



Faculté de Technologie



Département d'hydraulique

Projet de fin d'étude en vue l'obtention du
DIPLÔME DE MASTER EN HYDRAULIQUE

Option : Technologie et Traitement des Eaux

Thème

**Étude et conception d'une station d'épuration des eaux usées
domestiques par lits de roseaux pour de petites
agglomérations : Cas de Fraouna (Commune de Terny).**

Présentée le
31/10/2013

Par
CHEKROUN Abdelhamid

Devant les membres de jury composés de

Mr. HASSAINE Taha El Amine
Mr. MEGNOUNIF Abdeslam
M^{me}. BOUCHELKIA Fadila
Mr. BENMANSOUR Abdelhalim

Président
Examineur
Examinatrice
Encadreur

Année universitaire 2012-2013

Remerciements

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage et de patience pour achever mes études.

Je tiens à exprimer, en première lieu, tous mes plus vifs remerciements à Monsieur BENMANSOUR ABDELHALIM, Professeur au département d'hydraulique de l'université Abou-Bekr belkaid, pour avoir accepté d'encadrer et diriger ce travail, pour son attention discrète, ses recommandations mesurées et ses précieux conseils et surtout pour ses qualités humaines et scientifiques toujours en toute modestie, sa passion du métier qu'il sait rendre contagieuse et la confiance qu'il a bien voulu m'accorder tout au long de ce travail.

Je tient aussi à remercier Madame BOUCHELKIA Fadila et MEGNOUNIF Abdeslam pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce mémoire en acceptant de l'examiner. Mes vifs remerciements vont à Mr CHERIF Zine El Abidine pour de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma très chère mère qui m'a toujours apportée

Son amour et son affection

Mon cher père, qui m'a toujours encouragé, conseillé et

Soutenu dans mon travail

*Ma très chère sœur, qui ma aidée énormément dans ce
travail*

Mes frères et mes sœurs

*Mes camarades de la promo d'hydraulique option
Technologie et Traitement des Eaux*

De 2011/2013

Mes très chers amis

Je dédie ce modeste travail.

Abdelhamid

Résumé

L'épuration des eaux usées des petites et moyennes agglomérations repose généralement sur les procédés extensifs, car ces derniers sont les plus adaptés du point de vue technique et surtout économique.

L'épuration des eaux usées par les procédés extensifs, est non seulement moins coûteuse mais plus simple à exploiter par rapport aux systèmes d'épuration intensifs, par boue activée ou par traitement physico-chimique. Ces systèmes sont très peu utilisés en Algérie.

Notre travail consiste à effectuer une étude bibliographique des procédés d'épuration extensifs pour ensuite étudier et dimensionner une station d'épuration des eaux usées de la localité de « Fraouna » dans la région de Terny (Daïra de Mansourah, wilaya de Tlemcen) en amont du barrage El Mefrouch.

Notre choix a porté sur une STEP à filtres plantés de roseaux car les eaux usées de Fraouna sont essentiellement des eaux domestiques (vannes et/ou ménagères) et elles sont déjà prétraitées par un bassin de décantation. Le dimensionnement a été fait pour 1000EH selon une étude démographique à long terme (horizon 2025).

Mots clés : Filtres plantés de roseaux, épuration des eaux usées, station d'épuration, localité de Fraouna, barrage El Mefrouch, région de Terny, petites et moyennes agglomérations, 1000EH, horizon 2025.

Abstract

Abstract

The wastewater treatment of small and medium-sized towns based on process extension, because they most suited to the technical and economic.

The wastewater by extensive processes, is not only less expensive but easier to use compared to intensive treatment systems, activated sludge or physico-chemical treatment. These systems are rarely used in Algeria.

Our work is carried out a literature review of extensive purification processes for study and then design a treatment plant wastewater from the town of "Fraouna" in the region Terny (Daira Mansoura, Tlemcen) upstream dam El Mefrouch.

Our choice focused on a STEP in reed bed filters for wastewater Fraouna are essentially domestic sewage (valves and / or household) and are already preprocessed by a settling pond. The design was done according to a demographic study 1000EH long-term (2025).

Key words: reed bed filters, wastewater treatment, upstream dam El Mefrouch, Fraouna, 1000EH, small and medium-sized towns based, long-term 2025.

ملخص

ملخص

معالجة مياه الصرف الصحي للمدن الصغيرة والمتوسطة الحجم تستند عموما على عمليات واسعة النطاق، لأنها هي الأنسب من وجهة النظر الفنية والاقتصادية على وجه الخصوص.

معالجة مياه الصرف الصحي من خلال عمليات واسعة النطاق، ليس فقط اقل تكلفة ولكن أسهل في الاستخدام مقارنة بالأنظمة العلاج المكثف والحماة المنشطة أو المعالجة الفيزيائية الكيميائية. ونادرا ما تستخدم هذه النظم في الجزائر.

عملنا يتمثل في جمع المعلومات التي يحققها هذا النوع من نظام التطهير في العالم عن طريق دراسة مكتبية من اجل دراسة و تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصحي لقرية الفراونة في منطقة تيرني (دائرة منصور، ولاية تلمسان) فوق سد المفروش.

ركزنا خيارنا على محطة معالجة مياه الصرف الصحي بواسطة مرشحات مزروعة بالنباتات المكروفيئية لان مياه الصرف الصحي لقرية الفراونة هي أساسا مياه الصرف الصحي المنزلي (الحنفيات أو مياه التنظيف) وهذه المياه معالجة سابقا معالجة أولية بواسطة حوض الترسيب. التصميم تم وفقا لدراسة ديموغرافية 1000 نسمة طويلة الأمد (آفاق 2025).

مفتاح الكلمات مرشحات مزروعة بالنباتات المكروفيئية، معالجة مياه الصرف الصحي، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، قرية الفراونة ، سد المفروش، الهدن الصغيرة والمتوسطة الحجم، 1000 نسمة، آفاق 2025 .

Table des matières

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre I. Techniques et procédés d'épuration	
Introduction	4
I. Les différentes sortes des eaux usées	4
I.1. Les eaux usées domestiques	4
I.2. Les eaux usées industrielles	4
I.3. Les eaux usées d'origine agricole	4
II. Caractéristiques des eaux usées	5
II.1. Les paramètres physiques	5
II.2. Les paramètres chimiques	6
II.3. Autres paramètres	6
III. Les rejets des eaux usées et pollution de l'environnement	6
III.1. Rejets sauvages et pollution de l'environnement	6
III.2. Assainissement	7
III.3. Techniques d'assainissement et l'épuration	8
III.3.1. Historique	8
III.3.2. Procédé intensifs et classiques	8
III.3.2.1. Les lits bactériens	9
III.3.2.1.1. Principe de fonctionnement	9
III.3.2. 1.1.1. Principe	9
III.3.2. 1.1.2. Utilisation	9
III.3.2.1.2. _Domaine d'application	10
III.3.2.1.3. Avantages et inconvénients de la filière	10
III.3.2.2. Disques biologiques	11

Table des matières

III.3.2.2.1. Principe de fonctionnement	11
III.3.2.2.1.1. Principe	11
III.3.2.2.1.2. Utilisation	11
III.3.2.2.2. Domaine d'application	12
III.3.2.2.3. Avantages et inconvénients de la filière	12
III.3.2.3. Les boues activées	12
III.3.2.3.1. Principe de fonctionnement	12
III.3.2.3.1.1. Principe	12
III.3.2.3.1.2. Origine du procédé	13
III.3.2.3.2. Domaine d'application	13
III.3.2.3.3. Avantages et inconvénients de la filière	13
III.3.3. Procédés extensifs	14
III.3.3. 1. Cultures fixes	14
III.3.3. 1.1. L'infiltration-percolation sur sable	15
III.3.3. 1.2. Les filtres plantés de roseaux	16
III.3.3. 2. Culture libre	17
III.3.3. 2.1. Fonctionnement	17
III.3.3. 2.2. Le lagunage naturel	18
III.3.3. 2.3. Le lagunage aéré	18
Conclusion	19

Chapitre II. Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Introduction	21
A/ Cultures fixées	21
I. Infiltration-percolation sur sable	21
I.1. Principe de fonctionnement	21
I.1.1. Principe	21
I.1.2. Utilisation	22
I.1.3. Domaine d'application	22
I.1.3.1. Réseaux d'assainissement	22
I.1.3.2. Limites de capacité du traitement	22
I.1.3.3. Niveau d'épuration	23
I.1.3.4. Conception	23

Table des matières

I.1.3.4.1 Généralité	23
I.1.3.4.2. Dimensionnement	23
I.1.3.4.2.1. Bases de dimensionnement	23
I.1.3.4.2.2. Les points clés du dimensionnement	24
I.1.3.4.3. Dysfonctionnement	25
I.1.3.4.4. Condition d'adaptation du procédé	26
I.1.3.4.5. Performances	27
I.1.3.4.6. Récapitulatif	27
I.1.3.5. Synthèse	28
II. Les filtres plantés de roseaux	28
II.1. Historique	28
II.2. Principe de fonctionnement	29
II.2.1. Principe	29
II.3. Les différentes variétés de filtres plantés	29
II.4. Roseaux	30
II.5. Utilisation	31
II.6. Domaine d'application	31
II.7. Le climat	31
II.8. Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical	32
II.8. 1. Fonctionnement	33
II.8.2. Conception des filtres plantés à écoulement vertical	34
II.8.2.1. Généralité	34
II.8.2.2. Dimensionnement	34
II.8.2.2.1. Bases de dimensionnement	34
II.8.2.2.2. Les points clés du dimensionnement	35
II.8.2.2.3. Dysfonctionnements	36
II.8.2.2.4. Conditions d'adaptation du procédé	36
II.8.2.2.5. Performances	37
II.8.2.2.6. Synthèse	37
II.9. Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	38
II.9. 1. Fonctionnement	38
II.9.2. Conception des filtres plantés à écoulement horizontal	38
II.9.2.1. Généralité	38

Table des matières

II.9.2.2. Dimensionnement	39
II.9.2.2.1. Bases de dimensionnement	39
II.9.2.2.2. Les points clés du dimensionnement	40
II.9.2.3. Conditions d'adaptation du procédé	40
II.9.2.4. Performances	40
II.10. Comparaison	42
II.11. Récapitulatif	42
II.12. Synthèse	43
B/ Cultures libres	43
I. Lagunage Naturel	43
I.1. Historique	43
I.2. Principe de fonctionnement	44
I.2.1. Principe	44
I.3. Domaine d'application	45
I.4. Les conditions climatiques	45
I.5. Conception	45
I.5.1. Dimensionnement	45
I.5.1.1. Bases de dimensionnement	45
I.5.1.2. Dimensionnement en fonction des conditions climatiques	46
I.5.1.3. Les points clés du dimensionnement	47
I.5.1.4. Dysfonctionnement	48
I.5.1.5. Conditions d'adaptation du procédé	50
I.5.1.6. Performances	50
I.5.1.7. Récapitulatif	51
II. Le lagunage àère	51
II.1. Caractéristiques	51
II.2. Principe de fonctionnement	52
II.2.1. Principe	52
II.2.2. Utilisation	54
II.2.3. Domaine d'application	54
II.2.4. Conception	54
II.2.4.1. Dimensionnement	54
II.2.4.1.1. Base de dimensionnement	54

Table des matières

II.2.4.1.2. Dysfonctionnement	55
II.2.5. Conditions d'adaptation du procédé	56
I.2.6. Performances	56
II.2.7. Avantages techniques	57
II.2.8. Inconvénients techniques	57
III. Résumé des différentes filières	57
IV. L'importance du facteur climatique	58
Conclusion	59

Chapitre .III. Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de terny (fraouna)

Introduction	62
I. Description de la zone d'étude	63
I.1. Limite géographique	63
I.2. Situation géologique	64
I.3. Contexte climatique	64
I.3.1. Pluviométrie	64
I.3.2. Températures	65
II. Paramètres de conception	66
II.1. Etude démographique	66
II.2. Type des eaux usées de la région de Terny	68
II.3. Estimation du débit d'eaux usées	68
II.4. Etat actuel du traitement des eaux usées dans la région.	69
III. Etude et dimensionnement de la STEP	70
III.1 Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical	70
III.1.1. Alimentation	71
III.1.2 Nombre de filtres par étage	72
III.1.3 Surface des filtres	72
III.1.4 Surface totale disponible	72
III.1.5 Les matériaux	72
III.1.6. Profondeur	73
III.2. Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	73

Table des matières

III.2.1. Alimentation	75
III.2.2 Nombre d'étages]	75
III.2.3 Surface des filtres	75
III.2.4. Surface totale disponible	76
III.2.5. Profondeur	76
III.2.6. Largeur et longueur du filtre	76
III.2.7. Les matériaux	77
IV. Solution choisie	77
Conclusion	77
Chapitre IV. Etude technico-économique de la STEP	
Introduction	79
IV.1. Etude technique	80
IV.1.1. Choix du terrain	80
IV.1.2. Les contraintes naturelles du site	80
IV.1.2.1.les contraintes géologiques	80
IV.1.2.3 Les contraintes climatiques	81
IV.2. Etude économique	82
I.2. Devis estimatif de la STEP.	84
Conclusion	86
Conclusion général	87

Liste des tableaux

Tableau II.1.les points clés du dimensionnement	24
Tableau II.2.Principaux dysfonctionnement	25
Tableau II.3.Condition d'adaptation du procédé	26
Tableau II.4. Tableau récapitulatif d'une filière type de lit d'infiltration-percolation sur sable	27
Tableau II.5 Avantages & inconvénients de la filière	28
Tableau II.6.:évolution de la mise en place de filtre plantés de macropyhtes dans quelques pays européens (H=horizontal, V=vertical)	31
Tableau II.7.Les points clés du dimensionnement	35
Tableau II.8. Principaux dysfonctionnement	36
Tableau II.9. Condition d'adaptation du procédé	36
Tableau II.10. Performances	37
Tableau II.11. Avantages & inconvénients de la filière	37
Tableau II.12.les points clés du dimensionnement	40
Tableau II.13.Condition d'adaptation du procédé	41
Tableau II.14. Comparaison des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et à écoulement horizontal	42
Tableau II.15. Tableau récapitulatif d'une filière type de filtre planté de roseaux	42
Tableau II.16. Avantages & inconvénients de la filière	43
Tableau II.17. Répartition des surfaces des lagunes	46
Tableau II.18.Dimensionnement en fonction des conditions climatiques	46
Tableau II.19.les points clés du dimensionnement	47
Tableau II.17. Principaux dysfonctionnement	48
Tableau II.18. Condition d'adaptation du procédé	50
Tableau II.19. Tableau récapitulatif d'une filière type de lagunage naturel	51
Tableau II.20. Base de dimensionnement pour les lagunes aérées	55
Tableau II.21. Base de dimensionnement pour la lagune de décantation	54
Tableau II.23. Principaux dysfonctionnement	55
Tableau II.24. Condition d'adaptation du procédé	56
Tableau II.25. Les techniques d'épuration extensives	58
Tableau II.26. Récapitulatif des avantages et inconvénients des filières extensives	59
Tableau.III.1.Moyenne des précipitations en mm de 1975 à 1980.	64
Tableau III.2 Moyenne des températures de 1975 à 1980	65
Tableau III.3. Evolution de la population de 1966 à 2007	66

Liste des tableaux

Tableau III.4 Estimation de l'évolution de la population, taux d'accroissement (en %)	67
Tableau III.5 Estimation de l'évolution de la population par commune.	67
Tableau III.6. Estimation de la population de la commune de Terny jusqu'à 2015	67
Tableau III.7 Evolution de la population	68
Tableau III.8 Caractéristiques qualitatif de l'effluent	68
Tableau III.9. Règle de base habituelle de dimensionnement	72
Tableau III. 10 : valeur de k DBO5 et de surface spécifique en fonction du type d'eaux à traiter	76
Tableau III.11 : Tableau comparatif des deux techniques	77
Tableau. IV.1.devis quantitatifs et estimatifs	84

Liste des figures

Figure I.1. : Photo du point de rejet d'eau usée dans le milieu Natural	7
Figure. I.2. Station d'épuration comportant un lit bactérien	9
Figure. I.3. Schéma de principe d'une filière classique Disques biologiques	11
Figure I.4. Schéma d'une station d'épuration à boue activé	13
Figure. I.5. Infiltration-percolation étanchée et drainée	16
Figure I.6. Coupe du filtre planté de roseaux	17
Figure I.7. Schéma de mécanisme en jeu dans les bassins de lagunage naturel	18
Figure I.8. Lagune aérée - capacité 2100 EH	19
Figure II.1. Principe de fonctionnement de l'épuration par infiltration-percolation	22
Figure II.2. Principe d'une station à filtres plantés de roseaux.	29
Figure II.3. La filtration par les roseaux	30
Figure II.4. Les filtres verticaux de Queige en conditions hivernale et estivale	32
Figure II.5. Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical	33
Figure II.6. Schéma de conception des premier et second étages	34
Figure II.7. Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal	38
Figure II.8. Lagunage naturel principe de fonctionnement	44
Figure II.9. Exemple de lagunage aérobie	52
Figure II.10. Station de lagunage aéré de la ville d'Ouargla (Algérie)	53
Figure .III.1.Situation géographique de Terny	63
Figure III.2 Moyenne des précipitations de 1975 à 1980	65
Figure. III .3.moyenne des températures de 1975 à 1980	66
Figure III.4. Bassin de décantation.	69
Figure III.5.Schéma de principe de la station d'épuration	70
Figure III.6 Alimentation en surface des filtres verticaux de la station Saint Laurent(France)	71
Figure III.7 Plaque anti-affouillement avec alimentation souterraine des filtres verticaux de la station d'épuration de Mauzac et Grant Castang	71
Figure III.8.Schéma d'un filtre à écoulement horizonta	74
Figure. IV.1.Terrain choisi	80
Figure .IV. 2. Terrassement	81
Figure IV.3.Schéma de principe de la station d'épuration	83

Abréviations

MES	Matières En Suspension
MVS	Matières Volatiles Sèches
MMS	Matières Minérales en Suspension
DBO5	Demande Biochimique en Oxygène sur 5jour
DCO	Demande Chimique en Oxygène
EH	Equivalent Habitant
%	Pourcentages
j	jour
H	Horizontal
V	Vertical
°C	Degré Celsius
m/j	Mètre par jour
m/s	Mètre par seconde
g/m ² /j	Gramme par mètre carré par jour
m ² /EH	Mètre carré par équivalent habitant
mg/l	Milligramme par litre
m /h	Mètre par heure
h	heure
FPRV	Filtre Planté de Roseaux à écoulement Vertical
FPRH	Filtre Planté de Roseaux à écoulement Horizontal
mm	millimètre
l/hab. /j	Litre par habitant par jour
W/m ³	Watt par mètre cube
STEP	Station d'épuration des eaux usées
DA	Dinar Algérien

Introduction général

Introduction générale

L'eau est un élément essentiel de la biosphère. Elle obéit à un cycle gouverné par le soleil et la gravité, dont l'influence se manifeste par l'évaporation, les précipitations et le ruissellement mais aussi par l'activité des être vivants.

La protection de l'environnement et la pérennité des ressources hydriques superficielles et souterraines, nécessitent une prise de conscience directe pour assurer un développement durable d'un pays. Ceci dit, l'assainissement et l'épuration des eaux usées constituent des techniques qui se sont perfectionnées depuis des décennies dans les pays développés. Par contre, dans les pays en voie de développement le déficit d'infrastructures en matière d'assainissement a contribué à la banalisation des rejets des eaux usées dans les milieux naturels en les exposant aux risques de la pollution et de la contamination des ressources hydriques, ce qui aggrave considérablement la crise d'eau et diminue le potentiel des ressources exploitables.

L'épuration des eaux usées est, donc, une nécessité impérieuse si l'on veut protéger nos ressources eau, notre milieu marin, notre cadre de vie et également pour augmenter les ressources en eau par recyclage des eaux usées en vue de leur utilisation à des fins industrielles ou agricoles.

Les problèmes de mauvaise qualité d'eau qui nuisent gravement à l'environnement et à la santé des êtres vivants, de vastes programmes sont actuellement en cours de réalisation dans le but de collecter les eaux usées et d'éviter leurs rejets bruts dans le milieu naturel. Les procédés d'épuration intensifs sont très coûteux et très gourmands en électricités, alors qu'il existe des systèmes naturels, fiables, peu coûteux et très simples à exploiter pour remédier à ce problème épineux.

L'épuration des eaux usées par les procédés extensifs apparaît dès lors comme une technique incontournable pour le développement durable.

Dans notre étude nous avons procédé à une étude bibliographique de l'épuration des eaux usées par procédés extensifs pour de petites agglomérations dans un contexte de développement durable.

La présente contribution est composée de deux parties distinctes, structurées en quatre chapitres, correspondants aux taches et contenu suivants :

Introduction général

- La première partie est une étude entièrement bibliographique. Elle est consacrée à une recherche sur la problématique des eaux usées, et les différentes filières d'épuration des eaux usées. Ce sont les trois premiers chapitres.
- La deuxième partie est quand à elle l'étude et le dimensionnement d'une STEP à filtres plantés de roseaux pour la localité de Fraouna (Commune de Terny, Daïra de Mansourah et Wilaya de Tlemcen).
 - Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique des différentes filières d'épuration des eaux usées et en particulier les systèmes intensifs.
 - Dans le deuxième chapitre nous traitons également les différents procédés d'épuration des eaux usées extensifs.
 - Le troisième chapitre est notre contribution personnelle. Elle est réservée à l'étude de la localité de Fraouna et au choix et dimensionnement d'une station de traitement des eaux usées par les filtres plantés de roseaux pour cette localité.
 - Dans Le quatrième et dernier chapitre nous essayons de montrer les avantages économiques et d'exploitation d'une station de traitement des eaux usées par les filtres plantés de roseaux pour cette localité.

Chapitre I :

Techniques et procédés d'épuration

Introduction

Avec l'augmentation de la population et le développement des activités de l'homme (agriculture, industrie...etc.), les besoins en eau potable augmentent et par conséquent l'augmentation des eaux usées en découle. Celles-ci peuvent être définies comme les eaux qui sont dégradées par les activités des hommes ; il peut s'agir d'activités domestiques ou industrielles. Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel peut causer des très graves problèmes à la santé publique et des nuisances environnementales [1].

I. Les différentes types des eaux usées

Les eaux usées sont classées en trois sortes :

I.1. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit (tout-à-l'égout).

- **Les eaux ménagères** : contiennent les matières en suspension (terre, sable, déchets et des matières dissoutes (sels minéraux et substances organiques diverses) [2].
- **les eaux de vannes** : s'appliquent aux rejets des toilettes. Elles sont chargées des diverses matières organique azotées et de germes fécaux [1].

I.2. Les eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre [3]. Elles peuvent contenir du phosphate et des métaux lourds. De manière générale, les industriels possèdent leur propre système de traitement des eaux usées [1].

I.3. Les eaux usées d'origine agricole

L'agriculture est une source de pollution des eaux négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol

est assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles est des eaux des cours d'eau ou des retenues [4].

II. Caractéristiques des eaux usées :

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

II.1. Les paramètres physiques :

- **Les Matières En Suspension (MES) :**

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

- **Les Matières Volatiles en Suspension (MVS) :**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 650°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Après évaporation de la partie organique des matières en suspension, la pesée des matières résiduelles représente la quantité de la Matière Minérale en Suspension (MMS) [6]. La quantité de MVS est obtenue par différence entre les quantités de MES et de MMS [5].

- **Les matières minérales :**

Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspondent à la présence de sels, silice, poussière par exemple [6].

