



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Hydraulique

Option : Réutilisation des eaux non conventionnelles.

THEME :

**Conception d'une step des eaux usées urbaines de type planté
de roseaux de la commune de Sidi Ghiless W de Tipaza.**

Présenté par :

Arfi Narimene Aziza.

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
HACHEMI Abdelkader	M.C.B	Président
SADOUNE Samra	M.C.B	Examinatrice
LEUMI Sonia	M.A.A	Examinatrice
KOLIAI Djafar	Associé	Examinateur
TAFAT Leila	M.A.A	Promotrice

Dédicace :

Je dédie ce Modest travail à la mémoire de mon cher grand-père qui aura bien voulu voir cet instant.

À Mes très chers parents, que Dieu les protège ;

À la femme qui a souffert sans me laisse souffrir et qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi : ma mère Samira, et à mon père pour ses encouragements.

À mon frère et ma petite adorable sœur.

À ma chère grand'mère, ma tante Amina la petite Cirine et mes oncles Hamza, Slimene et Madjid.

À tout mes chères amis qui ont partagé mes joies et mes peines, à mes collègues, les étudiants de L'ENSH et ceux que j'ai connus en milieu universitaire.

À tous ceux qui vont lire ce travail.

Arfi Narimene Aziza.

Remercîment :

Je loue dieu de m'avoir donné la vie, la santé et d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui, c'est grâce à lui que ce présent travail a vu le jour.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon encadreur Mme Tafat pour son accompagnement, ses orientations, sa gentillesse et son soutien.

Je tiens à remercier vivement le directeur de la step Chenoua Tipaza Mr Medjyah pour la proposition de mon thème de mémoire de fin d'étude et ses orientation ainsi que les ingénieurs Mme KarKar Lilia et Mr Medjyah et je remercie aussi le chef de service d'assainissement SEAAL Kouba Mr Ghermoul Madjid pour ses conseils.

Je remercie également toute l'équipe de service assainissement de la DRE Tipaza.

Je remercie également le gérant du bureau d'étude hydraulique BECE Tipaza pour ses explications et informations concernant mon mémoire.

Je remercie le président et les membres du jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

Comme je remercie infiniment mes chères amis qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail surtout Nour ,Siham,Samia,Telili ,Hajar,Djamel,Laila ,Lisa ,Mallak ,Mohammed ,Hannane, widad...

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration et l'aboutissement de ce mémoire.

Arfi Narimene Aziza.

المخلص :

لا يمكن ربط بعض القرى الصغيرة بالمجاري كاملا بسبب عدم توفر بنية تحتية جماعية للصرف الصحي في مكان قريب ، وبالتالي لا يتم تنقية مياه الصرف الصحي بشكل صحيح مما يؤدي إلى تلوث البيئة الطبيعية. لهذا الغرض ، توصلنا إلى أحد الحلول لهذه المشكلة عن طريق تركيب محطة معالجة مياه الصرف الصحي بواسطة مرشحات القصب حيث تهدف هذه الدراسة لتحديد أبعاد المنشآت الموجودة في هذه المحطة .

الكلمات المفتاحية: القرى الصغيرة ، مياه الصرف الصحي ، التلوث ، التنقية ، محطة المعالجة ، مرشحات القصب.

Résumé :

Certains petits villages ne peut pas être raccordée au tout à l'égout car aucune infrastructure d'assainissement collectif n'est disponible de près donc les eaux usées ne sont pas conformément épurée et par conséquence la pollution de milieu naturel. Pour cela nous proposons une mini step de filtres planté de roseaux. Le but de ce travail est d'étudier la conception et le dimensionnement de cette mini step.

Mots clés : petits villages, eaux usées, pollution, épuration, mini step, filtres planté de roseaux.

Abstract:

Some small villages cannot be connected to the sewage because no collective sanitation infrastructure is available nearby, so the wastewater is not properly purified. Therefore, this will lead to the pollution of the natural environment. For this, we propose a treatment plant of reed bed filters. The aim of this work is to put into effect a structural design of this treatment plant.

Keywords : Small villages, wastewater, pollution, purification, treatment plant, reed bed filters.

Table des matières

Introduction général

Chapitre I: Présentation de la zone d'étude.	1
Introduction :	1
I.1 Situation géographique :	1
I.2 Topographie et relief :	4
I.3 Situation climatique :	4
I.3.1 La température :	4
I.3.2 Les vents :	4
I.3.3 La pluviométrie :	5
I.4 Population :	5
I.5 Évolution de la population :	6
I.6 Géologie du site :	7
I.7 Sismicité :	8
I.8 ASSAINISSEMENT :	8
I.9 Origine et nature des eaux usées :	8
I.10 État actuel du réseau d'assainissement :	9
Conclusion :	10
Chapitre II: La phytoépuration	11
Introduction :	11
II.1 Définition :	11
II.2 La phytoépuration dans le monde :	12
II.3 La phytoépuration en Algérie :	15
II.4 Principe de fonctionnement :	17
II.4.1 Processus physiques :	17
II.4.2 Processus chimiques :	17
II.4.3 Processus biologiques :	17
II.5 Rôle des principales composantes du procédé :	18
II.5.1 Les plantes :	18
II.5.2 Le sol :	18
II.5.3 Les micro-organismes :	18
II.5.4 Le complexe plantes- sol :	19

II.5.5	Le complexe plante - micro-organismes :	19
II.5.6	Le complexe sol - micro-organismes :	19
II.6	Type de filtres plantés :	20
II.6.1	Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRV) :	20
II.6.2	Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal (FPRH) :	21
II.7	Filière de traitement :	23
II.8	Pourquoi choisir les roseaux pour l'épuration ?	24
II.9	Pourquoi un système d'assainissement par filtre planté ?	27
II.10	Avantage et inconvénients	28
	Conclusion :	29
Chapitre III:	Conception et dimensionnement de la mini step	30
	Introduction :	30
III.1	Choix de site d'implantation :	30
III.2	Alimentation de la Station de traitement :	31
III.3	Données de bases pour le dimensionnement :	32
III.3.1	Charges polluantes à traité :	32
III.3.2	Équivalent Habitant :	32
III.3.3	Estimation du débit :	34
III.4	Les concentrations moyennes des polluants :	36
III.5	Le prétraitement :	37
III.6	Dimensionnement du dégrilleur :	38
III.7	Dimensionnement des Filtres :	41
III.7.1	Forme des bassins :	43
III.7.2	Surface de filtres au premier étage :	43
III.7.3	Surface de filtres au deuxième étage :	44
III.7.4	Profondeur :	44
III.8	Dispositif d'alimentation :	45
III.9	Dimensionnement des bâchées	47
III.9.1	Le volume de bâchée :	47
III.9.2	Le nombre des bâchées :	48
III.9.3	Le temps de séjour :	48
III.9.4	Le diamètre de la bâchée :	48
III.10	Dispositif d'alternance :	49
III.11	Alimentation des filtres :	49

III.11.1	Diamètre des conduites d'alimentation :	51
III.12	Réseau de drainage :	52
III.13	Constitution des massifs filtrants :	53
III.13.1	Choix de substrat :	53
III.14	Pente :	56
III.15	Plantation :	56
III.16	Les boues :	57
III.17	Rejet :	58
	Conclusion :	58
ChapitreIV:	Calcule hydraulique.....	61
	Introduction :	61
IV.1	Le déversoir d'orage :	61
IV.1.1	Objectifs :	61
IV.1.2	Définition :	61
IV.1.3	Emplacement des déversoirs d'orage :	61
IV.1.4	Les types des déversoirs :	62
IV.1.5	Choix du déversoir d'orage :	62
IV.1.6	Dimensionnement du déversoir d'orage :	63
IV.2	Poste de relevage :	68
IV.2.1	Objectifs :	68
IV.2.2	Le débit de la pompe :	68
IV.2.3	La longueur entre la station de pompage et la step :	68
IV.2.4	Détermination de la hauteur de d'élévation :	69
IV.3	Profil hydraulique :	71
IV.3.1	Calcul des cotes piézométriques des différents ouvrages :	71
IV.4	Calcule de perte de charge, diamètre et longueur des conduites :	72
IV.4.1	Dimensionnement des conduites reliant les différents ouvrages	73
	Conclusion :	74
ChapitreV:	Réalisation, gestion et exploitation de la mini step	75
	Introduction :	75
V.1	La réalisation :	75
V.2	Terrassement	75
V.2.1	Revanche et cloison :	76
V.2.2	Géomembrane :	76

V.2.3	Pose des drains et des cheminées d'aération :	77
V.2.4	Granulats :	77
V.2.5	Réaliser systématiquement les analyses exigées :	77
V.2.6	Pratiquer les analyses conseillées en phase chantier :	78
V.2.7	Pose d'une clôture de protection :	81
V.2.8	Insertion paysagère :	81
V.3	Exploitation :	81
V.3.1	Bien mener la réception :	81
V.3.2	Apporter une attention particulière :	82
V.3.3	Gestion et entretien :	82
V.3.4	Hygiène et sécurité :	89
	Conclusion :	91
Chapitre VI: Possibilité de la réutilisation des eaux traitées en irrigation.		92
	Introduction :	92
VI.1	Le recyclage des eaux traitées :	92
VI.2	Performance et rendement des filtres plantés de roseaux :	93
VI.2.1	performances épuratoires.	93
VI.2.2	Déphosphotation :	95
VI.2.3	Traitement de l'azote :	96
VI.2.4	Le rendement :	97
VI.3	La possibilité d'irrigation :	98
VI.4	Classification des eaux traitées :	100
VI.4.1	Alcalinité et Conductivité :	100
VI.4.2	Toxicologie et microbiologie.....	102
	Conclusion :	102

Conclusion générale

Liste des tableaux :

Tableau I-1 : Variation de la température au cours de l'année (2004-2005).	4
Tableau I-2: Vents moyens mensuels	5
Tableau I-3: Répartition moyenne mensuelle de la pluie en mm. (2000-2013).	5
Tableau I-4 Tableau récapitulatif du résultat de RGPH 2008	6
Tableau I-5 : évolution de la population.	7
Tableau II-1: avantages et inconvénient.....	28
Tableau III-1: Les charges polluantes à traiter.	32
Tableau III-2: Charges organiques (base 45g DBO5 par EH).....	33
Tableau III-3: Concentration moyenne des polluants.	37
Tableau III-4 : Coefficient de forme des barreaux.....	39
Tableau III-5 Synthèse des performances des FPRV et FPRH.	41
Tableau III-6: Massifs filtrants des filtres du 1er étage.....	55
Tableau III-7: Massifs filtrants des filtres du 2er étage.....	55
Tableau III-8: Les rendements minimums à atteindre pour la station d'après la réglementation.	59
Tableau IV-1: coefficient de ruissèlement.	64
Tableau IV-2: cotes piézométrique des zones d'implantation des ouvrages.....	72
Tableau IV-3 :longueur, diamètres et perte des charges de conduites reliant les ouvrages.	74
Tableau V-1:2 les normes de rejet minimales des stations et les fréquences des bilans d'auto surveillance.....	89
Tableau VI-1;performances épuratoires.....	94
Tableau VI-2: performances épuratoires de chaque étage (Molle et al. 2004).....	95
Tableau VI-3: Performances épuratoires des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.	95
Tableau VI-4 : Normes des eaux d'irrigation.	98

Liste des figures :

Figure I-1 : plan de situation douar Aghbal (Google earth)	1
Figure I-2 : douar Aghbal (Google earth).....	2
Figure I-3 : habitation rural douar Aghbal (source :POS3 DRE)	3
Figure I-4 : habitation précaire douar Aghbal (source : POS3 DRE).	3
Figure I-5 : la fosse septique existante.	9
Figure I-6 : Fonctionnement d'une fosse septique toutes eaux.	10
Figure II-1:Typologie des stations de lagunages en Algérie (l'ONA).	16
Figure II-2:Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical (POULET et al, 2004).	21
Figure II-3: Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal (POULET et al, 2004).	22
Figure II-4: Schéma de principe général de la filière (POULTE et al, 2004).....	24
Figure II-5:Bambusa.sp.....	24
Figure II-6: Nerium Oleander	25
FigureII-7:Phragmites australis (Roseaux).....	25
Figure III-1: Emplacement des ouvrages (SEAAL).....	31
Figure III-2:Schéma de principe d'une station de type Filtres plantés de roseaux.	36
Figure III-3Domaine d'utilisation conseillé FPRH(Hélène Peeters, 2014, pp48)	41
Figure III-4:Les formes possibles des filtres verticaux.	43
Figure III-5:8 bachée d'alimentation.	45
Figure III-6:siphon auto-amorçant (source :www.loire.fr).....	45
Figure III-7:fonctionnement d'un siphon auto amorçant	46
FigureIII-8: diapositive d'alternance (Vanne guilotine).	49
Figure III-9: rampe de distribution du premier étage.	50
Figure III-10: système anti-affouillement.	50
Figure III-11: rampe de distribution deuxième étage.....	50
Figure III-12: système d'alimentation des filtres. (Source : contrôle technique et disfonctionnement _ LOREAT).....	51
Figure III-13: Schéma de principe des conduites d'alimentation des filtres.	52
Figure III-14:Schéma des canalisations d'aération-drainage.....	53
Figure V-1: terrassement FPR.	75
Figure V-2 : Exemple de mise en œuvre d'une étanchéité par géomembrane à Hachenoua.....	76
FigureV-3: Illustration de l'empilement des tamis pour l'analyse granulométrique.....	77
Figure V-4:Mesure de la propreté des graviers.	78

Figure V-5:adaptation du test d'infiltration Grant (cooper et al ;1996).....	78
Figure V-6 : Exemple d'un filtre non protégé risquant de collecter les	79
Figure V-7: Exemple de mise en place des granulats	80
Figure V-8: Mini pelle sur chenille avec tapis de protection.....	80
Figure VI-1:qualité de l'eau en fonction de traitement appliqué aux eaux usées	93
Figure VI-2:transformation de l'azote	96
Figure VI-3: Rendements minimums obtenue des FPR.....	98
Figure VI-4: choix de configuration de filière de traitement FPR. (Madjdoub 2014).	99
Figure VI-5 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride (guide Phytostation Recycl'eau® 6 EH).	100

Liste des abréviations

A.E.P : Alimentation en Eau Potable.

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydraulique Ouargla.

D.B.O : Demande Biochimique en Oxygène.

D.C.O : Demande chimique en Oxygène.

D.R.E : Direction des ressources en eaux.

M.E.S : Matière En suspension.

O.N.A : Office Nationale d'Assainissement El oued.

P.H : Potentiel Hydrique.

Step : Station d'épuration.

FPR : Filtre Planté de Roseaux.

FPRV : Filtre Planté de Roseaux Vertical.

FPRH : Filtre Planté de Roseaux Horizontal.

Liste des planches :

Planche n°1 : vue en plan de la mini step.

Planche n°2 : profil hydraulique.

Planche n°3 : coupe transversale filtre planté de roseaux vertical (FPRV).

Introduction général :

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.

Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Si aucune infrastructure d'assainissement collectif n'est disponible près de l'immeuble, elle ne sera pas raccordée au tout à l'égout. Mais même dans certains villages raccordés, les municipalités ont parfois désigné des zones qui ne seront pas raccordées au tout à l'égout et qui devront donc installer des systèmes non collectifs.

Pour cela on a fait une étude de réalisation d'une mini step filtre planté de roseau au niveau de douar Aghbal commune Sidi Ghiless la willaya de Tipaza, notre projet constitue une nouvelle approche d'exploitation de la biotechnologie des plantes aquatique existant dans notre région. La capacité des zones humides à retenir et dégrader une grande variété de polluants en milieu urbain comme en milieu rural est reconnue depuis de nombreuses années, en plus les technologies usuelles en matière de dépollution sont souvent mal adaptées aux petites collectivités car elles sont coûteuses et complexes. L'utilisation de « procédés rustiques » comme les Filtres Plantés de Roseaux semble être une bonne alternative aux stations d'épurations classiques pour ces petites collectivités.

Cette étude est divisée en six chapitres :

- Le premier chapitre sera la présentation de la zone d'étude.
- Le second chapitre donnera un aperçu sur la phytoépuration.
- Le troisième chapitre abordera la conception et le dimensionnement de la mini step.
- Le quatrième chapitre sera le calcul hydraulique.
- Le cinquième chapitre de ce mémoire sera pour la réalisation, gestion et exploitation de la mini step.
- Le sixième et dernier chapitre abordera brièvement la possibilité d'irrigation avec les eaux usées épurées.

Chapitre I: Présentation de la zone d'étude.

Introduction :

L'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençant sur la conception du projet. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes caractéristiques de la zone d'étude douar Aghbal.

I.1 Situation géographique :

La zone d'étude se situe à l'extrême sud-ouest par rapport à la ville de SIDI GHILES, elle constitue une partie de l'extension de la ville. Avec une superficie de 10.00 hectares elle est délimitée :

- Au Nord par : L'intersection de Oued Aghbal et la chaabat.
- Au Sud par : servitude de la ligne électrique et le domaine forestier.
- A l'Est par : Oued Aghbal.
- A l'Ouest par : Chaabat et limite communal SIDI GHILES et HADJRET ENNOS.



Figure I-1 : plan de situation douar Aghbal
(Google map)



Figure I-2 : douar Aghbal (Google earth).

L'altitude : 36.58333.

Longitude : 2.116667.

- **Accessibilité** : L'accès au site se fait à partir d'une piste qui relie l'aire d'étude avec ville venant de la route nationale n°11 qui traverse le POS à l'extrême Sud.
- **Nature juridique des terrains** :

Dans cette aire, on distingue deux natures juridiques des terrains : EAC et privé.

Occupation du sol :

Le présent POS prend en charge la partie Sud-ouest de la ville de sidi ghiles, et dans cette aire d'étude on distingue une occupation de sol qui constitue des zones d'habitat individuel rural et des zones d'habitat précaire.

- **Type d'occupation de l'espace** :

1. **La zone d'habitation individuelle rurale** :

cette zone s'étale la partie Est du site, elle est formée par de l'habitat individuel de type évolutif et la majorité des constructions en RDC. On note que certain dépassement sur terrain concernant les alignements par le moyen de constructions et des murs de clôtures.



Figure I-3 : habitation rural douar Aghbal (source :POS3 DRE Tipaza)

2. La zone d'habitation précaire :

C'est le type le plus ancien et le plus répandu dans le site, on le rencontre aussi bien en zone éparse que dans l'agglomération, la hauteur est limitée auez de Chaussée, les matériaux utilisés pour l'édification des murs sont de la terre crue malaxées avec de la paille. Les toitures sont en éternité et les pièces s'organisent autour d'une cour.



**Figure I-4 : habitation précaire douar Aghbal
(source : POS3 DRE Tipaza).**

- **Synthèse d'analyse d'occupation actuelle**

On peut remarquer que, la majorité des constructions sont relativement en cours de constructions, et ceci confirme qu'on assiste ici à une urbanisation progressive des terrains qui évolue à travers le temps et l'espace.

I.2 Topographie et relief :

La topographie joue un rôle très important dans la conception du projet.

Le périmètre à étudier présente des pentes fortes favorisant un écoulement rapide et sans infiltration des eaux de pluie dans le sol.

De ce fait, il y'a présomption d'écoulement à des vitesses importantes et une diminution du temps de réponse des crues (les crues éventuelles sont présentes dans un laps de temps assez court).

I.3 Situation climatique :

L'étude du climat est nécessaire, elle nous informe sur la pluviométrie de la région, les températures et les vents. Le climat de la région est froid et pluvieux en hivers, chaud et sec en été.

I.3.1 La température :

Les températures sont variables avec un maxima pour le mois de juillet et un minima pour janvier, elle a une valeur moyenne de : 17.8°C.

Tableau I-1 : Variation de la température au cours de l'année (2004-2005).

Mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août
T°C	26.3	21.9	13.7	11.7	8.3	7.7	12	14.7	19.2	23.5	26.2	25.5

Source : DRE TIPAZA

I.3.2 Les vents :

Les vents dominants sont généralement modérés et faibles, ayant des directions Ouest et Nord-Est.

Tableau I-2: Vents moyens mensuels

mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	juil	Aout
Vitesses des vents (km/h)	4.13	3.78	3.91	3.78	1.81	1.44	2.06	2.83	2.52	3.02	3.3	4.13

Source : DRE TIPAZA

I.3.3 La pluviométrie :

Notre région est douce, froide et pluvieuse en hivers, chaude et sèche en été. Faute de manque de données pour la zone d'intérêt, à titre indicatif, on prend en Pour cela on prend les données concernant la station pluviométrique de Sidi Ghiles (Code 020313). parce que ce dernier est la station la plus proche de la zone d'intérêt.

Tableau I-3: Répartition moyenne mensuelle de la pluie en mm. (2000-2013).

mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	juil	Aout
p (mm)	27.25	34.29	113.7	95.32	70.2	66.22	50.45	56.05	50.41	5.65	2.73	5.43

Source : ANRH(Blida).

Après l'analyse de ces données on remarque que la sécheresse caractérise les mois de Juin Juillet et Aout.

I.4 Population :

A partir du RGPH 2008 nous avons relevé que la population et le nombre de logements, dont les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Dispose des équipements suivants :

- École 50 élèves.
- Annexe APC.
- Salle de soin.

Tableau I-4 Tableau récapitulatif du résultat de RGPH 2008

N°District	Nombre de logements				Nombre de ménages	Population
	Habités	inhabités	A Usage prof	Total logements		
08	59	104	00	163	87	404

Source : TRC (RGPH2008). APC SIDI Ghiless

I.5 Évolution de la population :

Pour l'estimation de la population future, En utilisant le taux d'accroissement du SDA AEP Tipasa applique aux douars, qui est égal a 1%.

L'évolution démographique en Algérie est calculée suivant la loi des accroissements géométriques donnée par la formule des intérêts composés :

$$PN = P0 (1 + T)^N \quad \text{I-1}$$

Avec :

PN : Population future à l'horizon préciser (hab) ;

P0 : Population de l'année de référence (hab) ;

T : Taux d'accroissement : T=1%

N : l'écart entre l'année de référence et l'année de l'horizon

Les estimations de l'évolution de la population pour les différents horizons préconisés sont récapitulées dans le tableau :

Tableau I-5 : évolution de la population.

La zone	Population horizon 2020 (hab)	Population horizon 2030 (hab)
Douar	456	502
Aghbal		

I.6 Géologie du site :

La reconnaissance géologique du site nous permettra de prendre les dispositions indispensables à la réalisation des tranchées, ainsi que le choix des engins de terrassement à utiliser.

La lecture de la carte géologique de Cherchell / Gouraya au 1/50000 adjointe de sa notice explicative permet d'apporter les indications suivantes :

Le périmètre de l'étude est couvert de formations alluviales et autres, représentées par des sols argileux limoneux et sableux graveleux de l'âge de quaternaire.

Les sols contiennent des particules de poussières mal sélectionnées,

Les lits mineurs des bassins actuels sont des dépôts de sable et de grave sableuse propre.

Les talus des berges peuvent présenter des instabilités et peuvent être sujet à l'érosion.

Donc nous pouvons conclure les deux choses suivantes :

- a- Il y'a présomption de coulées de crues boueuses,
- b- Le bon sol (pour la confection des ouvrages) sera à rechercher par endroits à des profondeurs appréciables et les talus –s'il y'a lieu- seront à stabiliser avec un engazonnement.

I.7 Sismicité :

Douar Aghbal se trouve dans la zone territoriale où l'activité sismique n'est pas négligeable, car elle se situe au dessus de la faille tectonique qui sépare le continent Africain du continent Européen. Donc les études de génie civil doivent prendre en considération cette particularité.

I.8 ASSAINISSEMENT :

I.9 Origine et nature des eaux usées :

Les eaux usées de douar Aghbal sont :

- **Des eaux pluviales :**

Elles peuvent, constituer une source de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...).

Dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

- **Des eaux usées domestiques :**

(Voir **Annexe N°1** : caractéristiques des eaux usées domestiques)

Elles correspondent à l'eau que nous consommons à la maison pour les différents besoins quotidiens. On distingue deux catégories d'eaux usées domestiques :

Les eaux ménagères :

Qui ont pour origine les salles de bain, les cuisines. Elles contiennent des solvants, des graisses et des débris organiques.

