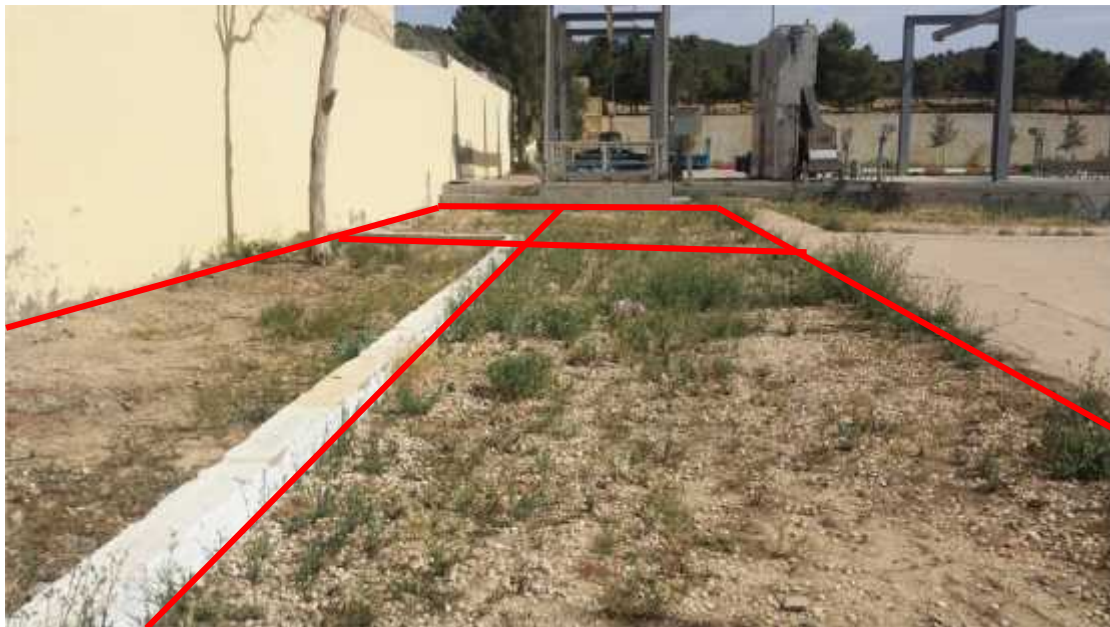


Figure. 34 : traçage de la forme des filtres

La surface totale : 139.75 m²

Le premier étage : 61.75 m²

30.75 m² et 31 m² pour chaque lit

Le deuxième étage : 78 m²

36 m² pour chaque lit

II.2.2 Dimensionnement de l'installation :

On dimensionnera le filtre de la manière suivante : 1,5 m²/EH. On sur dimensionnent légèrement les filtres afin d'être sûres d'avoir les résultats escomptés.

La superficie du filtre doit être de 61.75 m². On divise cette surface par deux pour avoir celle de chacun des lits et parties et on obtient une surface de 30 m²

Le volume d'eaux usées moyen est de 3000 litres par jour (150 L/EH/j imposés par la DDASS). Le volume de l'auget basculant a donc été calculé à 200 L de manière à assurer un minimum de 15 bâchées par jour.

Avec 4 roseaux/m² : il faut 120 roseaux pour chaque lit

Pour le 2^{ème} étage : il faut 156 roseaux pour chaque lit

II.2.3 Description des différents éléments de la filière :

II.2.3.1 Substrat

a) Le 1^{er} étage :

La première couche de substrat est constituée de sable fins sur une épaisseur de 10 cm

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 gravillons de granulométrie 4/8 d'une épaisseur de 30 cm, dans ces deux couches là ou se passe la filtration et l'épuration.

Au-dessous, la troisième couche constituée de gros graviers (galets) de granulométrie 10/20 d'une épaisseur de 20 cm pour permettre la circulation de l'eau et de l'air (grâce au système de drainage).

b) Le 2^{ème} étage :

Le substrat est d'une seule couche constituée de sable grossier ou bien de gravier fin d'une épaisseur de 50 à 60 cm, avec de gabion d'alimentation à l'entrée et gabion d'évacuation et la sortie du filtre.

