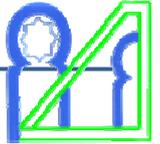


Master Spécialisé
Génie et Gestion de l'Eau et l'Environnement



ROYAUME DU MAROC
UNIVERSITE MOHAMMED V – AGDAL
FACULTE DES SCIENCES
RABAT

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par
Rajae CHAHBOUNE

Master Spécialisé :
Génie et Gestion de l'Eau et l'Environnement

Sous le thème

***LE TRAITEMENT DES EAUX NOIRES ET
GRISES PAR LE PROCÉDE DE FILTRE PLANTE
A ECOULEMENT HORIZONTAL EN MILIEU
RURAL.
PROJET PILOTE D'ASSAINISSEMENT ECOLOGIQUE A DAYET
IFRAH***

Soutenu le 18 Octobre 2011 devant le jury :

Président : Mr Abdelrrahim EL HOURCH, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat
Examineur : Mr Mostapha LOTFI, Professeur à L'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique de Rabat
Encadrant interne : Mr Abdelrrahim EL HOURCH, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat
Encadrant externe : Mr Mohammed el ghali KHIYATI, Conseiller technique à la GIZ
Encadrant externe : Mr Mustapha MAHI, Chef de service à l'ONEP

Année Universitaire 2010-2011



REMERCIEMENTS

Ce travail est le couronnement de ma formation à la faculté des sciences à Rabat (FSR). Il a fait l'objet d'un stage en entreprise au sein de la *Deutsch Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*. Pendant ma formation et précisément pendant ce travail, j'ai bénéficié du concours de nombreuses personnes à qui je veux témoigner ma gratitude.

J'adresse mes remerciements :

. Au Pr. **NAJIB BENDAOU**, le responsable du master Génie et Gestion de l'Eau et Environnement à la faculté des sciences de Rabat ;

. Au Pr. **EL HOURCH ABDELRAHIM**, encadrant à la faculté des sciences de Rabat pour m'avoir assuré un encadrement scientifique efficace ;

. A **Mme CHRISTINE WERNER** conseillère technique principale du programme d'appui à la gestion intégrée des ressources en eau (AGIRE) de la GIZ à Rabat pour m'avoir offert ce stage et pour avoir suivi et planifié l'élaboration du travail à Dayet Ifrah; et aussi pour avoir mis à disposition tous les moyens humains et financiers pour assurer la fluidité du travail in situ ;

. Au Mr. **MED EL GHALI EL KHIYATI**, encadrant à la GIZ pour m'avoir assuré un encadrement scientifique et technique efficace. Il a su par ses qualités humaines et son amour pour le travail, me guider vers la recherche en génie et gestion de l'eau et de l'environnement



(GGEE) en particulier dans le domaine de l'assainissement des eaux usées

*. A Mr. **MUSTAPHA MAHI**, mon Co-encadrant de m'avoir assuré un bon encadrement au sein de l'ONEP ;*

*. Au Pr. **MUSTAPHA LOTFI** pour avoir accepté de juger et d'évaluer mon travail à des fins d'améliorations et de corrections objectives;*

. A tout le corps enseignant de la FSR pour nous avoir assuré une formation de qualité.



DEDICACES

A MES TRÈS CHERS PARENTS :

J'ai beau cherché les mots justes pour vous exprimer l'étendue de la fierté, de la reconnaissance et de l'amour que je porte pour vous en vain.

MERCI pour tous ce que vous avez fait pour moi que dieu vous accorde santé et longue vie.

A mon frère et mes sœurs.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis.

A toute ma promotion.

Et à tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce travail.



Avant propos

Le présent travail est le résultat d'une combinaison de la formation en *Génie et Gestion de l'Eau et Environnement* à la faculté des sciences –Rabat- et du stage en milieu professionnel.

La formation m'a permis d'élargir le savoir sur la gestion et la préservation des ressources en eau et avoir le contact avec professionnels de la recherche. Pour accomplir cette formation qui a duré 3 semestres, j'ai effectué un stage au sein de la GIZ, qui m'a permis d'acquérir une expérience pratique et d'appliquer certaines des notions apprises durant la formation théorique.