- **Les coliformes :**

Ce sont des bactéries, retrouvées dans les intestins des animaux à sang chaud. Pourtant, s'il y en a dans les eaux usées, cela indique que des bactéries pathogènes pourraient y être aussi présentes [5].

II.2. Les paramètres chimiques :

- **DBO5 :**

Exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques par les microorganismes du milieu [7]. Elle représente la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours [5].

- **DCO :**

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elles représentent la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales) [7].

II.3. Autres paramètres

Autres que le DBO5 et le DCO, il s'avère intéressant de déterminer la quantité d'azote et de phosphore organique et minéral, parce qu'ils affectent le milieu naturel et les cultures. En plus la précision de la température permet de choisir le traitement adéquat aux eaux usées et son efficacité. Il faudra aussi déterminer le pH, les métaux lourds et la turbidité des eaux usées [5].

III. Les rejets des eaux usées et pollution de l'environnement**III.1. Rejets sauvages et pollution de l'environnement**

Les effluents d'eaux usées sont rejetés dans une grande variété de milieux récepteurs comme les lacs, les étangs, les ruisseaux, les rivières, les estuaires et les océans. Les effluents rejetés par les systèmes de traitement des eaux usées contiennent des polluants qui sont préoccupants car même les systèmes de traitement sophistiqués ne sont toujours pas capables de retirer de l'eau tous les polluants et produits chimiques. De plus, certains systèmes de collecte et de traitement des eaux d'égout sont combinés aux réseaux d'égouts pluviaux qui peuvent devenir surchargés durant des périodes de pluies abondantes, entraînant le rejet d'effluents partiellement traités ou non traités. Les résidus solides (bio-solides et boues) recueillis durant le traitement sont épandus sur le sol, incinérés ou envoyés dans des lieux d'enfouissement. Le traitement des eaux usées libère également des émissions dans l'air, principalement sous forme de dioxyde de carbone et de méthane [61].



Figure I.1. : Photo du point de rejet d'eau usée dans le milieu Naturel [62].

III.2. Assainissement

L'assainissement des eaux usées est l'un des enjeux actuel pour garder un environnement sain et assurer un approvisionnement en eau potable pour les années à venir. A ce titre il existe deux types d'assainissement selon le type d'habitation et les choix fait par la collectivité :

- **L'assainissement collectif :**

Est assuré par un réseau de collecte (égouts) qui recueillent les eaux usées et les acheminent vers les stations d'épurations.

- **L'assainissement individuel :**

Dit « assainissement autonome » pour des habitations ou de petits groupes d'habitations trop éloignés pour être relié aux réseaux collectifs. Une fosse septique récupère les eaux usées [8].

III.3. Techniques d'assainissement et l'épuration**III.3.1. Historique**

Attachant une grande importance à la qualité de l'eau, les romains ont construit des aqueducs, des thermes, des latrines et des égouts. Une ville romaine était d'abord bâtie sur l'établissement de ses services d'évacuation des effluents, qui avec le temps furent couverts et enterrés pour des questions de salubrité.

Au Moyen Age les rues servent de cloaque et les épidémies sont fréquentes. C'est au XIX^{ème} siècle que s'élabore la conception moderne de l'assainissement avec le mouvement hygiéniste Britannique, qui préconise de collecter les eaux urbaines et de les mener par des canalisations enterrées, jusqu'aux sites de rejet en milieu naturel (pour éloigner les épidémies).

Les villes ont été assainies par la réalisation de réseaux d'égouts destinés à recevoir et transporter l'ensemble des eaux usées. La croissance constante, de l'urbanisation, de la démographie, ainsi que le développement industriel, a imposé la nécessité d'assainir les eaux usées des villes avant leur restitution dans le milieu naturel.

On est passé d'une logique d'éloignement des eaux usées à une logique de collecte et de traitement de cette eau : l'assainissement contemporain. La France compte aujourd'hui environ 250 000 Km de canalisation d'eaux usées dont le taux de collecte est estimé à 70 % [5].

III.3.2. Procédé intensifs et classiques

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

Trois grands types de procédé sont utilisés :

- Les lits bactériens
- disques biologiques
- Les boues activées [2].

III.3.2.1. Les lits bactériens

III.3.2.1.1. Principe de fonctionnement

III.3.2. 1.1.1. Principe

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 [7].

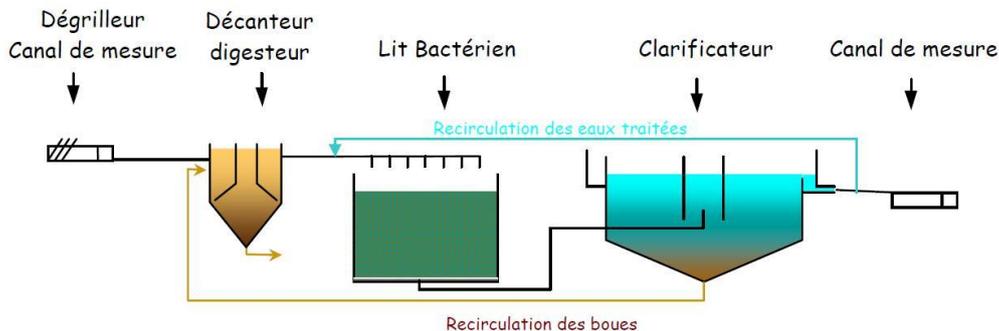


Figure. I.2. Station d'épuration comportant un lit bactérien [11].

III.3.2. 1.1.2. Utilisation

Cette filière de traitement était très prisée dans les années 60 et début des années 70. L'arrivée des filières à boues activées a considérablement freiné son développement. Actuellement, ce système est remis au goût du jour grâce à un coût énergétique faible et une exploitation facile, qui est nettement moins complexe que celle de la technique à boue activée classique [9].

III.3.2.1.2. Domaine d'application

Cette filière est adaptée pour les petites collectivités avec des charges de pollution à traiter comprises entre 200 et 2000 EH (Equivalents Habitants). Sur les unités les plus importantes, il peut être plus économique de répartir le traitement sur deux étages de lits bactériens en série [10].

III.3.2.1.3. Avantages et inconvénients de la filière [5].

Ce système d'épuration présente certains avantages :

- faible consommation d'énergie
- fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle
- peut être installé en amont d'une station à boue activée afin de déconcentrer les effluents du type agroalimentaire
- bonne décantation des boues
- plus faible sensibilité aux variations de charges et aux toxiques que les boues activées.

Mais aussi des inconvénients :

- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées, qui tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit par conséquent permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes
- coûts d'investissement assez élevés
- nécessité de prétraitements efficaces
- sensibilité au colmatage et au froid
- source de développement d'insectes (en cas de conception et/ou d'exploitation défectueuse)
- boues fermentescibles
- ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.

III.3.2.2. Disques biologiques

III.3.2.2.1. Principe de fonctionnement

III.3.2.2.1.1. Principe

Le disque biologique est constitué d'une série de disque en matière plastique à surface ondulée de 3m de diamètre environ et montés sur un axe horizontal. Ces disques sont immergés à 40% dans un bassin recevant l'eau à traiter. Les disques sont suffisamment espacés de manière à ce que l'eau puisse circuler librement. Le film biologique qui recouvre les disques est alternativement en contact avec l'eau usée et l'air. L'excès de biomasse des disques est évacué avec l'effluent, puis décanté. Ce procédé d'épuration est conseillé pour les agglomérations de 300 à 2000 EH [1].

L'effluent est prétraité par décantation. Un décanteur est également disposé en post-traitement pour permettre la recirculation des boues d'épuration [5].

Globalement, le fonctionnement d'une station d'épuration par disques biologiques se présente de la manière suivant [1] :

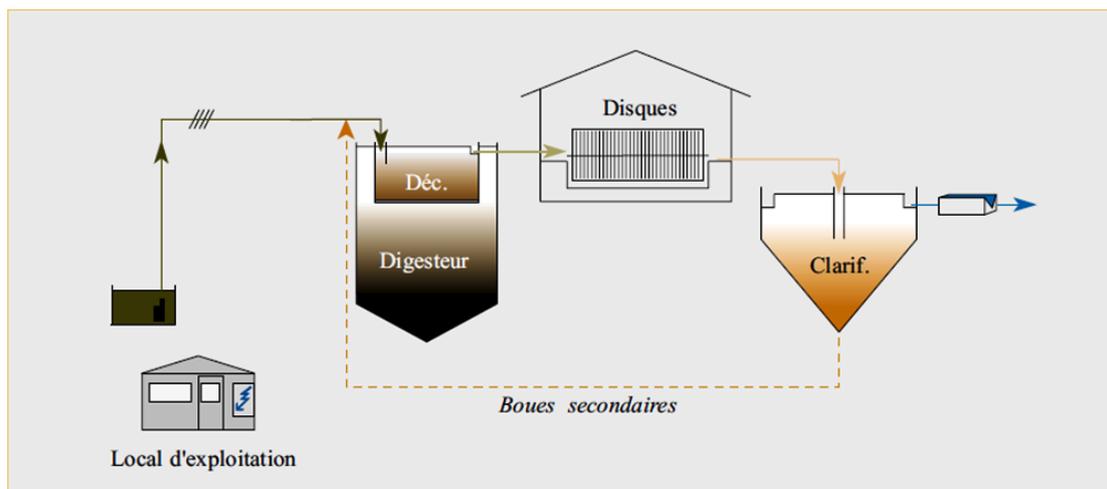


Figure. I.3. Schéma de principe d'une filière classique Disques biologiques [10].

III.3.2.2.1.2. Utilisation

Ce procédé a été pratiquement abandonné, en France, à partir de 1975 car il a connu de nombreuses défaillances mécaniques. Par contre, cette technique épuratoire est souvent rencontrée dans d'autres pays (notamment germanique et scandinaves) où des aménagements concernant la robustesse et la fiabilité du matériel mécanique ainsi que l'arrivée de nouveaux supports avec une surface développée plus grande sont observés [9].

III.3.2.2.2. Domaine d'application

Cette filière est adaptée pour les petites et moyennes collectivités avec des charges de pollution à traiter comprises entre 300 et 2000 E.H. (Equivalent Habitants) [10].

III.3.2.2.3. Avantages et inconvénients de la filière [5].**➤ Les avantages :**

- Faible consommation d'énergie. (1 kWh/kg de DBO5 éliminé)
- Fonctionnement simple demandant mois d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées.
- Bonne décantation des boues
- Plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées.
- Généralement adaptés pour les petites collectivités.
- Résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment).

➤ Les inconvénients

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

III.3.2.3. Les boues activées**III.3.2.3.1. Principe de fonctionnement****III.3.2.3.1.1. Principe**

La technique des boues activées est appropriée pour des eaux usées domestiques d'agglomérations à partir d'environ 1000 habitants, jusqu'aux plus grandes villes. Elle existe néanmoins pour des installations individuelles, quoique le procédé ne soit pas assez éprouvé. Les effluents industriels ou agroalimentaires sont très variables, et peuvent selon les cas être traités par ce processus, avec souvent une adaptation à leur

nature et caractéristiques. L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération [12].

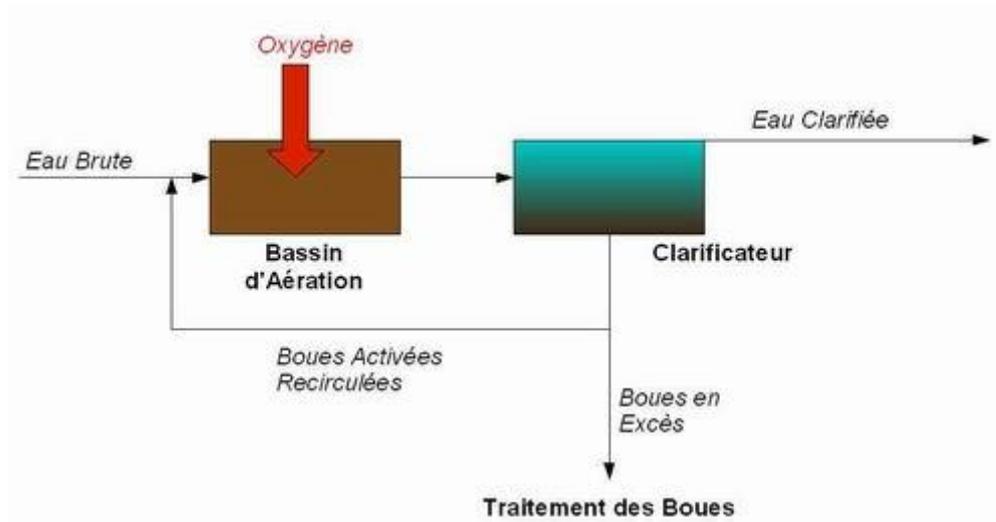


Figure .I .4. Schéma d'une station d'épuration à boue activé [12].

III.3.2.3.1.2. Origine du procédé

Ce principe a vu le jour par une constatation dans une eau d'égout dans laquelle de l'air barbotait. Une flore bactérienne s'est développée au détriment des matières organiques polluantes présentes. Le procédé a été développé, à l'origine, par ARDERN et LOCKETT en 1914 au Royaume Uni. [9]

III.3.2.3.2. Domaine d'application

Au-delà de 1 000 Equivalents Habitants (EH) : l'exploitation et l'entretien demandent une formation adaptée à la gestion des ouvrages de traitement.

En deçà de 500 EH : les coûts d'exploitation deviennent prohibitifs, par rapport aux autres filières de traitement [10].

III.3.2.3.3. Avantages et inconvénients de la filière [5].

➤ **Les avantages :**

- Adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites).

- Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO5, N, par nitrification et dénitrification).
- Adaptée pour la protection de milieux récepteurs sensibles.
- Boues légèrement stabilisées.
- Facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée.

➤ **Les inconvénients**

- Coûts d'investissement assez importants.
- Consommation énergétique importante.
- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière.
- Sensibilité aux surcharges hydraulique.
- Décantation des boues pas toujours aisée à maîtriser.

III.3.3. Procédés extensifs

Les techniques dites extensives sont des procédés qui réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres mais utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par photosynthèse. Le fonctionnement de ce type d'installation sans électricité est possible, excepté pour le lagunage aéré pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs ou les matériels d'insufflation d'air. Ces techniques ont été développées dans différents pays pour des collectivités de taille, en général, inférieure à 2000 EH. C'est le cas, en particulier, de la France avec les lagunes naturelles, de la Bavière avec un type de lagunage naturel de conception assez différente de celles réalisées en France ou encore du Royaume-Uni avec les filtres horizontaux (zones humides artificielles).

La diffusion de ces techniques vers des agglomérations de taille supérieure à 500 EH est envisageable avec certaines précautions que nous rappellerons.

III.3.3. 1. Cultures fixes

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 (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.

L'oxydation de la matière organique s'accompagne d'un développement bactérien, qui doit être régulé afin d'éviter le colmatage biologique interne du massif filtrant et le décrochage épisodique de la biomasse qui sont inévitables dès que les charges appliquées sont importantes. L'auto régulation de la biomasse est obtenue grâce à la mise en place de plusieurs massifs indépendants alimentés en alternance. Pendant les phases de repos (ou de non-alimentation), le développement des bactéries placées en situation "de disette" est réduit au maximum par prédation, dessiccation. Ces phases de repos ne doivent pas être trop longues afin que les processus épuratoires puissent reprendre rapidement, dès la nouvelle phase d'alimentation. Le plus fréquemment, les filières "cultures fixées sur support fin" sont conçues sur la base de 3 plateaux alimentés chacun pendant 3 à 4 jours consécutifs [13].

III.3.3. 1.1. L'infiltration-percolation sur sable

L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau est successivement distribuée sur plusieurs unités d'infiltration. Les charges hydrauliques sont de plusieurs centaines de litres par mètre carré de massif filtrant et par jour. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible.

Une autre variante intéressante de l'épuration par le sol est constituée par les filtres à sable horizontaux ou verticaux enterrés. Ces techniques utilisées, avant tout, pour les situations relevant de l'assainissement autonome restent intéressantes pour l'assainissement autonome regroupé concernant quelques centaines d'équivalents-habitants. Pour un filtre à sable vertical enterré, un dimensionnement de $3,5\text{m}^2/\text{hab.}$ est nécessaire et une alimentation basse pression recommandée [14].

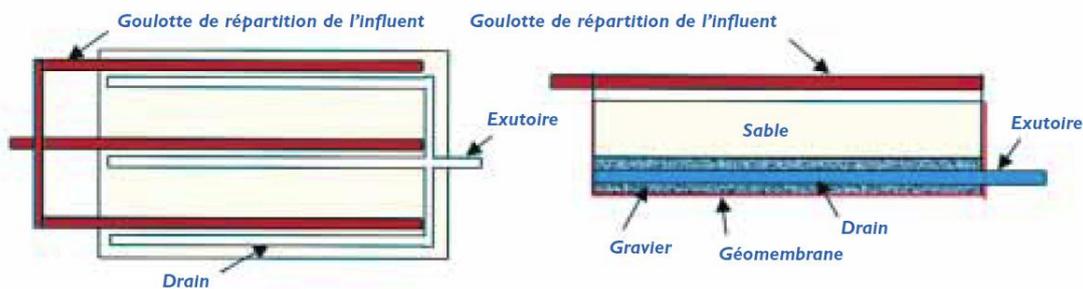


Figure. I.5. Infiltration-percolation étanchée et drainée [13].

III.3.3. 1.2. Les filtres plantés de roseaux

Les filtres plantés de roseaux sont des systèmes épuratoires permettant une reconstitution contrôlée des phénomènes d'autoépuration naturelle : l'épuration résiduaire consiste à éliminer les éléments solides maintenus en suspension, et à réaliser l'épuration biologique de l'eau en éliminant la pollution organique. De manière naturelle, des micro-organismes sont capables de transformer des molécules organiques ou minérales pour leur propre métabolisme. Les roseaux, de part leur système racinaire, ainsi que le substrat de sable et gravier qui constituent les filtres plantés de roseaux créent un milieu favorable à l'activité biologique et au développement des micro-organismes épurateurs, permettant ainsi une vitesse de réaction compatible avec les fortes charges en pollution arrivant au système, et provenant du réseau d'assainissement (eaux ménagères et eaux vannes) [21].

Les filtres plantés sont destinés au traitement des eaux usées d'origine domestique pour des capacités de 50 à 1000 EH, voire 2000 EH [23].

On distingue deux types de filtres plantés, suivant le sens de l'écoulement :

- Les filtres à écoulement vertical,
- Les filtres à écoulement horizontal.

Les stations à filtres plantés sont généralement un assemblage de lits de matériaux (gravier, sable, etc.) en parallèle et/ou en série [20].

- **Les filtres horizontaux** alimentés en continu fonctionnant en conditions saturées et aérobies en partie supérieure, l'oxygène étant apporté par diffusion à travers la surface grâce aux végétaux, et en condition saturée et anoxique en partie inférieure.
- **Les filtres verticaux** alimentés obligatoirement par bûchées fonctionnant, comme pour les filtres à sables, en condition insaturée aérobie, l'oxygène provenant du renouvellement de l'atmosphère du massif lors des bûchées par convection.

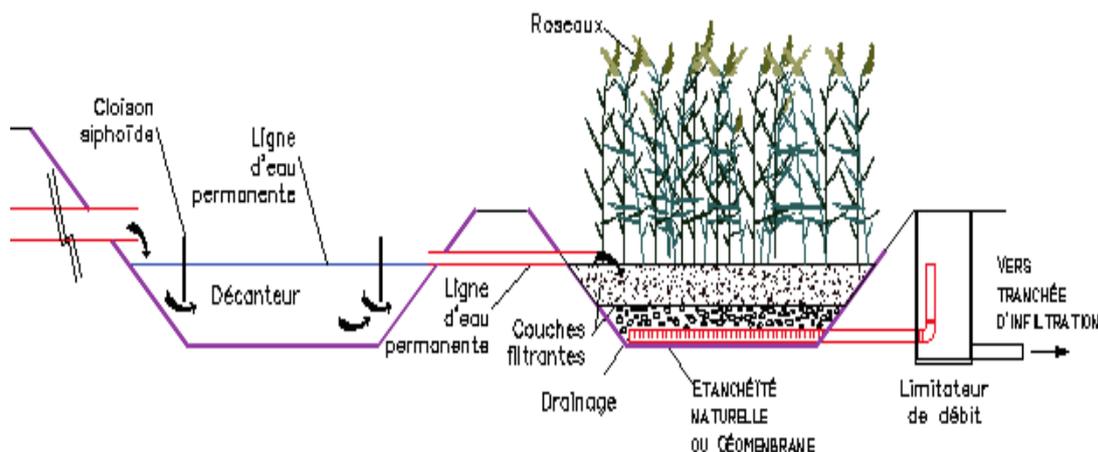


Figure I.6. Coupe du filtre planté de roseaux [37].

III.3.3. 2. Culture libre

III.3.3. 2.1. Fonctionnement

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...) [13].

III.3.3. 2.2. Le lagunage naturel

Le lagunage est généralement utilisé dans le traitement secondaire des eaux en zone rurale. On les réalise par aménagement des dépressions naturelles ou par creusage, ou érection d'une digue imperméable. Si le fond est perméable il faut le recouvrir par un film de plastique ou par une couche de bentonite pour ne pas polluer la nappe souterraine [38].

Le mécanisme de base est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure est exposée à la lumière et cela permet l'apparition d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries. L'épuration est assurée par un long temps de séjour dans plusieurs bassins en séries [39].

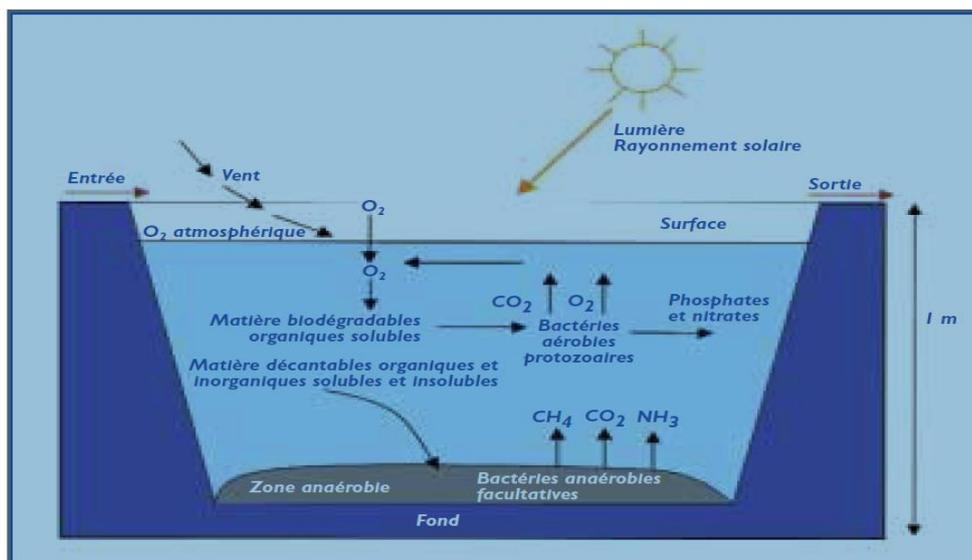


Figure I.7. Schéma de mécanisme en jeu dans les bassins de lagunage naturel [13].

III.3.3. 2.3. Le lagunage aéré

Le brassage de l'eau et l'insufflation d'air sont deux moyens d'accélérer la dégradation des matières organiques. Le dispositif est donc, dans ce cas, de nature électrique et chimique plutôt que biologique. On prévoit généralement une puissance de $3W/m^3$. L'aération ne se fait pas de façon permanente mais par séquence [32]. Les bassins ont une profondeur de 3 à 3,7m.