II.2.3.2. 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.

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 géomembranes 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 géomembrane en EPDM pour l'étanchéité de fond épaisseur 1,2 mm, pris entre deux géotextiles anti-poinçonnement pour éviter son érosion.

II.2.3.3. Les systèmes de bâchées :

L'eau prétraitée

On utilise aussi le système de l'auget basculant

Capacité de 200L

II.2.3.4. Dispositif d'alternance :

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

II.2. 3.5. Distribution des effluents sur les massifs filtrants :

- Les canalisations d'alimentation d'un DN 100 sont placées à environ 40 cm au-dessus de la surface des filtres.

- Une plaque de béton est placée juste en dessous du point d'alimentation pour casser le flux.
- 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
- 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.

Pour le 2^{ème} étage l'alimentation ce fait par une canalisation immergée.

II.2.3.6. 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. On a une cheminée d'aération en position haute. 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 10/20 en fond de filtre est d'une épaisseur de 20 cm pour recouvrir ces canalisations.

II.2.3.7 Le rejet :

L'eau traitée à la sortie de la filière, reste sous forme d'un marais artificiel, ou on peut avoir des poissons, des oiseaux,...etc.



Figure. 35: Photo d'un marais

II.2.3.8 la pompe :

Nous avons besoin d'une pompe à l'amont de la filière. A cause de la pente nulle.

Avec un débit de $0.13 \text{ m}^3/\text{h}$, n'importe qu'elle pompe de n'importe qu'elle HMT suffira.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a étudié la filière (FPR) pour le site de la station de TadjMout et le site de la station de Djelfa.

Commençant dès l'amont (l'entrée) de la filière, jusqu'au l'aval (la sortie), avec la description des différents éléments de l'installation.

La station de TadjMout d'une capacité de 51 EH, d'une superficie de 76 m^2 . Avec un débit de 500 l/h.

La station de Djelfa d'une capacité de 20 EH, d'une superficie de 30 m^2 . Avec un débit de 200 l/h.

Introduction :

Dans ce chapitre on va discuter le travail fait et les résultats des deux chapitres précédant « l'étude de faisabilité et l'étude des filières d'épuration ».

Mentionnée les succès et ne pas oublier les échecs. Et laisser des remarques afin d'améliorer le travail.

III.1 Evaluation de l'étude de faisabilité :

Commençant par l'étude de faisabilité comme une première étape.

Le taux de réussite pour l'étude de faisabilité est de 75%, en ce qui concerne le site de la station de TadjMout, l'étude a été faite avec succès avec l'étude de tous les éléments nécessaire (Etude topographique, Etude de la végétation, Etude des profils des sols et Test de perméabilité).

Mais dans le site de la station de Djelfa, nous avons manqué deux étapes importantes « Etude des profils des sols et Test de perméabilité ». À cause des empêchements tels que, la distance, d'une région a une autre, le climat ...

Mais on put sortir avec de bons résultats sur la faisabilité, sur lesquelles l'étude est basée.

III.2 évaluation de l'étude des filières d'épuration :

L'étude de la filière d'épuration a été faite par le dimensionnement et la description des éléments de l'installation, commençant par le substrat, étanchéité, les systèmes de bâchées, dispositif d'alternance, distribution des effluents sur les massifs filtrants, système de drainage jusqu'au rejet.

Conclusion :

Les deux stations de phytoépuration de TadjMout et Djelfa sont dimensionné, et pratiquement applicable dans le sur terrain.

Conclusion générale :

Un système de traitement des eaux usées utilisant les plantes aquatiques peut être aisément implanté, il serait judicieux d'adapter la culture d'une plante aquatique dans un substrat pour filtrer la charge polluante d'une eau usée

Nous nous sommes intéressés dans ce mémoire, à l'étude de faisabilité d'un pilote de phytoepuration (*application à la station d'épuration de Djelfa et à la station de lagunage aère de TadjMout*).