C'est dans ce sens qu'il s'est déroulé le stage au sein de la GIZ, objet de ce rapport intitulé «le procédé de filtre planté à écoulement horizontal en milieu rural-expérience du projet pilote d'assainissement écologique à Dayet Ifrah-» en collaboration avec la FSR et l'ONEP.

Il est à rappeler que l'approche ecosan est une solution très soutenue par la GIZ qui gère le processus de sa mise en oeuvre depuis la planification des missions des différentes phases du projet jusqu'à l'évaluation des systèmes ecosan et par là la satisfaction de la population

Ce stage était l'opportunité de:

- Offrir un champ d'action en collaboration avec les structures de la GIZ, l'ONEP ;
- Permettre de former une ressource humaine spécialisée dans des domaines professionnels liés à l'assainissement écologique.
- Enrichir les connaissances théoriques de cette ressource humaine par une expérience pratique;



TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	02
PREMIER CHAPITRE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
I. Assainissement conventionnel	05
1. Définition	05
2. Origine des eaux usées domestiques	05
3. Modes d'assainissement conventionnel	05
4. Contraintes d'assainissement conventionnel	05
5. Cadre législatif au Maroc	08
5.1. Loi sur l'eau 95-10	08
5.2. Charte communale	08
II. Assainissement écologique	09
1. Définition	09
2. Critères	09
3. Moyens de destruction de germes pathogènes	10
III. Procédés d'assainissement écologique	12
1. Collecte et transport	13
2. Traitement	14
2.1. Lagunage naturel	15
2.2. Filtre planté de macrophytes	16
a. Les filtres à écoulement vertical	16
b. Les filtres à écoulement horizontal	17
3. Réutilisation des eaux usées	18
c. Procédé de filtre planté à écoulement horizontal	19
1. Rôle des composantes du filtre planté	19
1.1. Rôle des plantes	19
1.2. Rôle des microorganismes	20
1.3. Rôle du substrat	20
2. Mécanismes d'élimination et performances épuratoires	21



2.1. Matières en suspension (MES)	21
2.2. Matière organique	21
2.3. Nutriments	21
2.4. Agents pathogènes	22
3. Domaine d'application	23
4. Critères d'implantation	24
4.1. Données topographiques et surfaces disponibles	24
4.2. Climat	24
4.3. Milieu récepteur	25
5. Bases de dimensionnement et conception	25
5.1. Dispositifs d'alimentation	25
5.2. Dispositifs de répartition	26
5.3. Lits filtrants	27
5.4. Dispositifs d'évacuation des eaux traitées	31
6. Entretien et exploitation	32
6.1. Entretien	33
6.2. Exploitation	33

DEUXIEME CHAPITRE : MATERIELS ET METHODES

I. Description du procédé du traitement des eaux usées	35
1.1. Composantes du système	36
a. Réseau de collecte	36
b. Unité de traitement primaire	36
c. Filtre	36
II. Evaluation de l'état du filtre planté	38
1. dispositifs d'alimentation	39
1.1. Drains d'alimentation	39
1.2. Gabion d'alimentation	40
2. Lits filtrants	40
2.1. Massif (niveau d'eau)	40
2.2. Evaluation des plantes testées	40
a. Végétalisation de filtre	41



b. Disposition et densité des plants	41
c. Implantation	42
d. Entretien et suivi des plants	43
III. Evaluation des flux des matières à l'entrée et à la sortie du filtre planté	44
1. Prélèvement	44
2. Analyse des flux des matières Indicateurs de pollution fécale	45
3. Indicateurs de pollution physico-chimiques	45
a. Demande biochimique en oxygène (BDO ₅)	45
b. Matières en suspension (MES)	46
c. Nutriments	46
IV. Evaluation de dimensionnement du filtre planté	48
V. Evaluation des coûts de réalisation du filtre planté	48
1. Dosage de béton et mortier	48
2. Quantification des besoins en matériaux	49
2.1. Dalle de filtre	49
2.2. Parois de filtre	49
a. Parois de 1,2 m ³	49
b. Parois 2,4 m ³	49
2.3. Décanteur-digesteur	49
VI. Actions menées contre les risques sanitaires	50