Comparativement aux bassins à boues activées, les lagunes aérées produisent peu de boues (environ 10 à 20% par rapport aux bassins à boues activées). Avec un grand recul, il a été constaté qu'en lagunage aéré, le curage des boues ne se fait que tous les 6 à 10 ans.

Les lagunages présentent des durées de stockage plus longues. Le sable et les boues décantées en tête de lagune primaire doivent être évacués plus souvent. De ce fait, il est recommandé d'aménager cette zone en la renforçant et la réalisant en profondeur.

Pour aspirer ces matières décantées, on utilise des camions citernes équipés d'une pompe à vide.

L'efficacité de ce procédé dépend du temps d'aération, de la température et de la nature de l'eau usée. Le temps d'aération est de 3 à 8 jours selon le niveau de traitement désiré, le temps de rétention est de 25 à 35 jours [39].



Figure I.8. Lagune aérée - capacité 2100 EH [14].

Conclusion

Le traitement des eaux usées est nécessaire pour protéger le milieu naturel et même pour l'approvisionnement des eaux en cas de pénurie d'eau dont souffre un grand nombre de pays et en particulier ceux du sud. Pour mettre à profit cette source d'eau usée il faut la traiter et pour cela il est indispensable de bien connaître les différents types de techniques et procédés d'épuration pour choisir la technique la plus adéquate.

Chapitre II :

Étude et comparaison des techniques
d'épurations extensives

Introduction

Le traitement des eaux usées domestiques par procédés extensifs a été amélioré ces dernières années pour répondre aux besoins des localités de tailles réduites ou moyennes. L'eau traitée par ces techniques peut être réutilisée pour l'irrigation et/ou pour les besoins du bétail. L'épuration par les procédés extensifs a pu démontrer son efficacité dans les pays développés, notamment en Europe. Ce mode d'épuration des eaux usées est en voie d'expansion à travers les petites agglomérations rurales loin des industries. Les procédés extensifs différents les uns des autres ont des avantages et des inconvénients que nous allons énumérer.

A/ Cultures fixées

Les procédés d'épuration à culture fixées sur support fin consistent à faire ruisseler l'eau à traiter sur plusieurs massifs indépendants [13].

I. Infiltration-percolation sur sable

I.1. Principe de fonctionnement

I.1.1. Principe

Le principe d'épuration par infiltration percolation repose sur des mécanismes de traitement par des cultures fixées sur support fin [15]. C'est une technique d'épuration des eaux usées qui consiste à faire passer l'effluent à traiter à travers un sol hautement perméable (10 à 30cm/jour). Elle est en général réalisée au moyen de bassin d'infiltration remplis de sable, inondés à raison de quelques centaines de litre par mètre carré et par jour, pendant plusieurs jour ou plusieurs semaines. Les charges appliquées vont de 50 à 150m par an et sont fonction des caractéristiques de l'effluent et du sol, ainsi que des conditions climatiques.

Les phénomènes physiques, chimiques, biologiques mis en jeu pour l'épuration sont :

- La filtration et la sédimentation des particules au niveaux des pores du sol,
- L'échange ionique, l'adsorption et la précipitation de sels dissous,
- La biodégradation de la matière organique [16].

Le schéma de principe de cette technique d'épuration est donné par la figure ci-dessous (Fig. II.1).

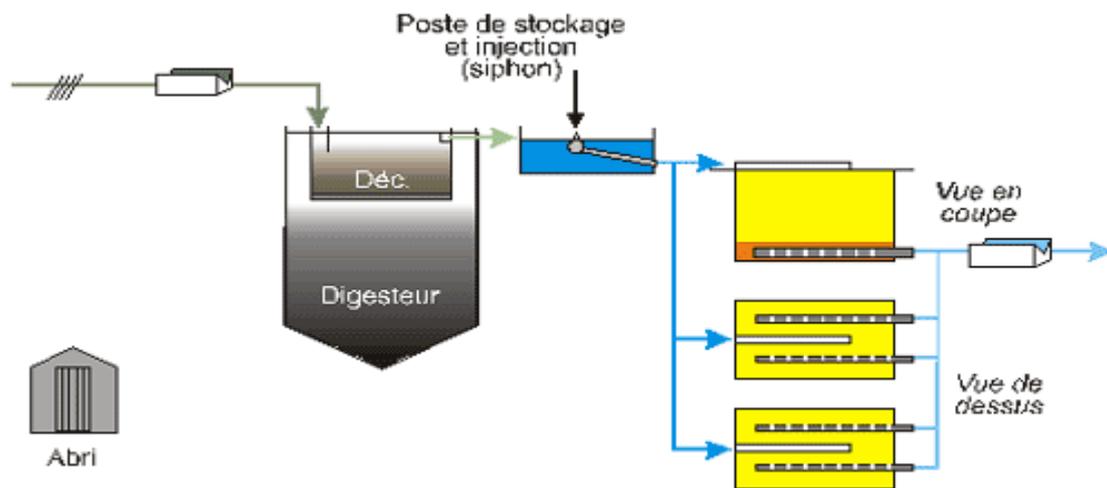


Figure II.1. Principe de fonctionnement de l'épuration par infiltration-percolation. [19].

I.1.2. Utilisation

Ce dispositif épuratoire a vu le jour aux Etats-Unis, dans les années 45. Il sert en premier lieu de traitement secondaire des petites collectivités ou de traitement tertiaire avant rejet dans la nappe phréatique [17].

I.1.3. Domaine d'application

I.1.3.1. Réseaux d'assainissement

Le réseau d'assainissement doit être séparatif et doit avoir subi positivement les contrôles de réception classiques : inspections par camera, tests d'étanchéité et de compactage. La fraction de pollution non domestique doit rester inférieure à 30% de la capacité nominale du dispositif.

I.1.3.2. Limites de capacité du traitement

- Jusqu'à 400 EH pour le filtre à sable en terre.
- Jusqu'à 800 EH pour le filtre à sable à surface libre.

Toutefois, compte tenu des difficultés rencontrées pour répartir l'effluent, on retiendra également une limite de 400 EH pour les filtres à surface libre.

I.1.3.3. Niveau d'épuration

Une concentration moyenne en sortie sur 24 heures inférieure ou égale à :

- 25mg/l de DBO5
- 125mg/l de DCO

En complément, ce type de traitement apporte une élimination quasi-totale des MES, une nitrification poussée de l'azote Kjeldahl et une réduction de la charge bactérienne, fonction de la hauteur de matériau.

Le procédé de traitement par filtration sur sable, dans sa conception classique, n'est pas adapté à :

- La dénitrification,
- Le déphosphatation des effluents [18].

I.1.3.4. Conception

I.1.3.4.1 Généralité

L'infiltration-percolation est une filtration biologique aérobie sur support granulaire fin [17].

I.1.3.4.2. Dimensionnement

I.1.3.4.2.1. Bases de dimensionnement

- **Surface des lits filtrants :**

Une surface globale de $1,5\text{m}^2/\text{EH}$ est souhaitable pour dimensionner les lits d'infiltration sur sable drainés ou non. Lors d'un traitement par fosse toutes eaux, la surface utile est plus importante.

- **Nombre d'unités de filtration :**

Le nombre d'unités doit tenir compte de la surface totale du lit d'infiltration et de la compatibilité d'assurer une répartition uniforme des eaux usées sur cette même unité.

Le fractionnement en trois unités de filtration est en général souhaitable. Cependant, seuls deux massifs filtrants sont présents pour les installations de moins de 100EH.

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Dans le cas d'un fonctionnement saisonnier, le choix d'une seule unité peut être envisageable. La séparation des unités est délimitée par de simples cloisons, hautes de 20 à 30cm, au-dessus de la plage d'infiltration [13].

Le cloisonnement du massif filtrant dans son épaisseur n'est pas nécessaire, sauf en cas de contraintes topographiques ou hydrogéologiques du site.

- **Épaisseur du massif filtrant :**

Une hauteur de sable de 0,80 à 1m au minimum paraît satisfaire les objectifs d'épuration habituels, excepté l'élimination des germes pathogènes.

I.1.3.4.2.2. Les points clés du dimensionnement

Le tableau II.1 ci-dessous présenté donne les points clés du dimensionnement.

Tableau II.1. les points clés du dimensionnement [17].

Paramètres	Unité	Valeurs standard
Prétraitement		
Espacement barreaux dégrillage	cm	5
Décanteur-digesteur		
Vitesse ascensionnelle	m/h	1 à 1,5
Temps de séjour	h	1,5
Volume de digestion		1 à 1,5 x V admis
Lagune de décantation		
Charge appliquée	DBO5 g/m ³ /j	100
Temps de séjour (réseau unitaire)	jour	2 à 5
Temps de séjour (réseau séparatif)	jour	8 à 10
Profondeur	m	2,5 à 3,5
Surprofondeur fosse à boues	m	/
Lit d'infiltration		
Nombre de bâchées		3 à 6 /jour
Hauteur lame d'eau apportée par une bâchée	cm	3 à 5
Hauteur lame d'eau moyenne journalière (rapportée à la surface totale de filtration)	cm/j	15
Hauteur lame d'eau maximale journalière (rapportée à la surface d'un lit de filtration)	cm/j	90
Nombre de lits		3 ou multiple de 3
Dimensionnement lit non couvert	m ² /EH ₆₀	1.5

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Dimensionnement lit couvert	m^2/EH_{60}	3
-----------------------------	---------------	---

I.1.3.4.3. Dysfonctionnement [17].

Le tableau II.2 ci-dessous présenté donne les principaux dysfonctionnements

Tableau II.2. Principaux dysfonctionnement

Dysfonctionnement	Cause	Solution
Difficultés d'infiltration des de fonctionnement effluents	Colmatage de la plage d'infiltration	Basculer sur un autre bassin. Assurer une période de séchage au moins égale au double du temps de fonctionnement.
	Remontée de la nappe phréatique saturation du massif	Mettre en œuvre un système de drainage de la nappe sous massif
Odeurs	Durée d'alimentation du filtre en service trop élevée.	Augmenter les fréquences de rotation des ouvrages.
	Accumulation de déchets ou de boues dans les ouvrages de prétraitement	Assurer un entretien régulier des ouvrages de prétraitement (curage, nettoyage)
	Colmatage avancé de la plage d'infiltration	Basculer sur un autre filtre
Colmatage rapide des plages d'infiltration	Dysfonctionnement du prétraitement départ de boues et/ou dégraissage inefficace (enrobage des grains)	<ul style="list-style-type: none"> - Assurer un prétraitement efficace - en adaptant les ouvrages existants (par augmentation de la fréquence de curage et d'extraction des graisses), - en mettant en œuvre en parallèle en ouvrage supplémentaire - en remplaçant le dégrillage classique par un système plus performant
	Phase de repos trop courte	Augmenter la durée de séchage
	Colmatage support	Remplacer le matériau de filtration
Immersion prolongée en période de fortes pluies	Charge hydraulique journalière cumulée trop importante (quantité d'eau pluviale et d'eaux usées dépassant la	Prévoir un trop plein à 20-30 cm de la plage d'infiltration pour l'évacuation des surcharges pluviales vers un stockage ou une

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

	capacité nominale	surface de traitement prévue à cet effet
	Remontée de la nappe phréatique, saturation du massif	Mettre en œuvre un système de drainage de la nappe sous massif
- Prise en masse du support - Colmatage progressif et irréversible	Influent fortement chargé en carbonate de calcium, prise en masse au contact du Sable calcaire, riche en aluminium (prise en masse au contact de l'eau)	Utiliser un sable lavé non calcaire-Changer régulièrement les couches colmatées du massif si aucune autre solution n'est acceptable.
-Concentration importante en azote organique et ammoniacal en sortie.	Aération insuffisante du massif	-Augmenter la durée de ressuyage (diminution du colmatage) - Eviter de couvrir les bassins (faucardage, désherbage, ratissage réguliers) - Diminuer le volume des bâchées en augmentant la fréquence d'alimentation (charge journalière inchangée)
-Dénitrification poussée au sein du système.	Teneur en azote NK élevée (présence eaux usées non domestiques)	Rechercher l'origine des eaux usées non domestiques

I.1.3.4.4. Condition d'adaptation du procédé

Le tableau II.3 ci-dessous présenté donne les conditions d'adaptation du procédé.

Tableau II.3.Condition d'adaptation du procédé [25].

Caractéristiques du réseau d'assainissement		
Type de réseau	séparatif	Oui
	unitaire	seulement avec une bonne limitation du débit
Caractéristiques qualitatives de l'influent		
Nature	Domestique	Oui
	non domestique	Non
Caractéristiques qualitatives de l'eau traitée⁽¹⁾		
Efficacité de l'élimination de la pollution carbonée		Bonne DBO5 : 90 % - 10 mg/l DCO : 85% - 50 mg/l
Efficacité de l'élimination de la pollution en matières en suspension		Bonne 90 % - 15 mg/l
Efficacité de l'élimination de la pollution azotée en NK		Bonne 75 % - 10 mg/l

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Efficacité de l'élimination de la pollution azotée en NGL	Faible 35 % - 30 mg/l
Efficacité de l'élimination de la pollution phosphorée	Acceptable 40 % - 5 mg/l

⁽¹⁾Exemple Bassin Rhin-Meuse [25]

I.1.3.4.5. Performances

D'excellents résultats d'élimination (en concentrations) sont obtenus par ce système :

- DBO5 inférieure à 25mg/l,
- DCO inférieure à 90mg/l,
- MES inférieures à 30mg/l,
- Nitrification quasi-complète,
- Dénitrification limitée sur ce type d'installation. Dans sa version « assainissement autonome » l'épuration par le sol peut permettre une certaine élimination de l'azote. Une étude menée au sein de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de Loire-Atlantique en 1993 a permis de constater que l'on pouvait éliminer 40% de l'azote , à l'aide d'un filtre à sable vertical. Cet abattement peut aller jusqu'à 50% si on utilise un filtre à sable horizontal.
- Phosphore : abattement fort pendant 3-4 ans (60-70%), puis faible puis négatif après 8-10 ans.
- Possibilité d'élimination des germes témoins de contamination fécale sous réserve de disposer d'une hauteur de matériau suffisante et d'un fonctionnement hydraulique sans cheminement préférentiel (abattement microbien > 1000) [13].

I.1.3.4.6. Récapitulatif

Tableau II.4. Tableau récapitulatif d'une filière type de lit d'infiltration-percolation sur sable [55].

Lit d'infiltration-percolation sur sable	
Etape de traitement	secondaire, tertiaire
Nature des eaux à traiter	apports d'eaux à très faibles charges polluantes eaux prétraitées et décantées
Type d'alimentation	par bâchées et en alternance
Charge hydraulique	0,1 m/j

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Surface utile	1,5 m ² /EH
Nombre de bassins	2 au minimum possibilité d'un seul bassin pour un fonctionnement temporaire
Performances épuratoires	-bonnes performances sur la DBO5, la DCO et les MES -nitrification quasi complète -dénitrification limitée -rendement faible du phosphore total -décontamination correcte si épaisseur du massif filtrant suffisante

I.1.3.5. Synthèse

L'épuration des eaux usées par infiltration -percolation présente des avantages et inconvénients. Qui sont représentés dans le tableau II.5

Tableau II.5 Avantages & inconvénients de la filière [5].

Avantages	Inconvénients
Excellentes performances pour la DBO5, la DCO et les MES	Peu adapté aux surcharges hydrauliques et organiques même passagères
Nitrification poussée	Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace
Possibilité d'infiltrer les eaux traitées dans le sol en place	
Emprise foncière nécessaire inférieure à celle d'une lagune	Risque élevé de colmatage
Décontamination intéressante	Sensibilité au gel assez importante
Exploitation simple, de courte durée mais régulière	Alimentation par bâchées impérative
Gestion des boues facilitée	Présence de nitrates en quantité importante en sortie station Nécessité de disposer de grandes quantités de sables de qualité

II. Les filtres plantés de roseaux

II.1. Historique

C'est en Allemagne que les premiers filtres plantés de roseaux ont été développés dans les années 60 sous l'impulsion de travaux réalisés par deux scientifiques, les Docteurs KICKUTH et SEIDEL. Leurs travaux se concentrent sur la mise en place de systèmes de traitement des eaux reproduisant le fonctionnement de l'écosystème des bords de marais. [42].

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Les premiers filtres verticaux ont été développés par le Dr Seidel en Allemagne dans les années 70, dans la littérature, on les retrouve sous les noms de « infiltration fields », « Krefed-System » ou encore « Max Planck Institute Process ». Dès lors, on a utilisé des supports granulaires rapportés pour ces filtres. A l'origine, ils étaient souvent associés à des filtres horizontaux en aval. A ce titre, ils pouvaient être classés comme « Système hydrides » ; C'est en fait l'association en série de filtres verticaux et de filtre horizontal. L'association la plus courante, initialement étudiée par le Docteur Seidel et mise en œuvre de façon relativement limitée au Etats-Unis, en Allemagne, en Autriche et en France [52]. Ils sont constitués de deux étages consécutifs de filtres verticaux en parallèle suivis de deux ou trois étages de filtres horizontaux en séries [53].

II.2. Principe de fonctionnement

II.2.1. Principe

L'épuration par filtres plantés de roseaux, se réalise selon le principe de l'épuration biologique principalement aérobie en milieux granulaires fins à grossiers [23]. Les filtres plantés sont destinés au traitement des eaux usées d'origine domestique pour des capacités de 50 à 1000 EH, voire 2000 EH. Le dimensionnement pour les filtres verticaux est de 4 à 8m²/EH (surface nécessaire à l'implantation de l'ensemble de la station), dont la **surface utile est de 2 à 2,5m²/EH** pour les filtres [44].

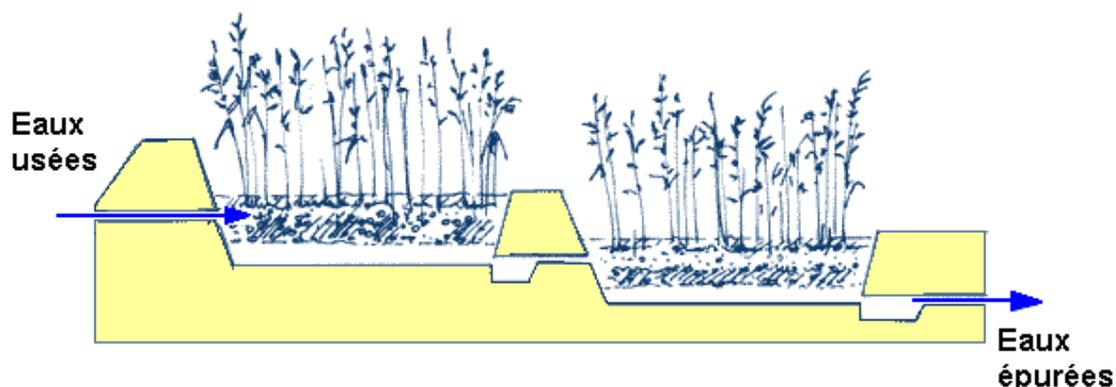


Figure II.2. Principe d'une station à filtres plantés de roseaux. [22].

II.3. Les différentes variétés de filtres plantés

En fonction du sens d'écoulement des eaux au sein du massif on distingue :

- Les filtres plantés à écoulement vertical dont le premier étage peut recevoir des eaux usées brutes permettant ainsi de s'affranchir de la gestion des boues, puisque celle-ci minéralisent sur le lit.
- Les filtres plantés à écoulement horizontal généralement placés à l'aval de lits à flux vertical et destiné essentiellement à un traitement tertiaire de finition pour l'élimination de l'azote et du phosphore [49].

II.4. Roseaux

La présence de roseaux contribue à :

- empêcher la formation d'une couche colmatante en surface liée à l'accumulation des matières organiques retenues par filtration mécanique.
- favoriser le développement de micro-organismes cellulolytiques lesquels contribuent au même titre que les rhizomes, racines, radicules mais aussi lombrics à une minéralisation poussée de la matière organique avec formation d'une sorte de terreau parfaitement aéré et de perméabilité élevée.
- assurer une protection contre le gel dans la mesure où les massifs en hiver sont couverts par la végétation.
- créer de l'ombre et donc maintenir une hygrométrie contribuant à la formation d'une biomasse bactérienne.
- accroître la surface de fixation des microorganismes par le développement racinaire. De plus, il semblerait que les tissus racinaires et leurs exsudats constituent des niches plus accueillantes que des substrats inertes car un sol planté est biologiquement plus riche et actif qu'un sol nu.
- Participer à l'intégration paysagère des dispositifs

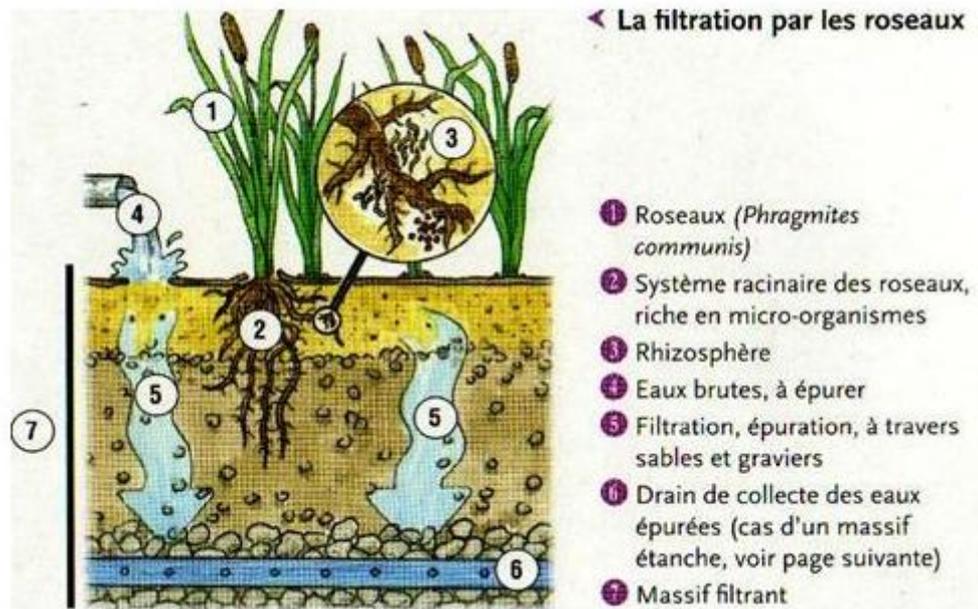


Figure II.3. La filtration par les roseaux [19].

II.5. Utilisation

L'utilisation de ce procédé pour des collectivités de plusieurs centaines d'habitants est très récente. En effet, les systèmes en rupture avec les technologies intensives (comme le lagunage, l'infiltration-percolation et les systèmes plantés de macrophytes), ont eu un démarrage difficiles et particulièrement lent et cela dans les pays d'Europe. Cependant, depuis le milieu des années 80 une évolution dans leur mise en place a pu être constatée (voir tableau II.6)

Tableau II.6.:évolution de la mise en place de filtre plantés de macropyhtes dans quelques pays européens (H=horizontal, V=vertical) [52].