Les eaux de vannes :

S'appliquent aux rejets des toilettes. Elles sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

I.10 État actuel du réseau d'assainissement :

La zone d'étude est caractérisée par un système d'assainissement individuel autonome, sauf la partie des **LOGEMENTS RURAUX** qui sont dotée d'un réseau d'assainissement unitaire de diamètre DN300 en béton comprimé dans un mauvais état. qui rejeté dans une fosse septique vers Oued AGHBAL. (Voir photo)



Figure I-5 : la fosse septique existante.

- Fosse septique toutes eaux :

Une fosse septique toutes eaux est un ouvrage destiné à la collecte, à la liquéfaction partielle des matières polluantes contenues dans les eaux usées et à la rétention des matières solides et des déchets flottants. Elle reçoit l'ensemble des eaux usées domestiques. La fosse toutes eaux doit débarrasser les effluents brutes de leurs matières solides afin de protéger le filtre contre un risque de colmatage. Elle doit également liquéfier ces matières retenues par décantation et flottation.

Rôle et fonctionnement d'une fosse septique toutes eaux :

La fosse septique toutes eaux est composée de deux ou trois compartiments, munis de déflecteurs (plongeurs ou raccord en T). Ces derniers sont là pour empêcher le passage direct des eaux brutes dans l'élément épurateur (drainage). Les matières solides se déposent au fond et les matières légères flottent à la surface sous forme d'écume.

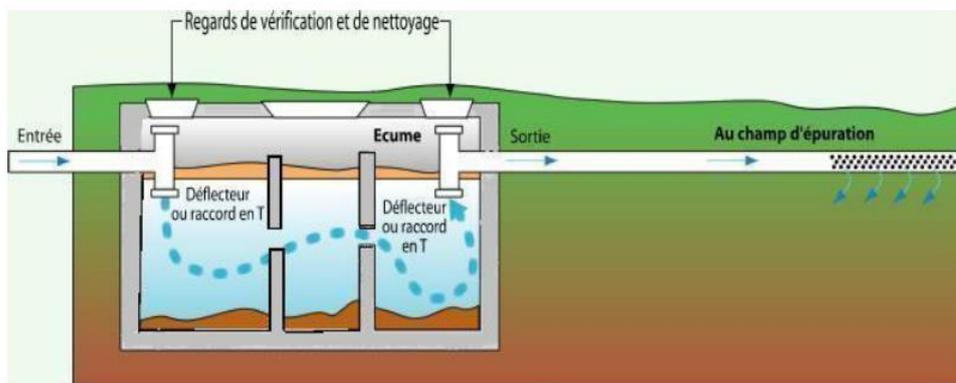


Figure I-6 : Fonctionnement d'une fosse septique toutes eaux.

Conclusion :

La présentation de la zone d'étude est basée sur une reconnaissance détaillée du site, elle consiste à collecter, à dépouiller et à analyser toutes les informations disponibles existantes. Dans cette partie, nous avons défini les données nécessaires concernant notre agglomération du point de vue topographie, géologie, climatologie, démographie, Ces données vont nous servir de base pour l'élaboration du projet qui consiste à l'étude de la conception d'une station d'épuration par phytoépuration.

ChapitreII: La phytoépuration

Introduction :

L'utilisation des végétaux dans l'épuration des eaux est un procédé qui reprend les techniques naturelles d'auto épuration et contribue à la protection de l'environnement. L'usage des végétaux en assainissement est relativement ancien, le développement de techniques maîtrisées est beaucoup plus récent. L'assainissement a pour objectif de transformer les eaux polluées par l'activité humaine (domestique, agricole, industrielle) en eau assimilable par le milieu naturel. Il existe de nombreuses solutions d'assainissement à l'échelle collective comme des solutions individuelles dites autonomes. Toutes reposent sur l'activité bactériologique pour dépolluer l'eau souillée. De même, chaque système, en sortie, renvoie l'eau dans le milieu naturel par infiltration ou champ d'épandage. En sortie d'assainissement l'eau n'est pas potable. Elle est très riche en minéraux assimilables par le sol et les plantes, comparable à un engrais. Le renvoie dans le milieu aquatique est interdit sauf en cas d'impossibilité d'épandage ou d'infiltration. Le milieu aquatique est plus sensible que le sol, l'apport d'eau chargée en nutriments comporte un fort risque de perturbation du milieu naturel allant jusqu'à son asphyxie ou eutrophisation.

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu général sur l'évolution de la phytoépuration de son application en Algérie, puis nous traiterons du principe général d'épuration par filtres plantés de roseau, leurs classifications et leurs principales composantes, ainsi que ces avantages et inconvénients.

II.1 Définition :

La phytoépuration est le nom donné à un système d'assainissement écologique qui utilise Le pouvoir épurateur des plantes pour traiter les eaux usées. Se réalise selon le principe de l'épuration biologique principalement aérobie en milieux granulaires fins à grossiers. Ce système d'assainissement écologique ressemble un ensemble de techniques, chacune mettant à profit des processus naturels d'une combinaison végétaux/sol/microorganismes ; Il s'agit plus précisément d'assainir les eaux usées par les bactéries cachées dans le système racinaire des plantes qui sont dites

épuratrices, dans un écosystème qui a été créé spécifiquement pour cela. La phytoépuration permet surtout de traiter les nitrates et les phosphates ainsi que des métaux qui sont les principaux polluants des eaux. En ce sens, le procédé de phytoépuration élimine les agents biologiques infectieux présents dans les eaux.

II.2 La phytoépuration dans le monde :

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

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

Des travaux avancés ont commencé aux États Unies au début des années quatre-vingt (1980's) avec la recherche de WOLVERTON et GERBERGET et al.

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

Dans des expériences supplémentaires durant les années cinquante 50's, SEIDEL a montré que *Schoenoplectus* améliore et enrichit le sol sur lequel il se développe, en bactérie et humus et ceci apparemment exsude les antibiotiques. Un rang de

bactéries (Coliformes, Salmonella et Entérocoque) évidemment disparaît des eaux polluées en passant à travers une végétation de joncs (BRIX, 1997).

Le système développé par SEIDEL comprend des séries de lits composés de sable ou gravier supportant une végétation aquatique immergée tel que la massette, le jonc, et le phragmite qui a été le plus communément utilisé, et dans la majorité des cas le plan d'écoulement été vertical. (SHERWOOD, 1993).

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

KICKUTH proposa l'utilisation de sols cohésifs au lieu du sable ou du gravier, la végétation préférée a été le Phragmites et le système d'écoulement a été horizontal. (SHERWOOD, 1993).

Commençant en 1985, un nombre de systèmes de « lits de phragmites » a été construit en Angleterre basés sur les concepts de KICKUTH, mais plusieurs cas utilisaient le gravier au lieu des sols cohésifs dus à la conductivité hydraulique élevée (SHERWOOD, 1993).

Un prélèvement effectif de la DBO5, d'azote, du phosphore et des composés organiques a été déclaré dans les recherches de KICKUTH.

Comme résultat, Plus de cent trente installations furent mises en exploitation entre 1984 et 1990 au Danemark pour le traitement secondaire de petites collectivités (Keith et al. 2003). La majorité de ces installations opèrent à écoulement sous la surface et utilisent le roseau commun (*Phragmites australis*). Les installations anglaises sont en général du même type et, dans l'ensemble, utilisées pour le traitement secondaire des eaux usées.

En France, quelques installations expérimentales sont suivies de près depuis 6 à 7 ans. Elles sont conçues sur plusieurs étages avec des éléments à écoulement vertical dans le sol, d'autres à écoulement horizontal sous la surface et, dans certains cas, un

dernier étage en écoulement en surface. Il s'agit d'une version modifiée du procédé développé par Seidel (Vymazal, 2010).

Des expériences réalisées par la « TVA, Tennessee Valley Authority », États-Unis, visent à développer un procédé à écoulement sous la surface pour les résidences isolées et les très petites collectivités (Sarena et al, 2004). L'avènement de plusieurs conférences d'envergure internationale spécifiques au traitement des eaux usées par les marais démontre l'intérêt grandissant de la communauté scientifique. En effet, une première conférence a eu lieu en 1988 à Chatanooga, Tennessee, États-Unis, une seconde en 1990 à Cambridge en Angleterre, et une autre à l'automne 1991 à Pensacola, Floride (Fonkou et al, 2011).

Les travaux de WOLVERTON en Louisiana ont commencé avec des gammes de plateaux (sur banc dans une serre) contenant du gravier et une végétation aquatique. En 1991, il y avait près de 60 systèmes fonctionnant ou en réalisation au sud central des États-Unis. (SHERWOOD, 1993).

Les travaux de GERSBERG ont été conduits sur plusieurs années, et ont concerné la profondeur de pénétration d'une variété de plantes (Typha, Scirpus, Phragmites). (SHERWOOD, 1993).

En 1991 il y avait probablement au moins 80 systèmes en fonction dans plusieurs états, basés sur les critères et l'assistance du TVA. (SHERWOOD, 1993). Selon POULET et al (2004), la technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées domestiques est une technique au développement récent. La technologie et les méthodes de conception ont connu un essor important durant les dernières années et les travaux en cours, un peu partout dans le monde, devraient permettre d'établir des principes de conception et des bases théoriques fondamentales reconnues durant les prochaines années.

Actuellement, il est appliqué dans une cinquantaine de pays, sous tous les climats (Australie, Nouvelle Zélande, Thaïlande, Inde, Afrique et même Alaska).

En Afrique (Kenya, Maroc, Ouganda et Tanzanie), les marais artificiels ont été utilisés pour le traitement des eaux usées municipales et des effluents industriels (Pétémanagnan et al, 2008, Fonkou et al, 2011.).

II.3 La phytoépuration en Algérie :

En Algérie le domaine de l'épuration par filtres plantés à macrophytes ou la phytoépuration des eaux usées urbaines est en cours de développement et elle a fait son apparition que tardivement. En effet, ce n'est qu'en 2007 que le ministère des ressources en eau a procédé à la mise en place d'un système d'épuration et pour répondre aux besoins des petites collectivités ayant des contraintes techniques et financières leur interdisant les systèmes techniques d'épuration classique, on a vu apparaître un système d'épuration rustique cette technique alternative utilise les lits filtrants plantés de plantes appelé macrophytes.

C'est en novembre 2005 à l'issue d'une rencontre pluridisciplinaire et multiculturelle, organisée par le Cheikh de la Zaouïa El Tidjania de Témacine dans la wilaya d'Ouargla et l'association Shems qu'il a été envisagé d'étudier les conditions de développement d'une station d'épuration par macrophytes en zones arides. Pour concrétiser cette initiative, un bureau d'étude anglais a été contacté par les autorités locales et les scientifiques de Touggourt sous l'égide et l'orientation du Ministère des ressources en eau. Après discussions et échanges de vue, Waste Water Gardiens (WWG) actuellement leader mondiale dans ce type de procédé à été choisi pour la construction d'une station pilote d'épuration dans la région la première en Algérie, et ce n'est qu'en 2007 que les travaux ont débuté.

Initialement la station du Ksar Témacine a été dimensionnée pour traiter un volume d'eau usée d'environ 15 m³ par jour, correspondant à la production de 100 personnes à raison de 150l/j/hab. D'après les objectifs souhaités cette station pilote permettra après traitement d'irriguer certaines plantes et espaces verts d'où une économie d'eau aussi précieuse

Les premières conclusions obtenus à travers ce pilote sont concluantes et montrent que les rendements épuratoires des éléments responsables de la pollution à savoir la DBO₅, la DCO et les MES sont significatives (1er Séminaire International sur la

ressource en eau au Sahara : Évaluation, Économie et protection. Le 19 et 20 Janvier 2011 (Ouargla).)

En 2008, en la réalisation d'une autre station d'épuration appelée N'GOUSSA wilaya d'Ouargla, dans le cadre du méga projet de lutte contre la remontée des eaux d'Ouargla. La mise en service a débuté en 2010.

La station traite les eaux usées urbaines de la daïra de N'GOUSSA, au moyen des filtres plantés de roseaux. C'est un des dispositifs extensifs de traitement biologique des eaux usées par macrophytes. Les plantes utilisées sont des phragmites australis plus communément appelés « roseaux ».

Selon notre enquête, l'application des stratégies de phytoremédiation dans le domaine de traitement des eaux usées domestiques réside dans l'exploitation des stations de lagunage naturel, stations de lagunage aéré et stations à filtres plantés. Jusqu'à maintenant, ce système a montré des performances épuratoires globalement satisfaisantes (ONA, 2014a). Des multiples facteurs peuvent jouer un rôle important dans le choix de cette technologie comme meilleure solution pour le traitement décentralisé des effluents domestique surtout des petites agglomérations.[21]

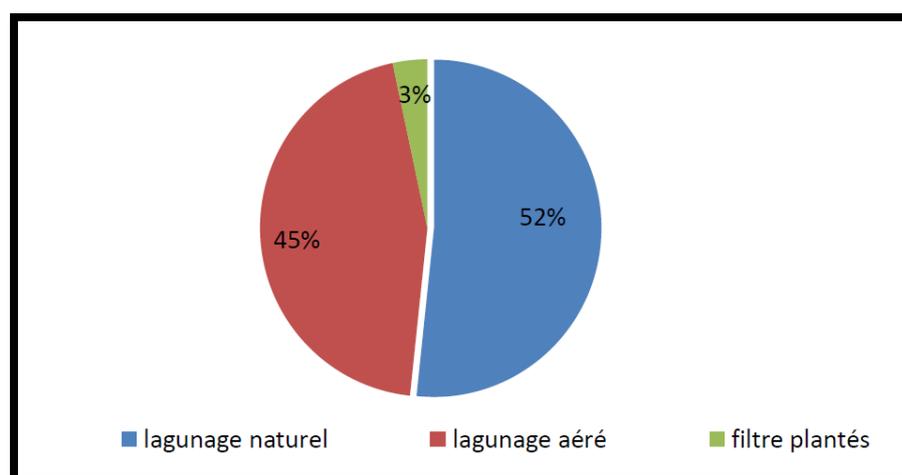


Figure 0-1: Typologie des stations de lagunages en Algérie (l'ONA).

II.4 Principe de fonctionnement :

L'épuration, grâce aux filtres plantés de roseaux, se réalise selon le principe de l'épuration biologique qui se base sur la fixation des végétaux de type macrophytes (phragmites, typha, joncs, etc.), sur un support filtrant (granulats). Il s'agit d'un complexe faisant intervenir le mode d'écoulement des eaux aux fonctions biologiques des plantes (apport d'oxygène, fixations de microorganismes, digestion microbienne, etc.).

Cette épuration est rendue possible grâce à l'action combinée de trois principaux processus :

II.4.1 Processus physiques :

Lors du passage d'une eau usée au travers d'un marais artificiel, l'abattement des matières en suspension se fait par filtration grâce au gravier et aux racines ainsi que par la sédimentation des particules. La photolyse est un autre processus physique qui se déroule principalement en marais surfacique, où les radiations du soleil dégradent certains polluants et éliminent les bactéries pathogènes contenues dans les eaux usées.

II.4.2 Processus chimiques :

Certains polluants, comme le phosphore et les métaux lourds, peuvent être adsorbés ou précipités par des éléments réactifs (Fe, Al, Ca, Mg) présents dans le gravier. Cependant, cette rétention des polluants dans la partie aérienne des plantes est généralement faible comparativement à l'apport de polluants apportés au marais. Elle peut être utilisée sur des substrats solides, liquides ou gazeux. Les plantes peuvent être utilisées comme un filtre à air, en intérieur ou en extérieur, elles absorbent des polluants comme le NO_x, le SO₂, le CO₂, l'ozone, les mauvaises odeurs ou encore les hydrocarbures volatils halogénés. Dans le cas des substrats solides ou liquides, la dépollution est envisagée pour des produits organiques (HAP, pesticides, explosifs, produits pharmaceutiques), des métaux lourds (plomb, cuivre, zinc...) et des radionucléides (Healy et al, 2007).

II.4.3 Processus biologiques :

Les organismes vivants sont sans cesse soumis à des contraintes environnementales. Dans le cas des végétaux, leur immobilité constitue un facteur

important de pression dans leur adaptation au cours de l'évolution. Beaucoup de plantes ont développé des systèmes biochimiques pour l'adaptation aux conditions géochimiques locales mais aussi pour la modification de leur environnement direct. Elles sont capables par exemple de croître sur des sols pollués en les détoxiquant (Keith et al, 2003).

A l'origine, cette toxicité était majoritairement due à des composés phytotoxiques synthétisés par d'autres organismes vivants, des micro-organismes ou des plantes. Les plantes ont donc utilisé leur équipement enzymatique classique pour dégrader ces composés et survivre dans ces milieux. Ces mécanismes sont aussi mis en œuvre pour les composés xénobiotiques présents dans l'environnement. Après absorption d'un polluant, les plantes peuvent soit le séquestrer dans un compartiment cellulaire pour limiter son interaction avec le fonctionnement cellulaire normal, soit le dégrader pour le détoxiquer (Healy et al, 2007).

II.5 Rôle des principales composantes du procédé :

II.5.1 Les plantes :

Dans les systèmes à écoulement dans le sol, la croissance des racines des plantes émergentes fournit un apport en oxygène durant la journée. L'oxygène se trouve très près des racines et rhizomes jeunes et permet une certaine oxygénation des eaux usées.

Les plantes utilisent pendant leur croissance une certaine quantité d'azote et de phosphore et peuvent dans certains cas consommer et concentrer dans leurs tiges et leurs feuilles certains métaux lourds (Mimeche, 2014).

II.5.2 Le sol :

Dans les systèmes à écoulement en surface le rôle du sol est négligeable. Par contre, lorsque les eaux usées passent au travers du média, celui-ci permet d'effectuer un bon enlèvement des matières en suspension et de la partie organique associée (Mancer, 2010).

II.5.3 Les micro-organismes :

Les micro-organismes ont un rôle essentiel à jouer dans tous les systèmes de traitement des eaux usées à partir des plantes. Qu'ils soient aérobies ou anaérobies,

ce sont eux qui consomment la partie carbonée des eaux usées pour la transformer principalement en CO₂ pour les bactéries aérobies et aussi en méthane pour les bactéries anaérobies. Lorsqu'il est possible de maintenir des conditions séquentielles aérobies et anaérobies, les bactéries nitrifiantes vont transformer l'azote ammoniacal en nitrites et nitrates dans les zones aérées et les bactéries dénitrifiantes vont permettre la transformation des nitrates et nitrites en azote gazeux dans les zones anaérobies (Medjdoub, 2014).

II.5.4 Le complexe plantes- sol :

Le rôle de chacune des composantes est souvent plus important dans un contexte synergique avec les autres composantes que prises individuellement. En effet, le sol est essentiel pour supporter la croissance des plantes émergentes et fournit une partie de la nourriture nécessaire à la croissance de ces dernières, à moins qu'il s'agisse d'une culture hydroponique. Dans ce dernier contexte, il peut alors être nécessaire d'ajouter au système certains éléments nutritifs tels que le potassium pour maintenir les plantes en santé.

Dans les systèmes de traitement qui nécessitent le passage de l'eau usée au travers du sol, les rhizomes et racines des plantes émergentes jouent un rôle très important dans le maintien de la capacité hydraulique du sol. En effet, leur activité mécanique permet de déplacer le sol et de briser les tapis colmatant (Bécaye, 2002).

II.5.5 Le complexe plante - micro-organismes :

Tel que précisé précédemment, les plantes par leur apport en oxygène peuvent favoriser la croissance de certains microorganismes aérobies à la proximité de leurs rhizomes et racines. Elles offrent un support physique pour la croissance des bactéries. Les micro-organismes dégradent la matière organique et favorisent sa minéralisation pour rendre disponible ces minéraux pour la consommation des plantes. Les complexes micro-organismes - plantes joue un rôle important dans l'épuration des eaux usées (Saggai, 2004).

II.5.6 Le complexe sol - micro-organismes :

Les bactéries croissent sur le média filtrant dans les systèmes à écoulement dans le sol et ce dernier permet d'augmenter la concentration en micro-organismes et ainsi améliorer le rendement du système. Les microorganismes aérobies auront tendance

à long terme à diminuer la capacité hydraulique du sol mais ne sont pas responsables du colmatage. La croissance trop importante de bactéries anaérobies peut occasionner un colmatage complet du milieu filtrant (Mimeche, 2014).

L'apport d'oxygène extérieur à l'aide des plantes, par diffusion ou par convection afin de maintenir un minimum d'oxygène, demeure donc important. Les micro-organismes transforment les composés phosphorés organiques complexes en composés inorganiques plus simples, comme les ortho phosphates qui sont plus facilement précipités.

II.6 Type de filtres plantés :

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

Donc on distingue deux types de filtres plantés : filtres à écoulement vertical et filtres à écoulement horizontal :

II.6.1 Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRV) :

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

L'alimentation du filtre se fait généralement par bâchées : l'effluent s'accumule dans un réservoir en amont, puis un dispositif automatique d'alimentation permet de déverser un important volume d'effluents de façon séquentielle sur le filtre.

Un système de distribution (drains) permet de répartir uniformément l'effluent sur toute la surface du lit. Ce type d'alimentation permet une utilisation optimale du volume du filtre. Pour les massifs étanches, un système de drainage (par le fond du filtre) permet à la fois de récupérer les eaux en sortie et d'assurer une oxygénation du filtre par passage d'air.

Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical sont souvent constitués de deux étages en série, eux-mêmes constitués de plusieurs filtres en parallèle, qui fonctionnent en alternance : on alimente un seul filtre durant trois à quatre jours, puis un autre filtre en parallèle encore trois à quatre jours, pendant que les autres sont « au repos ».

Les phases de repos doivent avoir une durée au moins égale à celle de la phase d'alimentation. Elles sont nécessaires pour favoriser l'aération et l'apport d'oxygène à l'intérieur du massif afin d'y maintenir des conditions aérobies et pour réguler la croissance de la biomasse fixée. Elles permettent également aux dépôts de matière organique accumulés à la surface du lit de se déshydrater et de se minéraliser.

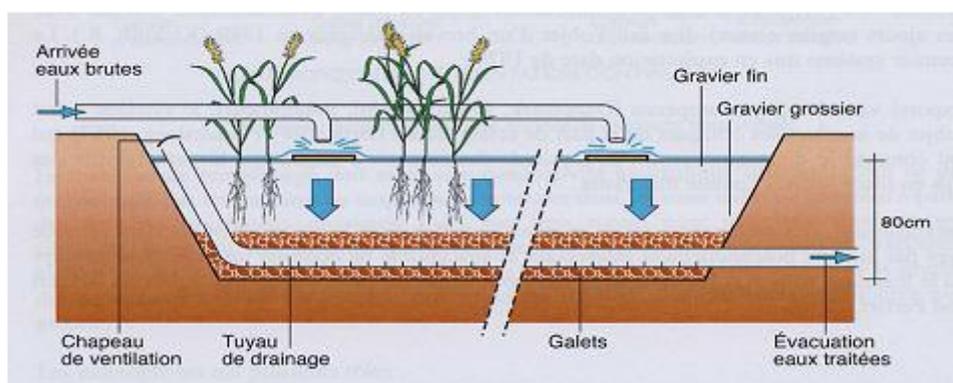


Figure 0-2: Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical (POULET et al, 2004).

II.6.2 Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal (FPRH) :

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

Notons cependant que le filtre planté de roseaux à écoulement horizontal ne peut recevoir que des eaux prétraitées, ou très peu chargées en matière en suspension. Cela permet d'éviter tout risque de colmatage du massif filtrant.

Ce prétraitement est souvent réalisé dans une fosse toutes eaux ou par un filtre planté de roseaux à écoulement vertical placé en amont.

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

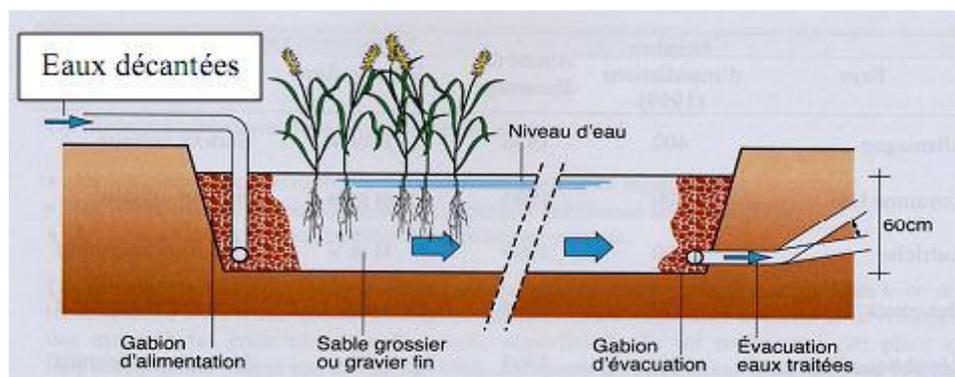


Figure 0-3: Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal (POULET et al, 2004).