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

I. Evaluation de l'état de filtre planté	53
1. Regard et unité de traitement primaire	53
2. Dispositifs d'alimentation	53
2.4. Drain d'alimentation	53
2.5. Gabion d'alimentation	54
3. Massif filtrant	54
3.1. Niveau d'eau	54
3.2. plantes testées au niveau des filtres plantés	56
II. Résultats d'évaluation des flux des matières à l'entrée et à la sortie des filtres plantés ..	59



1. MES	59
2. DBO ₅	60
3. Charge polluante fécale	60
4. Nutriments	61
III. Résultats de vérification du dimensionnement des filtres plantés	61
IV. Résultats d'évaluation des coûts de construction de filtre planté	62
5. Matériaux et quantités utilisées	62
6. Comparaison des coûts de construction et les coûts optimisés	65
 QUATRIEME CHAPITRE DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS	
I. Discussion générale	68
II. Recommandations techniques	69
 CONCLUSION	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES	
ANNEXES	



LISTES DES FIGURES & TABLEAUX.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Imperfections des systèmes conventionnels de gestion des eaux usées (C. Werner, 2009)	07
Figure I.2: le dégrilleur manuel	13
Figure I.3: le panier grille	14
Figure I.4: traitement des eaux usées par lagunage naturel	16
Figure I.5: Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical	17
Figure I.6: Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal	18
Figure I.7: Evolution des rejets urbains au Maroc	19
Figure I.8: Exemples de bactéries prédatrices	23
Figure I.9 : domaine d'application du procédé filtre planté (conseil général Loire en Rhône alpes)	24
Figure I.10: L'alimentation par bâches et par chasses pendulaires	26
Figure I.11: Répartition des effluents par puits artésiens	27
Figure I.12: Répartition des effluents par une rampe	27
Figure I.13: Dispositif d'évacuation en sortie de lits plantés à flux horizontal	31
Figure II.1 : Le système de traitement des eaux usées de l'école et la mosquée	35
Figure II.2: Le gabion d'alimentation des filtres plantés	37
Figure II.3: L'organe d'acheminement des effluents	37
Figure II.4: La granulométrie du massif filtrant	38
Figure II.5: Le système d'irrigation par les eaux traitées à l'école	38
Figure II.6: positionnement des plantes en quinconce	41
Figure II.7: La préparation du matériel végétal	43
Figure II.8: La méthode d'implantation des plants	43
Figure II.9: sensibilisation des élèves sur la préservation du patrimoine naturel rural	50
Figure II.10 : L'amphithéâtre Et La barrière végétale mise au jardin	51
Figure III.1 : L'état du reargard	53
Figure III.2 : Les niveaux d'eau au niveau du filtre	55
Figure III.3 : La comparaison des coûts de construction et estimés	66



Figure III.4: La mise de drain au même niveau du fond du regard 70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: les maladies provoquées à cause d'un manque d'assainissement au Maroc, Ministère de la Santé, 2002 07

Tableau I.2: conditions environnementales accélérant la disparition des germes pathogènes 11

Tableau I.3: Temps de survie des germes pathogènes en termes de jour selon différentes conditions de destruction/traitement 12

Tableau I.4: Les plantes les plus utilisées dans le procédé d'épuration des eaux usées (filtre planté) 73

Tableau I.5: Les contraintes d'implantation des filtres plantés 79

Tableau I.6: Valeurs de k_{DBO} et de surfaces spécifiques en fonction du type d'eaux à traiter 28

Tableau I.7: les surfaces d'épandage en fonction de la perméabilité du sol 30

Tableau II.1 : le suivi de l'état des filtres plantés (**Cahier des clauses techniques particulières, filtres plantés de roseaux 2007**). 39

Tableau II.2: La densité d'implantation des plants 41

Tableau II.3: L'écologie des plantes choisies 42

Tableau III.1: Comparaison entre l'état actuel des plantes au niveau du filtre planté installé au site d'étude et celui de la première visite 57

Tableau III.2: L'adaptation des espèces vis à vis les conditions climatiques 58

Tableau III.3: Comparaison de la concentration des MES et son rendement au niveau du filtre 60

Tableau III.4: Comparaison de la concentration de la DBO_5 et leur rendement au niveau du filtre 60