Pays	Nombre d'installations en 1999	Année de démarrage	Type de filtre	Type de réseaux
Allemagne	400	1988	H et V	Surtout unitaire
Royaume uni	400	1985	H et puis V	Surtout unitaire
Autriche	300	1993	H et V	Unitaire et séparatif
Danemark	100	1984	H (sol) puis H et V	Unitaire et séparatif
République	80	1993	H	Unitaire et

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Tchèque				séparatif
France	40	1993	Surtout V	Unitaire et séparatif

II.6. Domaine d'application

De 50 à 1000 EH. Au delà de 1500 EH, les coûts d'achat du terrain et d'exploitation deviennent prohibitifs, par rapport aux autres filières de traitement. L'exploitation et l'entretien sont simples peuvent être confiés à l'employé communal [10].

II.7. Le climat

La conception tiendra compte des contraintes climatiques notamment des périodes de grands froids. Les filtres horizontaux sont compatibles avec les climats rigoureux. Les filtres verticaux, du fait de l'arrivée de l'eau à la surface, sont plus sensibles au froid. L'expérience actuelle montre que le premier étage d'une station à lits à flux vertical, continue à traiter correctement les matières en suspension et matières organiques pendant plusieurs semaines de grand froid (-50°C). Pour cette même température, le deuxième étage prend en glace et une évacuation des eaux sortant du premier étage doit être prévue. Le fait de laisser les roseaux en place, après le faucardage, peut retarder la prise en glace [33].

Des études ont montré que le 1^{er} étage d'une station à lits à flux vertical, continue à traiter correctement les matières en suspension et matières organiques pendant plusieurs semaines de grand froid (-15°C). Pour cette même température, le deuxième étage prend en glace et une évacuation des eaux usées sortant du 1^{er} étage doit être prévue [50]. Pour éviter la prise en glace (fig.II.4.), le filtre doit être recouvert d'une couverture isolante faite du chaume des phragmites faucardés [51]. Par contre il n'y a aucune contrainte spécifique imposée par le climat dans les pays chauds.



Figure II.4. Les filtres verticaux de Queige en conditions hivernale et estivale [53].

II.8. Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical

Ce sont des lits non saturés, fonctionnant par alternance de phase d'alimentation et de phase de repos sur le même principe que les lits d'infiltration percolation et les lits bactériens.

Ils peuvent fonctionner comme premier étage de traitement en recevant des eaux usées brute au sien d'un massif constitué de gravier planté des macrophyte. Les eaux percolent au sien du massif et le long des racines servant de support aux microorganismes tout comme le matériau granulaire (figure II.4) [49].

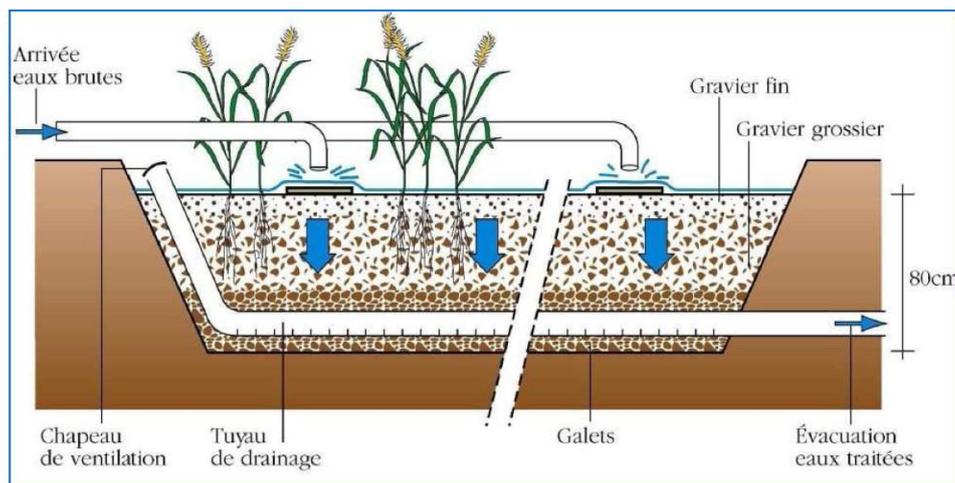


Figure II.5. Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical [13].

II.8. 1. Fonctionnement

Ce procédé épuratoire consiste à infiltrer des eaux brutes dans un milieu granulaire insaturé sur lequel est fixée la biomasse épuratrice. Sont alimentés en surface avec des

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

eaux usées brutes, ayant subi un dégrillage grossier puis l'effluent percole verticalement à travers le massif filtrant. Cette première filtration permet la rétention physique des matières en suspension à la surface des filtres du 1^{er} étage, d'où une accumulation de boues théorique d'environ 15mm par an, à capacité nominale.

La dégradation biologique des matières dissoutes est réalisée par la biomasse bactérienne aérobie fixée sur le support filtrant ainsi que sur la couche de dépôt accumulée en surface. Le 1^{er} étage contribue essentiellement à la dégradation de la pollution carbonée avec un début de nitrification. Le 2^{ème} étage permet d'affiner l'élimination de la fraction carbonée et complète la nitrification en fonction des conditions d'oxygénation, de température et de pH. L'oxygénation est assurée grâce à une alimentation par bâchée (alimentation non continue), à la diffusion gazeuse par la surface des filtres et grâce à la connexion des drains en fond de filtre à l'atmosphère.

Les filtres plantés à écoulement vertical sont constitués de deux étages en série. Chaque étage comporte 2 ou 3 lits en parallèles, alimentés en alternance.

Les périodes de repos sont fondamentales, elles permettent de :

- réguler la croissance de la biomasse fixée
- de maintenir les conditions aérobies dans le massif filtrant ainsi que
- de minéraliser les dépôts organiques provenant des matières en suspension des eaux brutes retenues en surface [24].

II.8.2. Conception des filtres plantés à écoulement vertical

II.8.2.1. Généralité

Ce procédé épuratoire consiste à infiltrer des eaux usées brutes dans un milieu granulaire insaturé sur lequel est fixée la biomasse épuratoire. Les filtres verticaux alimentés par bâchées permettent un renouvellement de l'atmosphère du massif par convection et qui fonctionnent ainsi en conditions insaturées, aérobies.

II.8.2.2. Dimensionnement

II.8.2.2.1. Bases de dimensionnement

Le dimensionnement des filtres verticaux a été établi empiriquement en définissant les charges organiques surfaciques journalières limites acceptables (20 à 25g/m²/j de DBO5 de la surface totale plantée).

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Le premier étage est dimensionné pour recevoir environ $40\text{g/m}^2/\text{j}$ représentant ainsi 60% de la surface totale, soit environ $1,2\text{m}^2/\text{EH}$. Quand le réseau est unitaire ou partiellement unitaire, le dimensionnement du premier étage est porté à $1,5\text{m}^2/\text{EH}$ [19]. Cet étage est compartimenté en un nombre de filtres multiple de 3, ce qui permet d'obtenir des périodes de repos de $2/3$ du temps.

La surface du deuxième étage est généralement de 40% de la surface totale soit environ $0,8\text{m}^2/\text{EH}$. A cet étage, le temps de repos nécessaire est égal à celui du fonctionnement, nécessitant donc la mise en place d'un nombre de filtres multiple de 2 et égal au $2/3$ du nombre de filtres utilisés pour le premier étage (cf. schéma ci-dessous).

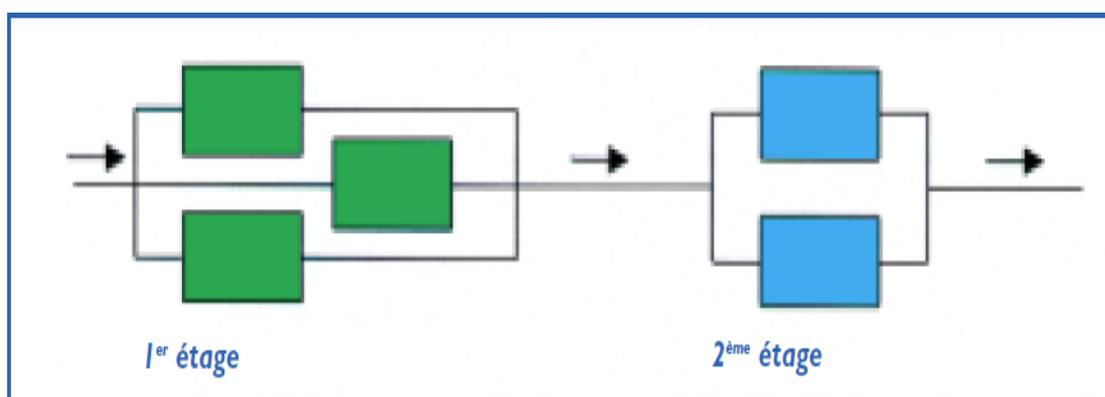


Figure II.6. Schéma de conception des premier et second étages [13].

II.8.2.2.2. Les points clés du dimensionnement

Le tableau ci-dessous donne les points clés du dimensionnement.

Tableau II.7. Les points clés du dimensionnement [22].

Paramètres	Unité	Valeurs standard
Prétraitement		
Espacement barreaux dégrillage	cm	3
Massifs filtrants		
Hauteur lame d'eau moyenne journalière (rapportée à la surface du 1er étage de filtration)	m/j	0,15
Hauteur lame d'eau maximale journalière (rapportée à la surface d'un lit de filtration)	C^0	0,9 en permanence 1,8 un jour par mois
Vitesse de répartition de l'eau	m/s	0,6

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Surface totale	m ² /EH	2 à 2,5
Temps de séjour	heures	Environ 1 h (2 étages)
Charge organique surfacique totale	DBO5 g/m ² /j	20 à 25
Charge organique surfacique 1 ^{er} étage	DBO5 g/m ² /j	45
Surface premier étage	m ² /EH	1,2 pour un réseau unitaire : 1,5
Surface deuxième étage	m ² /EH	0,8
Plantation	plants/m ²	4

II.8.2.2.3. Dysfonctionnements

Le tableau ci-dessous donne les principaux dysfonctionnements.

Tableau II.8. Principaux dysfonctionnement [22].

Dysfonctionnement	Cause	Solution
Difficultés d'infiltration des effluents	Surcharge hydraulique	Limiter les volumes admis en traitement
	Fréquence d'utilisation trop importante	Augmenter le rythme de permutation
	Mauvaise répartition des effluents (surface utilisée réduite)	Optimiser la répartition
	Développement insuffisant	Augmenter la

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

	des roseaux	colonisation du support par plantation
	Présence de végétaux indésirables	Éliminer par désherbage ou manuellement
Epuraton de mauvaise qualité, présence de MES, concentration en NK élevée	Surcharge hydraulique	Réduire les volumes traités
	Aération insuffisante des massifs	Augmenter le temps de repos
	Teneur en azote élevée (présence d'effluents non domestiques)	Rechercher l'origine des effluents non domestiques
	Mauvaise alimentation (défaillance système d'alimentation par bâchées)	Vérifier le fonctionnement des chasses ou du poste de relevage

II.8.2.2.4. Conditions d'adaptation du procédé

Le tableau ci-dessous donne les Condition d'adaptation du procédé.

Tableau II.9. Condition d'adaptation du procédé [25].

Caractéristiques des réseaux d'assainissement		
Type de réseau	séparatif	Oui
	unitaire	Oui avec limitation du débit
Caractéristiques qualitatives de l'influent		
Nature	domestique	Oui
	non domestique	Non

II.8.2.2.5. Performances

Les deux étages verticaux, dimensionnés selon les données vues précédemment, offrent des performances épuratoires sur l'élimination des matières en suspension par filtration, des matières organiques et de l'azote réduit grâce aux micro-organismes fixés au support filtrant. Ces performances sont rappelées ci-dessous dans le tableau II.10.

Tableau II.10. Performances [26].

Qualité du rejet	DCO	MES	NK
Concentration (mg/l)	< 80	<20	<18

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Rendement %	>88	>90	>80
--------------------	-----	-----	-----

II.8.2.2.6. Synthèse

L'épuration des eaux usées par les filtres plantés à écoulement vertical présente des avantages et inconvénients qui sont présentés dans le tableau II.11 ci-dessous.

Tableau II.11. Avantages & inconvénients de la filière [13].

Avantages	Inconvénients
-Facilité et faible coût L'exploitation. -Aucune consommation énergétique si la topographie le permet.	Exploitation régulière, faucardage annuel de la partie aérienne des roseaux, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux
Possibilité de traiter des eaux usées domestiques brutes ;	Utiliser cette filière pour des capacités supérieures à 2 000 EH reste très délicat pour des questions de maîtrise de l'hydraulique et de coût par rapport aux filières classiques. Une conception pour des tailles supérieures ne peut s'envisager que sous réserve d'une réflexion poussée concernant l'adaptation des bases de dimensionnement et les conditions à remplir pour s'assurer de la maîtrise de l'hydraulique.
Gestion réduite au minimum des boues	Risque de présence d'insectes ou de rongeurs.
Bonne adaptation aux variations saisonnières de population.	

II.9. Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

Les filtres plantes à écoulement horizontale, encore appelés marais artificiels à écoulement horizontal, fonctionnent à saturation sans être inondé en surface (figure II.5). Ils nécessitent l'utilisation de plantes développant un bon système racinaire et adaptées aux conditions de saturation. Cette technologie se traduit par processus physique, chimique et biologiques d'élimination de la pollution en condition anaérobie essentiellement.

Les excavations sont comblées par des supports granulaires qui ne sont pas fins (graviers et galets) contrairement au cas des lits plantés à flux vertical fonctionnement en deuxième étage ou il est fait usage de sable [49].

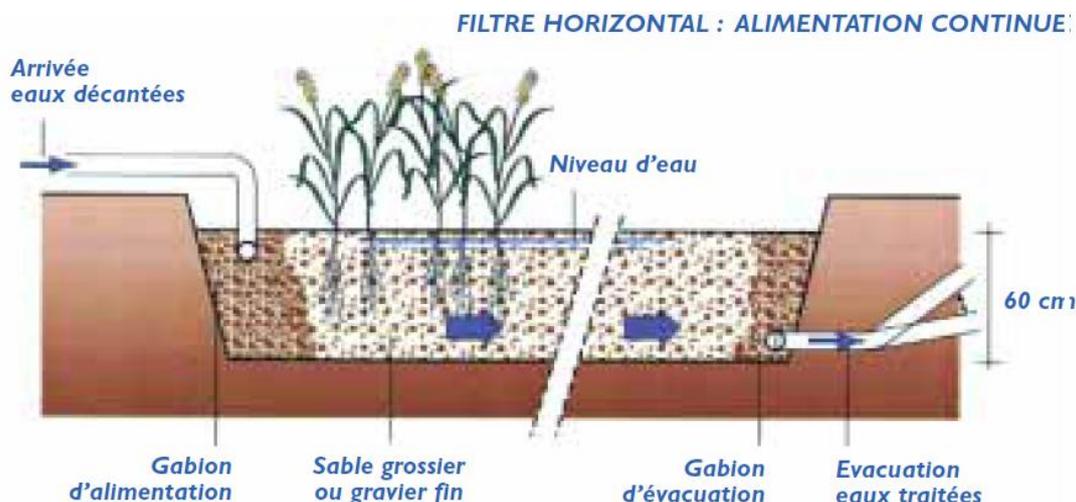


Figure II.7. Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal [13].

II.9. 1. Fonctionnement

Les filtres plantés à écoulement horizontal permettent la rétention des MES et assurent l'élimination de l'azote par dénitrification et celle de phosphore. Ils sont utilisés aussi bien en traitement secondaire qu'en traitement tertiaire.

Ils fonctionnent en anaérobiose ou en anoxie, des conditions qui sont souvent sources de dysfonctionnement [49].

II.9.2. Conception des filtres plantés à écoulement horizontal

II.9.2.1. Généralité

Le massif filtrant est quasi saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur, il s'écoule ensuite en déplacement horizontal. L'alimentation se fait le plus souvent en continu et donc à faible charge organique. L'évacuation est obtenue par un drain, au fond, enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon, pour régler la hauteur de surverse pour assurer la saturation de l'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu à 5 cm sous la surface du matériau. Comme il n'y a pas d'eau libre, il n'y a pas de risque de prolifération d'insectes.

II.9.2.2. Dimensionnement

II.9.2.2.1. Bases de dimensionnement

Pour définir la surface nécessaire, les valeurs empiriques ci-après fournissent les résultats d'épuration attendus [57]:

- Pour des concentrations initiales de l'ordre de 150 à 300mg/l de DBO5, les surfaces plantées sont de l'ordre de 5m²/EH en traitement secondaire ;
- Pour des concentrations plus élevées ou pour utiliser les sols en place, ce qui est rarement recommandé, il semble préférable d'opter pour la pratique danoise qui consiste à dimensionner le filtre à 10m²/EH ;
- En traitement d'effluents de réseaux pluviaux [13].l'emprise est de 0,5m²/EH.

La section du filtre doit être définie par un bureau d'études. Elle est fonction de la perméabilité initiale du matériau choisi (1 à 3.10⁻³m/s).

La profondeur du filtre sera égale à la profondeur maximale de pénétration des racines. Cette profondeur est de 60 cm pour les phragmites [55].

II.9.2.2.2. Les points clés du dimensionnement

Le tableau ci-dessous donne les points clés du dimensionnement.

Tableau II.12.les points clés du dimensionnement [27].

Paramètres	Unité	Valeurs standard
Prétraitement		

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Espacement barreaux dégrillage	cm	3
Vitesse ascensionnelle dégraisseur	m /h	20
Temps de séjour dans le desableur dégraisseur	mn	10 à 15
Traitement primaire - Décanteur-digesteur		
Vitesse ascensionnelle de décantation	m/h	1 à 1,5
Temps de séjour maximal	h	1,5
Volume	m ³	1 à 1,5 x V mts
Traitement primaire - Lagune de décantation		
Temps de séjour réseau unitaire	j	2 à 5
Temps de séjour réseau séparatif	j	8 à 10
Traitement primaire - Filtration à écoulement vertical		
Surface utile	m ² /EH	1,5
Massifs filtrants		
Surface brute	m ² /EH	8 à 9
Charge organique surfacique maximale appliquée	kg DBO5/m2/j	8
Charge hydraulique surfacique maximale appliquée		0,05
Surface utile	m ² /EH	5 avec un décanteur-digesteur en traitement primaire 2 à 3 avec un filtre à écoulement vertical en traitement primaire 10 si la DBO5 en entrée est supérieure à 300 mg/l
Profondeur du lit	m	≤ 0,60
Pente minimale de fond de filtre		0,05
Plantation	plants/m ²	4

II.9.2.3. Conditions d'adaptation du procédé

Le tableau ci-dessous donne les Conditions d'adaptation du procédé.

Tableau II.13. Condition d'adaptation du procédé [25].

Caractéristiques des réseaux d'assainissement		
Type de réseau	séparatif	Oui

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

	unitaire	seulement avec une bonne limitation du débit
Caractéristiques qualitatives de l'influent		
Nature	domestique	Oui
	non domestique	Non

II.9.2.4. Performances

En terme de performance sur la DBO5 pour des concentrations d'entrée variant de 50 à 200mg/l, et pour un dimensionnement de 3 à 5m²/EH, des systèmes à écoulement de type horizontal et garni de gravier obtiennent des rendements de l'ordre de 70 à 90%. Ces concentrations sont cependant trop faibles pour être considérées comme représentatives d'une eau usée urbaine et il semble plus prudent de suivre l'exemple danois. En effet, 80 sites danois, dimensionnés à environ 10m²/EH, obtiennent des rendements de l'ordre de 86% sur la DBO5 et MES, de 37% pour l'azote total, et de 27% sur le phosphore total. D'une manière générale, en traitement secondaire, la nitrification est limitée mais la dénitrification est très bonne. Les rendements sur le phosphore sont dépendants du type de sol utilisé, mais restent relativement faibles [13].

II.10. Comparaison

Tableau II.14. Comparaison des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et à écoulement horizontal [28].

	FPRV	FPRH
Eaux usées	Brutes	Issues d'un FPRV

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Condition	Aérobie	Anoxique
Dégradation	Carbone + nitrification complète	Carbone + nitrification partielle Dénitrification complète
Alternance	Indispensable	Non
Alimentation	Bâchées	En continue
Dimensionnement	2 – 2,5m ² /hab.	(1er étage FPRV) + 2 m ² /hab. de FPRH
Hauteur	60 cm	

II.11. Récapitulatif

Tableau II.15. Tableau récapitulatif d'une filière type de filtre planté de roseaux [55].

	Filtre Planté à Ecoulement Vertical (FPEV)	Filtre Planté à Ecoulement Horizontal (FPEH)
Etape de traitement	primaire, secondaire ou tertiaire	secondaire ou tertiaire
Nature des eaux à traiter	eaux brutes	eaux décantées
Massif filtrant	gravier et sable	sol ou sable ou gravier
Type d'alimentation	discontinue alternée (bâchées)	continue permanente
Base de dimensionnement - charge organique surfacique -	20g/m ² /j de DBO5	08g/m ² /j de DBO5
Surface utile	traitement primaire : 1 à 2,5 m ² /EH traitement secondaire : 1 à 2,5 m ² /EH	traitement secondaire : 5 à 10 m ² /EH traitement tertiaire : 1 m ² /EH
Nombre d'étages	>=2	>= 1
Nombre de files	>= 2	>=1
Temps de séjour hydraulique	quelques heures	plusieurs jours
Performances épuratoires	Paramètres cibles : DBO5, MES, NH4 -Nitrification maîtrisée -Pas de dénitrification -Rétention du phosphore insuffisante	Paramètres cibles : DBO5, MES -Très bonne dénitrification -Faible nitrification -Rétention du phosphore insuffisante

II.12. Synthèse

L'épuration des eaux usées par les filtres plantés à écoulement horizontal et vertical présente des avantages et des inconvénients reportés sur le tableau II.16 ci-dessous.

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Tableau II.16. Avantages & inconvénients de la filière [13].

Avantages	Inconvénients
Faible consommation énergétique : ne nécessite pas une pente importante pour l'écoulement par gravité	L'emprise au sol est importante
Aucune nécessité d'une qualification poussée pour l'entretien	Une installation pour des tailles d'environ 4000EH ne peut s'envisager que sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique.
Bonne réaction aux variations de charge	

B/ Cultures libres

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...) [13].

I. Lagunage Naturel

I.1. Historique

Historiquement, c'est au début de ce siècle en Amérique du Nord que le lagunage à réellement été considéré comme une technique d'épuration, il a fallu attendre la fin de la deuxième guerre mondiale pour que des recherches sérieuses soient conduites à ce sujet [31]. Dans les années 1920, le lagunage se développa largement de par le monde, notamment aux États-Unis, au Canada, en Australie, en Suède et en France, où il était déjà utilisé depuis des siècles, mais son optimisation et la mesure scientifique de ses performances ne datent que du début du XX^e siècle. En 1960, en Californie, la première lagune à haut rendement fut construite ; elle mettait en jeu la culture intensive d'algues. Aujourd'hui, on trouve des bassins d'épuration écologique dans plus de 50 pays du monde et leur nombre augmente tous les jours [32].

I.2. Principe de fonctionnement

I.2.1. Principe

Le lagunage naturel est le procédé se rapprochant le plus du procédé d'autoépuration naturelle présent dans les rivières. Après prétraitements, les eaux usées transitent par une succession de trois bassins peu profonds. En surface, l'oxygène de l'air permet le développement des microorganismes aérobies (vivant en présence d'oxygène) et la lumière favorise le développement des algues qui enrichissent également le milieu en oxygène grâce au phénomène de photosynthèse. Les matières solides les plus lourdes se décantent dans le fond des bassins et sont transformées par des microorganismes anaérobies (vivant en absence d'oxygène). La microfaune et la flore qui se développent, contribuent à la dégradation de la pollution organique en favorisant la formation de boues minéralisées piégées dans le fond des ouvrages, ce qui nécessite un curage des bassins au bout d'une dizaine d'années environ. La qualité des rejets est conditionnée dans nos régions par les saisons puisque l'ensoleillement impacte le développement des algues et contribue à la destruction des bactéries pathogènes [10]. La figure II.8 représente le schéma de principe de fonctionnement du lagunage naturel.