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

II.7 Filière de traitement :

Les bassins des filtres plantés de roseaux peuvent être alimentés directement avec des eaux brutes sans décantation préalable et après un simple dégrillage. Les eaux usées sont dégrillées sur une maille maximum de 40 à 50 mm. En fonction du choix des équipements et notamment des systèmes de bâchées et de répartition des effluents sur le massif, des dégrilleurs avec des entrefers plus fins sont préconisés (jusqu'à 20 mm voire moins pour éviter tout bouchage de drains d'alimentation).

Une station FPR est constituée d'un dégrillage retenant les éléments grossiers (> 2 cm), suivi de deux étages de filtres. Chacun des étages est fractionné en plusieurs unités, fonctionnant de manière indépendante et ils sont alimentés par bâchées permet une distribution d'une lame d'eau de 3 à 5 cm à fort débit, Une lame d'eau inférieure à 2 cm ne permet pas d'obtenir une bonne répartition et si elle est supérieure à 5 cm cela augmente la vitesse d'infiltration.

Ce stockage des effluents assure une distribution optimum des eaux et des MES sur la totalité de la surface du filtre ainsi que améliorer l'oxygénation, et permet d'envoyer un fort débit pendant une courte période sur le filtre, il doit être strictement supérieure à $0.5\text{m}^3\text{ h}^{-1}$ par m^2 de filtre. Le débit d'alimentation doit également permettre l'auto curage des conduites.

Chaque unité du 1er étage reçoit la charge polluante intégrale pendant la phase d'alimentation durant quelques jours (3 à 4 jours) puis est mise au repos pendant une période double (6 à 8 jours). Ces phases d'alternance et de repos sont fondamentales pour réguler la croissance de la biomasse fixée, maintenir des conditions aérobies dans le massif filtrant (sable, gravier et rhizomes) et minéraliser les dépôts organiques provenant de la filtration des matières en suspension retenues en surface.

Ensuite, l'effluent est envoyé sur le 2ème étage, où il subit un traitement de finition et notamment la nitrification des composés azotés.

Les boues produites s'accumulent à raison de 15 mm en moyenne par an.

De part le principe de traitement des eaux, les boues sont stockées à la surface du filtre, et ce pour une période de 10 ans.

Ce long temps de stockage permet aux boues de se minéraliser et donc d'être peu fermentescibles. Les risques d'odeurs sont ainsi limités lors des opérations de curage.

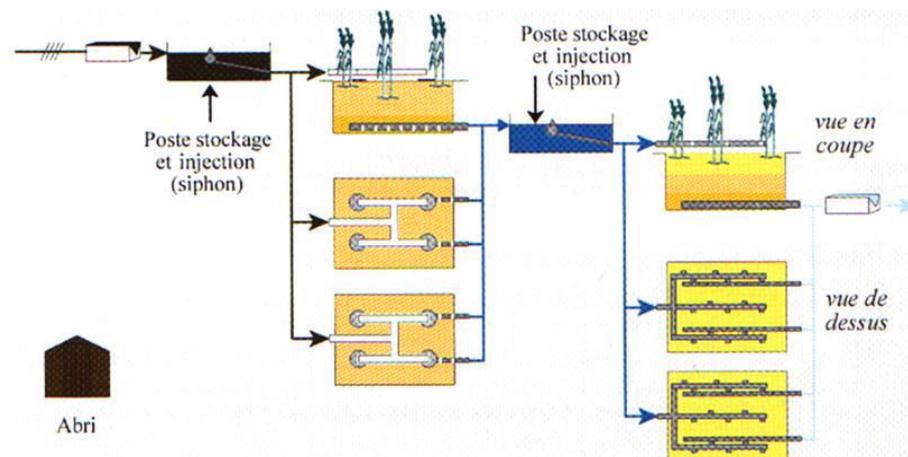


Figure 0-4: Schéma de principe général de la filière (POULTE et al, 2004).

II.8 Pourquoi choisir les roseaux pour l'épuration ?

Plusieurs plantes ont été utilisées dans le processus de la phytoépuration, mais les espèces les plus utilisées sont celles supportant des conditions hydriques en excès ou se développant en bordures des cours d'eau comme :

Bambusa.sp :

Les Bambous comprennent plusieurs genres botaniques d'origine tropicale dont certaines espèces sont rustiques. Ce sont des graminées ligneuses dont les chaumes ont été autrefois utilisés pour faire des cannes à pêche et sont encore d'excellent tuteur. Hormis le bambou nain assez différent, ils ont en commun plusieurs caractères : cannes bien droites, généralement non ramifiées, feuilles étroites, souvent vert foncé et brillant dessus, plus claires au revers. (BOUARD et al, 1992).



Figure 0-5: Bambusa.sp

Tous ont des feuillages persistants, à croissance rapide, et sont faciles à installer. Mais, la prolifération rapide de leurs souches traçantes fait qu'ils envahissent l'espace rapidement. (PEREIRE, 2006).

Nerium Oleander :

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

Le Laurier Rose est un arbuste vigoureux, touffu, à port dressé et arrondi. Feuilles de texture ferme, allongées, pointues. Fleurs en forme de Pervenche, groupées en bouquets terminaux, pendant toute la belle saison. C'est un arbuste d'une grande beauté dont il existe de très nombreuses variétés.



Figure 0-6: Nerium Oleander .

A signaler que toutes les parties de la plante sont toxiques. (BOUARD P et al, 1992).

Pour cette étude on a choisi : **Phragmites australis (Roseaux) :**

Plante vivace à rhizome rampant, très ramifié, émettant des tiges nombreuses, élevées (de 60cm à deux mètres), dures et luisantes ; feuilles glauques, à ligule courte et ciliée, à limbe de plusieurs décimètres de long et large d'un pouce, très pointu au sommet et rude sur les bords, strié en long sur les deux faces; inflorescence grande, très étalée, brun jaunâtre, à axe velu sur les nœuds inférieurs ; épillet très nombreux, grands (1-2 cm), à glumes très inégales, à axe sinueux très velu, portant(4–10)fleurs à longue arête. (OZENDA, 1991).



Figure0-7:Phragmites australis (Roseaux).

Le roseau commun est une espèce qu'on la retrouve dans toutes les régions du monde. En effet, des colonies sont présentes en Afrique, en Amérique (du Nord, centrale et du Sud), en Asie, en Australie, en Europe, et en Nouvelle-Zélande (SALTONSTALL, 2002).

Le roseau commun est une plante de milieux humides. Il prospère sur des sols gorgés d'eau et peu oxygénés, comme le long des cours d'eau, dans les marais et dans les fossés bordant les routes.

On nomme roselières, les colonies de cette espèce considérée envahissante. Elle forme rapidement des colonies très denses qui deviennent pratiquement mono spécifiques (LAVOIE *et al*, 2003).

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

Au cours des processus d'absorption, les racines libèrent des glucides, des enzymes et d'autres nutriments, utilisables par les micro-organismes.

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

Outre leur implication, via leur système racinaire, dans la dégradation de la matière organique, les roseaux ont une action mécanique avec le vent, ils cassent la croûte qui se forme à leurs pieds (dans le cas d'un filtre vertical seulement), ce qui permet de limiter les phénomènes de colmatage et de garantir la perméabilité du filtre en surface.

Cette protection est possible grâce au mode de croissance très rapide des racines. La rhizosphère génère un système décolmatant grâce aux racines tubulaires (rhizomes traçants) et aux nouvelles tiges qui poussent à travers le massif filtrant et les boues accumulées. L'intense réseau racinaire favorise la fixation des bactéries épuratrices sur les rhizomes. Enfin, les roseaux offrent également une protection contre les faibles températures et protègent les bactéries contre l'action des rayons ultraviolets du soleil, qui sinon les tueraient (Daloz, 2007).

II.9 Pourquoi un système d'assainissement par filtre planté ?

La lagune plantée. Même si elle contient des végétaux aquatiques, la lagune plantée de grandes plantes entre dans une catégorie totalement différente. Son processus d'épuration, comme pour les lagunes à microphytes (petits végétaux observables au microscope, ex : micro-algues), repose sur un équilibre complexe entre bactéries libres aérobies et algues, qui apportent l'oxygène par photosynthèse.

C'est un procédé extensif, davantage adapté aux collectivités rurales. Les lagunes plantées sont des systèmes de phytoépuration qui utilisent des macrophytes et des microphytes cultivées en eau libre. Les filtres plantés de roseaux, eux, sont une culture fixée de macrophytes dans un substrat inerte de granulométrie variée : il n'y a pas d'eau libre.

L'utilisation de filtres plantés rend le procédé épuratoire plus stable et plus facile à entretenir. Elle favorise la transformation du vivant par le vivant grâce à un recyclage naturel à proximité, pour un coût modéré et une utilisation énergétique nulle ou réduite. L'intégration paysagère de ces filières est un atout non négligeable, une valorisation esthétique et écologique pour ceux qui en ont fait le choix.

L'utilisation de roseaux favorise le développement enzymatique par accroissement du nombre de bactéries à proximité de leurs racines. On peut observer une activité biologique particulièrement intense dans toutes les zones interfaces naturelles (lisières, haies, berges). La dégradation biologique par oxydation et réduction des polluants se trouve augmentée grâce à l'utilisation de ces plantes qui, de plus,

fournissent régulièrement une quantité utile de déchets verts qui seront compostés et restitueront ainsi à leur tour un engrais naturel pour le jardin.

L'intérêt de la phytoépuration pour les particuliers se mesure tant au niveau de la qualité de l'eau rejetée que de la simplicité de mise en œuvre et d'entretien (une fauche une fois par an avant l'hiver). Les coûts énergétiques limités si la pente est suffisante.

L'intégration dans l'écosystème, la légèreté et la durabilité de telles infrastructures en font des alternatives écologiques aux traditionnels filtres à sable ou champs d'épandage souterrains ou encore aux filtres compacts et bioréacteurs. Les eaux ainsi traitées se trouvent valorisées, les matières recyclées et le déchet devient ainsi une ressource.

II.10 Avantage et inconvénients

Beaucoup d'avantages, peu d'inconvénients ; La phytoépuration est avantageuse surtout pour les petites communes à population dispersée et pour les pays en voie de développement.

Tableau 0-1: avantages et inconvénient.

Avantages	Inconvénients
Facilité et faible coût d'exploitation, de faible durée mais régulière, possibilité de traiter des eaux usées brutes, meilleure acceptation des surcharges hydraulique que les lits d'infiltration, absence de décantation préalable, pas de gestion contraignante des boues primaires, Facilité et faible coût d'exploitation (pas de consommation énergétique) hors alimentation par poste · Bonne qualité d'épuration (similaire aux	Exploitation régulière, passage 1 à 2 fois/semaine (mais de faible durée). nécessité d'un dessableur en tête sur réseau unitaire, faucardage annuel de la partie aérienne des roseaux, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux. Une installation pour des tailles d'environ 10000 EH ne peut s'envisager que sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de

filtres à sable). Bonnes performances épuratoires pour les paramètres particuliers, carbonés et azotés (NK) Bonne réaction aux variations de charge. Bonne adaptation aux variations saisonnières de population.	dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique. Risque de présence d'insectes ou de rongeurs. Emprise au sol relativement importante
---	---

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons découvert les points les plus importante, relatives à la technique d'épuration par filtres plantés à macrophytes dite la phytoépuration ou Marais artificiels.

La technologie des filtres plantés de macrophytes au développement récent. La forte demande actuelle pour ce type de station d'épuration de la part des éléments est réelle. Il s'agit d'une technologie faible, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues d'épuration et qui de surcroît, est bien acceptée par les habitations en raison de sa bonne aptitude à l'intégration paysagère. Ainsi elle s'avère fortement recommandée pour les petites collectivités et les pays à faibles ressources financières.

Le rendement épuratoire de cette station est assez concluant puisque les effluents perdent par filtration jusqu'à 90% de leurs matières en suspension (MES) en traversant un massif de granulats adaptés (contre seulement 50% par décantation classique).

Les MES (boues) retenues sont déshydratées et compostées sur place grâce à l'action conjuguée des bactéries et des plantes. Dans ce processus, leur volume diminue très fortement et le résidu est transformé en terreau qui s'accumule très lentement sur la surface des filtres (ONA).

Chapitre III: Conception et dimensionnement de la mini step.

Introduction :

Le dimensionnement de ce type de station d'épuration dépend de la charge à l'entrée, qui est fonction du débit, et des concentrations moyennes des paramètres de pollution (DBO5, DCO, MES...).

L'objectif de ce chapitre est de présenter le principe de conception du système de filtres planté de roseaux ; ceci permettra par la suite de dimensionner les filtres qui seront utilisés dans le système d'épuration. Cette partie sera consacrée essentiellement à la conception et au dimensionnement des filtres plantés.

III.1 Choix de site d'implantation :

Le choix du lieu de la station d'épuration est l'une des phases importantes et difficiles dans la conception. Différentes propositions sont proposées afin d'obtenir une solution raisonnable qui parfaitement assure les aspects techniques et économiques.

La nécessité de la mise en place d'une station d'épuration passe par un ensemble de dispositions qui sont à prendre en considération dans l'élaboration du projet. Pour choisir le site d'implantation on doit tenir compte des conditions suivantes :

- Étude du plan futur (PDAU) qui détermine le sens de l'extension de l'agglomération étudiée à l'avenir
- L'existence des réseaux électrique, lignes téléphoniques, gaz, pétrole (existant ou programmés).
- Système d'égout (séparatif ou unitaire) et la forme générale de réseaux d'assainissement (tendance des collecteurs, le sens global de drainage des bassins versants).
- La qualité de l'eau évacuée vers le rejet.
- Un espace suffisant pour mettre les installations.
- Les pentes suffisantes pour assurer un écoulement par gravité, (le niveau de la région sélectionnée au-dessus du niveau de l'avenir de l'eau).

- L'activité sismique de la région doit être prise en considération, et éviter des obstacles naturels lors de choisir l'emplacement de la station.

III.2 Alimentation de la Station de traitement :

Des travaux sont prévus incessamment par la subdivision DRE de Cherrhell. Les travaux concernent l'élimination de la fosse existante.

Un Déversoir d'orage et un Poste de refoulement devront donc être projetés au niveau du rejet pour refouler les eaux usées vers la station de traitement projetée qui est située à une altitude plus élevée.

Le site STEP se trouve au nord de la localité au niveau de l'exutoire du réseau d'assainissement à proximité d'oued douar AGHBAL.

Le plan ci-dessous illustre les réseaux existants ainsi que les ouvrages spéciaux projetés :



Figure III-1: Emplacement des ouvrages (SEAAL).

III.3 Données de bases pour le dimensionnement :

III.3.1 Charges polluantes à traité :

Les charges polluantes à traiter sont estimées comme suit :

Tableau III-1: Les charges polluantes à traiter.

Paramètres	Charges à traiter	Charges à traiter
	horizon 2020 (base)	horizon 2030 (base)
	Kg/j	Kg/j
DBO5	18,27	20,16
DCO	36,54	40,32
MES	18,27	20,16
NTK	4,87	5,38
Pt	0,73	0,81

III.3.2 Équivalent Habitant :

L'équivalent habitant à utiliser lors du dimensionnement doit faire l'objet d'une vérification préalable pour déterminer si la charge saisonnière est prise en compte ou non.

En utilisant que 45 g de DBO5 pour chaque équivalent d'habitant nous avons pu estimer une population de **448 EH** à l'horizon **2030** pour la période hivernale et **1344EH** en pointe estivale (Coefficient de pointe saisonnier égale à 3).

- On a 45 g pour chaque équivalent d'habitant donc :

Pour l'horizon 2030 :

$$\text{DBO5} = 20,16 \text{ Kg} = 20160\text{g}$$

$$\text{EH}_{2030} = \frac{\text{DBO5} * 1\text{EH}}{45}$$

III-1

$$\text{EH}_{2030} = (20160 * 1\text{EH}) / 45 = 448\text{EH} \text{ pour la période de base}$$

Pour la période estivale on multiplie fois le Coefficient de pointe saisonnier 3.

On obtient : $448 \times 3 = 1344 \text{EH}$.

Résultat sur tableau :

Tableau III-2: Charges organiques (base 45g DBO5 par EH).

Horizon	Charges organiques (base) (45 g DBO5 par EH)	
	Période de base	Période Estivale
2020	406 EH45	1 217 EH45
2030	448 EH45	1 344 EH45

- Dans le cas d'une surcharge de longue durée (De 2 mois à 6 mois) :
 - ✓ Coefficient de pointe saisonnière < 1.5 : pas de surdimensionnement sur la charge organique – 2 m² par habitant permanent
 - ✓ Coefficient de pointe saisonnière > 1.5 : prendre en compte le maxi entre la population permanente et la population de pointe estivale affectée d'un coefficient de 0.65 – dimensionnement sur la base de 2 m² par habitant.
- Dans notre cas, le coefficient de pointe saisonnière est égal à $3 > 1,5$ donc :

Nous prendrons le max entre $[\text{EH}_{\text{base}}]$ et $\text{EH}_{\text{pointe}}$

$$\text{EH}_{\text{dim}} = [\text{EH}_{\text{pointe}} \times 0,65]$$

III-2

$$\text{EH}_{\text{dim}} = 1\ 344 \times 0,65 \rightarrow \boxed{\text{EH}_{\text{dim}} = 875 \text{EH}}$$

III.3.3 Estimation du débit :

III.3.3.1 Débit moyen journalier :

La dotation au niveau des zones éparses dans la Wilaya Tipasa a été fixée par le SDAEP à 60 l/j/hab.

On prend le coefficient de rejet = 0,8, on aura donc un débit d'eau usée :

$$Q_{EU} = EH_{dim} \times Dot \times C_{rejet} \quad \text{III-3}$$

$$Q_{EU} = 875 \text{ EH} \times 60 \text{ l/j/hab} \times 0,8 = 41952 \text{ l/j} = (0.486) \text{ l/s} = 42 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{EU} = 42 \text{ m}^3/\text{j}$$

III.3.3.2 Débit de pointe horaire en temps sec :

Conduit à définir un coefficient de pointe comme étant le rapport du débit moyen de l'heure la plus chargée au débit moyen journalier $Q_{moy j}$ (l/s) par la formule qui suit :

$$\text{Si } Q_{moy j} > 2.8 \text{ l/s} \quad K_p = 1.5 + (2.5 / \sqrt{Q_{moy j}})$$

$$\text{Si } Q_{moy j} < 2.8 \text{ l/s.} \quad K_p = 3$$

$$Q_p = k_p \times Q_{moy} \quad \text{III-4}$$

On a $Q_{moy j \text{ use}} = 0.486 \text{ l/s} < 2.8 \text{ l/s}$ donc on prend $KP=3$.

$$Q_p = 3 * (42/24h) = 5.25 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_p = 5.25 \text{ m}^3/\text{h}$$

III.3.3.3 Débit des eaux usées en temps sec :

Le Débit des eaux usées en temps sec englobe les eaux claires parasites permanentes (ECP), le taux des ECP a été fixé à 50% par le SDA Tipasa.

On obtient un débit total d'eau usée en temps de pluie : $Q_{ecpp}=0.875 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_{ts} = Q_{ecpp} + Q_p \quad \text{III-5}$$

$$Q_{ts} = 0.875 + 5.250 = 6.13 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{ts} = 6.13 \text{ m}^3/\text{h}$$

III.3.3.4 Débit de pointe à temps de pluie :

Afin d'éviter une surcharge hydraulique dans la station d'épuration lors des précipitations, la station est dimensionnée pour un débit maximal correspondant au débit de pointe par temps de pluie (Q_{pte} , pluie). Ce débit sera limité grâce à un déversoir placé en tête de la station et variant de 3 à 5 fois le débit de pointe par temps sec. Dans notre cas, la dilution sera de **2**.

$$Q_{tp} = \text{taux de dilution} \times Q_{PTS} \quad \text{III-6}$$

$$Q_{tp} = 2 \times Q_{PTS} = 2 \times 6.13 = 12.26 \text{ m}^3/\text{h} = 0.003406 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{tp} = 0.003406 \text{ m}^3/\text{s}$$

La station de filtres plantes de roseaux qui va être implantée sera composée d'un prétraitement, et de deux étages de traitement selon le schéma indique ci-dessous :

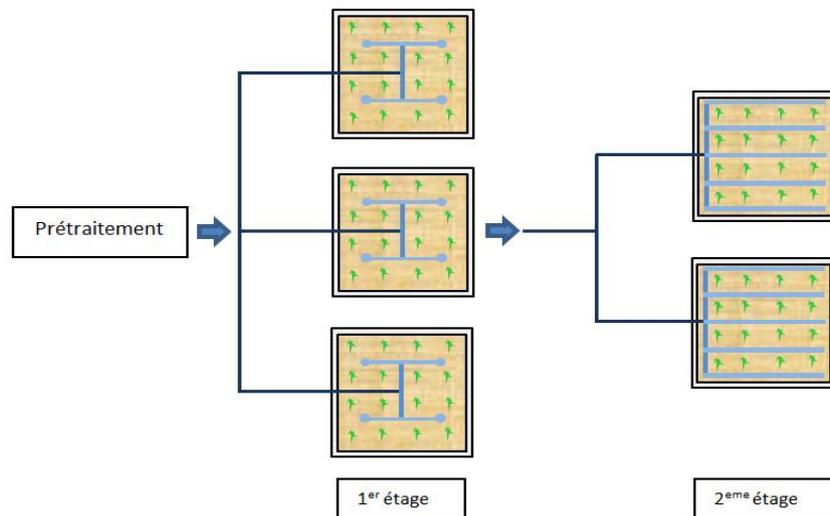


Figure III-2:Schéma de principe d'une station de type Filtres plantés de roseaux.

III.4 Les concentrations moyennes des polluants :

On calcule les concentrations par la formule suivante :

$$[C] = \frac{L_0}{Q_{moyj}} \quad \text{III-7}$$

L_0 : Charge moyenne journalière en DCO (Kg/j)

$[C]$: La concentration moyenne en DCO (Kg/m³)

Q_{moyj} : Débit moyen journalier en (m³/j).

Les résultats de calcul des différentes charges polluantes sont repris dans le tableau suivant :

Tableau III-3: Concentration moyenne des polluants.

	[DBO ₅]	[DCO]	[MES]	[NTK]	[PT]
La concentration (mg/l)	340	480	240	64	9.64

III.5 Le prétraitement :

Les prétraitements sont destinés à éliminer des effluents bruts, les matières solides, grossières et facilement décantables ainsi que les graisses. La rétention et l'élimination de ces matières assurent la protection et le bon fonctionnement des ouvrages situés en aval (dispositif d'alimentation des filtres par bâchées). L'opération de prétraitement sont limitées au simple dégrillage, car cette filière permet un épandage des effluents bruts sur le premier étage de filtres.

Le dégrilleur sera muni d'un trop-plein avec retour des effluents en aval du dégrilleur pour permettre la continuité de service en cas de colmatage de la grille. Ce dispositif de trop-plein devra également permettre d'isoler le dégrilleur pour de facilité les opérations de maintenance le cas échéant. Le dégrilleur devra ainsi être by-passable manuellement tout en assurant la continuité de service .

Un outil de raclage manuel avec panier d'égouttage sera mis en place. La profondeur des dents de la racle sera adaptée à la conception de la grille afin permettre un raclage de la grille sans accrochage sur les barres de maintien des barreaux. Des poubelles pour stockage des refus de dégrillage seront fournies.

Dans le cas d'une alimentation de la STEP par pompage, un panier dégrilleur de maille 40 mm sera mis en place sur la conduite d'arrivée des effluents.

Lorsque le réseau est unitaire, le dégrilleur sera mis en place en amont du dispositif de bâchée du 1^{er} étage. Il sera équipé d'un by-pass afin de l'isoler pour en faciliter le curage. Des batardeaux seront mis en place à cet effet.

Pour notre étude on a choisi le dégrillage fin, il permet d'obtenir une boue de meilleure qualité, ne nécessitant pas de criblage avant épandage. Du fait, une quantité plus importante de déchets est générée, d'où la nécessité d'interventions de l'exploitant plus fréquentes.