La 1^{ère} partie, a permis d'étudié la faisabilité de la filière, en appliquant les étapes suivantes :

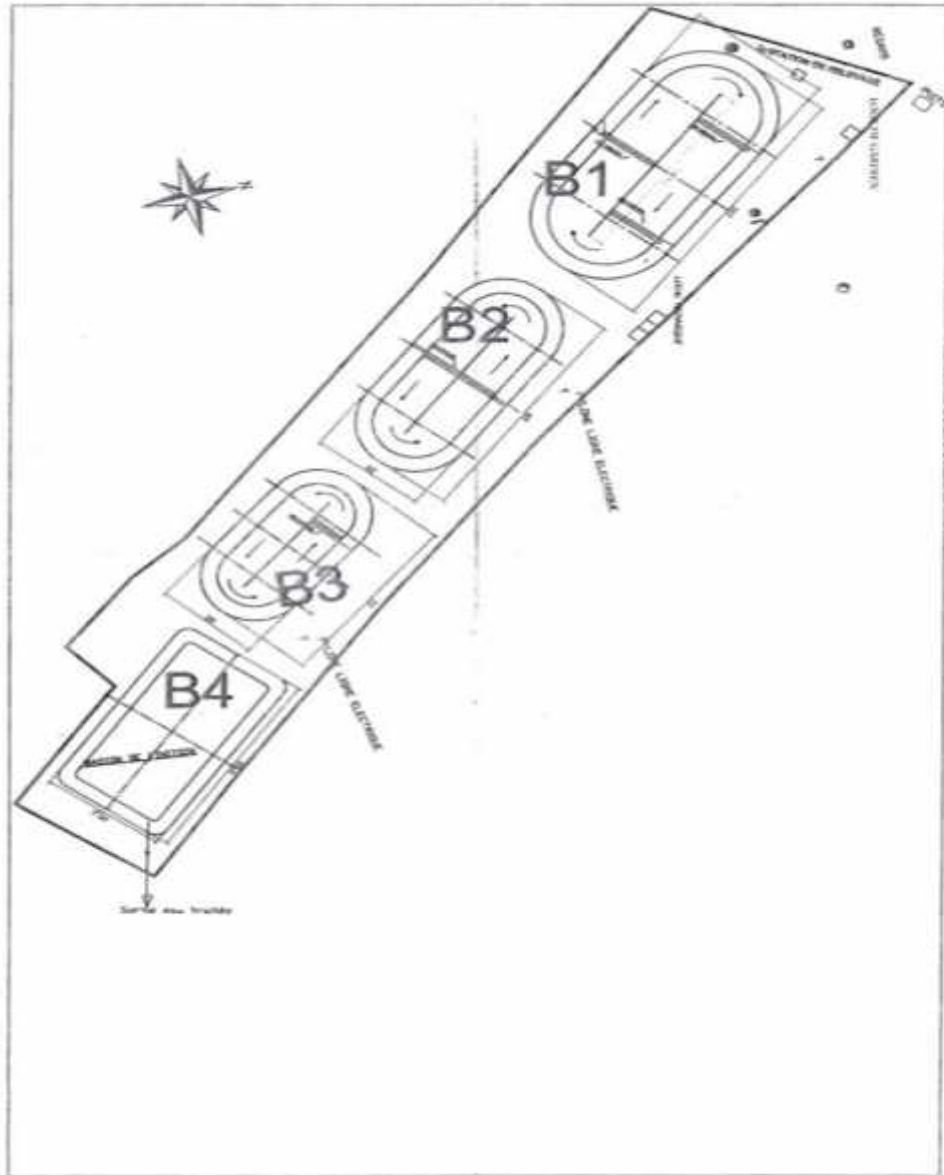
- Etude topographique.
- Etude de la végétation.
- Etude des profils des sols.
- Test de perméabilité.

La 2^{ème} partie, a permis d'étudiai la filière, en dimensionnant les différents éléments de l'installation :

- Substrat
- Etanchéité.
- Les systèmes de bâchées, Dispositif d'alternance.
- Distribution des effluents sur les massifs filtrants.
- Système de drainage.
- Rejet.