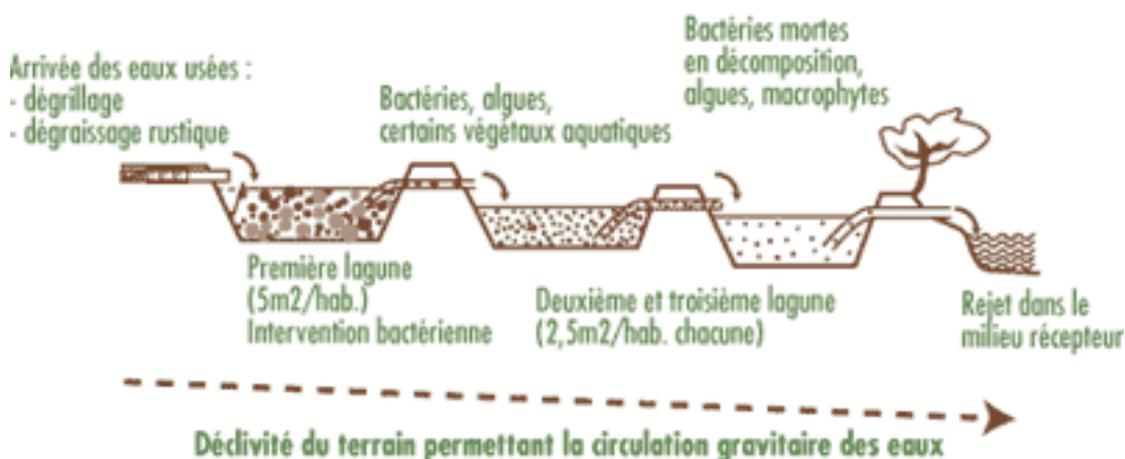


Figure II.8. Lagunage naturel principe de fonctionnement [43].

I.3. Domaine d'application

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Cette technique est conseillée de 300 à 1000EH. Il est possible de l'appliquer à partir de 100EH (de 100 à 300 EH : 2 bassins sont suffisants) et d'arriver jusqu'à 2000 voir 3000 EH [30].

Pour un traitement par lagunage naturel, seules des eaux résiduaires domestiques et peu concentrées, avec une DBO5 inférieure à 300mg/l en moyenne annuelle, peuvent garantir le bon fonctionnement de la filière. Les réseaux strictement séparatifs, sans apport d'eaux parasites, sont à éviter [55].

I.4. Les conditions climatiques

- Le vent : il faut connaître l'intensité et la direction des vents dominants qui favorisent l'oxygénation des eaux des bassins, mais qui peuvent aussi dégrader les digues par batillage.
- La température : elle intervient dans les calculs de dimensionnement des installations. Les moyennes mensuelles devront être connues pour les 5 dernières années.
- L'évaporation : dans certaines régions, elle est très intense en période estivale (10 à 15mm par jour). Elle diminue le débit des effluents traités et augmente donc la charge à l'hectare. Elle peut être néfaste et doit donc être prise en compte lors des calculs du dimensionnement des différents bassins.
- La pluviométrie : elle doit être connue pour le calcul de la hauteur des digues, afin d'éviter tout risque d'inondation [48].

I.5. Conception

I.5.1. Dimensionnement

I.5.1.1. Bases de dimensionnement

- **Temps de séjour et débit dans la station :**

Pour un traitement complet et sans apport d'eaux pluviales, le temps de séjour est estimé entre 60 et 80 jours. Le débit est généralement évalué entre 150 et 200l/hab./j

- **Surface :**

Le dimensionnement est basé sur une charge surfacique journalière de 4,5g de DBO5 par m² de surface totale, soit une surface de bassin de l'ordre de 10 à 15 m²/EH. (Cette surface ne comprend ni les zones enherbées, ni les digues).

L'emprise au sol se répartit de la façon suivante reportée sur le tableau II.17. :

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Tableau II.17. Répartition des surfaces des lagunes [55].

	Surface (m ² /EH)
1 ^{ère} lagune	6
2 ^{ème} lagune	2,5
3 ^{ème} lagune	2,5

Dans les zones à climat chaud et sec, la température accélère les processus biologiques et l'évaporation augmente le temps de séjour : ces deux phénomènes rendent possible une réduction de moitié des surfaces.

- **Profondeur :**

Dans chaque lagune, une profondeur de 1m, avec une tolérance $\pm 10\%$, est préconisée pour les raisons suivantes [56] :

- permettre une pénétration de la lumière, et donc assurer une oxygénation suffisante,
- limiter les effets d'une éventuelle stratification thermique des bassins,
- éviter la pousse des végétaux supérieurs, tels que les macrophytes,

Cependant, une profondeur supérieure à 1m peut s'avérer nécessaire au niveau du point d'alimentation de la première lagune, sujette à une accumulation de dépôts [55].

I.5.1.2. Dimensionnement en fonction des conditions climatiques

Plusieurs modes de dimensionnement ont été proposés. Globalement, ces formulations ou valeurs empiriques définissent des surfaces ou des temps de séjour.

Tableau II.18. Dimensionnement en fonction des conditions climatiques [31].

Climat	kg/j/hab. de DBO ₅	Temps de séjour (j)
Glacial	< 10	> 200
Hivers froids et étés tempérés	10 à 50	100 à 200
Tempéré à semi tropical	50 à 150	30 à 100
Tropical	150 à 350	15 à 30

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

I.5.1.3. Les points clés du dimensionnement

Le tableau ci-dessous donne les points clés du dimensionnement.

Tableau II.19.les points clés du dimensionnement [29].

Paramètres	Unité	Valeurs standard
Prétraitement		
Espacement barreaux dégrillage	cm	3
Hauteur immergée paroi siphonide dégraisseur	cm	40 à 60
Surprofondeur du cône de sédimentation	cm	70
Lagunage		
Perméabilité maximale admise	m/s	10^{-8}
Temps de séjour	jours	60
Pente lagune non étanchée	rapport h/l	1/2,5
Lagune primaire		
Dimensionnement	m^2/EH	6
Profondeur	m	1,2 à 1,8
Temps de séjour	jours	30 à 40
Lagune secondaire		
Dimensionnement	m^2/EH	2,5
Profondeur	m	1,0 à 1,4
Temps de séjour	jours	7 à 10
Lagune tertiaire		
Dimensionnement	m^2/EH	2,5
Profondeur	m	1,0 à 1,2
Temps de séjour	jours	7 à 10

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

I.5.1.4. Dysfonctionnement

Le tableau ci-dessous donne les principaux dysfonctionnements.

Tableau II.17. Principaux dysfonctionnement [29].

Dysfonctionnement	Cause	Solution
<ul style="list-style-type: none"> - Bassins vides - Remplissage difficile - Pas de débit en sortie - Baisse notable du niveau en période sèche. 	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltrations dues à une étanchéité insuffisante - Interaction avec la nappe phréatique - Présence récupérée d'un ancien drainage. - Installation sous chargée hydrauliquement 	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser une étude de sol sérieuse (forage, excavation, mesure de perméabilité) - Respecter une marge de 20 cm au moins entre le niveau le plus bas du terrassement et le niveau haut de la nappe en sous-sol (frange capillaire) - Imperméabiliser le fond des bassins (argile, géomembrane, etc.) - Ajouter un apport d'eaux claires
Prolifération des lentilles d'eau entraînant un couvercle végétal empêchant l'oxygénation et le développement d'algues (pourrissement de l'eau).	<ul style="list-style-type: none"> - Faible charge - Bassin secondaire ou tertiaire sous chargé organiquement - élévation de la température - Forte concentration en azote, phosphore, calcium ou magnésium. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lutte biologique : sédentarisation de canards - Ne pas utiliser de désherbant ou autre produit chimique (toxicité pour les poissons) - Elimination manuelle ou mécanique après concentrations en un point du bassin (par le vent)
Dégradation des berges	Erosion due à l'absence de gazon	<ul style="list-style-type: none"> - Ne pas utiliser de désherbants pour l'entretien des berges
	Activité des rongeurs	<ul style="list-style-type: none"> - Lutte contre les rongeurs
	<ul style="list-style-type: none"> - Canalisation de rejet immergée par le milieu récepteur (principe des vases communicants) 	<ul style="list-style-type: none"> - Placer la canalisation de façon à limiter l'introduction d'eaux claires vers la lagune (possibilité de clapets anti

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Montée du niveau d'eau en période de crue		retour)
	Inondation du système par la rivière	Construire des digues dépassant d'au moins 50 cm le niveau de crue
	Communication avec la nappe (mauvaise étanchéité)	Imperméabilisation du fond des bassins (argile et bentonite, éviter la pose de géo membrane)
Odeurs	Mauvais entretien du prétraitement	Augmenter la fréquence de passage pour l'entretien de l'installation
	Envasement de la première lagune	Assurer un contrôle régulier des boues et curer si nécessaire, même partiellement
	Anaérobiose des effluents	Recirculation des eaux du dernier bassin ou apport d'eaux claires
	Effluents septiques fermentescibles	Éliminer les cônes de sédimentation
	Présence de purins ou autres eaux usées non domestiques (lait, etc.)	Interdire les rejets de purins et autres rejets non domestiques
- Virage au rouge de la lagune - Odeurs - Baisse de la qualité	- Effluents septiques (développement de bactéries photosynthétiques du soufre)	Limiter le temps de séjour dans les réseaux ou mettre en place des systèmes de lutte contre l'H ₂ S (FeSO ₄ , aération)
	Limitation de la pénétration de lumière (flottants)	Lutte contre les rongeurs
Dégradation des macrophytes	Omniprésence de rongeurs	Lutte contre les rongeurs
	Introduction de canards	Apporter des compléments alimentaires aux canards sédentarisés
	Présence de chasseurs	Exclure la lagune du périmètre de chasse

I.5.1.5. Conditions d'adaptation du procédé

Le tableau II.18 ci-dessous donne les Conditions d'adaptation du procédé.

Tableau II.18. Condition d'adaptation du procédé [25].

Caractéristiques des réseaux d'assainissement		
Type de réseau	séparatif	Oui si dimensionnement adéquat
	unitaire	Oui
Caractéristiques qualitatives de l'influent		
Nature	domestique	Oui
	non domestique	Non
Caractéristiques qualitatives de l'eau traitée⁽¹⁾		
Efficacité de l'élimination de la pollution carbonée		Bonne DBO5 : 90% - 15mg/l DCO : 75% - 85mg/l
Efficacité de l'élimination de la pollution en matières en suspension		Satisfaisante 80% - 25mg/l
Efficacité de l'élimination de la pollution azotée en NK		Satisfaisante 70% - 10mg/l
Efficacité de l'élimination de la pollution azotée en NGL		Satisfaisante 70% - 10mg/l
Efficacité de l'élimination de la pollution phosphorée		Acceptable 60% - 3mg/l

I.5.1.6. 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 125mg/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 ($\geq 60\%$), 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

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

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). La désinfection est importante, particulièrement en été (abattement > 10000). 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 [13].

I.5.1.7. Récapitulatif

Le tableau II.19, ci-dessous représenté nous donne une récapitulation des caractéristiques d'un lagunage naturel.

Tableau II.19. Tableau récapitulatif d'une filière type de lagunage naturel

	Lagunage naturel
Etape de traitement	traitement complet, secondaire ou tertiaire
Nature des eaux à traiter	eaux résiduaires domestiques, peu concentrées (DBO5 < 300 mg O2/l en moyenne annuelle) et non septiques
Type de réseau de collecte	Fonctionnement optimal sur les réseaux unitaires -équiper les installations raccordées à un réseau unitaire de dispositifs capables de limiter les forts débits en cas de violents orages (by-pass, ...) afin d'éviter le rejet de quantités importantes d'algues dans le milieu récepteur
Base de dimensionnement - charge organique surfacique -	4,5 g DBO5/m ² .j
Surface utile	10 à 15 m ² /EH
Nombre de bassins	en général sur trois bassins
Temps de séjour hydraulique	60 à 80 jours
Performances épuratoires	Rendements, calculés sur les flux de matière organique = 70 % en moyenne -Performances hivernales plus faibles -Qualité du rejet variable (MES et formes azotées) selon les saisons -Décroissance progressive de l'abattement du phosphore -Désinfection importante

II. Le lagunage àère

II.1. Caractéristiques

Ce procédé peut être utilisées dans des conditions climatiques difficiles (pays très froid couche de glace persistante ... etc.) ou en complément lorsque les conditions climatique l'exigent (saison des pluies en climat tropical) ou lorsque la charge polluante est trop importante cas des abattoirs ou le volume des rejets connaît de fortes variations d'amplitude.



Figure II.9. Exemple de lagunage aérobie [34].

Le lagunage aère (figure II.9) consiste à oxygéner artificiellement les lagunes soit en surface (aérateurs), soit en immersion (insufflation d'aire).

On distingue :

- une lagune d'aération de 3 à 5m de profondeur qui peut varier en fonction de la puissance du système de brassage et avec une surface de 3 à 2m par équivalent/habitant ou les effluents séjournent au minimum 20 jour.
- une ou plusieurs lagunes de décantation d'une hauteur de 2 à 3m avec un temps de séjour d'au moins de 20 jours.

II.2. Principe de fonctionnement

II.2.1. Principe

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène. Dans l'étage d'aération, les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactéries faible et l'absence de recirculation. L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou une

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

insufflation d'air. La consommation électrique de chacun de ces deux procédés est similaire à celle d'une boue activée. Dans l'étage de décantation, assuré principalement par une ou deux simples lagunes, les matières en suspensions (amas de micro organismes et de particules piégées) s'agglomèrent lentement sous forme de boues. Ces dernières doivent être régulièrement extraites. Le curage est facilité en présence de deux bassins qu'il est possible de by-passer séparément. La floculation des boues est peu prononcée (lagune de décantation à sur dimensionner).

Le lagunage aéré se différencie des boues activées par l'absence de maintien d'une concentration fixée de micro-organismes (pas de recirculation). Cela conduit à prévoir des temps de séjour plus longs, plus favorables à une bonne adaptation du système aux variations de qualité de l'effluent à traiter. Ce procédé a un bon comportement vis-à-vis des effluents dilués ou si les débits ne sont pas bien écrêtés.

Il existe deux formes de lagunage aéré :

- le lagunage aéré strictement aérobic : il faut une aération suffisante pour maintenir le bassin en aérobiose et l'ensemble des particules en suspension
- le lagunage aéré aérobic/anaérobic facultatif :

Il y a formation de dépôt qui évolue en milieu anaérobic. Le premier cas est très peu utilisé car il est grand consommateur d'énergie. La seconde solution est rencontrée plus fréquemment : elle s'apparente au lagunage naturel par l'épuration des eaux usées par échange eau/sédiment [35].



Figure II.10 .Station de lagunage aéré de la ville d'Ouargla (Algérie) [36].

II.2.2.Utilisation

Le lagunage aéré est reconnu comme un procédé d'épuration efficace, notamment au niveau des charges oxydables (90%). Au niveau de l'azote ammoniacal et des ortho phosphates, les performances sont plus limitées : de l'ordre de 45%. Les performances sont fonction de la température (activité des microorganismes), de la charge appliquée et donc de la dilution des eaux entrantes [46].

II.2.3.Domaine d'application

Le schéma (fig. II.11) ci-dessous présenté le domaine d'application recommandé.



Figure II.11. Domaine d'application [25].

II.2.4. Conception

II.2.4.1. Dimensionnement

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

II.2.4.1.1. Base de dimensionnement

- **Choix des terrains**

Il faut prévoir une surface comprise entre 1,5 à 3 m² par usager [55].

- **Lagune d'aération**

Tableau II.20. Base de dimensionnement pour les lagunes aérées

Paramètre	Base de dimensionnement
Temps de séjour	20 jours (temps de séjours réduit, en fait, à une quinzaine de jours après quelques années de fonctionnement suite au volume occupé par les dépôts de matières en suspension => il ne faut donc pas chercher à réduire ce temps de séjour lors de la conception).
Volume	3 m ³ par usager desservi.
Profondeur	2 à 3,50 m avec des aérateurs de surface (les turbines rapides de 4 kW correspondent à des profondeurs de l'ordre de 2,5 m, celles de 5,5 kW sont utilisées avec des profondeurs comprises entre 2,5 et 3) > 4,00 m possible avec insufflation d'air
Forme du bassin	Un carré autour de chaque aérateur
Puissance spécifique d'aération	Les besoins en oxygène sont de l'ordre de 2 kg O ₂ / kg DBO ₅ . Pour limiter les dépôts à un volume ne perturbant pas le traitement et, par ailleurs, prévenir la formation d'algues microscopiques, il est nécessaire de surdimensionner les aérateurs et d'utiliser une puissance comprise entre 5 et 6 W/m ³ . En fonctionnement, il est toujours possible de réduire le temps de marche de ces aérateurs par rapport aux temps de marche des aérateurs de puissance moindre, ce qui permet de limiter les surcoûts de fonctionnement.

- **Lagunes de décantation**

Tableau II.21. Base de dimensionnement pour la lagune de décantation

Paramètre	Base de dimensionnement
volume	0,6 à 1m ³ par usager desservi (2 bassins de 0,3 à 0,5m ³ /EH)
Forme du bassin	rectangulaire avec un rapport largeur / longueur égal à 2/1 ou 3/1
Profondeur	2 m afin de laisser un mètre d'eau libre avant soutirage des boues.

II.2.4.1.2. Dysfonctionnement

Le tableau II.23, ci-dessous donne les principaux dysfonctionnements.

Tableau II.23. Principaux dysfonctionnement [46].

Dysfonctionnement	Cause	Solution
	Curages trop espacés	Curer dès que la hauteur de boues atteint 0,5 à 0,7 mètres

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Odeurs – départs de boues	Boues trop légères et peu décantables	-Diminuer la charge massique du système en plaçant un traitement primaire en tête de station. Au cas où celle-ci est raccordée à un réseau unitaire, prévoir un tropplein au niveau du poste de relèvement (pour maintenir un temps de séjour minimum dans l'ouvrage) - Réfléchir à l'opportunité d'une adjonction de chlorure ferrique en tête des lagunes de décantation (dans une chambre aménagée à cet effet) pour augmenter les poids des boues et traiter le phosphore
- Coloration brune - Odeurs - Difficulté de décantation	Mauvaise aération, décantation importante dans la lagune d'aération, développement de bactéries réductrices du soufre	Aérer en continu jusqu'à disparition des odeurs au-dessus de la lagune d'aération (en général 24 heures au moins)
	Prolifération de bactéries filamenteuses	-Optimiser la répartition de l'énergie de brassage et d'aération (certaines turbines flottantes ont de mauvais rendements d'oxygénation) - Appliquer en dernier recours de l'eau de Javel en quantité très faible (les bactéries filamenteuses étant très sensibles au chlore)
Rejet d'algues vertes	Cycle d'aération peu ou pas adapté à la charge polluante	Régler les plages d'oxygénation et de repos en enregistrant sur des périodes suffisamment longues et différentes (temps sec et pluie) l'oxygène et le redox dans les bassins
	Station surchargée	Introduction de daphnies dans la lagune de décantation ou de finition

II.2.5. Conditions d'adaptation du procédé

Le tableau II.24, ci-dessous donne les Conditions d'adaptation du procédé

Tableau II.24. Condition d'adaptation du procédé [25].

Caractéristiques des réseaux d'assainissement		
Type de réseau	séparatif	Oui

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

	unitaire	Oui
Caractéristiques qualitatives de l'influent		
Nature	domestique	Oui
	non domestique	en quantité limitée (hors toxique, hydrocarbures e, graisses,...)
Caractéristiques qualitatives de l'eau traitée⁽¹⁾		
Effacité de l'élimination de la pollution carbonée		Très bonne DBO5 : 95% - 5mg/l DCO : 90% - 25mg/l
Effacité de l'élimination de la pollution en matières en suspension		Très bonne 90% - 10mg/l
Effacité de l'élimination de la pollution azotée en NK		Très bonne 95% -2mg/l
Effacité de l'élimination de la pollution azotée en NGL		Variable 50-80% - 10-30mg/l
Effacité de l'élimination de la pollution phosphorée		Acceptable 50-60% - 3-5mg/l

II.2.6. 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 ortho phosphates [13].

II.2.7. Avantages techniques

Ce procédé est particulièrement tolérant à de très nombreux facteurs qui engendrent, en général, de très sérieux dysfonctionnements dans les procédés d'épuration classiques :

- 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,

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

- curage des boues tout les deux ans.

II.2.8. Inconvénients techniques [13].

- 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,
- Nécessite un agent spécialisé pour l'entretien du matériel électromécanique,
- Nuisance sonore possible,
- Coût d'exploitation relativement élevé.

III. Résumé des différentes filières

Les techniques d'épuration répondant à la terminologie des filières extensive sont sommairement résumées dans le tableau II.25 ci-dessous qui fait apparaître pour certaines, la nécessité d'un traitement primaire amont et pour d'autres, l'usage exclusif en traitement de finition.

Tableau II.25. Les techniques d'épuration extensives [13].

Filière Classique	Traitement primaire	Traitement secondaire	Traitement tertiaire
Infiltration - percolation	Décanteur digesteur	Infiltration - percolation	
Filtres plantés à écoulement vertical	Nécessaire (des filtres plantés à écoulement vertical peuvent être utilisés pour assurer ce traitement primaire)	Filtres plantés à écoulement vertical (1 ^{er} étage)	Filtres plantés à écoulement vertical (2 ^{ème} étage)
Filtres plantés à écoulement horizontal	Décanteur digesteur	Filtres plantés à écoulement horizontal	
Lagunage naturel	1 ^{er} bassin de	2 ^{ème} bassin de	2 ^{ème} bassin de

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

	lagunage	lagunage	lagunage
Lagunage aéré	Lagune aérée + lagune de décantation		Lagune de finition

IV. L'importance du facteur climatique

Les filtres verticaux peuvent supporter des périodes de gel sans chute importante de la qualité du traitement. Cependant l'alimentation étant alternée, de longues périodes de gel sans protection thermique par la neige, peuvent compromettre l'hydraulique du filtre et donc le traitement. Une isolation par de la paille peut éviter un gel excessif.

Les filtres horizontaux supportent aisément de longues périodes de gel. Plusieurs facteurs permettent d'isoler thermiquement les eaux des températures extérieures : la neige, les roseaux faucardés maintenus à la surface et, pour des périodes critiques de gel, la couche d'air bloquée sous la couche de glace formée à la surface du filtre. Les rendements risquent d'être cependant moins performants qu'en période estivale. Dans des climats extrêmes, il convient de prendre en compte un facteur de sécurité au niveau du dimensionnement.

Les systèmes de lagunes sont sensibles aux conditions de température de l'eau. Le temps de séjour dans les bassins varie en fonction des conditions climatiques et donc indirectement affecte les rendements attendus. Les fortes évapotranspirations rencontrées pendant les saisons chaudes peuvent augmenter considérablement le temps de séjour et, par voie de conséquence, le rendement. Le gel d'une tranche d'eau supérieure en hiver, au contraire, réduit le temps de séjour.

L'implantation de lagunes aérées dans des zones de climat froid extrême est à éviter. Quelle que soit la filière retenue, dans des climats extrêmes, il conviendra de prendre en compte un facteur de sécurité au niveau du dimensionnement. Un travail complémentaire pour déterminer plus précisément ces facteurs reste à faire [47].