Un entrefer de 3 à 5 cm est un bon compromis entre efficacité et fréquence d'entretien.

III.6 Dimensionnement du dégrilleur :

Pour le calcul de la grille, on utilise la méthode de KIRSCHMER.

La largeur de la grille est donnée par l'expression :

$$L = \frac{S \cdot \sin \alpha}{h_{\max} \cdot (1 - \beta) \cdot \sigma} \quad \text{III-8}$$

L : Largeur de la grille (m).

α : Angle d'inclinaison de la grille avec l'horizontal = 60° à 80°

h max : Hauteur maximum admissible sur une grille hmax = (0,2 – 0,5) m

β : Fraction de surface occupée par les barreaux.

σ : Coefficient de colmatage de la grille Pour une grille manuelle $\sigma = 0.10$ à 0.3

Pour une grille mécanique $\sigma = 0,4$ à 0,5

$$\beta = \frac{d}{d+e} = \frac{20}{20+5} = 0,8$$

avec : d : épaisseur des barreaux (cm).

e : espacement des barreaux (cm).

La surface :

$$S = \frac{Q}{V} \quad \text{III-9}$$

$$S = \frac{0.003406}{0.45} = 0.0076 \text{ m}^2$$

$$\text{Donc } L = \frac{0.0076 \cdot \sin 60}{0.35 \cdot (1 - 0.8) \cdot 0.3} = 0.31 \text{ m}$$

$$L = 31 \text{ cm}$$

Calcul des pertes de charge :

Une grille provoque des pertes de charges, selon KIRSCHMER, ces dernières sont fonction de :

- La forme des barreaux,
- L'espace entre les barreaux,
- La largeur des barreaux,
- La vitesse d'approche,
- L'inclinaison de la grille.

Elles est calculées par la formule suivante :

$$\Delta H = \beta_0 \left(\frac{d}{e}\right)^3 \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right) \cdot \sin \alpha \quad \text{III-10}$$

Avec :

- ΔH : Perte de charge en mètre d'eau (m).
- β_0 : Coefficient de forme des barreaux ; $\beta_0 = 2,42$

Tableau III-4 : Coefficient de forme des barreaux.

Type de barreau	β_0
Section rectangulaire	2,42
Section rectangulaire en semi-circulaire à l'amont	1,83
Section rectangulaire avec arrondi semi-circulaire à l'amont et à l'aval	1,67
Section circulaire	1,79
Section ovoïde avec une grande largeur à l'amont	0,76

d : Largeur maximale d'un barreau (m), d = 20mm

e : Espacement entre les barreaux (m), e = 5mm

V : Vitesse d'approche ou vitesse de l'eau devant la grille (m/s) ; V = 0.45m/s

α : Angle d'inclinaison de la grille, par rapport à l'horizontale. $\alpha = 60^\circ$

g : Accélération de la pesanteur (m/s). g = 9,81 m/s.

$$\Delta H = \left(\frac{20}{5}\right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{0.45^2}{2 \times 9,81}\right) \times \sin 60$$

$\Delta H = 0.0658\text{m}$

Calcul des volumes des déchets retenus :

Le volume des déchets retenus par les grilles dépend :

Du débit de l'effluent,

De la finesse du dégrillage.

Pour une eau usée urbaine, la quantité de déchets récupérée par les grilles par habitant et par an est estimée à :

- Pour une grille grossière :

Le volume retenue = 2 à 5 l/ hab. /an

- Pour une grille fine :

Le volume retenue = 5 à 10 l/ hab. /an

Les volumes des déchets retenus dans notre cas seront ainsi estimés comme suite :

$$V \text{ (m}^3\text{/j)} = \frac{\text{Nb de hab} \times \text{volume retenu} \times 10^{-3}}{365 \text{ jours}}$$

III-11

dans notre cas on a de la grille fine donc :

$$V_{\text{moy}} = \frac{V_{\text{min}} + V_{\text{max}}}{2} = \frac{5 + 10}{2} = 7.5 \text{ l/ hab. /an}$$

$$V(\text{m}^3 / \text{j}) = \frac{502 \times 7.5 \times 10^{-3}}{365 \text{ jour}} = 0.02 \text{ m}^3/\text{j}$$

III.7 Dimensionnement des Filtres :

Dans cette étude, on va utiliser uniquement des filtres à écoulement vertical puisque d’après les études faites les FPRV sont les plus adaptés que les FPRH

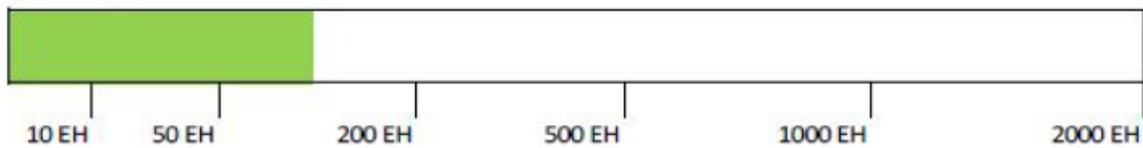


Figure III-3Domaine d’utilisation conseillé FPRH(Hélène Peeters, 2014, pp48)

Tableau III-5Synthèse des performances des FPRV et FPRH.

Type de pollution à traiter	Filtre planté de roseau à écoulement horizontal (FPRh)	Filtre planté de roseau à écoulement vertical (FPRv)
MES	Bon si traitement primaire	Très bon à excellent (sauf période de démarrage du filtre et 1ères bâchées après la période de repos)
Oxydation matière organique (DBO5 - DCO)	Insuffisant à bon si traitement primaire	Excellent
Oxydation pollution azotée : Nitrification	Mauvais	Très bon
Dénitrification	Très bon	Mauvais, sauf si présence d’une recirculation et/ou d’une zone saturée en fond de filtre

Chacun des étages est fractionné en plusieurs unités, fonctionnant de manière indépendante.

Chaque unité du 1er étage reçoit la charge polluante intégrale pendant la phase d'alimentation durant quelques jours (3 à 4 jours) puis est mise au repos pendant une période double (6 à 8 jours). La durée d'une période de fonctionnement sur le 1er étage est habituellement fixée à 3-4 jours, suivis d'un repos d'environ 7 jours (Molle *et al.* 2004, AERMC 2005). Un rythme 7 jours/14 jours se rencontre également par endroits. Le deuxième étage voit sa période de repos de même durée que celle de fonctionnement, le plus souvent égale à 7 jours. Ces phases d'alternance et de repos sont fondamentales pour réguler la croissance de la biomasse fixée, maintenir des conditions aérobies dans le massif filtrant (sable, gravier et rhizomes) et minéraliser les dépôts organiques provenant des MES des eaux brutes retenues en surface des filtres du 1er étage. Ensuite l'effluent est envoyé sur le 2eme étage où il subit un traitement de finition et notamment la nitrification des composés azotés. La filière à écoulement vertical peut traiter des eaux usées brutes grâce à ce principe d'alternance associé à la présence des roseaux dont les tiges percent, en surface, le dépôt et maintiennent les conditions favorables à la minéralisation des dépôts organiques.

La surface des filtres

Différentes approches sont utilisées pour déterminer la surface requise et il n'existe pas, du moins jusqu'à maintenant, des formule rationnelle à appliquer. La surface totale de filtre requise A (m²) dépend du type de réseau. Elle peut être calculée en fonction de la taille de la population et répartie sur deux étages (Boutin et Lienard, 2003 ; Lienard, 2003) Les bases de dimensionnement ont été définies de façon empirique suite aux études de quelques cas particuliers européens et conduisent à prévoir des surfaces de 1 à 5 m² par Eqh en fonction des objectifs de qualité et de la nature de l'effluent à traiter.

Afin de répondre à des contraintes spécifiques locales d'ordres techniques ou économiques, le principe d'épuration par FPR peut s'adapter à des contextes particuliers.

III.7.1 Forme des bassins :

Les filtres verticaux seront de préférence ronds ou carrés, les filtres rectangulaires ne sont pas interdits mais ils ne devront pas être allongés de façon à optimiser la longueur des tuyaux d'alimentation et l'efficacité de la répartition de l'eau sur la surface du filtre. L'idéal, si on les réalise est d'adopter un ratio largeur /longueur de 2/3.



Figure III-4: Les formes possibles des filtres verticaux.

Pour cette étude on va réaliser des filtres verticaux carrés.

Le dimensionnement des filtres s'effectue sur la base de 2 m²/EH (Surface totale des massifs filtrants 1er et 2e étage avec une répartition de 60 % sur le 1er étage et 40% sur le second étage. (Voir **Annexe N°2** : Données générales de dimensionnement des FPRV)

III.7.2 Surface de filtres au premier étage :

$$S1 = \text{l'équivalent habitant} \times 1,2 \text{ m}^2/\text{EH}$$

III-12

Capacité nominale de la station : 875 EH ;

$$S1 = 875 \text{ EH} = 1\,050 \text{ m}^2$$

Pour ces installations, trois bassins sont utilisés de façon à assurer des phases de repos pendant 2/3 du temps. Dans notre cas, le premier étage de traitement sera équipé de trois bassins de 400 m², chacun disposé en parallèle. Chaque unité présentera les caractéristiques suivantes :

$$L \times l = 20 \times 20 = 400 \text{ m}^2$$

La surface de 350 m² correspond à la surface à la base de la couche filtrante, la surface

supérieure est de 400m². Le 1er étage disposera de 3 bassins de 400m², la surface totale sera de 1200 m². La hauteur de revanche des lits sera de 50 cm à minima.

III.7.3 Surface de filtres au deuxième étage :

Le sable préconisé sera un sable siliceux non calcaire lavé et de bonne qualité.

Le dimensionnement s'effectue sur la base de 0,8 m²/EH. La surface des filtres du deuxième étage est donc de :

$$S1 = 1 \text{ équivalent habitant} \times 0.8 \text{ m}^2/\text{EH}$$

III-13

$$S2 = 0,8 \text{ m}^2/\text{EH} \times 875 \text{ EH} = 700 \text{ m}^2$$

Le 2ème étage disposera de deux bassins de 400 m² (L x l = 20 m x 20 m).

Les principes de dimensionnement des ouvrages sont identiques à ceux du 1er filtre. Le 2ème étage disposera de 2 bassins de 400 m², la surface totale sera de 800 m². Cette surface est considérée à la base du filtre.

La hauteur de revanche des lits sera de 50 cm à minima.

III.7.4 Profondeur :

La profondeur de filtre planté varié de 60 cm à 1.5m car il ya suffisamment d'oxygénation dans les filtre par rapport à celle de filtre horizontal ; et aussi correspond à la profondeur atteinte par les rhizomes des roseaux et donc à la hauteur optimale pour le traitement est de 0.7m.

L'épaisseur totale des couches 0.9cm+ une revanche 50cm (Revanche comprise entre 30 et 90 cm, hauteur de revanche compatible avec une accumulation de boues (20cm). permet la mise en charge de la surface sans risque de débordement). l'épaisseur des boues qui est de l'ordre de 1 à 1,5 cm par an soit 15 cm au maximum après 10 ans+D'autre part on devra tenir compte de la charge hydraulique à apporter par dose qui ne devrait pas dépasser 10 cm. En effet la vitesse d'alimentation doit être supérieure à celle d'infiltration dans le matériau de

filtration et donc on aura une accumulation temporaire de l'eau à la surface du filtre. On retiendra une profondeur de 90cm.

III.8 Dispositif d'alimentation :

L'alimentation est effectuée par bâchées grâce à un siphon auto amorçant. Ce type d'alimentation séquentielle fonctionne de façon autonome, sans apport d'énergie. Il est à privilégier, chaque fois que la topographie le permet (alimentation gravitaire). C'est-à-dire que l'effluent est collecté dans cet ouvrage jusqu'à atteindre un certain niveau suffisant avant d'être évacué automatiquement dans le filtre. Ce dispositif permet donc la création d'une « chasse d'eau » alimentant sur un temps très court la surface du massif sélectionné.

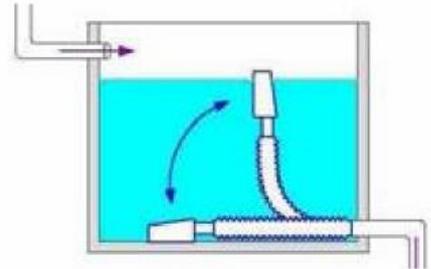


Figure III-5:8 bâchée d'alimentation.

Les systèmes de bâchées permettent de transformer un flux d'eau continu en flux d'eau par intermittences. Le cycle de fonctionnement d'un tel dispositif est simple : d'abord, il accumule de l'eau sans en laisser passer, puis, une fois sa capacité de stockage atteinte, toute l'eau est relâchée d'un seul coup. Ensuite l'accumulation recommence.



Figure III-6: siphon auto-amorçant (source : www.loire.fr).

Le siphon auto-amorçant peut être utilisé dans des installations d'assainissement de grande taille. Il est installé dans un bassin où l'eau s'accumule. Les tuyaux du siphon sont flexibles à l'extrémité reliée au fond du bassin et sont fixés à un flotteur à l'autre extrémité. Le flotteur monte au fur et à mesure que l'eau s'accumule. Lorsqu'il atteint la butée supérieure, il se remplit d'eau et se met à couler, entraînant avec lui les tuyaux qui s'emplissent d'eau et vident le bassin en formant un siphon. Lorsque le bassin est vidé, le flotteur repose sur la butée basse et est vidé à son tour par un siphon supplémentaire.

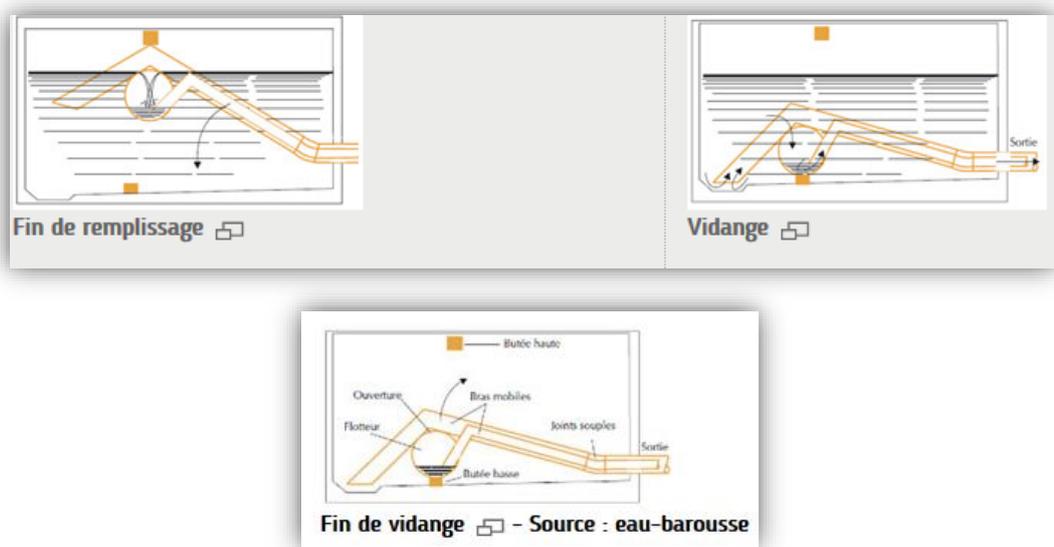


Figure III-7: fonctionnement d'un siphon auto amorçant.

Les bâchées doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- ✓ Le débit instantané et le volume de la bâchée sont liés : plus le volume de la bâchée est réduit, plus le débit instantané doit être élevé pour submerger toute la surface du filtre alimenté en temps court.
- ✓ Le débit d'alimentation doit être suffisant pour éviter la formation de dépôts ou de gel dans les conduites et permettre une optimisation des conditions de répartitions sur les surfaces filtrantes et permet d'assurer l'auto curage des conduites d'alimentation et une bonne répartition (Référence minimale de 0,5 m³/m²/h).
- ✓ Ce système d'alimentation par bâchées permet à la fois d'assurer la bonne répartition de l'effluent sur le massif (et d'éviter tout colmatage) grâce à une

charge hydraulique importante mais aussi de permettre la diffusion de l'oxygène dans le massif.

- ✓ Il est important de noter que les dépôts sédimentant dans cet ouvrage sont source de fermentation et provoquent des problématiques de sécurité (H2S), de corrosion et d'odeur (nuisances). Le volume et la fréquence des bâchées doivent donc être calculés soigneusement de manière à éviter un temps de séjour trop important, et donc une stagnation trop longue des eaux dans cet ouvrage.
- ✓ Rappelons que la vitesse de l'eau doit être au minimum de 0,6 m/s en tout point d'injection du réseau de distribution.
- ✓ Le volume apporté par chaque bâchée doit permettre d'obtenir une **lame d'eau de 2 à 5 cm** de hauteur, réparties de façon homogène sur toute la surface. Une lame d'eau inférieure à 2 cm ne permet pas d'obtenir une bonne répartition et si elle est supérieure à 5 cm cela augmente la vitesse d'infiltration.

Le deuxième étage est alimenté avec des eaux ayant subies une première filtration dans le 1^{er} étage. Les règles de conception, en termes d'alimentation, sont globalement semblables au 1^{er} étage.

III.9 Dimensionnement des bâchées : (note de calcul source [3])

III.9.1 Le volume de bâchée :

$$V \text{ (m}^3\text{)} = H_{\text{eau}} * \text{surface du filtre (m}^2\text{)} \quad \text{III-14}$$

$$V \text{ (m}^3\text{)} = 0.03 * 400 = 12 \text{ m}^3$$

$V = 12 \text{ m}^3$

III.9.2 Le nombre des bûchées :

Nombre de bûchée =(le débit / le volume de bûchée)

$$\text{Nombre de bûchée} = \frac{Q}{VOLUME} \quad \text{III-15}$$

$$\text{Nombre de bûchée} = \frac{84}{12} = 7 \text{ bûchées par jour}$$

Nombre de bûchée=7 bûchées par jour

III.9.3 Le temps de séjour :

$$T_s = \frac{\text{volume}}{\text{débit}} \quad \text{III-16}$$

$$T_s = \frac{12}{84} = 205 \text{ minutes}$$

$T_s=205 \text{ minutes}$

III.9.4 Le diamètre de la bûchée :

On suppose une hauteur d'eau de 3m

$$V=S*H = 12 \text{ m}^3$$

$$S = (12/3)=4\text{m}^2$$

$$S = (\pi D^2 /4) \text{ donc}$$

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad \text{III-17}$$

$D = 2.25 \text{ m}$

III.10 Dispositif d'alternance :

Il permet de sélectionner le massif qui va être utilisé pendant que les autres sont au repos. Il permet donc d'alterner les phases d'alimentation et de repos sur les différents massifs.

Si l'alternance des phases de repos et d'alimentation n'est pas pleinement assurée, les fonctions physiques, chimiques et biologiques des filtres peuvent en être profondément perturbées. Plusieurs ouvrages sont à même d'y répondre : les vannes 1/4 de tour, vannes guillotines, vannes papillon, etc



Figure III-8: dispositif d'alternance (Vanne guillotine).

III.11 Alimentation des filtres :

Elle se fait par un réseau ramifié des conduite en Le matériau qui donne le plus de satisfaction est l'inox : bonne résistance au UV et au gel, montage par brides (donc démontable). L'utilisation de tuyau PVC est déconseillée puisque la déformation due aux UV et la casse causée par le gel vont considérablement réduire la durée de vie de l'ensemble. Ces conduites repartie les eaux verticalement au surface de filtre le diamètre optées pour les débits faible ne diminuent pas de $D = 60$ mm diamètre car ce dernier empêche le bouchage des conduites et améliore l'oxygénation des eaux. Le débit instantané et le volume de la bâchée sont liés : plus le volume de la bâchée est réduit, plus le débit instantané doit être élevé pour submerger toute la surface du filtre alimenté en temps court.

La répartition des eaux brutes sur le premier étage doit être réalisée de manière homogène sur l'ensemble du lit. L'eau brute doit circuler à une vitesse minimale de 0,8 m/s. Cela est obtenu grâce à un diffuseur ponctuel avec un nombre élevé de points d'alimentation distribués de manière symétrique (**Alimentation aérienne, répartition en « H »**)

Un système anti-affouillement sera prévu au niveau des diffuseurs ponctuels. Cela permettent d'optimiser la répartition ainsi que d'éviter la création de passages préférentiels. Les dispositifs amovibles résistants à l'érosion sont les plus adaptés.



Figure III-9: rampe de distribution du premier étage.



Figure III-10: système anti-affouillement.

Pour le second étage, le nombre de points d'alimentation doit être plus important. Le système de répartition peut être un réseau superficiel de tuyaux percés d'orifices non enterrés (**Tuyaux horizontaux percés**). Dans le cas d'un écoulement gravitaire, les canalisations seront installées en surface. Seules les sorties seront apparentes. Cela constitue un avantage par rapport au risque de gel et facilite l'intégration paysagère lorsque les roseaux sont fauchés.



Figure III-11: rampe de distribution deuxième étage.

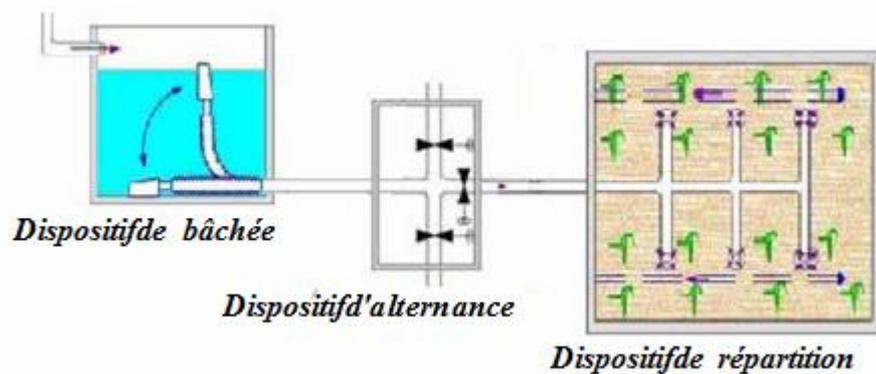


Figure III-12: système d'alimentation des filtres. (Source : contrôle technique et dysfonctionnement _ LOREAT).

III.11.1 Diamètre des conduites d'alimentation :

Dimensionnement :

Le diamètre des canalisations de sortie sera au minimum de 150 mm afin de conserver le débit important provoqué par la bâchée.

Cependant, les vitesses dans les conduites devront être suffisantes pour éviter des stagnations et faciliter les conditions de répartition justifiée dans tous les cas par une note de calculs.

Note de calcul

Le diamètre de canalisation sont calculée en fonction du volume de bâchée, on a :

- Le volume du bâchée est 12m³
- 7 bâchées sont envoyés aux filtres chaque les 208 min

Donc $208 \times 7 = 24h$

- Le débit d'alimentation des filtres :

$Q = 24 \times 12 = 288 \text{ m}^3/h = 0.08 \text{ m}^3/s$

- On cherche la surface de section de canalisation :

Pour la conduite principale d'alimentation on prend une vitesse minimale de 1m/s

$$(Q/V) = 0.08/1 = 0.08 \text{ m}^2$$

$$S = (\pi D^2 / 4) \text{ donc}$$

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

III-18

Résultat :

Le diamètre intérieur de 315mm a été retenu pour la conduite principale d'alimentation pour chaque filtre du 1^{er} étage de traitement. Le diamètre sera réduit à 200 mm et 160 mm et 125 mm et 110 mm pour les conduites aériennes sur la surface du filtre (voir schéma ci-dessous).

Pour le deuxième étage de traitement : Le diamètre intérieur de 315 mm a été retenu pour la conduite principale d'alimentation jusqu'au regard de répartition puis un diamètre de 250mm et 90mm pour les conduites d'alimentation posées sur la surface du filtre.

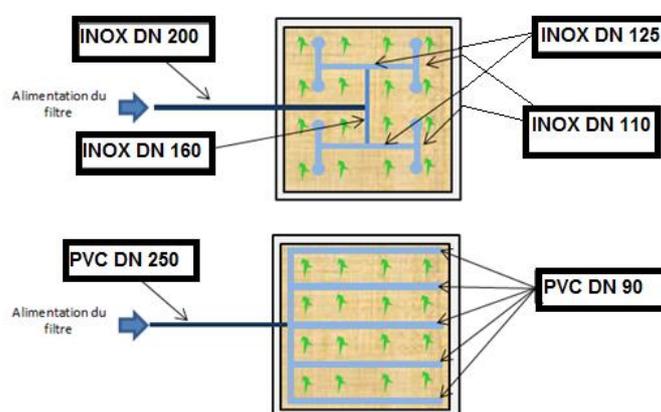


Figure III-13: Schéma de principe des conduites d'alimentation des filtres.