Tableau III.5: Comparaison du nombre de coliformes totaux et fécaux et son rendement au niveau du filtre par 100 ml 61

Tableau III.6: les concentrations des 3 formes d'azote (N total, $N-NH_4$: ammoniac, NO_3^- : nitrates) et du phosphore total 61

Tableau III.7: les paramètres de vérification du dimensionnement du filtre 62

Tableau III.8: estimation des prix de matériaux de construction & le coût de min d'œuvre 65



LISTE DES ANNEXES

ABREVIATIONS

AGIRE : le programme Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau

ONEP: l'Office National de l'Eau Potable.

Ecosan : l'assainissement écologique.

TDSU: les Toilettes de Déshydratation à Séparation d'Urine.

FPh: le filtre planté à écoulement horizontal.

pH: le potentiel .

DBO₅: la demande biochimique en oxygène.

PVC: Polychlorure de vinyle, un polymère thermoplastique.

MES : les matières en suspension.

CT: les coliformes totaux.

SF : les streptocoques fécaux.

NNP/100 ml : le nombre le plus probable par 100 ml



RESUME

Le village d'Ait Daoud ou Moussa, situé autour du lac "Dayet Ifrah" au Moyen Atlas, a bénéficié d'un projet pilote d'assainissement écologique rural. Ce rapport est relatif à un des systèmes extensifs de traitement des eaux usées domestiques. Il s'agit des filtres plantés de roseaux et d'iris à écoulement horizontal utilisées pour le traitement des eaux noires et grises en provenance de la mosquée et de l'école centrale du village.

Les hautes performances épuratoires de ce système sont témoins de son efficacité et adaptabilité au milieu rural marocain.

ABSTRACT

The village of Ait Daoud ou Moussa located around the lake "Dayet Ifrah" in the Middle Atlas, received a pilot ecological sanitation areas. This report relates to extensive systems of treatment of domestic sewage. These reed bed filters and iris horizontal flow used for the treatment of black and gray water from the mosque and the school's central village.

The high purification performances of this system are evidence of its effectiveness and adaptability in rural Morocco.

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'amélioration des conditions de vie et de santé au village Ait Daoud Ou Moussa dans le Moyen Atlas, porté par l' Office National de l'Eau Potable (O.N.E.P), le programme Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE) du Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement (SEEE) et de la GIZ soutient ces partenaires dans la planification et la mise en œuvre d'un projet pilote d'assainissement écologique (ecosan) au village. L'assainissement écologique (ecosan) est une nouvelle approche intégrée de la gestion des effluents. Il est fondé sur la réutilisation et la conservation des ressources naturelles. Il se fait par plusieurs techniques: des TDSU (Toilettes de Déshydratation à Séparation d'Urine), des biodigesteurs agricoles et des filtres plantés à écoulement horizontal (FPh). Les FPh sont des bassins remplis de gravier sur lequel de la végétation aquatique est plantée. Comme l'eau usée coule horizontalement à travers le bassin, le matériau filtrant filtre les particules et les micro-organismes dégradent la matière organique. Le traitement primaire est essentiel pour éviter les colmatages et assurer un traitement efficace. Le massif filtrant agit à la fois comme un filtre pour enlever les solides, une surface fixe sur laquelle des bactéries peuvent s'accrocher, et un support pour la végétation. Les bactéries facultatives et anaérobies dégradent les matières organiques, la végétation transfère une petite quantité d'oxygène à la zone racinaire de sorte que les bactéries aérobies puissent coloniser le secteur et dégrader également la matière organique. Les racines des plantes jouent un rôle important en maintenant la perméabilité du filtre.

Ce travail a pour but d'étudier les performances des systèmes de filtres plantés de roseaux horizontaux utilisés dans l'assainissement non collectif et fonctionnant sans ou avec une fosse septique, à l'amont. Tout en permettant de répondre aux questions suivantes :

- 💧 Est-ce que les plantes testées, vont s'adapter au contexte climatique de la région ?
- 💧 Est-ce que les caractéristiques des eaux traitées respectent-elles les normes d'irrigation ?
- 💧 Est-ce que le dimensionnement des filtres est le convenable?