Conclusion

Le choix va donc se faire au regard des avantages et des inconvénients des différentes techniques dont voici un tableau récapitulatif.

Tableau II.26. Récapitulatif des avantages et inconvénients des filières extensives [13].

Filière	Avantages	Inconvénients
	-Excellents résultats sur la DBO5, la DCO, les MES et	-Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

Infiltration percolation sur sable	<p>nitrification poussée</p> <ul style="list-style-type: none"> - Superficie nécessaire bien moindre que pour un lagunage naturel -Capacité de décontamination intéressante 	<ul style="list-style-type: none"> -Risque de colmatage à gérer -Nécessité d'avoir à disposition de grandes quantités de sables -Adaptation limitée aux surcharges hydrauliques.
Filtres plantés à écoulement vertical	<ul style="list-style-type: none"> -Facilité et faible coût d'exploitation. -Aucune consommation énergétique si la topographie le permet -Traitement des eaux usées domestiques brutes -Gestion réduite au minimum des dépôts organiques retenus sur les filtres du 1^{er} étage -Bonne adaptation aux variations saisonnières de population. 	<ul style="list-style-type: none"> -Exploitation régulière, faucardage annuel de la partie aérienne des roseaux, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux -Utiliser cette filière pour des capacités supérieures à 2 000 EH reste très délicat pour des questions de maîtrise de l'hydraulique et de coût par rapport aux filières classiques -Risque de présence d'insectes ou de rongeurs
Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	<ul style="list-style-type: none"> -Faible consommation énergétique -Pas de nuisance sonore et bonne intégration paysagère -Aucune nécessité d'une qualification poussée pour l'entretien ; -Bonne réaction aux variations de charge. 	<ul style="list-style-type: none"> -Forte emprise au sol, abords compris. Celle-ci est de l'ordre de 10 m²/EH (équivalente à l'emprise d'une lagune naturelle). -Une installation pour des tailles de 2000 à 15 000 EH peut s'envisager sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique
Lagunage naturel	<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). -Faibles rejets et bonne élimination des germes pathogènes en été -S'adapte bien aux fortes variations de charge 	<ul style="list-style-type: none"> -Forte emprise au sol (10 à 15 m²/EH) -Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune -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

Chapitre II Étude et comparaison des techniques d'épurations extensives

	<p>hydraulique</p> <ul style="list-style-type: none"> -Pas de construction "en dur", génie civil simple -Bonne intégration paysagère -Bon outil pour l'initiation à la nature -Absence de nuisance sonore -Les boues de curage sont bien stabilisée sauf celles présentes en tête du premier bassin. 	<p>milieu en aval</p> <ul style="list-style-type: none"> -Qualité du rejet variable selon les saisons -La maîtrise de l'équilibre biologique et des processus épuratoires reste limitée.
Lagunage aéré	<ul style="list-style-type: none"> -Tolérant aux variations de charges hydrauliques et/ou organiques importantes -Tolérant aux effluents très concentrés -Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamenteux en boues activées) ; -Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables. -Bonne intégration paysagère -Boues stabilisées. 	<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.

Chapitre III :

Dimensionnement d'une STEP pour 1000
EH dans la région de Terny (Fraouna)

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

Introduction

L'agglomération chef-lieu de la commune de Terny avec un certain nombre de centres secondaires, se situent à l'intérieure du bassin versant du barrage Meffrouch. Cet important ouvrage de mobilisation des eaux superficielles et également souterraines d'une capacité de 15 millions m³, alimente en eau potable le groupement urbain de Tlemcen.

Les rejets d'eaux usées provenant de ces centres peuvent à terme contribuer à une dégradation de la qualité des eaux mobilisées au niveau du barrage du Meffrouch.

La région de Fraouna, site de notre étude, est située à environ de 3Km de la commune de Terny. C'est une des zones qui ne contiennent pas de traitement des eaux usées. Celles-ci sont jetées directement dans le milieu naturel. Ces déversements effectués dans le milieu naturel par Oued Nechef qui draine ce bassin versant risquent à terme d'engendrer une contamination des eaux de surface mobilisées au niveau du barrage du Meffrouch et des ressources en eau souterraines exploitées pour les besoins en eau potable de la population locale.

A cet effet, dans notre étude de projet de fin d'étude, nous avons préconisé de dimensionner une station d'épuration basée sur des systèmes épuratoires permettant une reconstitution contrôlée des phénomènes d'autoépuration naturelle pour la région de Fraouna. Nous avons choisi pour notre étude une STEP à filtres plantés de roseaux. Pour cela nous allons étudier les spécificités géographiques, climatiques, géologiques et démographiques de la localité de Fraouna pour étudier et dimensionner notre STEP.

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

I. Description de la zone d'étude

I.1. Limite géographique

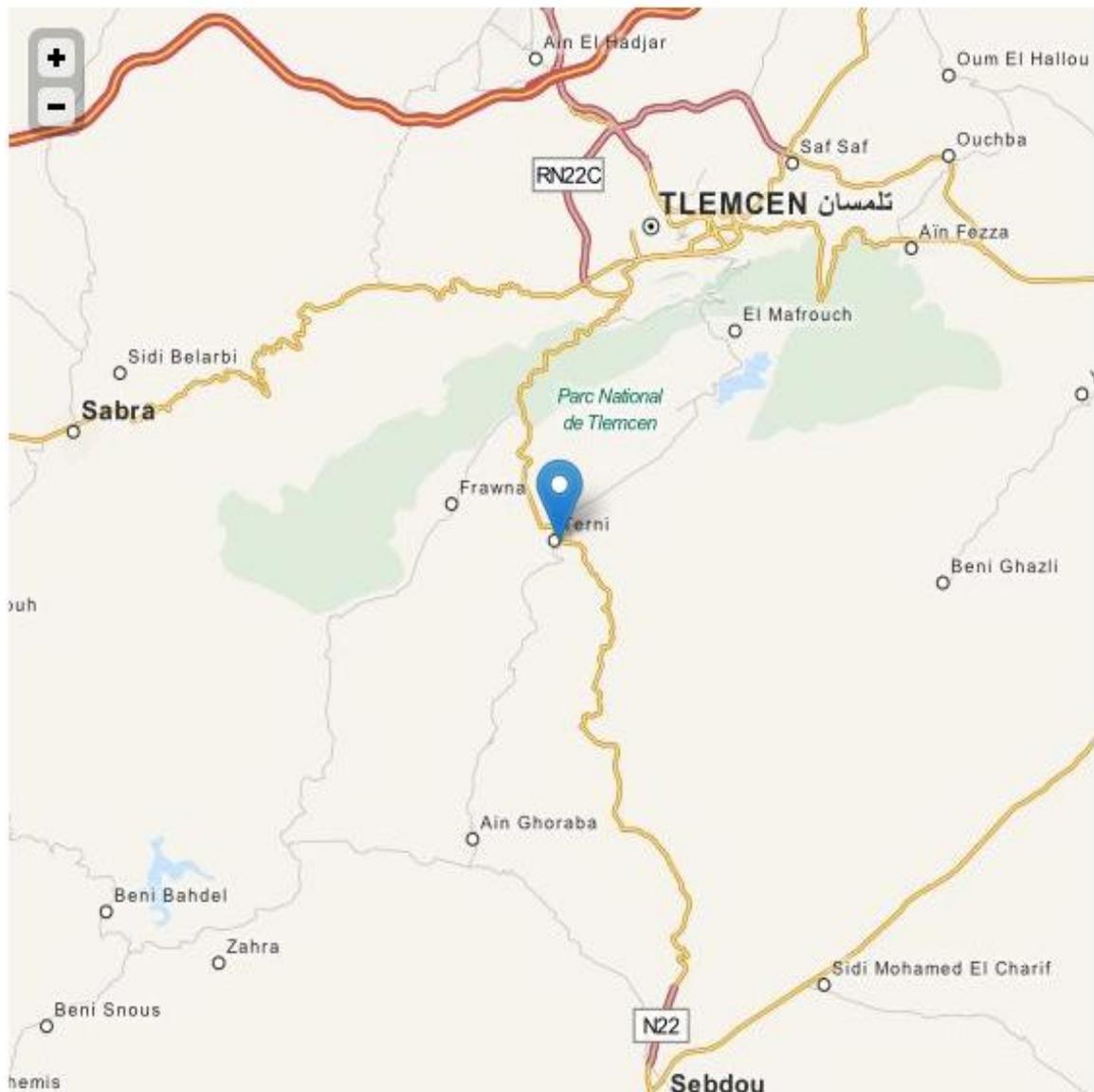


Figure .III.1.Situation géographique de Terny [69]

La commune de Terny représentée sur la figure IV.1 est située au centre de la wilaya de Tlemcen. Elle est limitée géographiquement par les communes et daïras suivantes :

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

- Au Nord par la Daïra de Mansourah,
- A l'Est par la commune d'Oued Lakhdar,
- A l'Ouest par la Daïra de Sabra,
- Au Sud par la Daïra de Sebdou.

I.2. Situation géologique

La chaîne des monts de Tlemcen, au niveau de laquelle se situe le périmètre d'étude est composée d'affleurements essentiellement carbonatés sur le plan stratigraphique.

La série se compose des formations suivantes :

- Grés de Boumédiene.
- Calcaires inférieurs (calcaire de Zarifet),
- Les dolomies de Tlemcen,
- Les marno-calcaires intermédiaires,
- Les calcaires de Lato,
- les dolomies supérieures (dolomies de Terny) [63].

I.3. Contexte climatique

Ce facteur est primordial dans le bon fonctionnement d'un système d'épuration. Les monts de Tlemcen, notamment au niveau de la région de Terny constituent la zone la plus arrosée de la wilaya de Tlemcen en raison de l'altitude dépassant parfois 1000m.

I.3.1. Pluviométrie

Le tableau suivant représente la moyenne des précipitations de 1975 à 1980.

Tableau.III.1.Moyenne des précipitations en mm de 1975 à 1980.

Années	jan	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1975	12.2	77.4	123.7	263	63.2	6.2	0	20.5	7.2	3.9	131.3	16.6
1976	39.4	142	51.3	138.8	81.9	12.4	10.8	25	60.9	70.1	35.4	72.9
1977	92	33.8	50.5	16.8	62.5	9.9	17.2	7.4	0	42.9	95.4	16.7
1978	118.2	17.1	61.9	84.1	29	0.4	0	2.8	0	77.9	17.6	24.3
1979	27.6	160.2	42.8	38.5	21.5	8.9	4.3	0.1	25.2	94.5	60.9	81.7
1980	11.4	110	101.5	34.2	36.6	0.6	0	0.5	2.2	40.3	46.4	50.8
MOY (mm)	50.2	90.1	72.0	95.9	49.1	6.4	5.4	9.4	15.9	54.9	64.5	43.8

Source : direction de l'hydraulique de Tlemcen

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

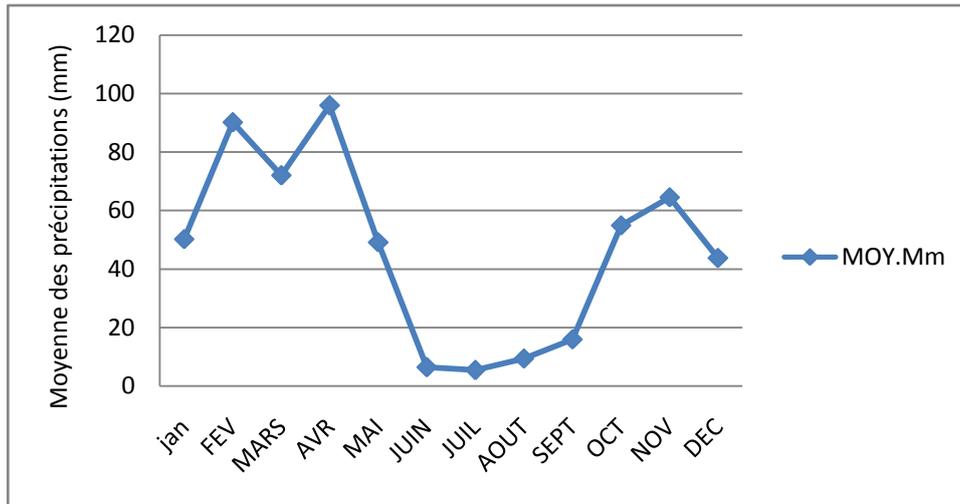


Figure III.2 Moyenne des précipitations de 1975 à 1980

On remarque que les précipitations les plus importantes se situent entre les mois de février et avril, tandis que les plus faibles c'est durant la période allant de juin à octobre.

Il y a lieu de noter que durant ces deux dernières décennies, nous avons assisté à une régression notable de cette pluviométrie avec une sécheresse prolongée qui a affecté le niveau de remplissage du barrage du Meffrouch.

I.3.2. Températures

La région de Terny jouit d'un climat de type continental avec un hiver très froid et rigoureux et un été très chaud et ceci en relation avec le paramètre altitude.

Les températures pour la période allant de 1975 à 1980 sont enregistrées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 Moyenne des températures de 1975 à 1980

Désignation	jan	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Moyenne en °C	9.6	11.2	11.5	12.8	15.6	20	24.3	25	21.2	16.9	12.2	11
Minimum en °C	5.5	6.9	6.8	8	10.4	13.7	17	18.1	15	11.7	7.8	6.8
Maximum en °C	14.3	15.9	16.8	18.2	21.6	27.1	32	32.7	28.3	22.9	17.2	15.8

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

Source : direction de l'hydraulique de Tlemcen

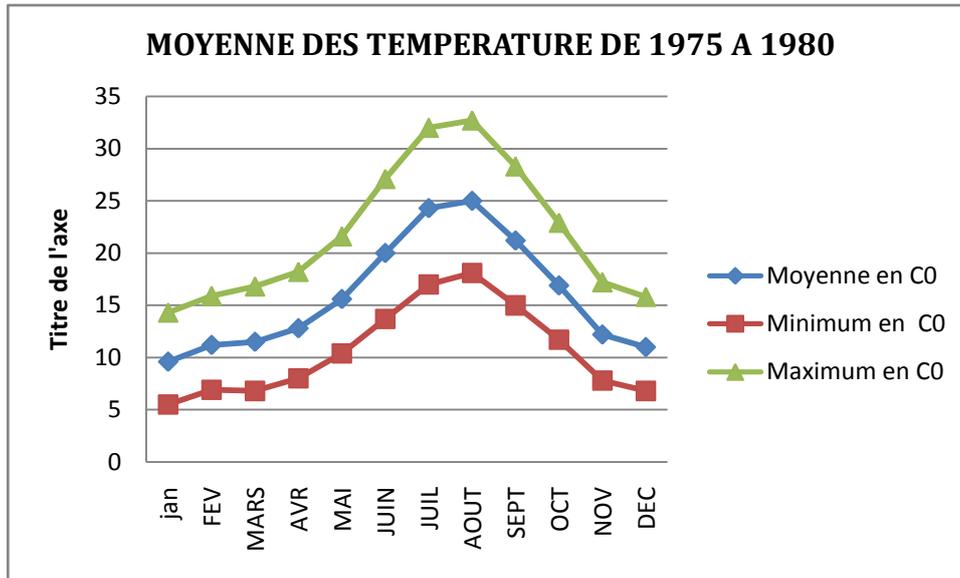


Figure. III .3.moyenne des températures de 1975 à 1980

Le mois le plus froid pour la région de Terny est le mois du janvier avec une température moyenne de 9.6°C et le mois le plus chaud est le mois d'Aout avec une température moyenne de 25°C.

II. Paramètres de conception

II.1. Etude démographique

Les informations liées à la démographie de la population sont présentées dans les tableaux suivant :

Tableau III.3. Evolution de la population de 1966 à 2007

Année	1966	1977	1987	1991	1995	2007
Terny : Agglomération	687	620	810	1000	2000	3500
Chef lieu						
Meffrouch	-	-	410	420	430	600
Fraouna	-	-	356	342	400	600
Sidi Hafif	-	-	172	100	200	300
Oueledyoucef	-	-	325	332	350	500
Ouledouadfel	-	-	259	267	280	450
total	687	620	2332	2461	3660	5950

Source : direction de l'hydraulique de Tlemcen

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

Tableau III.4 Estimation de l'évolution de la population, taux d'accroissement (en %)

Année	Terny	Fraouna	Sidi Hafif	O.Youcef	O.Ouadfel	Meffrouch
1987	5.40	0.99	0.87	0.53	0.76	0.60
1991	18.90	3.99	18.90	1.33	1.20	0.59
1995	4.56	4.56	4.56	2.71	1.39	0.91
2000	4.00	2.27	1.22	1.50	1.94	1.94

Source : direction de l'hydraulique de Tlemcen

Tableau III.5 Estimation de l'évolution de la population par commune.

Année	Terny	Fraouna	Sidi Hafif	O.Youcef	O.Ouadfel	Meffrouch	Total
1987	810	356	172	325	259	410	2332
1991	1000	342	100	332	267	420	2461
1995	2000	400	200	350	280	430	3660
2000	2500	500	250	400	300	450	4400
2015	4500	700	300	500	400	600	7000

Source : direction de l'hydraulique de Tlemcen

Tableau III.6. Estimation de la population de la commune de Terny jusqu'à 2025

Année	Population total	Taux accroissement
2015	7000	1.90%
2020	7691	1.90%
2025	8450	1.90%

Source : direction de l'hydraulique de Tlemcen

Pour l'estimation de la population future des centres de Terny et Fraouna, nous avons utilisé la formule du taux d'accroissement exponentiel qui est présentée par la formule ci après :

$$P = P_0 * (1 + r)^n \quad (I.V.1)$$

Avec :

- P : représente la population projetée.
- P₀ : représente la population à l'année de référence.
- r : représente le taux d'accroissement.
- n : représente la valeur de la période.

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

On retiendra pour l'ensemble des agglomérations concernées un taux d'accroissement de 1.9%.

Tableau III.7 Evolution de la population

Année	TERNY (Chef lieu)	FRAOUNA
1995	2000	400
2000	2500	500
2015	4500	700
2025	5500	900

II.2. Type des eaux usées de la région de Terny

Actuellement la seule activité industrielle existant au niveau de la commune de Terny, située à la sortie sud de l'agglomération, est l'unité de fabrication de matelas Atlas. Cette activité n'est pas polluante. Par contre il y a une activité agricole dans la région.

L'ensemble des effluents rejetés sont donc constitués par des eaux ménagères, des eaux vannes et des eaux agricoles. Il y a donc absence de rejets industriels dans cette région. C'est pour cette raison qu'une STEP plantée de roseaux s'y prête au traitement de ces eaux.

Le tableau ci-dessous donne la caractéristique qualitative de l'effluent.

Tableau III.8 Caractéristiques qualitatif de l'effluent

Nature	Domestique	Oui
	Agricole	Oui
	Industriel	Non

II.3. Estimation du débit d'eaux usées

Toujours pour l'horizon 2025 et en tenant compte d'une dotation journalière de 120 l/j/hab. et en estimant que les eaux usées rejetées représentent 80% de cette dotation journalières.

Les débits des effluents ménagers attendus sont les suivants :

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

- Pour Terny : $528 \text{ m}^3/\text{j}$
- Pour Fraouna : $86 \text{ m}^3/\text{j}$

II.4. Etat actuel du traitement des eaux usées dans la région.

Un prétraitement des eaux usées est assuré par un bassin de décantation réalisé dans les années 80. Il permet d'éliminer la fraction la plus grossière des rejets. La figure III.4 représente l'ouvrage de décantation existant.



Figure III.4. Bassin de décantation.

III. Etude et dimensionnement de la STEP

Il existe deux types de techniques de filtrage des eaux usées par roseaux :

- Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical,
- Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal.

Nous allons faire dans un premier temps une étude et un dimensionnement de la STEP par ces deux techniques de la localité de Fraouna. Puis dans un deuxième temps nous choisirons la technique la plus adéquate et la moins coûteuse pour notre site d'étude.

III.1 Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical

Nous allons commencer par étudier et dimensionner une station plantée de roseaux alimentée par un réseau unitaire à écoulement vertical que nous concevons pour notre site d'étude Fraouna pour 1000 EH.

Le schéma de principe de la STEP d'étude est représenté ci-après sur la figure III.5.

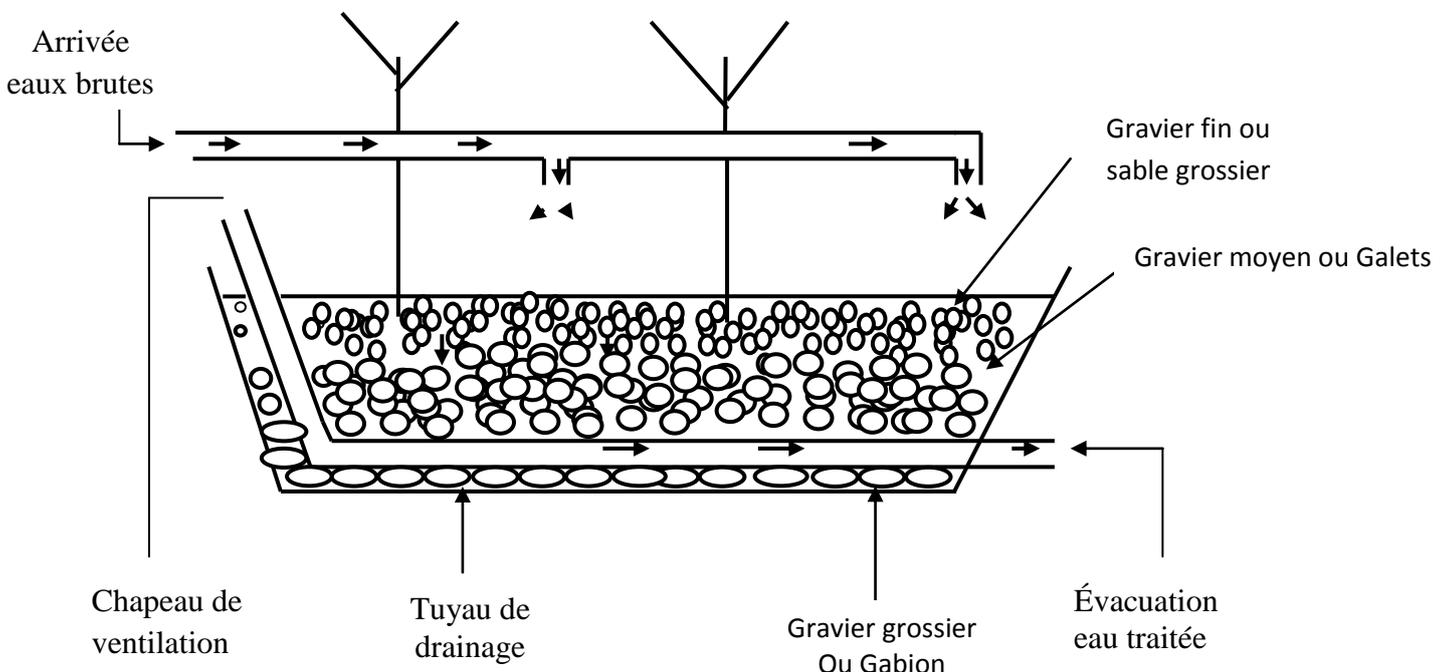


Figure III.5. Schéma de principe de la station d'épuration

III.1.1. Alimentation

La vitesse d'alimentation des filtres verticaux doit être plus élevée que la vitesse d'infiltration dans le matériau, pour que l'effluent puisse être réparti sur la majeure partie du filtre. La vitesse de l'eau doit être au minimum de 0.6m/s en tout point d'injection du réseau de distribution [65].