Un **by-pass** doit être prévu à chaque ouvrage hydraulique susceptible d'être affecté d'un dysfonctionnement ponctuel, et devrait être équipé pour permettre la réalisation de prélèvements représentatifs.

III.12 Réseau de drainage :

Les eaux infiltrées seront collectées par des drains posés en fond de filtre dans la couche drainante qui permettent aussi d'assurer l'aération en fond de filtre.

Le réseau se compose de tube en Les drains de collecte de **type Epandrain ou drains autoroutiers** sont en DN100 et sont munis de fentes de 5 mm de largeur sur un tiers de la circonférence, espace de 15 cm entre les orifices tournés vers le bas.

Ils seront posés avec une pente de 1 % ,les drains seront munis de tuyaux de ventilation sont placés dans le filtre ; ils sont connectés aux drains placés le long des talus contre la géomembrane (coude à 45°) de type cheminées d'aération qui permettent la circulation d'air depuis la surface. Les cheminées seront couvertes par un chapeau pour éviter la chute d'objet dans les drains ; Les drains seront inspectables et curables. Des accès seront prévus en conséquence. En conséquence, la mise en place de coudes à angles droits est proscrite.

Dans le deuxième étage Les dispositions à respecter sont identiques à celles du premier étage. Les effluents collectés seront rassemblés dans un regard de jonction.

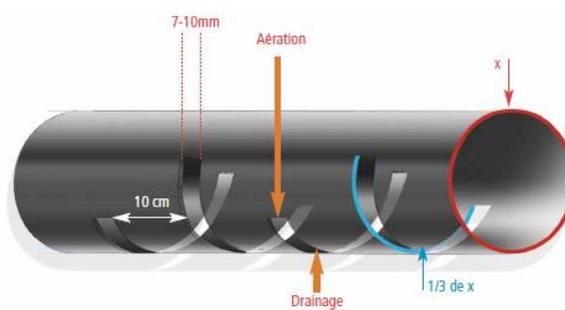


Figure III-14: Schéma des canalisations d'aération-drainage.

III.13 Constitution des massifs filtrants :

III.13.1 Choix de substrat :

Les substrats peuvent éliminer les constituants des eaux usées par échange d'ions / adsorption non spécifique, adsorption / précipitation spécifique. Le choix du substrat est déterminé en termes de perméabilité hydraulique et de capacité à absorber les nutriments et les polluants. Le substrat doit fournir un milieu approprié pour une croissance réussie de la plante et permettre même l'infiltration et le mouvement des eaux usées. Une mauvaise conductivité hydraulique entraînera un débit de surface et une canalisation d'Eaux usées, réduisant gravement l'efficacité du système.

Une opération réussie nécessite une conductivité hydraulique d'environ 10^{-3} à 10^{-4} m/s .La composition chimique du substrat affectera également l'efficacité du système. Les sols à faible teneur en éléments nutritifs encourageront l'absorption

directe de nutriments à partir de Les eaux usées par les plantes. Le substrat à teneur élevée en Al ou en Fe sera le plus efficace À l'abaissement des concentrations de phosphate dans l'effluent. Les graviers sont lavés pour réduire Le colmatage (augmenter les espaces vides) pour une meilleure filtration. Le système de roseaux sur le gravier a atteint Meilleurs taux de nitrification, tandis que la dénitrification était plus élevée dans le système de roseaux à base de sol. Un mélange de sols d'argile organique, de sable, de graviers et de pierres concassées pourrait être utilisé pour Apporter un soutien à la croissance des plantes. Ces substrats sont des surfaces réactives idéales pour La complexation ionique et l'attachement microbien, fournissent également une haute résistance hydraulique suffisante Conductivité pour éviter le court-circuit dans le système (Sim, C.H. 2003).

Les massifs filtrants des deux étages seront constitués des matériaux drainant suivants :

III.13.1.1 Massifs filtrants des filtres du 1^{er} étage :

Les massifs du premier étage seront constitués des couches suivantes :

- couche superficielle filtrante (épaisseur 60 cm), constituée de gravier roulé de rivière fin 3/8 ; avec un taux de fine < 3 % et de teneur en calcaire < 5 % ;
- couche de transition empêchant la ségrégation des matériaux fins (épaisseur 10 cm) : matériaux 10/20 mm.
- couche drainante (épaisseur 20 cm) : galets 20/60 mm .
- géotextile sous géomembrane et sur géomembrane. .
- géomembrane assurant l'étanchéité du fond et des côtés du filtre, épaisseur 10/10°.
- cloison étanche entre chaque casier (cloison béton de 30 cm d'épaisseur avec fondation).
- mise en place d'une bâche de paillage pour l'intégration paysagère sur les talus intérieur des bassins avec ancrage sur les berges et ancrage par les matériaux du bassin.

Tableau III-6: Massifs filtrants des filtres du 1er étage.

Couche	Granulométrie	Épaisseur (cm)
Couche filtrante	Gravier 3/8 mm	60
Couche de transition	Gravier 10/20 mm	10
Couche drainante	Gravier 20/60 mm	20

III.13.1.2 Massifs filtrants des filtres du 2^{er} étage :

Le deuxième étage sera constitué des couches suivantes :

- couche filtrante (épaisseur 60 cm), constituée de sable alluvionnaire siliceux lavé.
- couche de transition empêchant la ségrégation des matériaux fins (épaisseur 10 cm) : matériaux 10/20 mm.
- couche drainante (épaisseur 20 cm) : galets 20/60 mm.
- géotextile sous géomembrane et sur géomembrane.
- géomembrane assurant l'étanchéité du fond et des côtés du filtre, épaisseur 10/10^e.
- cloison étanche entre chaque casier (cloison béton de 20 cm d'épaisseur avec fondation).
- mise en place d'une bâche de paillage pour l'intégration paysagère sur les talus intérieur des bassins avec ancrage sur les berges et ancrage par les matériaux du bassin.

Tableau III-7: Massifs filtrants des filtres du 2er étage

Couche	Granulométrie	Épaisseur (cm)
Couche filtrante	Sable alluvionnaire siliceux lavé 0,25 mm < d ₁₀ < 0,40 mm, 3 < CU ≤ 5 Teneur en fines < 3% en masse Teneur en calcaire CaO < 20% en masse	60
Couche de transition	Gravier 10/20 mm	10
Couche drainante	Gravier 20/60 mm	20

Les lits du deuxième étage seront plantés de roseaux communs selon les mêmes dispositions que le premier étage.

III.14 Pente :

Le fond des filtres peut être légèrement en pente pour permettre de faciliter leur vidange. La surface du filtre doit rester plane afin de permettre une meilleure répartition de l'eau pendant l'alimentation du filtre. Une pente de 1% peut suffire

III.15 Plantation :

les macrophyte sélectionnés doivent répondre aux critères suivants (Alexandros Stefanakis et al.2014) :

- ✓ Ils doivent être bien adaptés aux conditions écologiques locales. Ceci est essentiel pour qu'ils ne présentent aucun risque quant à l'apparition éventuelle d'une maladie dans la flore locale et dans les écosystèmes environnants.
- ✓ Ils doivent être tolérants à une variété de polluants présents dans les eaux usées (par exemple, matières organiques, azote, phosphore, métaux lourds, etc.), avec une capacité d'élimination élevée simultanée soit par absorption directe, soit indirectement en fournissant les conditions nécessaires (Par exemple, transfert d'oxygène amélioré) Pour d'autres mécanismes d'élimination.
- ✓ Ils devraient être facilement adaptés à l'environnement et présenter une croissance et une propagation relativement rapide.
- ✓ Ils devraient être facilement disponibles sur le marché local pour acheter ou, de préférence, dans la région pour la transplantation de la tige.
- ✓ Il est crucial que les espèces indigènes locales soient utilisées, puisque l'importation et l'établissement d'espèces exotiques, pas naturellement présentes dans la région, peuvent créer plusieurs risques écologiques, par exemple, invasion et/ou maladies. En outre, il y a toujours la possibilité que les espèces exotiques ne soient pas adaptées aux nouvelles conditions climatiques. Les plantes qui croissent dans à proximité de zones humides naturelles et peuvent développer un système racinaire étendu sont préférables, car cela signifie qu'elles peuvent croître dans un substrat saturé.
- ✓ Enfin, les espèces sélectionnées doivent être tolérants contre périodes avec différents niveau de saturation (haut volume d'affluent et périodes de sécheresse courtes).

- ✓ La plantation s'effectue à raison de 4 à 6 plants /m² entre mai et août.

Plusieurs espèces des plantes peuvent être utilisées mais les roseaux de type Phragmites Australis, par leur résistance aux conditions rencontrées (longues périodes submergées du filtre puis période sèche, fort taux de matières organiques) et la rapide croissance du chevelu des racines et rhizomes sont les plus souvent utilisés dans les climats tempérés.

La croissance des roseaux :

La densité des roseaux est un indicateur de la « bonne santé » des filtres. La taille des roseaux doit avoir lieu tous les ans, à l'exception de la première année.

Le climat définit si la taille doit avoir lieu au début ou à la fin de l'hiver. De façon générale, si les hivers sont rudes, il est conseillé de laisser les roseaux faner naturellement et de constituer un paillage naturel sur le filtre, ceci est aussi conseillé dans le cas de stations surdimensionnées afin d'améliorer la composition de la litière en surface.

Par ailleurs, ce milieu, particulièrement nutritif et humide, est susceptible d'attirer d'autres végétaux, et peut ainsi être envahi par des plantes indésirables, pouvant nuire au bon fonctionnement physique, en colmatant partiellement certaines zones.

Il convient donc de surveiller leur croissance, de les éliminer lorsque leur présence est encore très localisée et ne nécessite que quelques arrachages manuels, afin de ne pas les laisser prendre une dimension qui pourrait induire des opérations de désherbage de grande ampleur et contraignante.

III.16 Les boues :

Les boues sont stabilisées, minéralisées et déshydratées en aérobiose à la surface des filtres du premier étage. Leur siccité moyenne attendue est supérieure à 20%.

L'évacuation des boues du premier étage est réalisée tous les 10 à 15 ans. Ces boues sont fortement minéralisées et ne sont donc pas fermentescibles comme celles d'autres procédés.

Leur évacuation peut être réalisée à l'aide d'une mini pelle équipée d'un godet de curage de fossé avec une lame relativement tranchante. Les engins utilisés doivent

pouvoir accéder à la périphérie des lits. Les rampes d'alimentation doivent pouvoir être démontées lors de cette opération.

III.17 Rejet :

L'infiltration des eaux traitées sous le deuxième étage peut être intéressante en cas de sensibilité forte du milieu récepteur. Cette pratique permet de bénéficier d'une épuration complémentaire et d'une dispersion dans le sol en place. Sa faisabilité est à déterminer par une étude géotechnique et le risque de pollution des eaux souterraines est à apprécier par une étude hydrogéologique. Par ailleurs, un dispositif d'échantillonnage représentatif de la qualité globale du rejet doit être mise en place au niveau de la couche drainante qui assure l'interface avec le sol en place. L'exutoire des stations dépend de la situation géographique de la station et de la sensibilité du milieu récepteur pour le site étudié les eaux sont rejetées dans un milieu naturel (un oued).

Conclusion :

Chacun des étages est fractionné en plusieurs unités, de manière indépendante. Chaque unité du 1er étage reçoit la charge polluante intégrale pendant la phase d'alimentation durant quelques jours (3 à 4 jours) puis est mise au repos pendant une période double (6 à 8 jours). Ces phases d'alternance et de repos sont fondamentales pour réguler la croissance de la biomasse fixée, maintenir des conditions aérobies dans le massif filtrant (sable, gravier et rhizomes) et minéraliser les dépôts organiques provenant des MES des eaux brutes retenues en surface des filtres du 1er étage. Ensuite l'effluent est envoyé sur le 2eme étage où il subit un traitement de finition et notamment la nitrification des composés azotés.

Les eaux sont introduites sur les deux étages par à-coups hydrauliques (bâchées) grâce à un dispositif de stockage et d'alimentation à fort débit (pompes, siphon auto-amorçant,...) afin d'assurer la meilleure répartition des eaux (et des matières en suspension pour le premier étage) sur l'ensemble de la plage d'infiltration disponible ainsi qu'un renouvellement de l'oxygène entre chaque bâchée.

Afin de répondre à des contraintes spécifiques locales d'ordres techniques ou économiques, le principe d'épuration par FPR peut s'adapter à des contextes particuliers. C'est pourquoi les variantes sont d'ores et déjà nombreuses.

Lorsque le maître d'ouvrage ne souhaite pas, pour diverses raisons qui peuvent être aussi d'ordre psychologique, épandre directement des eaux usées brutes à la surface des filtres A, des traitements primaires, tel que décanteur digesteur ou un premier bassin de lagunage naturel, sont installés à l'amont de filtres B.

Pour chacune de ces variantes, on tient alors compte des dispositifs de traitement amont et de leur efficacité afin d'adapter le dimensionnement des filtres.

Les rendements minimums à atteindre pour la station d'après la réglementation sont les suivants :

Tableau III-8: Les rendements minimums à atteindre pour la station d'après la réglementation.

Paramètres	Concentration (mg/l)
DBO5	35
DCO	120
MES	35
NTK	30
Pt	10

Les niveaux de rejet doivent respecter les valeurs limites en concentration pour les paramètres DBO5, DCO, MES, NTK et Pt. Les valeurs à respecter sont données en concentration moyenne.

Le pH de l'effluent doit se situer entre 6 et 8.5 et la température du rejet doit être inférieure à 30°C.

Le rejet ne doit pas comprendre de substance de nature à favoriser la manifestation d'odeurs. La couleur de l'effluent ne doit pas provoquer une coloration visible du milieu récepteur.

Chapitre IV: Calcul hydraulique

Introduction :

Les ouvrages prévus dans la station seront implantés sur le site réservé en tenant compte :

- La forme du site.
- Une réduction de canalisation.
- Une bonne communication entre les ouvrages.
- Assurance d'un écoulement gravitaire des fluides dans la station.

IV.1 Le déversoir d'orage :

IV.1.1 Objectifs :

Le déversoir d'orage doit faire l'objet d'une attention particulière :

- Par temps sec : aucun déversement ne doit avoir lieu
- Par temps de pluie : le réglage doit permettre des déversements afin que le débit admissible sur l'installation soit égal au débit nominal temps de pluie défini par le constructeur.

IV.1.2 Définition :

En hydraulique urbaine, un déversoir est un dispositif dont la fonction réelle est d'évacuer par les voies les plus directes, les pointes exceptionnelles des débits d'orage vers le milieu récepteur. Par conséquent, un déversoir est un ouvrage destiné à décharger le réseau d'une certaine quantité d'eaux pluviales de manière à réagir sur l'économie d'un projet en réduction du réseau aval.

Les déversoirs sont appelés à jouer un rôle essentiel notamment dans la conception des réseaux en système unitaire.

IV.1.3 Emplacement des déversoirs d'orage :

Avant l'emplacement des déversoirs d'orage il faut voir :

- Le milieu récepteur et son équilibre après le rejet des effluents dont il faut établir un degré de dilution en fonction du pouvoir auto épurateur du milieu récepteur.

- Les valeurs du débit compatibles avec la valeur de dilution et avec l'économie générale du projet, c'est à dire rechercher le facteur de probabilité de déversement de façon à limiter la fréquence des lâcheurs d'effluents dans le milieu récepteur.
- La capacité et les surfaces des ouvrages de la station d'épuration pour éviter les surcharges et le mauvais fonctionnement.
- Le régime d'écoulement de niveau d'eau dans la canalisation amont et aval
- Topographie du site et variations des pentes. [9]

IV.1.4 Les types des déversoirs :

On distingue plusieurs types de déversoir

Déversoir à seuil latéral et conduite aval étranglée :

Pour le calcul de cet ouvrage il faut que l'écoulement en amont soit fluvial.

La présence d'un seuil élevé (marge de sécurité) conduit à la formation d'un ressaut dans la conduite d'amenée. Les vannes utilisées sur les conduites de décharges peuvent être manipulées en fonction du débit transité par le déversoir.

- Déversoir a seuil latéral et conduite aval libre :

Ce type de déversoir diffère du précédent essentiellement par le fait que la conduite aval a un écoulement libre, si pour le débit max. d'orage la charge sur la crête aval est nulle. Ce type de déversoir assurera un débit aval constant quel que soit le débit déversé.

- Déversoir d'orage à ouverture au fond :

Dans ce type d'ouvrage : le débit d'eau usée transite à travers une ouverture pratiquée dans le radier de la canalisation.

On a d'autres types de déversoirs comme :

- Les déversoirs à seuil frontal.
- Les déversoirs siphoniques.
- Les déversoirs automatiques.

IV.1.5 Choix du déversoir d'orage :

Le déversoir d'orage sera de type lame déversante frontale, car il n'occupe pas beaucoup d'espaces, ainsi que le problème des dépôts qui ne se pose pas. Aussi,

ajoutons que le collecteur se trouve à la proximité de l'oued et le débit déversé se dirige vers l'oued.

IV.1.6 Dimensionnement du déversoir d'orage :

Pour notre cas nous optons pour la double dilution, c'est à dire, une partie d'eau usée domestique pour une partie d'eau pluviale. Donc, le débit qui se dirige vers la station d'épuration par l'intermédiaire du déversoir d'orage est égal à deux fois le débit de temps sec. Le débit restant sera rejeté vers l'exutoire par caniveaux ou par conduite.

Mode de calcul :

Pour le calcul des déversoirs d'orage on doit adopter le débit total de dimensionnement qui est égal à la somme des débits en temps sec (QUS) et du débit pluvial (QP).

IV.1.6.1 Calcul de débit pluvial :

il existent plusieurs formules de calcul de débit pluviales, parmi lesquelles, la méthode rationnelle et la méthode superficielle qui sont les modèles les plus répandus actuellement en effet la méthode la plus utilisée pour le calcul du débit des eaux pluviale est la méthode superficielle de Caquot du fait qu'elle donne des résultats satisfaisants.

$$Q = C \times I \times A \quad \text{IV-1}$$

Avec

Q=débit des eaux pluviales

C= coefficient de ruissèlement dépend de la désignation du type d'organisme ou d'occupation du sol.

Tableau IV-1: coefficient de ruissèlement.

Désignation du type d'urbanisation ou d'occupation du sol	Coefficient de ruissèlement moyen *
Centre ville d'agglomération importante, habitat très dense, "Vieille ville"	0.80 - 0.95
Zones d'habitat collectif, banlieue sans jardins ni espaces verts	0.60 - 0.80
Zones d'habitat semi-collectif, quartiers récents avec espaces verts	0.40 - 0.60
Zones résidentielles ou pavillonnaires	0.25 - 0.45
Centre d'agglomération rurale	0.15 - 0.35
Zone artisanale	0.30 - 0.80
Zone industrielle	0.50 - 0.80
Zone portuaire	0.70 - 0.90
Zone ferroviaire	0.20 - 0.35
Terrain de sports et de jeux	0.20 - 0.40
Cimetières	0.4
Chaussées, parkings, voies piétonnes	0.70 - 0.90
Espaces verts	0.10 - 0.25
Jardins et parcs	0.05 - 0.20
Bocage	0.04 - 0.08
Zones cultivées	0.06 - 0.10
Forêts, terrains incultes	0.01 - 0.10

Notre zone d'étude est une zone d'agglomération rurale donc d'après le tableau

$$C = (0.15-0.35)$$

En prend $C = 0.25$

$I =$ intensité des eaux pluviales ($I = 180 \text{ l/s/ha}$) source : SEAAL Tipaza

A : superficie à drainer = 10ha

$$Q_{\text{pluvial}} = 0.25 * 180 * 10 = 450 \text{ l/s} = 0.45 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{pluvia}} = 0.45 \text{ m}^3/\text{s}$$

IV.1.6.2 Calcul de débit total :

On calcule le débit total par la formule suivante :

$$Q_T = Z * Q_P + Q_{US} \quad \text{IV-2}$$

Avec

$$- \quad Q_{US} = 1.7028 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- z coefficient de retardement ; Le coefficient de retardement a pour but la diminution des débits pluviaux, cette diminution peut être prise en considération dans le dimensionnement des déversoirs d'orage

$z = (1 - (t_c/100))$ avec t_c : temps de concentration $t_c = 15 \text{ min}$

On a $Z = 0.85$

On obtient : $Q_T = (0.85 * 0.45) + 1.7028 * 10^{-3} = 0.39 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_T = 0.39 \text{ m}^3/\text{s}.$$

IV.1.6.3 Calcul de débit de step :

$Q_{ST} = 2 * Q_{US} = 2 * 1.7028 * 10^{-3} = 0.003706 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_{ST} = 0.003706 \text{ m}^3/\text{s}.$$

IV.1.6.4 Calcul de débit déversant :

$Q_d = Q_T - Q_{ST} = 0.39 - 0.003706 = 0.386 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_d = 0.386 \text{ m}^3/\text{s}.$$

IV.1.6.5 Calcul de la valeur de la lame déversée (H_d)

La Hauteur d'eau totale :

- Rapport du débit :

$$R_Q = \frac{Q_{total}}{Q_{pleine\ section}} \quad \text{IV-3}$$

- Rapport d'hauteur :

$$R_h = \frac{H_{total}}{Diametre}. \quad \text{IV-4}$$

on a : $Q_{total} = 0.39 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$I = 0.09$$

D'après l'abaque de Bazin (01) :

- $D_{step} = 500 \text{ mm}$
- $Q_{ps} = 0.72 \text{ m}^3/\text{s}$.

on obtient $R_Q = \frac{0.39}{0.72} = 0.54$

- donc $R_Q = 0.54$ et a partir de l'abaque on trouve $R_h = 0.4$.

$$- H_{\text{total}} = D.R h = 500 * 0.4 = 200 \text{ mm}$$

$$HT = 200 \text{ mm}$$

Hauteur d'eau allant vers la station de l'épuration :

Pour calculer la hauteur d'eau transitée vers la station d'épuration on doit passer au calcul de :

- Rapport du débit :

$$R_Q = \frac{Q_{\text{step}}}{Q_{\text{pleine section}}} \quad \text{IV-5}$$

- Rapport d'hauteur :

$$R_h = \frac{H_{\text{step}}}{\text{Diametre}} \quad \text{IV-6}$$

$$\text{on a : } Q_{\text{step}} = 0.0034060 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$I = 0.09$$

D'après l'abaque de Bazin (01) :

$$D_{\text{step}} = 300 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{ps}} = 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{on obtient } R_Q = \frac{0.003406}{0.2} = 0.02$$

donc $R_Q = 0.02$ et a partir de l'abaque on trouve $R_h = 0.04$

$$H_{\text{step}} = D.R h = 300 * 0.04 = 12 \text{ mm}$$

$$H_{\text{ST}} = 12 \text{ mm}$$

On détermine la longueur du seuil, déversant (L).

Hauteur de la lame déversante :

On doit calculer la hauteur de la lame d'eau déversante

$$H_d = H_t - H_{\text{st}} = 200 - 12 = 188 \text{ mm}$$

$$H_d = 188 \text{ mm}$$

Longueur du seuil déversant :

On applique la formule de BAZIN

$$L = \frac{3Q_d}{2\mu(2g)^{\frac{1}{2}} \times (H_d)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{IV-7}$$

Q _d = 0.386 m ³ /s
--

μ : coefficient de contraction de la lame déversante qui tient compte de l'écoulement ($\mu=0,6$)

L : La longueur du déversoir (longueur de la lame déversante) exprimée en mètres

g : accélération La pesanteur : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

H_d : La hauteur de charge en m au-dessus du seuil du déversoir (H_d = 0.188m)

On obtient : $L = \frac{3 \times 0.386}{2 \times 0.6 \times (2 \times 9.81)^{\frac{1}{2}} \times (0.188)^{\frac{3}{2}}} = 2.4 \text{ m}$

L = 2.4m

Dimensionnement de la conduite de fuite

C'est une conduite qui sert à évacuer l'eau de pluie rejetée par le déversoir d'orage vers l'oued ainsi pour avoir un bon écoulement, cette conduite doit être en béton.