Finaleme nt l'épuration des eaux usées par les plantes aquatiques offrent une alternative écologique, économique, durable et esthétique. En perspective, il serait intéressant d'élabores ce système c'est-à-dire les stations d'épuration par les plantes, dans toute les Wilaya Algérienne, ou bien même au niveau individuelle.

Annexe 1: Figure. 36 : Plan de la station de Tadjmout.....39



Bibliographie

Agence de l'eau (RMC), 2005. Epuration des eaux usées par des filtres plantes de macrophytes. Recommandations techniques pour la conception et la réalisation.

Energie Renouvelables et environnements. Bureau d'Etudes Industrielles. Bioréacteur à membrane: Principe et méthodes dedimensionnement.

Limoges – Juin 2008. Recommandations pour l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et Synthèse bibliographique

Mairie de Venthon. 2011.

Ministere des ressources en eau. ONA. Direction de l'exploitation et de la maintenance. Station de lagunage aéré de TadjMout. Fiche technique _ janvier 2015.

Site web : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89puration_des_eaux le 16 août 2017 à 21:50

Site web : <http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe3/node/195.html> 2008-2009

Wikipedia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_Porchet le 27 janvier 2015 à 10:20.

X_ La biofiltration des eaux usées. Le 23/10/2006

X_ Chap 1_ LES EAUX USEES_

X_ Chap 2_ LA PHYTOEPURATION_

X_ GUIDE-PROCÉDÉ EXTENSIF D'ÉPURATION DES EAUX USÉES- ADAPTÉ AUX PETITES ET MOYENNES COLLECTIVITÉS (500-5000 eq-hab)

Mise en œuvre de la directive du Conseil n° 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.

Bibliographie

Agence de l'eau (RMC)., 2005. Epuration des eaux usées par des filtres plantes de macrophytes. Recommandations techniques pour la conception et la réalisation.

Energie Renouvelables et environnements. Bureau d'Etudes Industrielles. Bioréacteur à membrane: Principe et méthodes dedimensionnement.

Limoges – Juin 2008. Recommandations pour l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et Synthèse bibliographique

Mairie de Venthon. _2011.

Ministere des ressources en eau. ONA. Direction de l'exploitation et de la maintenance. Station de lagunage aéré de TadjMout. Fiche technique _ janvier 2015.

Site web : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89puration_des_eaux le 16 août 2017 à 21:50

Site web : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe3/node/195.html> 2008-2009

Wikipedia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_Porchet le 27 janvier 2015 à 10:20.

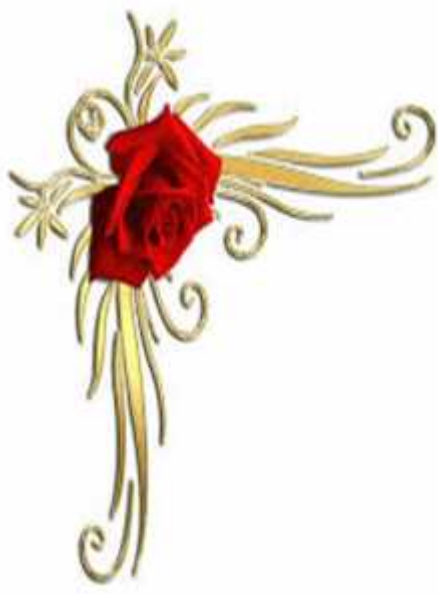
X _ La biofiltration des eaux usées. Le 23/10/2006

X _Chap 1 _LES EAUX USEES_

X _Chap 2 _LA PHYTOEPURATION_

X _GUIDE-PROCÉDÉSEXTENSIFSD'ÉPURATIONDES EAUXUSÉES-ADAPTÉSAUXPETITES ET MOYENNES COLLECTIVITÉS(500-5000 eq-hab)

Mise en œuvre de la directive du Conseil n° 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.



PARTIE

A





CHAPITRE I :

Revue bibliographique des filières d'épuration





CHAPITRE II :

Etude de la phytoépuration





PARTIE

B





CHAPITRE I :

Etudes de faisabilité





CHAPITRE II :

Etudes des filières d'épuration





CHAPITRE III :

Evaluations