Figure III.6 Alimentation en surface des filtres verticaux de la station Saint Laurent (France) [68].

Il est à noter que les surfaces des filtres doivent être équipées de plaques anti affouillement au niveau de chaque point d'alimentation (fig. 7) [65].

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)



Figure III.7 Plaque anti-affouillement avec alimentation souterraine des filtres verticaux de la station d'épuration de Mauzac et Grant Castang [68].

III.1.2 Nombre de filtres par étage

- ✓ Pour une très petite installation, un minimum de deux filtres est obligatoire.
- ✓ Pour des installations supérieures à 100 habitants, trois filtres sont généralement utilisés [55].

III.1.3 Surface des filtres

La règle générale établie expérimentalement par Pr Kickuth est reportée dans le tableau III.9 suivant [64].

Tableau III.9. Règle de base habituelle de dimensionnement [64].

Surface utile totale	2 à 3m ² /habitant
Premier étage (3 filtres en parallèle)	1.2 à 1.5m ² /habitant
Deuxième étage	0.8 à 1m ² /habitant

On dimensionnera le filtre de la manière suivante :

La surface utile du filtre par habitant choisie pour notre station alimentée par un réseau unitaire est de 1,5m²/hab. [55].

III.1.4 Surface totale disponible

La population de Fraouna étant estimée à 1000EH, la surface totale utile est donc égale à **1500m²** (1,5m²/EH).

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

III.1.5 Les matériaux

Les filtres du premier étage sont constitués de trois couches différentes :

- Une couche filtrante dans laquelle s'effectue le traitement des eaux par cultures fixées,
- Une couche de transition,
- Une couche drainante dans laquelle s'effectue la collecte des eaux traitées.

Pour les lits du 1^{er} étage, la couche la plus active est vraisemblablement la couche superficielle de plus faible granulométrie qui est généralement du gravier fin compris entre 2 et 8mm sur une épaisseur variant généralement 20 et 50cm. Les couches sous-jacentes sont des couches intermédiaires de granulométrie plus grossière utilisées à titre de séparation pour atteindre la couche drainante très souvent constituée de galets dans une fourchette comprise entre 20 et 60mm.

Les matériaux sables, graviers et pierres lavés et roulés doivent avoir une teneur en fines ($D < 80\mu\text{m}$) inférieure à 3% en masse, pour limiter la présence de fins pouvant colmater les espaces interstitiels, pour éviter que le matériau se tasse trop et enfin, pour fournir un milieu favorable au développement des végétaux.

Le 1^{er} étage est donc constitué des trois couches suivantes :

- **couche filtrante :**
Gravier fin de 2 à 8mm
Épaisseur 30cm minimum
- **Couche de transition :**
Granulométrie adaptée de 3 à 20mm
Épaisseur de 10 à 20cm
- **Couche drainante :**
Granulométrie adaptée de 20 à 60mm
Épaisseur de 10 à 20cm [66].

III.1.6. Profondeur

Pour s'assurer que l'eau circule bien dans la zone active du lit la profondeur du lit sera égale à la profondeur maximale de pénétration des racines. Cette profondeur est d'environ 60cm d'après la littérature [65].

III.2. Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

Dans un deuxième temps nous allons étudier et dimensionner une station plantée de roseaux alimentée par un réseau à écoulement horizontal que nous concevons pour notre site d'étude Fraouna pour 1000 EH.

Son schéma de principe est présenté par la figure IV.8.

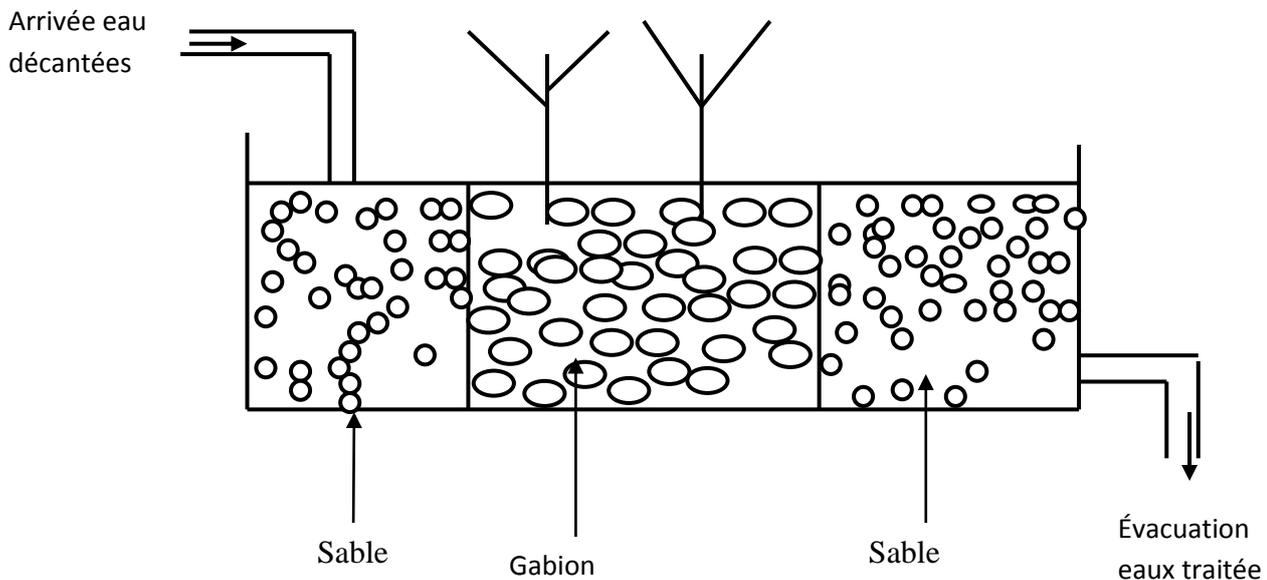


Figure III.8.Schéma d'un filtre à écoulement horizontal

En général les filtres plantés de roseaux nécessitent un prétraitement.

- a) s'il y'a un prétraitement :

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

D'après la littérature, le prétraitement est en général des filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal.

Dans nous avons deux filtres en cascades, et ceci nécessite dans une surface utile pour le filtre vertical de $1.5\text{m}^2/\text{EH}$ plus une surface utile pour le filtre horizontal de $5\text{m}^2/\text{EH}$, ce qui fait nous aurons besoin d'une surface utile totale $(1.5+5) \text{m}^2 = 6.5^2/\text{EH}$.

- b) s'il n'y a pas de prétraitement la littérature nous recommande une surface utile de $10\text{m}^2/\text{EH}$

III.2.1. Alimentation

En traitement secondaire, l'alimentation des filtres horizontaux est continue et peut être permanente. En traitement tertiaire, pour une dénitrification, le filtre doit être alimenté en permanence pour être saturé et procurer les conditions d'anaérobiose nécessaire. Il est indispensable de procéder à un prétraitement avant l'alimentation du filtre. Des concentrations élevées de matière solide en suspension peuvent causer l'obstruction de lit de filtration et l'écoulement de surface ultérieure. Ce type de filtre doit être soit à l'aval d'un 1^{er} étage d'un filtre planté soit à l'aval d'un autre système de prétraitement [67].

III.2.2 Nombre d'étages

Pour un traitement secondaire, deux étages en série composent généralement l'installation de filtres [55].

III.2.3 Surface des filtres

La surface des filtres à écoulement horizontal est déterminée par la relation empirique suivante :

$$A_s = Q_j [(\ln(C \text{ DBO}_e) - (\ln(C \text{ DBO}_s)))/ k \text{ DBO}] \quad (\text{I.V.2})$$

Avec

A_s : surface du filtre (m^2)

Q_j : débit moyen journalier arrivant à la station (m^3/j)

$C \text{ DBO}_e$: concentration moyenne journalière en DBO_5 à l'entrée (mg/l)

$C \text{ DBO}_s$: concentration moyenne journalière en DBO_5 souhaitée à la sortie (mg/l)

$K \text{ DBO}$ est une constante (m/j) qui dépend du type d'eaux à traiter (eaux brute, eau traitées biologiquement).

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

L'application de la formule précédente conduit, en fonction du type d'eaux à traiter et donc de la valeur du k DBO, aux surfaces résumées dans le tableau 10 ci-dessous. Les calculs ont été réalisés avec comme hypothèses objectives de $C_{DBO_5} = 10 \text{ mg/l}$ et $Q_j = 150 \text{ l/j}$ par habitant.

Tableau III. 10 : valeur de k DBO5 et de surface spécifique en fonction du type d'eaux à traiter [64].

Type d'eaux	Concentration (DBO5mg/l)	K DBO5	m ² /hab.
Brutes	-	-	-
Décantées	130-150	0.1	5
Traitées biologiquement	10-20	0.3	1

Pour des concentrations initiales de 150 à 300mg/l de DBO5, les surfaces plantées sont évaluées à 5m²/EH en traitement secondaire [55].

III.2.4. Surface totale disponible

La population de Fraouna étant de 1000EH Donc la surface totale utile doit être égale à **5000m²**.

III.2.5. Profondeur

La profondeur moyenne des filtres est estimée à 60cm, ce qui correspond à la profondeur maximale de pénétration des racines.

Cette profondeur peut varier suivant la constitution du massif filtrant :

- le substrat est du sable => $P \leq 1\text{m}$ avec l'utilisation de phragmites
- le substrat est du gravier => $P \leq 0,5\text{m}$ avec l'emploi de diverses espèces de macrophytes [55].

III.2.6. Largeur et longueur du filtre

La surface et la profondeur du filtre étant fixées, restent à déterminer la longueur et la largeur. Elles dépendent étroitement de la conductivité hydraulique du matériau puisque selon la loi de Darcy :

$$Q_j = A_c K_s (dH/dL)$$

$$K_s = H \cdot 1$$

Avec

A_c : aire de la section transversale du filtre (m²)

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

H : profondeur moyenne

L : largeur

Ks : conductivité hydraulique du matériau saturé (m/j)

dH/dL : gradient hydraulique (m/m) [68].

III.2.7. Les matériaux

Les filtres horizontaux sont composés de sable, de gravier ou sol en place d'une manière homogène, avec une granulométrie directement proportionnelle à la concentration des eaux brutes.

Un lavage du matériau est obligatoire pour enlever les fines responsables du colmatage du filtre. De plus, il doit être roulé et non concassé [55].

IV. Solution choisie

Tableau III.11 : Tableau comparatif des deux techniques

	Ecoulement vertical	Ecoulement horizontal	
		Eaux Usées Prétraitées	Eaux Usées Brutes
Coefficient d'occupation	2,5m ² /EH	6,5m ² /EH	10m ² /EH
Superficie utile	2500m ²	6500m ²	10000m ²
Surface des filtres			
Ecoulement	–	Continu	Continu
Lits de gravier	3	3	3
Profondeur	60cm	60cm	60cm

Suite aux deux études précédentes nous avons choisi la station d'épuration des eaux usées de la localité de Fraouna par des filtres plantés de roseaux à **écoulement vertical unitaire avec un seul étage**. Car nous avons à faire à **un traitement complémentaire** d'eaux usées d'origine **essentiellement ménagères ou agricoles** d'une petite agglomération de 1000 habitants, dont l'écoulement **n'est pas continu** ce qui conditionne la deuxième solution (l'écoulement horizontal) et ayant subit un « prétraitement » grossier dans un bassin de décantation.

Chapitre III Dimensionnement d'une STEP pour 1000 EH dans la région de Terny (Fraouna)

Conclusion

La technologie des filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux usées domestiques est une technique au développement récent dont la technologie est fiable et accessible et dont les matériaux utilisés sont d'origine nationale. En plus cette technologie est simple à exploiter. Ainsi, elle s'avère fortement recommandée pour les petites collectivités ayant de faibles ressources financières.

Chapitre IV :

Etude technico-économique de la STEP

Introduction

L'épuration des eaux usées par les stations classiques, pour de petits groupements d'habitation (petite village), s'avère très coûteuse. La mise en œuvre des procédés d'épuration des eaux usées par des filtres plantés de roseaux constitue une alternative intéressante bien adaptée à ces cas. Ce procédé est moins coûteux, nécessite moins de maintenance et d'entretien, consomme peu d'énergie et s'intègre parfaitement au paysage.

Dans ce chapitre nous allons procéder dans un premier temps à une étude technique puis dans un deuxième temps à une étude économique.

Dans l'étude technique nous allons étudier le terrain et son environnement. Les études géologiques et climatiques du site choisi Fraouna montrent que le terrain contient des formations rocheuses et que son climat est continental. Il est situé en aval du bassin de décantation avec un dénivelé de 60m, ce qui permet un écoulement est gravitaire (Figure. IV.1). Ceci nous a permis d'opter pour une station d'épuration des eaux usées par des filtres plantés de roseaux alimentée par un réseau unitaire à écoulement vertical pour 1000 EH.

Dans l'étude économique nous avons procédé à l'énumération des travaux à effectuer et les fournitures qui nous servent pour réaliser notre STEP. Ceci nous a permis à établir un devis quantitatifs et estimatifs de la réalisation de la STEP.

IV.1. Etude technique

IV.1.1. Choix du terrain

On a choisi un terrain en aval du bassin de décantation avec une dénivellation de 60m et de dimensions 60m x 65m tel que le montre la figure IV.1 ci-dessous.

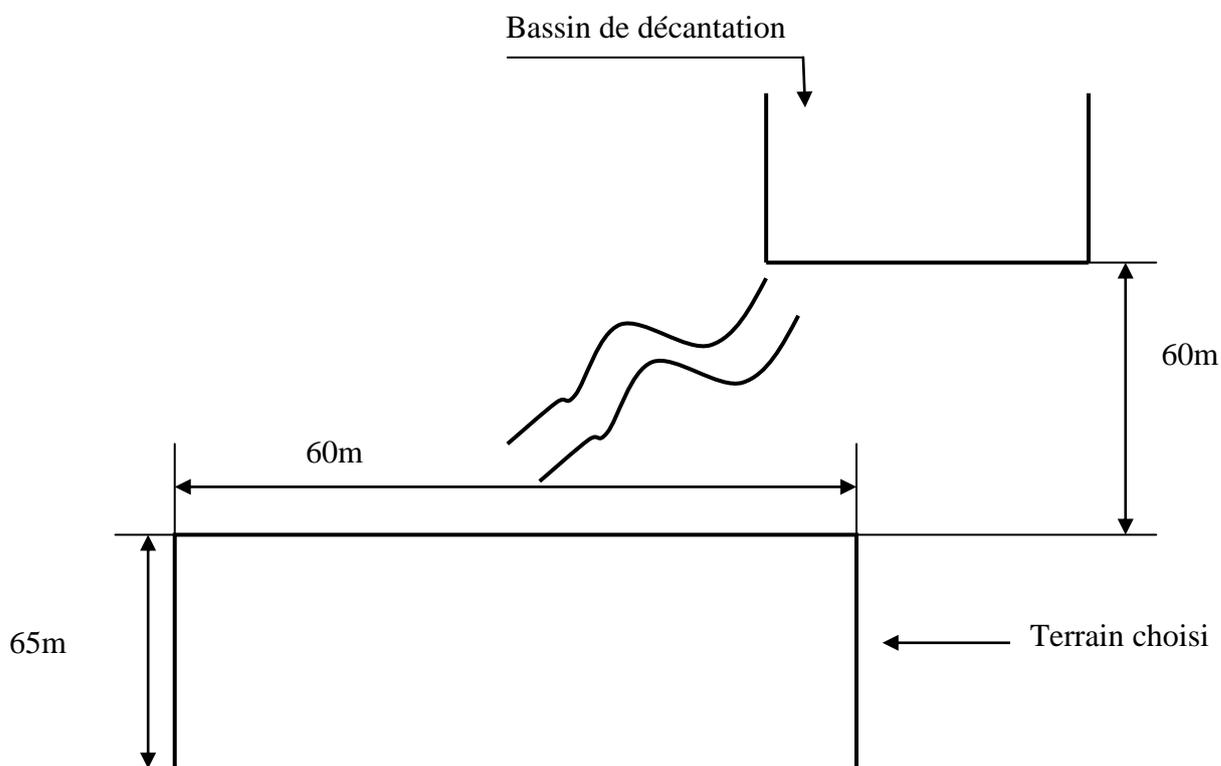


Figure. IV.1.Terrain choisi

IV.1.2. Les contraintes naturelles du site

Pour l'implantation de toute station d'épuration, il est nécessaire de faire une étude préalable d'ordre pédologique, géologique et hydrogéologique.

IV.1.2.1.les contraintes géologiques

Les études de perméabilité d'un sol conduisent à définir soit le degré d'imperméabilité naturelle (objectif recherché pour l'implantation d'une station d'épuration par les filtres plantés de roseaux).

Les bordures de la dépression sont occupées par les calcaires et dolomies (Tlemcen et Terny, Fraouna) tandis que le centre de la dépression sur les terrasses alluviales de

Fraouna, on rencontre des dépôts alluvionnaires parfois assez profonds et qui ont pour origine la décalcification des formations carbonatées environnantes.

Les dolomies et calcaires représentent la totalité des affleurements du périmètre d'étude. Donc nous avons à faire à des formations rocheuses. Nous procédons donc au terrassement de notre terrain par une brise roche comme le montre la photo de la figure IV.2 ci-après représentée.

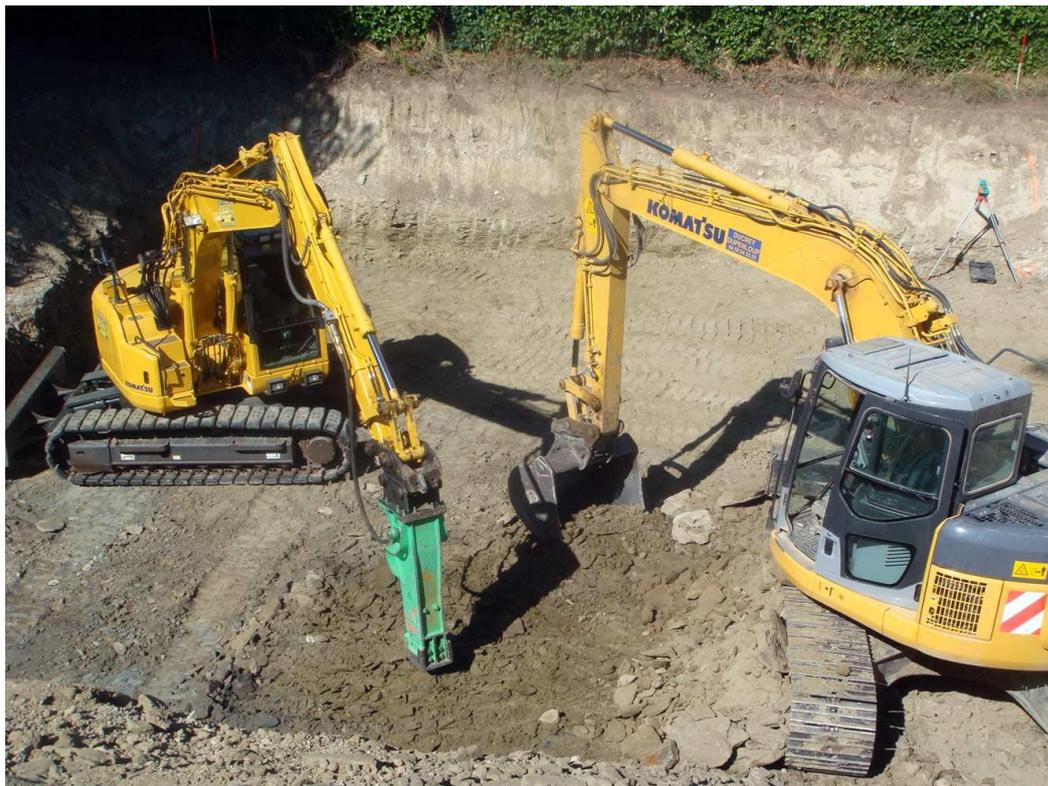


Figure .IV. 2. Terrassement (source : <http://www.cuquat-julien.fr/images/photos/2-terrassment/terrassment27.jpg>)

IV.1.2.3 Les contraintes climatiques

Les monts de Tlemcen, notamment au niveau de la région de Terny (Fraouna) constituent la région la plus arrosée de la wilaya de Tlemcen en raison de l'altitude dépassant parfois 1200m. Ainsi la moyenne pluviométrique sur une série de 30 années dépasse les 700mm sur les sommets du Djebel Nador. (Source : direction de l'hydraulique Tlemcen).

La région de Terny (Fraouna) jouit d'un climat de type continental avec un hiver très froid et rigoureux et un été chaud et ceci en relation avec le paramètre altitude.

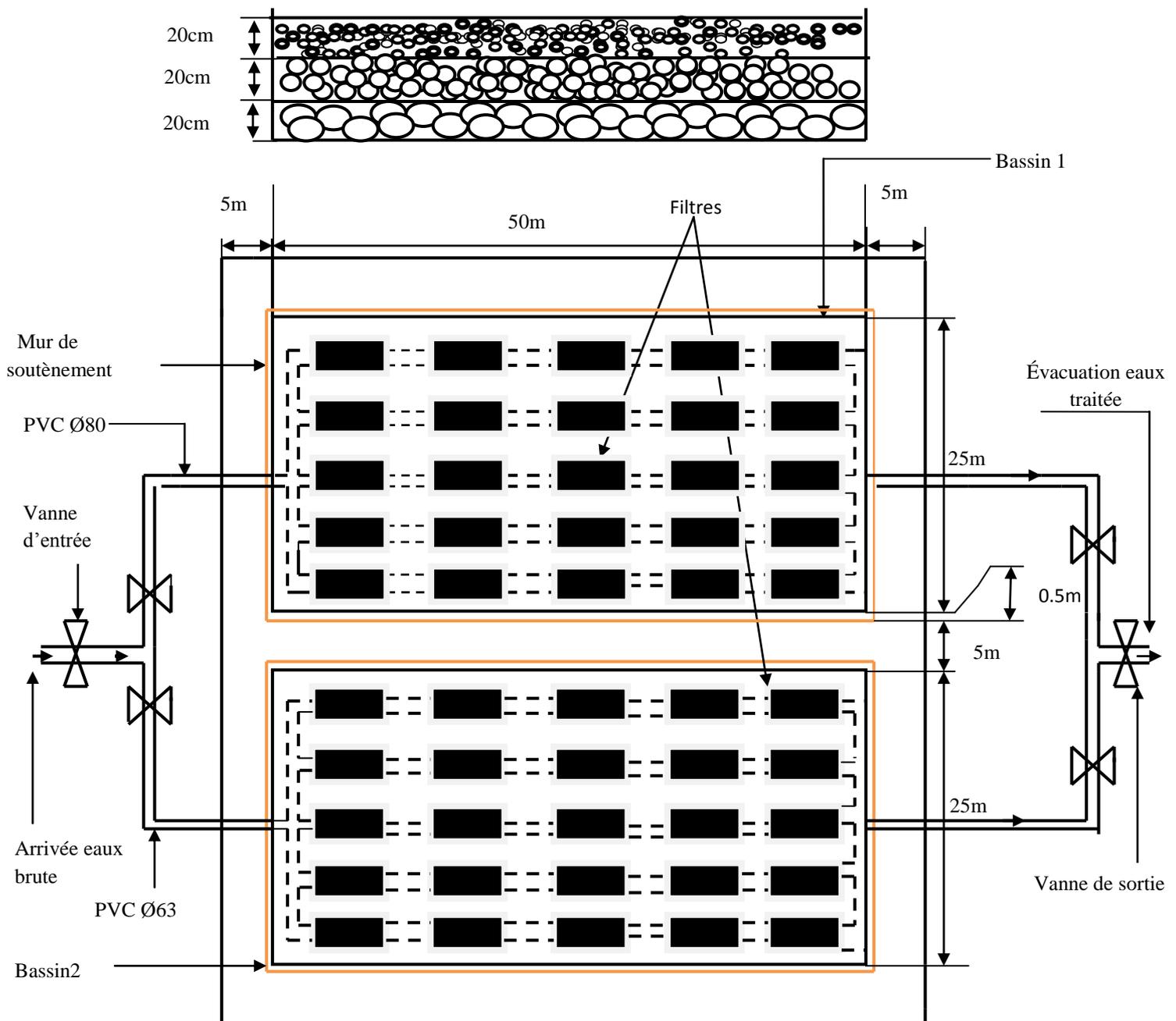
La température moyenne atteint 9.7°C au mois de décembre et en été la moyenne avoisine les 25°C . Ceci nous a permis de choisir une STEP par des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.