On impose une pente de 0.1 (m/m)

$$Q_d = 0.386 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'après l'abaque de Bazin (01) on aura :

$$D_d = 500 \text{ mm}$$

$$Q_{ps} = 0.72 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donc $R_Q = 0,54$ abaque de Bazin (02) on aura : $R_h = 0,55$; $R_v = 1$

Les résultats obtenue présenter dans le tableau suivant :

Tableau IV-2 : les caractéristiques du déversoir d'orage.

Paramètres	Caractéristiques
Débit de pointe arrivant dans l'ouvrage (m ³ /s)	0.39
Débit d'alimentation de la filière de traitement (m ³ /s)	0.0034060
Débit vers trop-plein (m ³ /s)	0.386
Hauteur de la lame déversante (m)	1.88
Longueur de la lame déversante (m)	2.4

IV.2 Poste de relevage :

IV.2.1 Objectifs :

Sur certaines installations, en raison de la topographie, un poste de relèvement est nécessaire.

Les données de bases :

IV.2.2 Le débit de la pompe :

$$Q_p = Q^*(24/\text{temps de fonctionnement})$$

IV-8

$$Q_p = 3.406*(24/18)$$

$$Q_p = 4.54 \text{ l/s}$$

IV.2.3 La longueur entre la station de pompage et la step :

$$L = 400 \text{ m}$$

La cote de poste de relevage :

$$C_{pr} = 31 \text{ m}$$

La cote de la step :

$$C_{sp} = 49.5 \text{ m}$$

IV.2.4 Détermination de la hauteur de d'élévation :

La hauteur d'élévation est calculée par la formule suivante :

$$\text{HMT} = \text{Hg} + \Delta\text{H}_{\text{T+P}} \quad \text{IV-9}$$

Avec :

Hg : Hauteur géométrique (m)

Σh_p : Pertes de charges (m)

P=pression nécessaire à l'exhaure (1-1.5) m

$$\Delta\text{H}_{\text{T}} = \Delta\text{H}_{\text{lin}} + \Delta\text{H}_{\text{sing}} \quad \text{IV-10}$$

Application numérique :

$$\text{Hg} = C_2 - C_1 = 49.5 - 31 = 18.5\text{m}$$

$\text{Hg} = 18.5\text{m}$

Calcul du diamètre :

Par la formule de Bonin :

$$D = \sqrt{Q} \quad \text{IV-11}$$

$$\sqrt{0.0045} = 0.0607 \text{ m}$$

On prend

$D = 75\text{mm}$

Calcul des pertes de charge :

$$\Delta H_T = \Delta H_{lin} + \Delta H_{sing} \quad \text{IV-12}$$

- **Perte de charge linéaire :**

$$\Delta H_{lin} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{IV-13}$$

- **Perte de charge singulière :**

$$\Delta H_{sing} = (5 \text{ a } 10\%) \Delta H_{lin} \quad \text{IV-14}$$

Avec :

$$\lambda = (1.14 - 0.86 \log(\varepsilon/D))^{(-2)}$$

ε pour le matériau PEHD = $6 \cdot 10^{-3}$ mm

$$\lambda = (1.14 - 0.86 \log(0.006/75))^{(-2)}$$

$$\lambda = 0.046$$

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0.0045}{\pi(0.075)^2} * 4 = 0.26 \text{ m/s}$$

$$V = 0.26 \text{ m/s}$$

$$\text{Donc : } \Delta H_{lin} = 0.046 \frac{400}{0.075} \frac{0.26^2}{2 * 9.81} = 0.85 \text{ m}$$

$$\Delta H_{lin} = 0.85 \text{ m}$$

$$\Delta H_{sing} = (7.5\%) * 0.85 = 0.06375 \text{ m}$$

$$\Delta H_{sing} = 0.06375 \text{ m}$$

Alors :

$$\Delta H_T = \Delta H_{lin} + \Delta H_{sing} = 0.85 + 0.06375 = 0.9 \text{ m}$$

$$\Delta H_T = 0.9 \text{ m}$$

On obtient :

$$\text{HMT} = \text{HMT} = H_g + \Delta H_T + P = 18.5 + 0.9 + 1.25 = 21 \text{ m}$$

$$\text{HMT} = 20.65 \text{ m}$$

Puissance absorbée P_a :

On a

$$P_a = \frac{\rho * g * Q * HMT}{\eta} \quad \text{IV-15}$$

- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $HMT = 20.65 \text{ m}$
- $Q = 4.54 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
- $\eta = R_h * R_e = 0.65 * 0.85 = 0.55$

on obtient :

$P_a = 1672.177 \text{ watt}$

IV.3 Profil hydraulique :

Le profil hydraulique consiste à calculer les différents niveaux d'eau le long de la chaîne de traitement, puis relier ces niveaux par une ligne appelée (ligne piézométrique).

IV.3.1 Calcul des cotes piézométriques des différents ouvrages :

On calcule les cotes piézométriques d'après l'équation de Bernoulli donnée par :

$$P_1/W + V_1^2/2g + Z_1 = P_2/W + V_2^2/2g + Z_2 + H_{1-2} \quad \text{IV-16}$$

P_1/W et P_2/W : énergies de pression dans les sections (1) et (2).

$V_1^2/2g$ et $V_2^2/2g$: énergies cinétiques en (1) et (2).

Z_1 et Z_2 : cotes des points (1) et (2).

H_{1-2} : pertes de charges dans le tronçon (1-2).

La variation de vitesse est très faible, donc les énergies cinétiques peuvent être éliminées il vient :

$$P_1/W + Z_1 = P_2/W + Z_2 + H_{1-2}$$

Posons : $P_1/W = H_1$ et $P_2/W = H_2$ donc :

$$H_1 + Z_1 = H_2 + Z_2 + H_{1-2}$$

La cote piézométrique au un point = cote de radier + la hauteur d'eau dans l'ouvrage

Tableau IV-3: cotes piézométrique des zones d'implantation des ouvrages.

Ouvrages	Cote naturel (m)	cote terrain (m)	Cote radié (m)	H(m)	Cote piézométrique(m)
Dégrilleur	49.5	49.5	0.35	49.85	
Bâchée 1	49.5	47.7	3	50.7	
Filtre 1	46.5	46.5	0.93	47.43	
Bâchée 2	46	43.4	3	46.4	
Filtre 2	42.5	42.5	0.93	43.43	

IV.4 Calcul de perte de charge, diamètre et longueur des conduites :

Pour calculer les pertes de charge dans les conduites on utilisera la formule de Darcy définie par :

$$\Delta H = \lambda \frac{LV^2}{2gD} \quad \text{IV-17}$$

$$\text{Avec } \lambda = (1,14 - 0,86 \ln \frac{\varepsilon}{D})^2$$

Puisque le PVC à une rugosité entre (0.01-0.025) mm on prend 0.02 mm donc :

$$\lambda_1 = 1.015 \quad \lambda_2 = 0.012$$

Pour cela on doit connaître les paramètres suivants :

- Les longueurs des conduites (qui peuvent être déduites du schéma d'implantation donc peuvent être calculées).

- Les diamètres des conduites.
- Le débit qui est connu.
- La nature du matériau : conduites PVC.

IV.4.1 Dimensionnement des conduites reliant les différents ouvrages

Pour tous nos calculs on utilisera les longueurs équivalentes pour tenir compte des pertes de charges singulières.

$$L_{eq} = 1,15. L_{réelle} \quad \text{IV-18}$$

Diamètres :

Nous avons choisi le PVC, comme matériau car il présente de bonnes caractéristiques du point de vue dureté, étanchéité et résistance à la corrosion et faible rugosité.

On calcule le diamètre par la formule de DARCY WEISBACH :

$$\Delta h = \frac{k \cdot L \cdot Q^\beta}{D^m} = C_{PA} - C_{PB} \quad \text{IV-19}$$

- Pour la conduite Dégrilleur –bâchée 1 :

On prend DN75

Avec :

K : coefficient de perte de charge (pvc) $k=0.001052$

Q : débit en m³/s ;(Q=84m³/j=9.72*10⁻⁴ m³/s)

L : longueur de la conduite 2.88m

D : diamètre de la conduite

β : coefficient dépendant du régime d'écoulement (pvc) β=1.77

m : coefficient dépendant du type de matériau de la conduite pvc m=4.774

ΔH : CpA-CpB=49.85-49.7=0.78m

- Pour les diamètres des conduites Bachee1-filtre1, Filtre1-bachée2, Bachée2-filtre2 DN315 (voir chapitre III)

Tableau IV-4 :longueur, diamètres et perte des charges de conduites reliant les ouvrages.

Ouvrages	Lréelle(m)	Leq (m)	D (mm)	ΔH (m)
Dég-bachee1	2.5	2.88	75	$3.31 \cdot 10^{-3}$
Bachee1-filtre1	43.5	50.025	315	$6.087 \cdot 10^{-5}$
Filtre1-bachée2	78.26	90	315	$1.095 \cdot 10^{-4}$
Bachée2-filtre2	7.79	8.96	315	$1.09 \cdot 10^{-5}$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons lente de dimensionner les déférents conduites entre le Les ouvrages de la step et on a déterminé les cotes piézométriques qui nous permettre de tracer le profil hydraulique.

Chapitre V: Réalisation, gestion et exploitation de la mini step

Introduction :

Après dimensionnement de la station d'épuration, elle doit être suivie et entretenue pour assurer son bon fonctionnement. Une exploitation régulière, simple et rigoureuse doit être réalisée. L'exploitation non adaptée peut conduire à des dysfonctionnements sources de colmatage et mauvais fonctionnement épuratoire.

Le chapitre précédent nous avons traité la conception de la step .dans ce chapitre nous allons traiter la réalisation, la gestion et l'exploitation de la step.

V.1 La réalisation :

Objet :

Elle correspond aux phases de travaux et de mise en œuvre des matériaux. Les principales opérations à exécuter dans cette phase sont normalisées et le Cadre Guide pour un CCTP Filtres Plantés de Roseaux regroupe une liste de toutes les normes actuelles associées aux différents travaux que nécessite ce type d'ouvrage. Ne sont citées ici que les vérifications et dispositions à prendre concernant la validation des granulats et leur mise en œuvre.[6]

V.2 Terrassement

Il consiste à réaliser en pleine masse :

- les terrassements pour la pose des filtres.
- les tranchées de liaison pour la pose des canalisations reliant les différentes unités de traitement.
- une tranchée ceinturant l'ensemble de la filière pour la pose des drains périphériques.

Les déblais sont mis en dépôt, repris et mis en œuvre en remblai compacté. Cette opération de compactage est réalisée avec un soin particulier au niveau des parois des filtres pour éviter tout foisonnement ou tassement ultérieur.



Figure V-1: terrassement FPR.

V.2.1 Revanche et cloison :

La hauteur de revanche compatible avec une accumulation de boue (20cm), permet la mise en charge de la surface sans risque de débordement. Elle est comprise entre 30 et 90 cm ;

Pour notre étude on prend une revanche de 50cm.

V.2.2 Géomembrane :

L'ensemble des bassins ont subi des tests d'étanchéité avant la mise en place des matériaux. Ces tests sont soit une mise en charge des bassins (pompage d'eau dans un ruisseau), soit un test de pression entre les soudures des bandes de géomembrane. La mini step possède une étanchéité artificielle grâce à la mise en place de géomembrane au fond des bassins. En effet, les filtres sont drainés, il est important de récupérer 100% des eaux filtrées. Le 2^{ème} étage n'est étanchéifié que sur 10% de la surface, ce qui permet une infiltration du rejet ; la zone étanchéifiée permet un prélèvement de l'eau traitée afin de pouvoir analyser la qualité du rejet.

On choisira une *géomembrane* couverte par une membrane en PEHD d'épaisseur de 1.5 mm minimum.

La pose de géomembrane nécessite un assemblage de plusieurs tronçons soudés ne pouvant être réalisé que par une entreprise spécialisée.



Figure V-2 : Exemple de mise en œuvre d'une étanchéité par géomembrane à Hachenoua.

La géomembrane couvre les berges sur une hauteur au moins égale à celle de la revanche et est ancrée en partie haute du filtre.

Le schéma de principe de la géomembrane est présenté en (Annexe N°3).

V.2.3 Pose des drains et des cheminées d'aération :

Il faut poser les drains de collecte qui permettront de récupérer les eaux traitées ils seront constitués de tubes PEHD thermo-soudés ou à emboîtement ou des drains en PVC. Ils seront de diamètre Ø100 mm et pourvus de fentes de 5 mm sur 1/3 de la circonférence tous les 15 cm orifice vers le bas.

Les cheminées d'aération ont un diamètre de 100 mm. Elles sont placées verticalement dans chacun des angles des filtres et reposent sur la couche de fond. Il faut 4 cheminées par massif filtrant soient 8 cheminées par étage .L'extrémité à l'air libre est équipée d'un chapeau de ventilation.

V.2.4 Granulats :

La qualité des matériaux filtrants est une condition primordiale pour le bon fonctionnement du filtre.

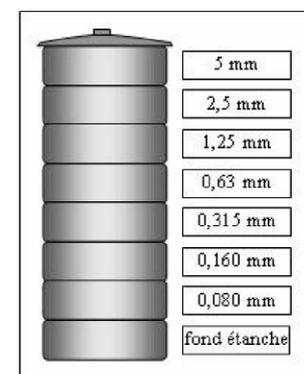
Les graviers et sables utilisés doivent être roulés, lavés (absence de fines) et siliceux. La granulométrie doit impérativement être contrôlée lors de chaque livraison de matériaux, des tests de percolation peuvent également être réalisés en complément.

Sur les mini step, le 1^{er} étage est constitué des 3 couches successives et le 2^{ème} étage de 3 à 4 couches. Les épaisseurs et la granulométrie correspondent globalement aux préconisations du CEMAGREF.

V.2.5 Réaliser systématiquement les analyses exigées :

La validation des matériaux doit faire l'objet de plusieurs analyses granulométriques à différentes phases, afin de vérifier la conformité aux préconisations du marché comme suit :

- ✓ Analyse des matériaux chez le fournisseur, par le titulaire du marché et envoi des rapports d'analyses, pour acceptation, au maître d'œuvre.



FigureV-3: Illustration de l'empilement des tamis pour l'analyse granulométrique.

- ✓ Vérification par le maître d'œuvre de la conformité du matériau aux prescriptions, et livraison après autorisation donnée au titulaire du marché.
- ✓ Analyses du matériau livré selon un nombre d'analyses indiqué dans tableau (Annexe N°4).

V.2.6 Pratiquer les analyses conseillées en phase chantier :

V.2.6.1 Test de la teneur en fines :

Ce test est préconisé lors de la livraison, et pour lever rapidement tous les doutes sur le teneur en fine des matériaux.

Le protocole à suivre est le suivant :

Dans une bouteille en verre d'un litre (jus de fruit diamètre externe d'environ 90mm), remplir de 500 ml de sable ajouter de l'eau à environ 4/5 agiter vigoureusement laisser reposer pendant 30 minutes.

Une teneur en fine $< 3\%$ en masse suppose une épaisseur en fine ($h_1 - h_2$) < 3 mm déposée au dessus du sable. [6]

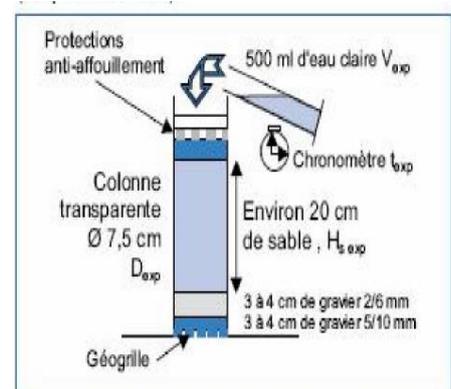


Figure V-4: Mesure de la propreté des graviers.(source :cemagref).

V.2.6.2 Test d'infiltration " de Grant" :

Ce test, destiné aux sables, est réalisé dans des conditions définies à l'eau claire. Il mesure les vitesses d'infiltration, et permet d'avoir une indication sur un risque de colmatage à long terme. (Voir Annexe N°5 : Protocole de test de Grant) La perméabilité est satisfaisante si le "Temps de Grant" est compris entre 50s et 150s.

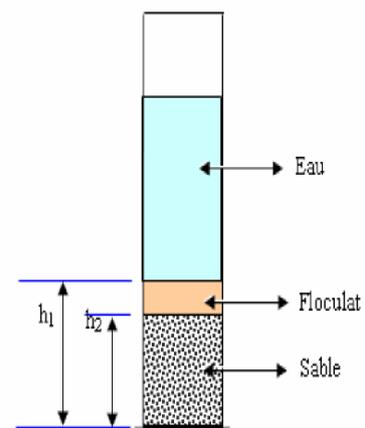


Figure V-5: Adaptation du test d'infiltration Grant (Cooper et al ;1996)

V.2.6.3 Test de perméabilité sur site :

Ce test peut être réalisé sur différentes couches après la mise en œuvre du matériau constituant chacune d'elles.

Deux types sont possibles, soit l'essai dit « Porchet », décrit dans le circulaire n° 97-49 du 22 Mai 1997 du Code Permanent Construction et Urbanisme, soit l'essai par la méthode d'infiltrométrie à double anneau selon la norme NF X 30-418.

Ces deux méthodes permettent d'approcher le coefficient de perméabilité, en mesurant le débit d'infiltration sur une surface saturée.

Pour l'essai « Porchet », la mesure s'effectue dans un trou, et la surface de filtration correspond au fond du trou et aux parois latérales.[6]

V.2.6.4 La mise en œuvre des granulats :

V.2.6.5 Avant la mise en œuvre, protéger les filtres :

Avant la mise en œuvre des granulats, les abords des lits sont généralement des sols dénudés, liés au terrassement, et propices à l'érosion par ruissellement, il est donc indispensable d'avoir, à ce stade, réalisé un système pour protéger la surface des lits contre les apports d'éléments fins liés au ruissellement. Soit le rehaussement de la bordure des lits de 20 cm, soit la réalisation d'un fossé autour des lits.[6]



Figure V-6 : Exemple d'un filtre non protégé risquant de collecter les ruissellements des abords.

V.2.6.6 Prévoir les conditions de stockage des granulats sur site :

Il est préférable d'éviter d'avoir à stocker les matériaux sur le site trop longtemps avant leur mise en œuvre.

Cependant si cela s'avère nécessaire, il est indispensable de prévoir des conditions de stockage protégeant les matériaux d'un risque d'apport de particules fines pendant toute la durée.

V.2.6.7 Réaliser avec précaution le remplissage des filtres :

Cette étape peut largement influencer le fonctionnement hydrodynamique et les capacités d'oxygénation des filtres.

Il est recommandé d'éviter un déchargement brut du matériau, et de procéder au remplissage par couche successive de 15 à 20 cm, afin d'éviter une ségrégation.

L'angularité des matériaux concassés les rend plus propices au compactage que les matériaux roulés. Une attention particulière devrait donc être apportée au remplissage de ce type de matériaux.

Il est aussi indispensable de contrôler les épaisseurs de chacune des couches. Un marquage faisant office de repère sur la géomembrane est un moyen simple de les vérifier.[6]

Le remplissage des filtres est réalisé avec des pelleteuses : pelle à chenille 20t pour la périphérie et pelle à chenille 2t dans le lit. Un tapis est placé sous les engins pour limiter le risque d'écrasement des drains et de détérioration de la géomembrane.



Figure V-7: Exemple de mise en place des granulats.



Figure V-8: Mini pelle sur chenille avec tapis de protection.

V.2.6.8 Plantation des roseaux :

Les roseaux adaptés à cette filière sont **Phragmites australis**. Des plants de ces variétés sont vendus par des entreprises spécialisées. Il faut planter 4 roseaux au m² et apporter l'arrosage nécessaire au démarrage.

V.2.7 Pose d'une clôture de protection :

Il est nécessaire d'entourer la station par une clôture (grillage, barbelés) pour empêcher l'incursion du bétail et le passage d'engins mécaniques.

V.2.8 Insertion paysagère :

L'aspect des filtres plantés de roseaux est en général considéré comme tout à fait acceptable. Néanmoins, si l'on souhaite encore améliorer l'intégration de la station dans le site, il est intéressant de procéder à un aménagement paysager, réalisé de préférence avec des arbres à feuilles persistantes.

V.3 Exploitation :

Objet :

Dernière étape clé et garante du bon fonctionnement d'un système de dépollution, cette phase comprend toute une liste d'opérations de maintenance et de contrôle à réaliser, avec une périodicité variable selon le type d'opération.

Il est souvent dit de ces procédés qu'ils sont robustes et rustiques, et que les opérations d'entretien qu'ils nécessitent sont moins lourdes que pour d'autres types de procédés.

Cependant, la régularité de ces opérations est capitale, sans quoi la pérennité et l'efficacité de l'installation pourraient être mises en danger. La mise en route de la station

V.3.1 Bien mener la réception :

Les essais de garantie attestant de l'atteinte des performances attendues doivent être réalisés dans des conditions de fonctionnement normal (avec une couche de boue formée) : dans un délai de trois à six mois après la mise en eau, en présence d'effluents non dilués et équilibrés, et après formation naturelle d'une couche de boue.

en présence d'effluents dilués ne permettant pas la formation naturelle d'une couche de boue, dans un délai de trois à six mois après application d'une couche superficielle (5 cm d'épaisseur) de litière organique (exemple : compost).

V.3.2 Apporter une attention particulière :

La fragilité des jeunes pousses de roseaux, et la concurrence avec des plantes indésirables. La sous charge de l'installation, lorsque les travaux de réseaux ne sont pas terminés, entraînant souvent des défauts de répartition et des vitesses d'infiltration excessives.

Il convient donc lors de cette période de suivre avec une grande vigilance le bon fonctionnement de tous les ouvrages, et de détecter le plus tôt possible les éventuelles anomalies pouvant nuire aux performances ou à la pérennité de l'installation.

Il est fortement recommandé aux exploitants de s'impliquer avec attention lors de cette période afin de se familiariser avec les points clés du système, garants du bon fonctionnement, et notamment les travaux d'entretien nécessaires.

V.3.3 Gestion et entretien :

Tableau V-gestion et entretien.

	Fréquence	Entretiens à réaliser
Dégrilleur	A chaque visite	-Nettoyer le dégrilleur et le by-pass Si absence de bac d'égouttage des déchets, stocker dans une poubelle perforée.
	Précautions	-Matériaux utilisé inoxydable (grille, râteau...)
	Le +	-Communication auprès de la population sur les problèmes engendrés par l'arrivée de lingette sur les stations d'épuration (obstruction des canalisations, perturbation des systèmes de bâchées)
	A chaque visite	Contrôle général visuel : - siphon et chasse auto-amorçant : vérifier que les flexibles ne fuient pas -remplacement si endommagement - chasse à clapet : vérifier quand la bâche est vide qu'il n'y est pas de dépôts pouvant gêner

Système de bâchée		la fermeture étanche du clapet. - poste de pompage : idem exploitation des postes de relevage Contrôler l'étanchéité
	Une fois/ Semaine	-Relever des compteurs de bâchées -Vérifier l'état du compteur de bâchée et le nettoyer -Nettoyer au jet l'ouvrage de bâchée
	Tous les mois	-Contrôler visuellement l'absence de corrosion.
	Dès que nécessaire	-Changer les piles du compteur des bâchées -Changer les flexibles des siphons ou chasses auto-amorçant (tous les 6 mois à 2 ans) – prévoir un jeu de flexible de rechange sur la station. -Lors de la période de mise en eau et de fonctionnement en dessous de la capacité nominale : réduire les volumes de bâchées (réglage de la hauteur de marnage...) pour limiter les temps de séjour, tout en conservant une lame d'eau suffisante.
Dispositif d'alternance	A chaque visite	-Alterner l'alimentation des lits 2 fois/semaine objectif : alimentation pendant 3,5 jours et repos 7 jours phase repos 2 fois plus longue que période d'alimentation. -Contrôler visuellement l'absence de dépôts nettoyer si nécessaire

Système de répartition des effluents	Une fois/ semaine	<p>-Contrôler visuellement lors d'une banchée pour vérifier que l'alimentation est homogène sur toute la surface du filtre</p> <p>=> si mauvaise répartition :</p> <p>- alimentation par drains posés au sol ou aérien : il faut nettoyer les drains :</p> <p>démonter les bouchons situés aux extrémités – nettoyer au jet la canalisation –nettoyer les orifices bouchés – remonter les bouchons – remettre en fonctionnement</p> <p>- autre mode d'alimentation : programmer une opération de curage</p> <p>-Contrôler visuellement que les systèmes anti-affouillement soient bien horizontaux pour garantir une alimentation homogène – repositionner manuellement si nécessaire (lors de période de repos) et nettoyer si nécessaire</p>
Massifs filtrants	Une fois/ semaine	-Contrôler visuellement la bonne répartition lors de l'alimentation
	Dès que nécessaire	<p>-Désherber manuellement (ne pas laisser les herbes arrachée à la surface des filtres)</p> <p>-Désherbants chimiques interdits dans les massifs et sur les abords des ouvrages (dissémination de substance toxique dans les eaux, effet inhibiteur à destructeur pour la biomasse)</p>
	Tous les 10ans	<p>Curer les boues</p> <p>- faucarder au préalable pour rendre visible les canalisations de répartition.</p> <p>- réaliser un plan de prévention sur les conditions d'accès au site, de circulation, et de</p>

		<p>logistique d'évacuation des boues curées doit être établi au préalable avec l'entreprise extérieure.</p> <ul style="list-style-type: none"> - évacuer l'intégralité des boues sur tous les massifs étant données les contraintes et les coûts liés à cette opération. - réaliser un plan d'épandage pour la valorisation agricole ou compostage. - la période de curage peut coïncider avec un épandage direct ou un temps de maturation (compostage) pour permettre l'élimination des pousses de roseaux. <p>Siccité (20-30%) MVS (35% au fond 60% en surface)</p> <ul style="list-style-type: none"> - utiliser : pelleteuse/Tractopelle équipé d'un godet assez large et tranchant (type curage de fossé) pour éviter de déstabiliser le massif filtrant en arrachant le système racinaire des roseaux. - adapter les périodes d'alimentation pour permettre la bonne remise en service des filtres avec une bonne infiltration.
	Le +	<ul style="list-style-type: none"> -Communication auprès de la population pour proscrire les rejets de peintures, solvants... qui se retrouveront dans les eaux usées et ensuite dans les boues. -Communication auprès des industriels ou assimilés (artisans, garagistes...) pour que leurs

		rejets soient compatibles avec la valorisation agricole (autorisation de raccordement, convention, prétraitement...).
Entretien des abords		-Tondre les espaces aux abords des filtres, élaguer les arbres (feuilles mortes à évacuer) -Désherber les liserons se développant sur les clôtures

Source : [9]

V.3.3.1 L'infiltration/Répartition

Vérifier l'absence de flaquage, et contrôler la bonne infiltration de l'effluent.