IV.2. Etude économique

Nous allons faire un devis quantitatif et estimatif de la STEP que nous avons conçu dans le site de Fraouna pour 1000EH pour évaluer le budget que doit allouer la commune à cette opération.

Le schéma de principe de la STEP d'étude est représenté ci-après sur la figure .IV.3.

Vue de face



Vue de dessus

Figure IV.3. Schéma de principe de la station d'épuration

Dans cette étude, nous allons utiliser deux bassins, pour éviter tout problème possible (par exemple : colmatage...) et pour pouvoir nettoyer un bassin pendant que l'autre est fonctionnel.

I.2. Devis quantitatif et estimatif de la STEP.

Réalisation d'une station d'épuration par les filtres plantés de roseaux dans la région de terny (localité de fraouna).

Nb	Opération	Unité	Quantité	Prix unitaire TTC (DA)	Prix total TTC (DA)
1	Terrassement et réglage de niveau dans un terrain rocheux sur l'ensemble de l'assiette y compris décapage et chargement en tout venant de carrière et toutes autres sujétions.	m ³	3900	3000	11700000
2	Ouverture de la tranchée en terrain rocheux sur une largeur de (D intérieur + 0.6 m) et une profondeur selon profil en long au moyen mécanique ou manuelle y compris étalage des parois, nettoyage du fond de fouille, nivellement , croisement et réparation des obstacles et toutes autres sujétions.	m ³	1875	3000	5625000
3	Evacuation des terres excédentaires à la décharge publique sur un rayon de 05 kms y compris remise à l'état initiale des lieux et toutes sujétions.	m ³	1875	400	750000
4	Réalisation de murs de soutènement en gabionnage y compris terrassements, assemblage et toutes sujétions	m ³	1989	1000	1989000
5	Fourniture et pose de couche en géomembrane y compris soudage réglage sur toute la surface des bassins de décantation	m ²	3375	200	675000
6	Fourniture et mise en place d'un lit de pose en sable fin sur une épaisseur de 15cm y compris réglage, étalage et toutes autres sujétions.	m ³	375	1000	375000
7	Fourniture et pose de conduite de	ml	250	1000	250000

	drainage en PVC Ø80 au niveau des bassins de filtration.				
8	Fourniture et mise en place de couche de 20cm de gravier (25/40) y compris réglage de niveau et toute autres sujétions	m ³	1000	150	150000
9	Fourniture et mise en place de couche de 20cm de gravier (16/25) y compris réglage de niveau et toute autres sujétions	m ³	1000	200	200000
10	Fourniture et mise en place de couche de 20cm de gravier (8/15) y compris réglage de niveau et toute autres sujétions	m ³	1000	150	150000
12	Fourniture et pose de conduite d'alimentation des bassins de filtration en PVC Ø63 y compris fixation soudage Te coude et toute autres sujétions	ml	250	8000	2000000
13	Fourniture ou fabrication des filtres		50	400	20000
14	Fourniture des plants de roseaux		625	50	31250
15	Pose des filtres		50	2500	125000
16	Pose des plants de roseaux		625	70	43750
17	Vanne d'entrée		3	10000	30000
18	Vanne de sortie		3	10000	30000
19	Réalisation de corps de chaussée au alentour des bassins de filtration par la mise en place d'une couche de stérile.	m ³	1100	2000	22000000
Prix total HT					38.299.520,00
T.V.A (17%)					7.844.480,00
Prix total TTC					46.144.000,00

Le coût d'investissement sans amortissement et sans le coût du terrain de notre STEP est de **46.144.000,00DA** (4,6 Milliards de centimes). Il est donc nettement inférieur au coût des STEP classiques.

Conclusion

La station des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical a un coût minime comparativement aux stations d'épuration classiques. Son entretien est moins onéreux et ne demande pas d'ouvriers qualifiés. Pas de désagrément olfactif et/ou visuel pas de problème de colmatage et le rendement des ces stations, selon la littérature, est bon.

Par ailleurs, la station fonctionne entièrement en mode gravitaire donc un grand gain en énergie électrique.

Conclusion générale et perspectives

En guise de conclusion de cette modeste contribution relative à l'étude des procédés extensifs et son extension aux filtres plantés de roseaux, notre but a été de mener une étude bibliographique exhaustive de ces procédés d'épuration des eaux usées pour ensuite choisir un procédé d'épuration et faire une étude technico-économique pour un cas bien déterminé.

Le cas d'étude choisi est la déchera de Fraouna située en amont du barrage el-Mefrouch, dépendant de la mairie de Terny (Wilaya de Tlemcen) et comptant environ 600 habitants (Recensement démographique 2008). Le choix de cette zone a été fait dans le but de préserver le barrage El-Mefrouch des rejets sauvages.

A cet effet, nous avons étudié en premier lieu l'évolution démographique de la population puis les situations géologiques et climatiques de la région de Terny (Fraouna). Dans cette étude nous avons relevé que la population de Fraouna à long terme avoisinera les 1000 habitants, que c'est une zone, en majeure partie composée de terrains rocheux et que son climat est continental, froid en hiver et chaud en été. Nous avons relevé aussi l'existence d'un bassin de décantation dans cette région qui assure un prétraitement des eaux usées de la région.

Ceci nous a permis de choisir un terrain situé en aval du bassin de décantation avec une dénivelée de 60 mètres. Par ailleurs, l'ensemble des effluents rejetés sont constitués par des eaux ménagères, des eaux vannes et des eaux agricoles. Il y a donc absence de rejets industriels dans cette région.

Toutes ces données nous ont permis d'opter pour une station d'épuration des eaux usées par des filtres plantés de roseaux à réseau unitaire et écoulement vertical.

Nous avons, par la suite, étudié, conçu et dimensionné une station plantée de roseaux alimentée par un réseau unitaire à écoulement vertical pour notre site d'étude Fraouna pour 1000 EH (Horizon 2025).

L'étude, nous a donné deux bassins rectangulaires en parallèle, d'une superficie de 2500m² chacun, constituant la station d'épuration par filtres plantés de roseaux à

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

écoulement unitaire, vertical et avec un seul étage. Nous avons fait un devis quantitatif et estimatif de la STEP que nous avons étudié et conçu pour la Déchera de Fraouna pour 1000EH.

Le devis estimatif de la réalisation de la STEP nous a donné un coût brut de **46.144.000,00DA** sans le coût du terrain et sans l'estimation de l'amortissement. Ceci nous permet de conclure que la station d'épuration des eaux usées par les filtres plantée de roseaux à écoulement vertical a un coût nettement inférieur à celui des stations d'épuration classiques.

Les perspectives que nous prévoyons sont :

- Des analyses exhaustives des eaux usées après le prétraitement dans le bassin de décantation pour affiner notre étude et la conception de notre STEP.
- De démarcher les autorités locales de la wilaya APC, Direction d'hydraulique, etc. pour prévoir la réalisation de ce projet qui préservera l'environnement de la région et protégera le barrage El-Mefrouch et la nappe phréatique des rejets sauvages.

Bibliographie

[1] : **Chachoua Mounira**, contribution à l'étude des performances épuratoires des procédés de traitement par lagunage, thèse de magister université Abou-Bakre Belkaide_tlemcen, Année universitaire 2008-2009, page 4.14.

[2] : **M^R T.Bensalah**, traitement et épuration des eaux usées dans les petites agglomération cas de la STEP de Ain-Youcef, mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat , université Abou-Bakre Belkaide_tlemcen, Année universitaire 1995-1996, page 4.

[3] : **M^R Belahmadi Mohamed Seddik Oussama**, étude de la biodégradation du 2,4 –dichlorophénol par le micro biote des effluents d'entrées et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d' ibn Ziad, présenté pour l'obtention du diplôme de magister en microbiologie appliquée et biotechnologies microbiennes, université Mentouri- Constantine, Année universitaire 2009-2010, page 12.

[4] : **M^R Metahri Mohammed Saïd**, élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP est de la ville de Tizi- Ouzou, thèse de doctorat, université Mouloud Mammeri de Tzi – Ouzou, Année universitaire 2009-2010, ,page 6.

[5] : **Derkaoui Houari**, étude et simulation du traitement des eaux usées par procédé membranaire en anaérobie, thèse de master université Abou-Bakre Belkaide_tlemcen, Année universitaire 2010-2011, page 5,6.9,10,11,19,20.

[6] : **Abdelkader Gaïd**, épuration biologique des eaux usées urbaines, Tome1, office des publications universitaires 1984, page23,

[7] : **Faiza Mekhalif**, réutilisation des eaux résiduaires industrielle épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, thèse de magister présenté à l'université du 20 Août 1955 skikda. Soutenu le 2009. page 6.

[8] : [http:// www.actu-environnement.com,définitions/assainissement](http://www.actu-environnement.com/définitions/assainissement), consulté le 8/4/2013

[9] : [http:// www.techno-science.net/? Onglet=glossaire](http://www.techno-science.net/? Onglet=glossaire), explications, consulté le 25/3/2013

[10] : [http:// www. eau.seine-et-marne.fr](http://www.eau.seine-et-marne.fr), Fiche Technique - oct. 2011, consulté le 13/4/2013

[11] : [http:// www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/lit-bacterien.php](http://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/lit-bacterien.php), HQE, consulté le 22/03/2013

[12] : [http:// www.techno-science.net/?onglet=glossaire...1068](http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire...1068), Boue activée : définition et explications, consulté le 21/03/2013.

Bibliographie

[13] : [http:// www. eau.seine-et-marne.fr](http://www.eau.seine-et-marne.fr), Fiche Technique N^o11, les filtres plantés à écoulement horizontal- oct. 2011, consulté le 09/05/2013.

[14] : **Agence de l'eau Seine** –Normandie, guide des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités, Nanterre, France, 1999.

[15] : [http:// www. hal.archives-ouvertes.fr](http://www.hal.archives-ouvertes.fr). Association de lagunes naturelles et d'infiltration-percolation : résultats des pilotes et perspectives. Consulté le 20/04/2013

[16] : **Nathalie Rahaingomana**, étude d'un système d'infiltration-percolation pour la réutilisation agricole des eaux usées, présentation de rapport effectuée le 2/11/1993 à l'université de paris, page 2.

[17] : [http:// www. eau.seine-et-marne.fr](http://www.eau.seine-et-marne.fr), Fiche Technique N0 9, infiltration percolation oct. 2011, consulté le 8/4/2013

[18] : [http:// www.eau-seine-normandie.fr](http://www.eau-seine-normandie.fr), épuration des eaux usées domestique filtration sur sable. Consulté le 13/04/2013

[19] : **Agence de l'eau Seine**-Normandie, guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités, Nanterre(France) 1999.

[20] : **Agence de l'eau**, épuration des eaux usées domestiques par filtres planté, version N0 1, 1er juin 2005.

[21] : http://www.sint.fr/traitement_des_eaux_usees, filtre planté de roseaux, consulté le 29/04/2013.

[22] : [http:// www. eau.seine-et-marne.fr](http://www.eau.seine-et-marne.fr), Fiche Technique N010, les filtres plantés à écoulement vertical- oct. 2011, consulté le 2/02/2013

[23] : <http://www.epnac.irstea.fr>, Filtres-Plantés-de-Roseaux- réalisation et fonctionnement dans le Morbihan. Consulté le 03/04/2013.

[24] : **Agence de l'eau RMC**, Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes. Juin 2005.page 4

[25] : [http:// www. eau.seine-et-marne.fr](http://www.eau.seine-et-marne.fr), Fiche Technique, Les procédé épuration Des petites collectivités. Consulté le 07/05/2013.

[26] : **Office International de l'eau** .bilan de fonctionnement des procédé de traitement des eaux usées pour les station d'épuration de petite capacité du procédé Loire-Bretagne .Recommandation pour l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et synthèse bibliographiques. Janvier 2007 à juin 2008.consulté le 01/05/2013.

[27] : [http:// www. eau.seine-et-marne.fr](http://www.eau.seine-et-marne.fr), Fiche Technique N^o11, les filtres plantés à écoulement horizontal- oct. 2011, consulté le 09/05/2013

Bibliographie

- [28] : <http://www.sinfotech.cemagref.fr/asp/index.asp>, Les filtres plantés de roseaux, le lagunage naturel et leurs associations : comment ? Pourquoi ?, consulté le 13/05/2013
- [29] : [http:// www. eau.seine-et-marne.fr](http://www.eau.seine-et-marne.fr), Fiche Technique N° 7, Les procédé dépuratif Des petites collectivités. Consulté le 10/05/2013.
- [30] : [http:// www. eau.seine-et-marne.fr](http://www.eau.seine-et-marne.fr), Fiche Technique N° 6 - oct. 2011, lagunage Natural consulté le 16/05/2013.
- [31] : **Lyonnais Des Eaux**, épuration des eaux usées, procédés extensifs.
- [32] : **Yves Piétrasant, Daniel Bondon**, Le Lagunage écologique, Economica, Paris, 1994.
- [33] : **Arthur Iwema, Dominique Raby , Jacques Lesavre** , épuration des eaux usées domestiques par les filtres plantés de macrophytes, version N°1, 1^{ère} juin 2005,page 12 .
- [34] : **Ettaghzaoui Lahcen,Haddouch Zahir ,Forsi Ayoub** ,eaux usées dans le monde rural un véritable problème, traitement par lagunage , université cadi ayyad marrekache, 2013/2013, page 11.
- [35] : groupe de travail **Satse-Cemagref**.le lagunage Natural les leçons tirées de 15 ans de pratique en France 2^{ème} trimestre 1997 1^{ère} édition.
- [36] : **IdderTahar, Laoual Mahamane Sani, Idder Abdelhak, Seidl Martin**, Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-arides Université Kasdi Merbah-Ouargla BP 511 Ouargla 30000 Algérie, vol. 1, n° 2, Décembre 2011: 32-39, page 36.
- [37] : **Valérie Giroud , Dirk Esser , Laëtitia Fournet , Frédéric Davoli**, Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales : Notion d'efficacité, NOVATECH 2007,page 871
- [38] : **A, Gaid**, épuration des eaux usées urbaines tome 1_offices de la publication universitaire 1984
- [39] : **Catherine boutin,Alin lienard,Natalie bilote et Jean-pierre Naberac**.Association de lagunage naturelles et d'infiltration percolation : résultats des pilotes et perspectives. Article résulte de communication en 2002.
- [40] : **Organisation des Nations Unies pour l'éducation**, la science et la culture, traitement des eaux usées par lagunage, fiche technique, Août 2008, page 3.
- [41] : **J- M. Heyden**, Epuration par lagunage individuel.2006

Bibliographie

- [42] :<http://www.scirpe.fr/filtres-plantes-de-roseaux/historique>, consulté le 22/05/2013
- [43] :<http://crdp.ac-amiens.fr/enviro/compression/lagunage.gif>, consulté le 23/05/2013
- [44] : **Morbihan**, conseil général, Filtres plantés de roseaux Réalisation et fonctionnement dans le Morbihan, étude 2008,
- [45] : **Cabrit-Leclerc Sandrine**, Fosse septique, roseaux, bambous, traiter écologiquement ses eaux usées, page 6.
- [46] : **Agence de l'eau**, les procédés d'épuration des eaux usées des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse, éléments de comparaison techniques et économiques, Fiche Technique N° 8 , page 1,4,5,6.
- [47] : **Agence de l'Eau Seine-Normandie** (1999), Guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités, Nanterre. Page 25
- [48] : **Bceom (1990)**. Application du procédé de lagunage naturel au traitement des eaux usées domestiques des collectivités de petite à moyenne importance : mémento technique. Côte d'Ivoire, Abidjan : BCEOM. 36p.
- [49] : **Kone Diallo Martine**, infiltration-percolation sur sable et sur filtre de coco, filtres plantés et épuration d'eaux usées domestiques à dominance agroalimentaire sous climat tropical sec : cas des eaux résiduaires urbaines de Ouagadougou, Burkina Faso, spécialité ingénierie de l'eau et de l'environnement, diplôme de docteur, présenté et soutenue publiquement le 21 décembre 2011, page 73.78
- [50] : **Adgim H (2004)**, évolution et affectation des ressources hydrique superficielles du bassin versant de la Tafna, mémoire de magister option : Aménagement hydraulique.
- [51] : **Bensaoula.F**, (1992), carte hydrogéologique d'oued Mimoun au 1/50000 et notice explicative, thèse de magister option hydrogéologie.
- [52] : **Boutin C.Esser D.Molle P.et Al**, (1 mars 2000), les filtre et lit planté de roseaux en traitement d'eaux usées domestiques. « Perspectives pour le traitement d'eaux pluviales » publié dans les rendez-vous du GRAIE, p.1
- [53] : **Audic JM, Esser D**, (2006) l'épuration : Nettoyée pour protéger l'écosystème aquatique, un récit de vingt-cinq ans de recherche partenariale pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement avec : Suez Environnement et société d'Ingénierie Nature et Technique, Ed Cemagref, p .4
- [54] : **Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse**, épuration des eaux usées par les filtres plantés de macrophytes, une étude bibliographique(1999).

Bibliographie

[55] : **Office International de l'eau**, Les techniques d'épuration naturelle : 50 à 200 EH, Mai 2004, page 63, 64,73.115.52.125.50, 49.

[56] : **Olivier Alexandre, Catherine Boutin, Philippe Duchène, Cécile Lagrange, Abdel Lakel, Alain Liénard, Dominique Orditz**, filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. Page 25 .41,45,65,73

[57]: **Vymazal, J. et al** (1998), Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe, Backhuys Publisher, Leiden.

[58]: **Alexandre, O., Lagrange, C., Victoire, R.**, (2000) à paraître, Méthodologie d'estimation des coûts D'investissement et d'exploitation des stations d'épuration adaptés aux petites collectivités, Crépage édition.

[59] : **Catherine Boutin**, éléments de comparaison techniques et économiques des filières d'épuration adaptées aux petites collectivités, Ingénieries n° 34 – Juin 2003, page 51.

[60] : **Agence de l'eau RMC** – 1999.France.

[61] : Etat des effluents urbains au Canada, pollution de l'environnement, Les effluents d'eaux usées municipales sont les plus importants rejets d'effluents, en volume, au Canada, Date de modification, 2010-06-14, page 1

[62] : **Hassan Younoussou Hamadou**, Prolifération des plantes aquatiques envahissantes sur le fleuve Niger ; état des lieux de la pollution en azote et en phosphore des eaux du fleuve, mémoire de fin cycle pour l'obtention du diplôme de master spécialité gire, Présenté et soutenu publiquement le 29 septembre 2010,page 5

[63] : **Dossier** (Gestion économe et écologique de l'eau dans l'habitant et au gradin) septembre 2006-page 2

[64]: **Benmansour Bouchra** (doctorante), Laboratoire d'Ecologie Végétale, Département de biologie, Faculté des Sciences, Université Abou Bakr Belkaid - Tlemcen 13000, Algérie

[65] : **ANAT**, (2009), plan directeur d'aménagement et d'urbanisme du groupement des communes Nedroma Djbala, Aine Kebira, phase final ,DUC de la wilaya de Tlemcen.

[66]: **Boon A G**, (1989).Report of visit by members and staff of WRC to Germany to investigate the root zone method for treatment of wastewater, Ed. water Research centre .

Bibliographie

[67]: **Vymazal J**, (2002).the use of sub surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience, Elsevier Ecological Engineering, P.633-646.

[68]: **Groupe Macrophytes et Traitement des eaux**, (2005).épuration des eaux uses domestiques par filtres plantés de macrophytes, version N^o1 ,44p

[69]: www.wikipedia.org/wiki/Terny-Sorny

ANNEXE

Annexe

Tableau.III.1.Moyenne des précipitations en mm de 1975 à 1980.

Années	jan	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1975	12.2	77.4	123.7	263	63.2	6.2	0	20.5	7.2	3.9	131.3	16.6
1976	39.4	142	51.3	138.8	81.9	12.4	10.8	25	60.9	70.1	35.4	72.9
1977	92	33.8	50.5	16.8	62.5	9.9	17.2	7.4	0	42.9	95.4	16.7
1978	118.2	17.1	61.9	84.1	29	0.4	0	2.8	0	77.9	17.6	24.3
1979	27.6	160.2	42.8	38.5	21.5	8.9	4.3	0.1	25.2	94.5	60.9	81.7
1980	11.4	110	101.5	34.2	36.6	0.6	0	0.5	2.2	40.3	46.4	50.8
MOY (mm)	50.2	90.1	72.0	95.9	49.1	6.4	5.4	9.4	15.9	54.9	64.5	43.8

Tableau III.2 Moyenne des températures de 1975 à 1980

Désignation	jan	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Moyenne en °C	9.6	11.2	11.5	12.8	15.6	20	24.3	25	21.2	16.9	12.2	11
Minimum en °C	5.5	6.9	6.8	8	10.4	13.7	17	18.1	15	11.7	7.8	6.8
Maximum en °C	14.3	15.9	16.8	18.2	21.6	27.1	32	32.7	28.3	22.9	17.2	15.8

Tableau III.3. Evolution de la population de 1966 à 2007

Année	1966	1977	1987	1991	1995	2007
Terny : Agglomération Chef lieu	687	620	810	1000	2000	3500
Meffrouch	-	-	410	420	430	600
Fraouna	-	-	356	342	400	600
Sidi Hafif	-	-	172	100	200	300
Oueledyoucef	-	-	325	332	350	500
Ouledouadfel	-	-	259	267	280	450
total	687	620	2332	2461	3660	5950

Tableau III.4 Estimation de l'évolution de la population, taux d'accroissement (en %)

Année	Terny	Fraouna	Sidi Hafif	O.Youcef	O.Ouadfel	Meffrouch
1987	5.40	0.99	0.87	0.53	0.76	0.60
1991	18.90	3.99	18.90	1.33	1.20	0.59
1995	4.56	4.56	4.56	2.71	1.39	0.91
2000	4.00	2.27	1.22	1.50	1.94	1.94

Annexe

Tableau III.5 Estimation de l'évolution de la population par commune.

Année	Terny	Fraouna	Sidi Hafif	O.Youcef	O.Ouadfel	Meffrouch	Total
1987	810	356	172	325	259	410	2332
1991	1000	342	100	332	267	420	2461
1995	2000	400	200	350	280	430	3660
2000	2500	500	250	400	300	450	4400
2015	4500	700	300	500	400	600	7000

Tableau III.6. Estimation de la population de la commune de Terny jusqu'à 2015

Année	Population total	Taux accroissement
2015	7000	1.90%
2020	7691	1.90%
2025	8450	1.90%