Dans le cas d'un flaquage isolé, procéder à un grattage léger et très superficiel de la couche de boues au niveau de la flaque, sans pour autant scarifier les granulats de surfaces, action qui pourrait entraîner des fines vers les couches inférieures et provoquer un colmatage en profondeur

En cas de colmatage sérieux sur une surface importante, procéder immédiatement à la mise au repos du lit concerné. Si ce colmatage se répète à nouveau lors de la nouvelle phase d'alimentation, réaliser un diagnostic du colmatage en vue de la réhabilitation du filtre, et prévenir, le cas échéant, les services d'assistance technique.

Contrôler régulièrement l'évolution de la couche de boues. Sa minéralisation, permettant sa fragmentation, et améliorant sa perméabilité est conditionnée par la régularité des rotations d'alimentation entre les filtres. En fonction de la hauteur utile de revanche restante, prévoir l'opération de curage.

V.3.3.2 La croissance des végétaux

La densité des roseaux est un indicateur de la « bonne santé » des filtres. La taille des roseaux doit avoir lieu tous les ans, à l'exception de la première année.

La coupe des roseaux ne doit pas avoir lieu la première année :

Le climat définit si la taille doit avoir lieu au début ou à la fin de l'hiver. De façon générale, si les hivers sont rudes, il est conseillé de laisser les roseaux faner naturellement et de constituer un paillage naturel sur le filtre, ceci est aussi conseillé dans le cas de stations surdimensionnées afin d'améliorer la composition de la litière en surface.

Dans le cas d'une alimentation souterraine par cheminée, boucher toutes les buses d'alimentation avant le faucardage, afin d'éviter tout dépôt de végétaux dans les conduites d'alimentation.

Par ailleurs, ce milieu, particulièrement nutritif et humide, est susceptible d'attirer d'autres végétaux, et peut ainsi être envahi par des plantes indésirables, pouvant nuire au bon fonctionnement physique, en colmatant partiellement certaines zones.

Il convient donc de surveiller leur croissance, de les éliminer lorsque leur présence est encore très localisée et ne nécessite que quelques arrachages manuels, afin de ne pas les laisser prendre une dimension qui pourrait induire des opérations de désherbage de grande ampleur et contraignante.

V.3.3.3 L'évacuation des boues et leur valorisation :

Le curage des boues doit être réalisé par des engins spécifiques, et ne circulant pas sur les filtres.

La valorisation agricole des boues est généralement la plus adaptée pour ce type d'installation, cependant elle reste soumise à la réglementation en vigueur¹.

Afin de s'assurer que les boues présentent un réel intérêt agronomique et très peu de risque lié aux éléments indésirables (métaux lourds, ...), il convient de communiquer à la population les comportements à adopter, concernant notamment l'utilisation de produits phytosanitaires ou de produits toxiques en général, afin d'éviter de retrouver des micropolluants persistants dans les boues.

V.3.3.4 Préconisations réglementaires :

V.3.3.5 Suivi hebdomadaire :

Ce suivi consiste à vérifier une fois/semaine les paramètres ammoniacque NH_4^+ et nitrates NO_3^- . La valeur repère à respecter pour être sur que les filtres fonctionnent correctement est : $\text{N- NH}_4^+ < 10 \text{mgN-NH}_4^+/\text{l}$.

V.3.3.6 Auto surveillance :

L'auto surveillance relève des obligations réglementaires imposées à l'exploitant du système d'assainissement, concernés de s'assurer du respect des niveaux de rejets et des performances épuratoires.

La mesure de débit a pour but de comptabiliser le volume d'eau traitée par la station. La mesure est généralement réalisée grâce à la présence d'un canal venturi ou d'un déversoir (sortie station), ou d'une mesure électromagnétique sur canalisation (entrée station).

Les obligations en matière d'auto surveillance doivent être mentionnées dans le manuel d'auto surveillance. Les fréquences des mesures, ainsi que les paramètres à analyser, sont dépendant de la capacité nominale de la station (kg de DBO5/j), de la taille de l'agglomération d'assainissement et d'éventuelles contraintes locales. Les données d'auto surveillance font l'objet d'une codification et d'une transmission informatisée au format Sandre vers les services concernés.

Dans le cas des ouvrages de types filtres plantés de roseaux, le dispositif de mesures de débit est généralement placé en sortie station (canal de jaugeage). En fonction de la capacité nominale de la station, un débitmètre est mis en place, afin de mesurer en continu les débits rejetés et de totaliser quotidiennement les flux.

Pour les stations de capacité nominale inférieure à 120 kg de DBO5/j (soit < 2000 EH), les bilans d'auto surveillance sont généralement réalisés avec des équipements portatifs.

Le compteur de bâchées n'est pas considéré comme un équipement de mesure de débit réglementaire. Pour autant, il reste une mesure acceptable et parfaitement adaptée aux stations de petites capacités.

EAUX BRUTES :

Situé en entrée de station, et le plus souvent en aval du déversoir d'orage en tête de station, le point de mesures sur les eaux brutes est le plus souvent composé d'un débitmètre électromagnétique placé sur la conduite de refoulement du poste de relevage. La mise en place d'un préleveur réfrigéré permet de calculer les flux admis en entrée de station d'épuration (prélèvement proportionnel au débit).

EAUX TRAITÉES

Avant rejet au milieu récepteur, la station est le plus souvent équipée d'un canal de jaugeage avec débitmètre (généralement un canal venturi avec mesure des hauteurs d'eau par sonde à ultrasons ou bulle à bulle). La mise en place d'un préleveur réfrigéré ou isotherme permet de calculer les flux rejetés en sortie de station d'épuration (prélèvement proportionnel au débit).

L'arrêté du 22 juin 2007 définit les normes de rejet minimales des stations et les fréquences des bilans d'auto surveillance :

Tableau V-1:2 les normes de rejet minimales des stations et les fréquences des bilans d'auto surveillance

20EH<STEP<500EH	500EH<STEP<1000EH	1000EH<STEP<2000EH
1 tous les 2 ans (+ zone sensible : N et P)	1/an (+zone sensible : N et P)	2/an (+zone sensible : N et P)

V.3.4 Hygiène et sécurité :

Comme toutes les stations d'épuration, les ouvrages utilisant des filtres plantés de roseaux comportent des risques. Il est indispensable d'en avoir connaissance afin de prévenir tout accident.

Voici la liste des principaux risques pouvant être rencontrés :

Risques de chute

Il s'agit de la première cause d'accidents dans l'exploitation des stations.

Pour les chutes verticales, les ouvrages comme les postes de relevage, les regards ou encore les dispositifs de bâchés sont les plus dangereux. Il faut également prendre garde aux chutes dites horizontales. Des facteurs favorisant les chutes peuvent survenir : présence de graisses, d'eau ou de déchets sur les sites.

Risques d'asphyxie et d'intoxication à l'H2S

Ces risques sont moins importants que pour d'autres types de station du fait qu'il y a moins d'espaces confinés. Néanmoins, dans les ouvrages d'entrée comme les postes de relevage ou les dispositifs de bâchées, le danger est bien réel. Rappelons que l'H2S n'est pas forcément détectable grâce à l'odorat. L'exploitant doit donc

demander un environnement de travail sécurisé s'il doit intervenir dans un espace confiné.

Risques électriques

Le danger est présent notamment sur les postes de relevage ou les systèmes de bâchées utilisant des pompes. Le personnel doit être habilité pour toutes les interventions (armoires électriques, etc).

Risques bactériologiques

L'exploitant pouvant être en contact direct avec des eaux usées, des précautions sont à prendre. Il ne faut ni manger ni fumer sur les sites. Le port de gants, de vêtements de travail et EPI (équipement de protection individuel) sont indispensables. La vaccination est également un moyen de protection (se référer à la médecine du travail).

Risques mécaniques

Prendre garde aux opérations de faucardage, de curage, aux interventions sur les pompes, sur les dégrilleurs automatiques et systèmes de bâchées qui présentent des risques de section et d'écrasement. Il faut absolument porter un équipement de sécurité et faire preuve de vigilance même si certaines opérations sont très fréquentes.

Risques liés aux opérations de levage

Pour tout relevage de pompes, système de bâchées ou canalisations, utiliser un matériel adapté et contrôlé régulièrement.

Risques dus à l'eau sous pression

Prendre garde aux projections directes ou indirectes qui peuvent entraîner des blessures. L'eau sous pression favorise également l'ingestion de bactéries devenues volatiles ou projetées. L'eau peut atteindre des infrastructures électriques (armoires électriques) avec risques d'électrocution.

Risques liés au bruit :

Se protéger individuellement pour les opérations de faucardage, entretien des abords et nettoyage sous pression.

Conclusion :

Le bon fonctionnement d'une station d'épuration est généralement conditionné par la bonne réalisation de trois étapes clés :

- ✓ la conception.
- ✓ la réalisation.
- ✓ l'exploitation.

Chapitre VI: Possibilité de la réutilisation des eaux traitées en irrigation.

Introduction :

Les besoins en eau augmentent mais la ressource reste la même La menace de crises majeures de l'eau s'installe dans plusieurs pays dans le monde, Afin de remédier à ce problème les regards se tournent désormais vers de nouvelles ressources non conventionnelles : eau de mer, eaux de pluie, eaux usées traitées les regards se tournent désormais vers de nouvelles ressources non conventionnelles : eau de mer, eaux de pluie, eaux usées traitées

VI.1 Le recyclage des eaux traitées :

L'objectif principale de la réutilisation est non seulement fournir des quantités d'eau supplémentaire de bonne qualité mais d'assurer l'équilibre de la protection du cycle environnemental, Ce recyclage remplit donc un double objectif d'économie de la ressource : il permet à la fois d'économiser les ressources en amont en les réutilisant, mais aussi de diminuer le volume des rejets pollués.

Les eaux recyclées sont utilisées dans plusieurs domaines :

- **Utilisation agricole :** la plus répandue, les eaux épurées ces dernières sont très riches des trois macronutriments qui sont présentés sous forme élémentaire N/P/K donc les études portant sur l'influence des eaux usées sur les cultures attestent d'une accélération de la croissance végétale et d'une augmentation significative du rendement, associées très clairement à l'apport d'éléments fertilisants par les eaux usées. Mais il y a un risque très important lorsque on irrigue avec l'eau épurée c'est la contamination par des microorganismes pathogènes, notamment des virus, des bactéries, des helminthes et des protozoaires. Donc il faut bien contrôler ce risque et bien respecter les normes.
- **Usage industriel :** l'industrie est le deuxième plus grand consommateur d'eau après l'agriculture avec environ 25% de la demande mondiale. La

réutilisation des eaux est principalement en deux voies (refroidissement et de chaudières).

- **Usages urbains et municipal** : c'est l'utilisation des eaux épurées pour le lavage de la ruelle et pour irriguer l'espace vert.
- **Usage en aquaculture** : les eaux traitées aussi servir à l'élevage des poissons et à la culture des plantes aquatiques destinées à la consommation humaine ou animale.
- **La recharge des nappes** : une autre possibilité de la réutilisation de ces eaux est la recharge des nappes phréatiques pour réduire, arrêter ou inverser la diminution de niveau des eaux souterraines.



Figure VI-1: qualité de l'eau en fonction de traitement appliqué aux eaux usées

VI.2 Performance et rendement des filtres plantés de roseaux :

VI.2.1 performances épuratoires.

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

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

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

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

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

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

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 :

Tableau VI-1; Performances épuratoires.

Qualité du rejet	DCO	MES	NK
Concentration (mg/l)	< 80	< 20	< 18
Rendement (%)	> 88	> 93	> 80

Source : « Cadre guide pour un CCTP Filtres plantés de roseaux », article II-1-1, « valeurs mesurées sur le territoire français, dans 95% des cas, à la sortie d'une filière constituée de 2 étages de filtres plantés de roseaux à flux vertical ».

Grâce à une enquête conduite en 2004 portant sur le parc français de filtres plantés de roseaux, il a été possible de constater que le rejet répond pleinement aux objectifs fixés par la réglementation. Plus précisément, lorsque les FPR reçoivent

une charge hydraulique modérée issue de réseau unitaire (inférieure à 0.60 m/j) et un effluent de concentration classique (840 mg DCO/L en moyenne), les caractéristiques du rejet obtenu sont alors celles rassemblées dans le Tableau suivant :

Tableau VI-2: performances épuratoires de chaque étage (Molle et al. 2004).

	1 ^{er} étage		2 ^{ème} étage		Totalité de la filière
	concentration (mg/L)	rendement (%)	concentration (mg/L)	rendement (%)	rendement (%)
DCO	145 ± 24	82 ± 3	55 ± 8	60 ± 8	91 ± 3
MES	33 ± 7	89 ± 3	11 ± 4	72 ± 7	95 ± 2
NK	35 ± 7	60 ± 6	6 ± 2	78 ± 7	85 ± 5

- Le rejet atteint au moins la qualité suivante :

Tableau VI-3: Performances épuratoires des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.

Paramètre	Performance	
	Source : guide sur les procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités - 2001	Source : CEMAGREF 2007 « CCTP filtres Plantés de roseaux »
DBO ₅	≤ 25 mg O ₂ /l / rendement > 98 %	
DCO	≤ 90 mg O ₂ /l / rendement de 95 %	< 80 mg O ₂ /l / rendement de 88 %
MES	≤ 30 mg/l / rendement > 98 %	< 20 mg O ₂ /l / rendement de 93 %
NTK	≤ 10 mg/l en général avec des pointes ne dépassant pas 20 mg/l	< 18 mg/l / rendement de 80 %
Phosphore	Abattement normalement faible (dépend de la capacité d'adsorption du substrat et de l'âge de l'installation)	/
Germes pathogènes	Elimination limitée : abattement de 1 à 2 log	/

VI.2.2 Déphosphotation :

La rétention des phosphates dans les filtres plantés de roseaux, et à plus large échelle dans les zones humides, est la conséquence de plusieurs mécanismes

Une assimilation bactérienne ainsi qu'une incorporation dans la matière organique en formant des complexes organiques faiblement solubles ou insolubles.

En conséquence, lors de la minéralisation (qui est recherchée pour minimiser le risque d'engorgement du massif) le P est relargué en solution.

Les roseaux, comme tous végétaux, utilisent du P pour leur croissance ;

Des mécanismes de rétention par des phénomènes d'adsorption - précipitation sur la phase solide, permettant des liaisons stables. [19]

VI.2.3 Traitement de l'azote :

La zone aérobie du haut du filtre permet la dégradation biologique de la matière organique et une phase de nitrification d'une partie de l'azote ammoniacal .

Dans la zone anoxique, le carbone encore disponible est utilisé pour dénitrifier et une rétention supplémentaire des MES est réalisée grâce à des vitesses d'écoulement plus faibles.

La nitrification est souvent élevée, notamment dans le 2ème étage où les conditions sont favorables (présence d'oxygène, absence de carbone facilement assimilable...).

Les rejets ont une concentration en nitrates souvent élevée (> 30 mg/l en N-NO₃).

En dessous d'une température de l'eau de 8°C, les réactions de nitrification sont fortement ralenties.[1]

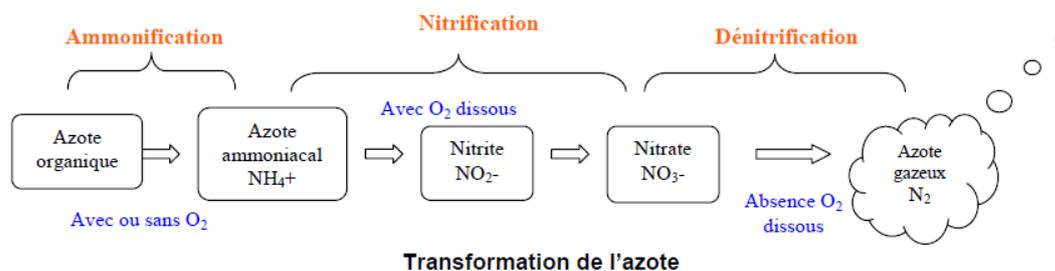


Figure VI-2: Transformation de l'azote .

VI.2.3.1 Les éléments traces métalliques :

Les ETM sont en grande partie liés aux MES et leur devenir dépend étroitement, dans un premier temps de la capacité de sédimentation et de filtration de ces

particules. Par la suite, les variations de pH, de potentiel redox du substrat sont des facteurs éventuels de mobilisation de ces composés dont certains peuvent changer d'espèce chimique (liaison organique, complexes, formes ioniques ou particulaire...). Nous pouvons donc considérer qu'il y a deux phases essentielles dans le traitement de ces composés :

- une phase primaire de rétention/immobilisation, qui s'avère être quasi-définitive et permanente pour les métaux si les conditions de précipitation avec le substrat sont stables.

- une phase secondaire de dégradation qui concerne surtout les composés organométalliques qui est marquée par une cinétique dépendant étroitement des conditions d'aérobie.

C'est dans cette deuxième phase que la synergie macrophytes (essentiellement *Phragmites australis*) / microorganismes bactériens et fongiques joue un rôle primordial. Les métaux existant sous forme ionique sont solubles dans l'eau et leur contact avec l'oxygène présent dans la rhizosphère provoque leur oxydation et leur précipitation, favorisant ainsi l'accumulation, à la surface des racines, d'une couche d'hydroxydes métalliques appelée plaque racinaire (root plaque) (Blak et al. 2007). L'oxydation des métaux dans la rhizosphère diminue l'exposition des plantes aux formes réductrices toxiques des métaux qui s'accumulent dans les sols anaérobies, tout en les rendant bio disponibles pour les plantes et les microorganismes pour lesquels ils constituent des oligoéléments essentiels (Kleche, 2013).

VI.2.4 Le rendement :

Les rendements minimums à atteindre pour la station d'après la réglementation sont les suivants :

Figure VI-3: Rendements minimums obtenue des FPR.

Paramètres	Concentration (mg/l)
DBO5	6.8
DCO	43.2
MES	12
NTK	30
Pt	10

VI.3 La possibilité d'irrigation :

Tableau VI-4 : Normes des eaux d'irrigation.

Paramètres	Concentration (mg/l)
DBO5	30
DCO	90
MES	30
NTK	3

Après la comparaison des résultats avec les normes exigées par l'OMS (**voir Annexe N°6**) n'est pas possible d'irriguées directement avec ces eaux traitées à cause de la concentration de NTK supérieur à la norme préciser par l'OMS (30>3 mg/l)

Pour cela on propose un traitement de finition en ajoutant un autre filtre planté de roseau à écoulement horizontale.

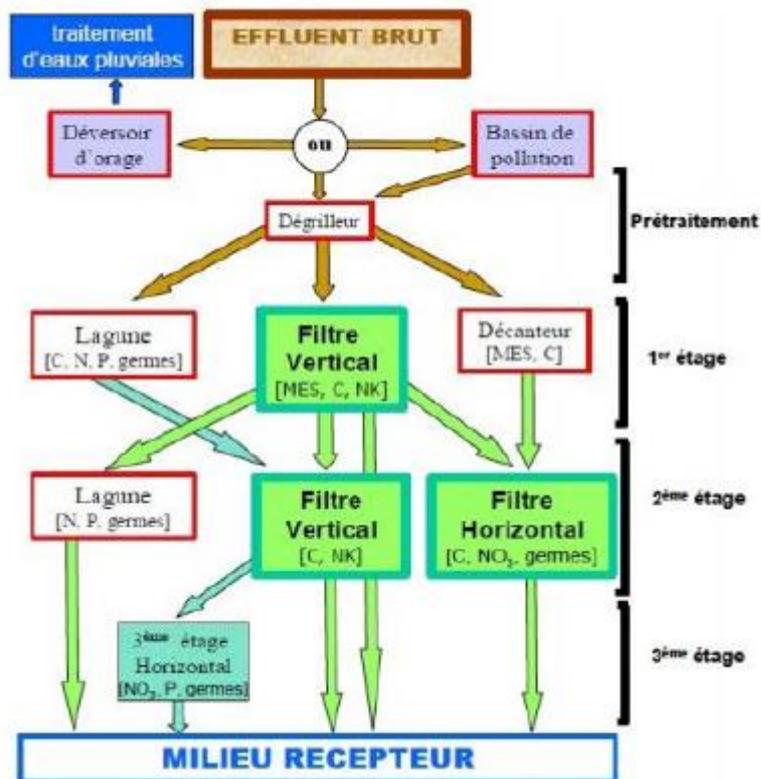


Figure VI-4: choix de configuration de filière de traitement FPR. (Madjdoub 2014).

Les systèmes hybrides sont en fait l'association en série de filtres verticaux et horizontaux. L'association la plus courante, initialement étudiée par le Dr. K. Seidel et mise en œuvre de façon relativement limitée aux États-Unis, en Allemagne, en Autriche et en France est constituée de deux étages consécutifs de filtres verticaux en parallèle suivis de deux ou trois étages de filtres horizontaux en série.

L'intérêt d'une telle association est d'obtenir une bonne nitrification dans les filtres verticaux qui sont bien oxygénés, mais aussi une dénitrification dans les filtres horizontaux où l'on trouve les conditions d'anoxie nécessaires à cette réaction. Dans ce cas les rendements de la dénitrification ne sont pas très élevés car les bactéries dénitrifiantes ont besoin de matière organique pour se développer et dénitrifier correctement. Or, en sortie des filtres verticaux, la majeure partie de la matière organique a été dégradée, elle n'est donc plus disponible pour les bactéries.

Alors des variantes ont aussi été étudiées plus récemment principalement au Danemark où l'on trouve des filtres horizontaux en premier étage suivis de filtres verticaux. Au Danemark ils ont commencé par construire des filtres horizontaux, ces systèmes ont été complétés en aval par des filtres verticaux.[18]

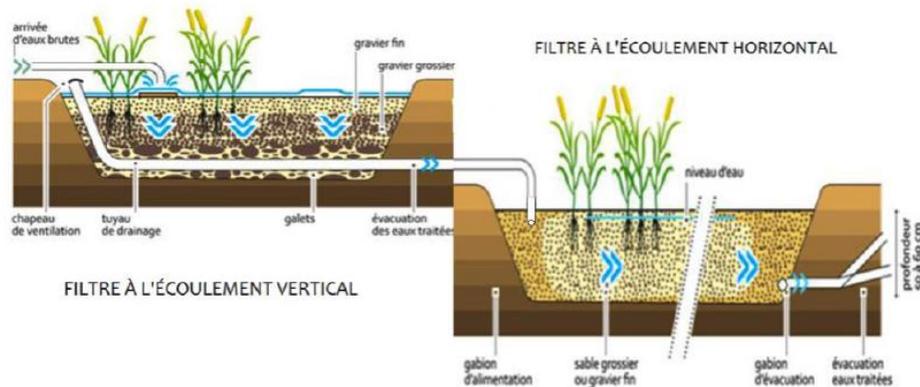


Figure VI-5 : Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement hybride (guide Phytostation Recycl'eau® 6 EH).

VI.4 Classification des eaux traitées :

Mais pour l'aptitude et la classification des eaux d'irrigation il faut savoir les paramètres suivants :

VI.4.1 Alcalinité et Conductivité :

Le risque d'alcalinisation d'un sol par l'eau d'irrigation est apprécié selon le sodium adsorbable par ce sol.

Ainsi, selon le taux adsorbable de sodium (SAR) d'irrigation, on distingue quatre (4) classes :

- S1 : $SAR < 10$: L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans risque d'alcalinisation.
- S2 : $10 < SAR < 18$: Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol. Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

- S3 : $18 < SAR < 26$: Les eaux contenant une quantité de sodium élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques.
- S4 : $SAR > 26$: Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité très faible et si on ajoute du gypse ou autres source de Ca soluble pour améliorer le bilan ionique.

Selon la salinité de l'eau, exprimée par sa conductivité électrique CE à 25 °C, on distingue cinq(5) classes :

- C1 : $0 < CE < 0,25$ mms/cm ou ds/m : L'eau à faible salinité. Elle peut être utilisée pour irriguer la plupart des cultures sur la plupart des sols et il est peu probable qu'elle provoque des difficultés. UN certain lessivage est nécessaire, mais celui-ci fait partie des pratiques normales d'irrigation, sauf sur les sols de très faibles perméabilités.
- C2 : $0,25 < CE < 0,75$ mms/cm ou ds/m : l'eau à salinité moyenne, peu de danger si elle est utilisée avec un léger lessivage pour les plantes modérément tolérantes aux sels.
- C3 : $0,75 < CE < 2,25$ mmhs/cm ou ds/m : l'eau à salinité à prendre en considération, pour les sols à drainage restreint.
- C4 : $2,25 < CE < 5$ mms/cm ou ds/m : l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales, elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérante.

- C5 : CE > 5 mms/cm ou ds/m : l'eau est inutilisable sauf sur des sables lessivés et drainés et pour des cultures extrêmement tolérantes (ex : palmiers et dattiers).

VI.4.2 Toxicologie et microbiologie

Pour la classification (voir **Annexe N°7** : réglementation de l'OMS pour les catégories des eaux d'irrigation en fonction de la bactériologie).

L'abattement des germes de contamination fécale (E. Coli) est limité dans les filtres au regard des faibles temps de séjour des effluents dans le système (1h30 au global). Un abattement de 1 à 2 unités logarithmiques semble cependant réaliste.

Voir (**Annexe N°8** : paramètres microbiologique exigés par l'OMS et **Annexe N°9** : paramètres toxicologiques exigés par l'OMS).

Conclusion :

Afin de réutiliser les eaux usées épurées par filtres plantés pour l'irrigation des espaces verts et les cultures dans douar Aghbal (maraichère, arbre) , Ce chapitre a eu pour objectif d'étudier la possibilité de la réutilisation d ces eaux traitées en prenant on considération les normes exigés par l'OMS plus des paramètres communs d'irrigation avec des eaux conventionnelles, la maîtrise d'autres ,paramètres liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents (microorganismes pathogènes, éléments toxiques, salinité...etc.).

Conclusion générale :

Cette étude m' a permis de présenter les solutions possibles pour le traitement des eaux usées de douar Aghbal de la commune Sidi Ghiless la willaya de Tipaza et a aboutis sur le fait que la station à filtre plantée de roseaux est le meilleur moyen de traitement des eaux usées pour la commune et pour la protection des milieux aquatiques.

L'objectif de ce travail était essentiellement de concevoir et dimensionner les installations d'un système d'épuration pour le traitement des eaux usées domestiques adapté aux petites communautés. La conception ainsi que la réalisation des filtres, ont été inspirées à partir des expériences étrangères.

Le recours à des procédés rustiques est de plus en plus fréquent, les filtres plantés de roseaux se sont fortement développés dans le domaine du traitement des eaux usées des petites collectivités, par contre, en Algérie, cette filière est peu utilisée, bien qu'elle offre un intérêt potentiel pour l'amélioration de l'épuration des eaux usées, notamment en zones rurales et périurbaines pour :

Les populations rurales relevant de l'assainissement autonome regroupé.

Les populations relevant théoriquement de l'assainissement collectif mais situées en périphérie des agglomérations et en zones éparses.

Le renouvellement des stations d'épuration déjà construites selon une technique extensive.

Le renouvellement des stations d'épuration déjà construites selon une technique intensive mais de petite capacité.

Les travaux relatifs à la conception, et la construction des bassins, ainsi que la plantation des filtres durent près de trois mois. Il faut bien veiller à ce que les plantes reçoivent suffisamment d'eau pour ne pas compromettre leur croissance durant la période de démarrage.

En l'état actuel, ce ne sont pas les coûts d'investissement qui vont privilégier telle ou telle technique car un procédé extensif peut se révéler aussi cher à l'investissement (voire plus en cas de pose d'une géo-membrane) qu'un procédé intensif. En revanche, les procédés extensifs, plus rustiques et plus simples d'utilisation permettent d'abaisser significativement les coûts d'exploitation.

Références bibliographiques

- [1] **Étude 2008 Filtres plantés de roseaux Réalisation et fonctionnement dans le Morbihan.**
- [2] **CEMAGREF, 1997** .Filière d'épuration adaptée aux petites collectivités.
- [3] **Julie tesson, 2011** .Filtres à roseaux et toilette sèche .construire son système d'assainissement autonome
- [4] **HIMOUR ASMAA et al ,2017** . Étude de l'utilisation des végétaux pour l'épuration des eaux usées .
- [5] **2017**.Traitement des eaux par phytoépuration Un article de Ékopédia, l'encyclopédie pratique.
- [6] **Office International de l'eau, Juin 2008**.Recommandation pour l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulement verticale.
- [7] **Bachi et al .Juin 2016** .Étude comparative de deux techniques d'épuration des eaux usées sous un milieu aride (lagunage aérer et phytoépuration cas de la willaya de ouaragla
- [8] **FNDAE.1997** .Ministère de l'Agriculture et de la Pêche ; Document Technique n°22, Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités .
- [9] **EPNAC. 2013-2015** .Conception et exploitation des stations de traitement des eaux usées des petites et moyennes collectivités.
- [10] **Jean Grunenberger** . Fonctionnement et diagnostic des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : retour d'expérience et perspectives en Alsace.
- [11] **Mr Ladjel .2019** .Conception de dimensionnement filtre planté de roseaux CFME, SEAAL Tipaza.
- [12] tome1 étude M.A.G.E station petites collectivités octobre 2007

- [13] **Molle et al.2011** .Superposition de 2 étages de FPRv.
- [14] **SADIK Zoulikha Manel** .Etude de faisabilité d'une STEP par filtre planté de roseaux des eaux usées de l'agglomération secondaire de Béni Ghazli— Commune d'Oued Lakhdar .
- [15] **BENSABER Ibrahim et al** .La conception et le dimensionnement des filtres plantés de roseaux .
- [16] **Cemagref**, Unité de Recherche Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions (MAEP), 3bis quai Chauveau, CP 220, 69336 LYON Cedex 09, France.
- [17] **Catherine BOUTIN (Cemagref) et al** ,**Mars 2010** .Étude des filtres plantés de roseaux dimensionnés pour des campings
- [18] **Majdoub.T,2014** . conception et dimensionnement d'une step par filtre planté de roseaux des eaux usées des zones éparées.
- [19] **M.BENSLIMANE et al** . performances épuratoires et intérêt du procédé de phytotraitement des eaux usées par des végétaux macrophytes.
- [20] **Pascal Molle et al NOVATECH, 2010** . Traitement des eaux urbaines de temps de pluie par filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : approche globale du projet de recherche
- [21] **GHERIB A.et al** .Applications de la phytoremediation dans le traitement des eaux usées en Algérie.

Sites web :

- [http://www.lyon.cemagref.fr/qe/epuration/documents/CadreguideCCTP_FPR\(PATCe_magref\).pdf](http://www.lyon.cemagref.fr/qe/epuration/documents/CadreguideCCTP_FPR(PATCe_magref).pdf)
- <https://blogrecherche.wp.imt.fr/2015/10/06/depollution-par-filtres-plantes-de-roseaux-une-filiere-francaise-qui-setend/>
- <https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/filtres-plantes-roseaux/>
- <http://plantepure.fr/11-phytoepuration/filtres-plantes>
- <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe3/node/196.html#2Dim>
- <https://www.bastamag.net/Les-stations-d-epuration-par-les-plantes-une-solution-d-avenir-pour-traiter-les>
- <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01654757> Submitted on 31 Jan 2018

Annexes

Annexe N°1 : caractéristiques des eaux usées domestiques.

LES CARACTÉRISTIQUES MOYENNES DES EAUX USÉES DOMESTIQUES EN FRANCE. CONCENTRATIONS MOYENNES			
Paramètres		Echelle de variation	Fraction décantable
pH		5,5 à 8,5	
MES totales	(mg/l)	100 à 400	50 à 60 %
DBO ₅	(mg/l)	150 à 500	25 à 30 %
DCO	(mg/l)	300 à 1 000	30 %
NTK	(mg/l)	30 à 100	< 10 %
N-NH ₄ ⁺	(mg/l)	20 à 80	0 %
N-NO ₂ ⁻	(mg/l)	< 1	0 %
N-NO ₃ ⁻	(mg/l)	< 1	0 %
Detergents	(mg/l)	6 à 13	
P total	(mg/l)	10 à 25	10 %

<ul style="list-style-type: none"> • pH : caractère acide ou alcalin des eaux • MES : Matières en suspension poids, volume et nature minérale ou organique des particules véhiculées par les eaux usées. • DBO₅ : Demande biochimique en oxygène consommation d'oxygène en 5 jours, à 20°C, résultant de la métabolisation de la pollution biodégradable par des microorganismes de contamination banale des eaux. • DCO : Demande chimique en oxygène consommation d'oxygène dans les conditions d'une réaction d'oxydation, en milieu sulfurique, à chaud et en présence de catalyseur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formes de l'azote : <ul style="list-style-type: none"> - azote ammoniacal, forme NH₄⁺ ; - azote Kjeldahl NTK, quantité d'azote exprimée en N correspondant à l'azote organique N-NH₂ et à l'azote ammoniacal ; - azote nitrate NO₃⁻ et nitrite NO₂⁻, formes minérales oxydées. • Formes du phosphore : <ul style="list-style-type: none"> orthophosphate, forme la plus courante PO₄³⁻ (70 % du total) ; phosphore total, somme du P contenu dans les orthophosphates, les polyphosphates et le phosphate organique.
--	---

Caractères des eaux usées domestiques (non industrielles)

Annexe N°2 : Données générales de dimensionnement des FPRV)

1er étage :

1,2 à 1,5 m²/hab.

1 point de répartition pour environ 50 m²

Couche filtrante : 30 cm de gravier fin 2 à 8 mm

Couche de transition : 10 à 20 cm de gravier 5 à 10 mm

Couche drainante : 10 à 20 cm de gravier 20 à 60 mm

2nd étage :

0,8 à 1 m²/hab

1 point de répartition pour environ 5 m²

Couche filtrante : 30 cm mini de sable alluvionnaire siliceux

0,25 mm < d₁₀ < 0,40 mm

CU ≤ 5

Teneur en fines < 3% en masse

Teneur en calcaire CaO < 20% en masse

Couche de transition : 10 à 20 cm de gravier 3 à 20 mm

Couche drainante : 10 à 20 cm de gravier 20 à 60 mm

2 à 5 cm de lame d'eau sur toute la surface du massif filtrant alimenté

Débit minimum d'alimentation = 0,5 m³/m²/h

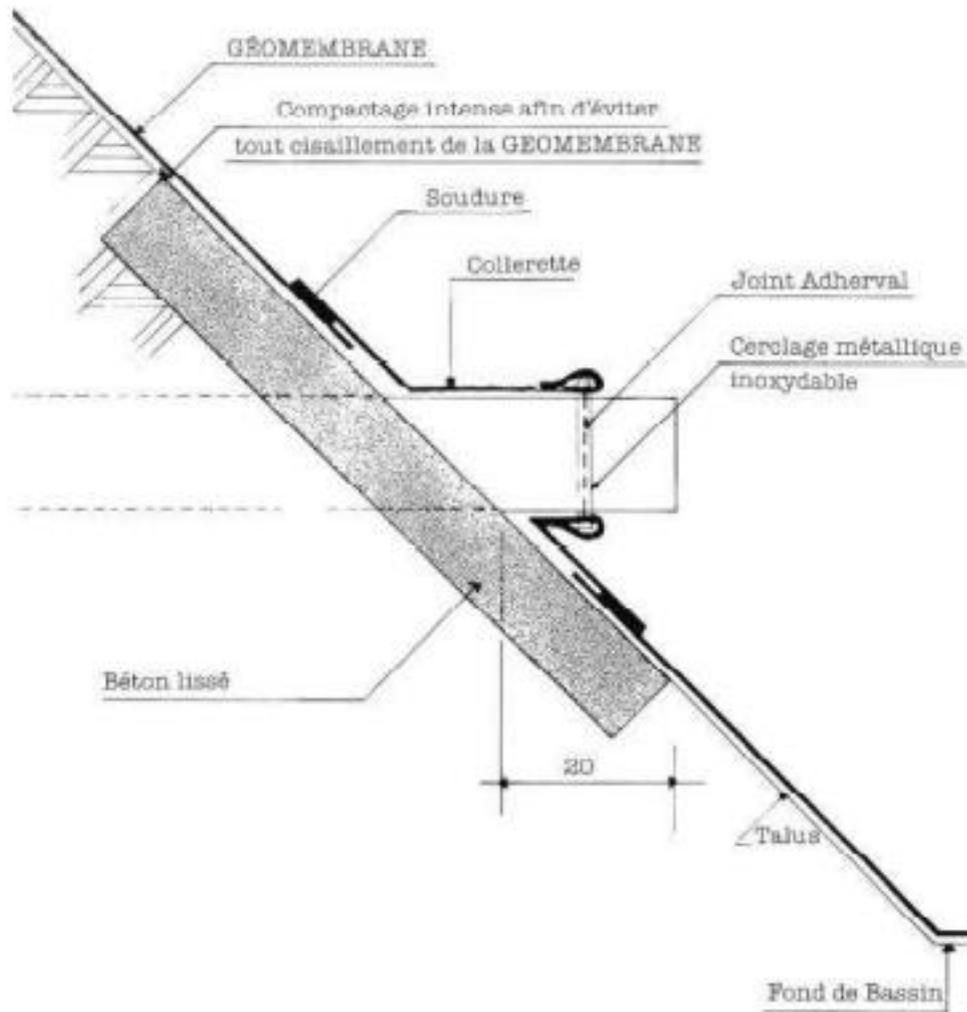
6 à 12 bâchées/jour

4 plants/m²

lame d'eau de 30 cm/j (temps sec) ; lame d'eau admissible :

		Couche de dépôts 0 – 10 cm		Couche de dépôts 10 – 25 cm	
Lame d'eau admissible	m/j	1,8	3,5	0,9	1,8
	Si fréquence	1 fois/semaine	1 fois/mois	1 fois/semaine	1 fois/mois
	m/heure	0,25		0,11	

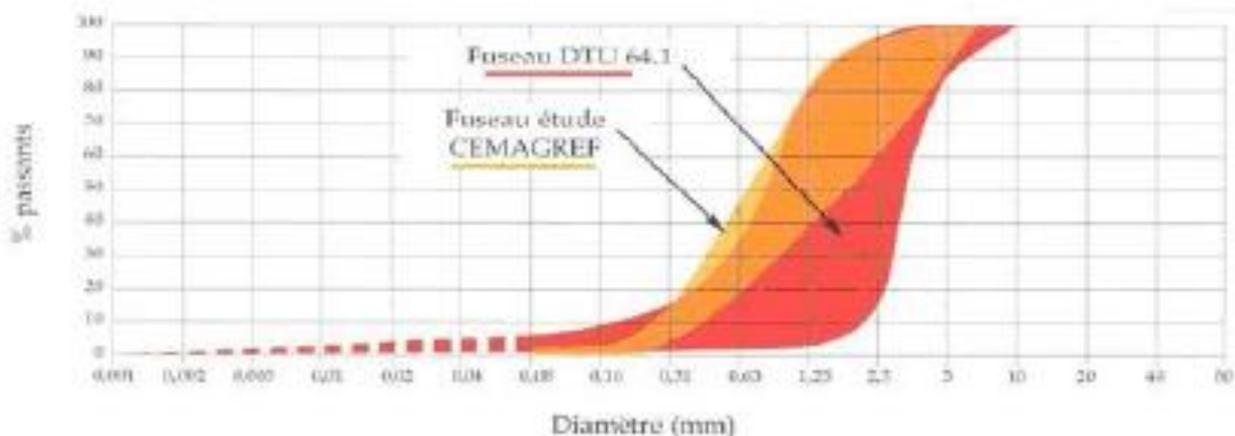
Annexe N°3 : Le schéma de principe de la géomembrane.



Annexe N°4 : tableau du nombre des analyses du matériau livré FPR.

	Sable	Gravier
Paramètres analysés	Fuseau, d10, d60, CU, % Ca, % fines	Fuseau, % fines
Cap traitement < 12 kg DBO5/J	1	1
Cap traitement 12-24 kg DBO5/J	2	1
Cap traitement 24-60 kg DBO5/J	3	2
Cap traitement 60-120 kg DBO5/J	4	2
Par tranche de 60 kgDBO5/J en plus	1	1

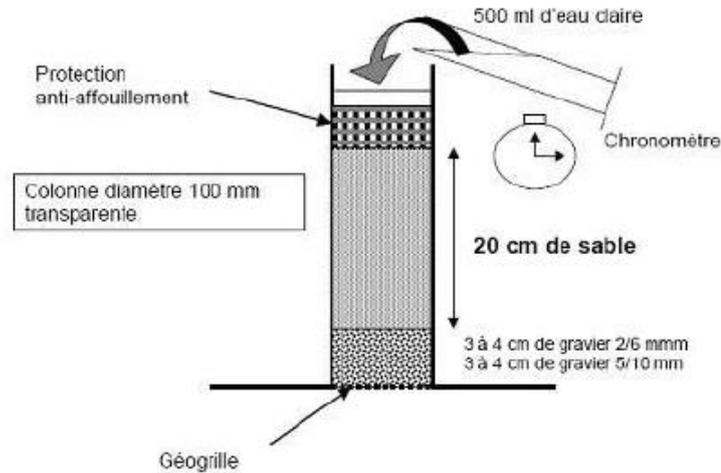
Extrait du Cadre guide pour un CCTP filtres plantés de roseaux



Annexe N°5 : Protocole de test de Grant

Protocole et matériel expérimental pour la réalisation d'un test d'infiltration Type test de Grant

(Travail réalisé par H. Guellaf – Travail de Fin d'Etudes ESEM Orléans – 1999)



Test d'infiltration, matériel expérimental

La procédure suivie est la suivante:

- Une colonne transparente de hauteur 50 cm et de diamètre 10 cm est utilisée. A sa base est fixée une géogrille (dont la maille doit être en rapport avec le gravier sus-jacent). Une couche de 6 à 8 cm de graviers 5-10 et 2/6 mm est mise en place. Une hauteur de 20 cm de sable est installée par dessus avec une protection anti-affoulement en surface. Le sable est placé par couches de 5 cm pour limiter une ségrégation entre les grains, chacune d'elles subit alors un léger tassement en apportant doucement de l'eau. En règle générale, l'effet de paroi est localisé sur une couche adjacente à la paroi d'épaisseur $D/2$ avec D , diamètre du granulat. Dans le cas des sables étudiés cet effet peut donc être négligé.
- La colonne est saturée d'eau par plusieurs apports (l'alimentation en eau s'effectue sans perturbation de la surface du sable) puis 500 ml d'eau claire sont versés en relevant le temps d'infiltration de la lame d'eau. Cette opération est répétée jusqu'à stabilisation du temps d'infiltration. Le sable doit rester constamment en condition saturée, l'alimentation suivante doit donc avoir lieu juste après l'infiltration totale de la lame d'eau de l'alimentation précédente.
- 5 essais sont alors menés les uns à la suite des autres en relevant les temps d'infiltration. La valeur moyenne t_g doit être comprise dans l'intervalle [50s – 150s]. Le sable est alors validé pour être mis en place.
- Le d_{10} (mm) peut également être approché par la relation :

$$d_{10} = \sqrt{\frac{6.7}{t_g}}$$

cette valeur sera alors comparée à celle de la courbe granulométrique du fournisseur.

Cette gamme de temps d'infiltration correspond à l'intervalle de perméabilité [3,7.10⁻⁴ – 1,1.10⁻³] (m/s).

Ces tests peuvent s'appliquer à des sables roulés ou concassés

Annexe N°6 : normes de qualité des eaux en irrigation.

Paramètres	Unités	Valeurs Limitées maximales		
Physique	Température	°C	30	
	PH	-	6,5-8,5	
	MES	mg/l	30	
	CE	ds/m	3	
	Infiltration le SAR= 0 - 3 CE	3 - 6		0,2
		6-12	ds/m	0,3
		12-20		0,5
		20-40		1,3
				3
	Chimiques	DBO ₅	mg/l	30
DCO		mg/l	90	
Chlorure		meq/l	10	
Azote (NO ₃ -N)		mg/l	3	
Bicarbonate(HCO ₃)		meq/l	8.5	

Annexe N°7 : réglementation de l'OMS pour les catégories des eaux d'irrigation en fonction de la bactériologie.

Réglementation de l'OMS				
Catégories	Conditions de réutilisation	Groupe Exposé	Œuf d'helminthe (NPP/ml)	Coliforme Fécaux (NPP/100 ml)
A	Irrigation de cultures pouvant être consommées crues, terrain de sport, parc public	Travailleurs Consommateurs Public	≤ 1	≤ 1.000
B	Irrigation de cultures céréalières, industrielles, de fourrages, d'arbres fruitier et de pâturages	Travailleurs	≤ 1	Pas de recommandation standard
C	Irrigation localisée de la catégorie B, sans exposition possible avec les travailleurs ou le public	Personne	Non applicable	Non applicable

Annexe N°8 : paramètres microbiologique exigés par l’OMS

GROUPES DE CULTURES	Coliformes fécaux (CFU/100 ml)(moyenne géométriques)	Nématodes intestinaux (œufs/1) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive		
Culture de produits pouvant être consommés crus	< 100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits		
Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation alimentaire	< 250	< 0,1
arbres fruitiers		
cultures et arbustes fourragers		
Cultures céréalières	Seuil recommandé 1000	< 1
Cultures industriels		
Arbres forestiers		
Plantes florales et ornementales		
Cultures du groupe précédente		
(CFU/100 ml) utilisant l'irrigation localisée	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

Annexe N°9 : paramètres toxicologiques exigés par l’OMS.

Paramètres	Unités	Valeurs Limitées	
		maximales	
Aluminium	mg/l	20,0	
Cyanures	mg/l	0,5	
Fluore	mg/l	15,0	
phénols	mg/l	0,002	
Cadmium	mg/l	0,05	
Cuivre	mg/l	5,0	
Plomb	mg/l	10,0	
Chrome	mg/l	1,0	
Manganèse	mg/l	10,0	
Zinc	mg/l	10,0	
Toxicologiques	Nickel	mg/l	2,0
	Fer	mg/l	20,0
	Arsenic	mg/l	0,2
	Béryllium	mg/l	0,5
	Bore	mg/l	2,0
	Cobalt	mg/l	5,0
	Lithium	mg/l	2,5
	Mercure	mg/l	0,01
	Molybdène	mg/l	0,05
	Sélénium	mg/l	0,02
Vanadium	mg/l	1,0	