Le mémoire comprend, après l'introduction, trois chapitres :

- 💧 le premier présente une étude bibliographique sur le thème de recherche,

- 🔹 le deuxième détaille le matériel et les méthodes utilisées au cours de l'expérimentation.
- 🔹 Le troisième chapitre présente les différents résultats obtenus, les discussions et les recommandations pour les dysfonctionnements constatés.

PREMIER CHAPITRE :

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Assainissement conventionnel

1. Définition

Désigne l'ensemble des moyens de collecte, de transport et de traitement d'épuration des eaux usées avant leur rejet dans les rivières ou dans le sol (<http://www.actu-environnement.com/>). Son but est de dresser une barrière sanitaire qui permet de:

- 💧 Protéger des individus contre les maladies et leurs vecteurs ;
- 💧 Protéger des ressources en eau;
- 💧 Préserver la qualité du milieu récepteur ;
- 💧 Prévenir l'apparition des odeurs et des aspects malpropres.

2. Origine des eaux usées domestiques

Dans les zones rurales, les eaux usées proviennent de :

- 💧 Ecoulements des eaux pluviales,
- 💧 Usages domestiques constituées des:
 - eaux noires constituées d'eaux vannes (WC : **Water Closet**) et d'eaux ménagères (vaisselle et linge);
 - eaux grises: bains et douches (**D. Dupont, 2008**).

3. Modes d'assainissement conventionnel

- ♻️ Assainissement non collectif: Tout système d'assainissement effectuant la collecte, le prétraitement, l'épuration, l'infiltration, ou le rejet des eaux usées domestiques des immeubles non raccordés au réseau public d'assainissement. (article 1 de l'arrêté du 6 mai 1996) (<http://www.actu-environnement.com/>).
- ♻️ Assainissement collectif: Mode d'assainissement constitué par un réseau public de collecte et de transport des eaux usées vers un ouvrage d'épuration (<http://www.eaufrance.fr/>).

4. Contraintes d'assainissement conventionnel

La gestion conventionnelle est basée sur un concept qui considère que les excréta ne sont que des déchets à évacuer (**D. Kopitopoulos, 2005**). Guide pour l'assainissement liquide des douars marocains.]. Dans ce cas, l'environnement doit pouvoir assimiler ces déchets (fig. I.1) tout en ayant les impacts suivants :

- ♻️ Manque de pérennité des constructions,
- ♻️ Altération de la fertilité des sols: les ouvrages d'évacuation des eaux usées altèrent directement la fertilité des sols car les nutriments contenus dans les excréta humains ne sont pas réutilisés dans l'agriculture,
- ♻️ Gaspillage de l'eau: l'eau potable est une propriété coûteuse et l'utilisation de l'eau comme vecteur d'évacuation présente un problème, surtout dans les régions où la pénurie de l'eau s'est aggravée et dans les pays pauvres,
- ♻️ Propagation des maladies: les maladies les plus caractéristiques d'un manque d'assainissement au Maroc sont le choléra et la fièvre typhoïde. Selon le rapport du ministère de la santé publié en 2002, ces deux derniers représentent environ 5% de l'ensemble des cas épidémiologiques observés (**M. Berrada, 2007**) (Tab. I.1).

Tableau I.1: les maladies provoquées à cause d'un manque d'assainissement au Maroc, Ministère de la Santé, 2002

(1): Taux d'incidence pour 100 000 habitants

	1998		1999		2000	
	Cas	(1)	Cas	(1)	Cas	(1)
typhoïde	2271	8.2	2281	8.1	2373	8.3

Hépatite virale	2503	9.0	1836	6.5	3466	12.1
Choléra	2341	8.5	2266	8.3	2476	8.6
Bilharziose	361	0.5	231	0.8	151	0.5

- ◊ Présence des mouches et des insectes: les latrines conventionnelles sentent mauvais et présentent un lieu de reproduction des mouches et des insectes,
- ◊ Pollution des eaux souterraines peu profondes: les eaux souterraines peu profondes présentent une importante source d’approvisionnement en eau pour les zones rurales. Les latrines et les puits d’infiltration causent la contamination de ces eaux par infiltration **des germes pathogènes** de l’azote et le phosphore.

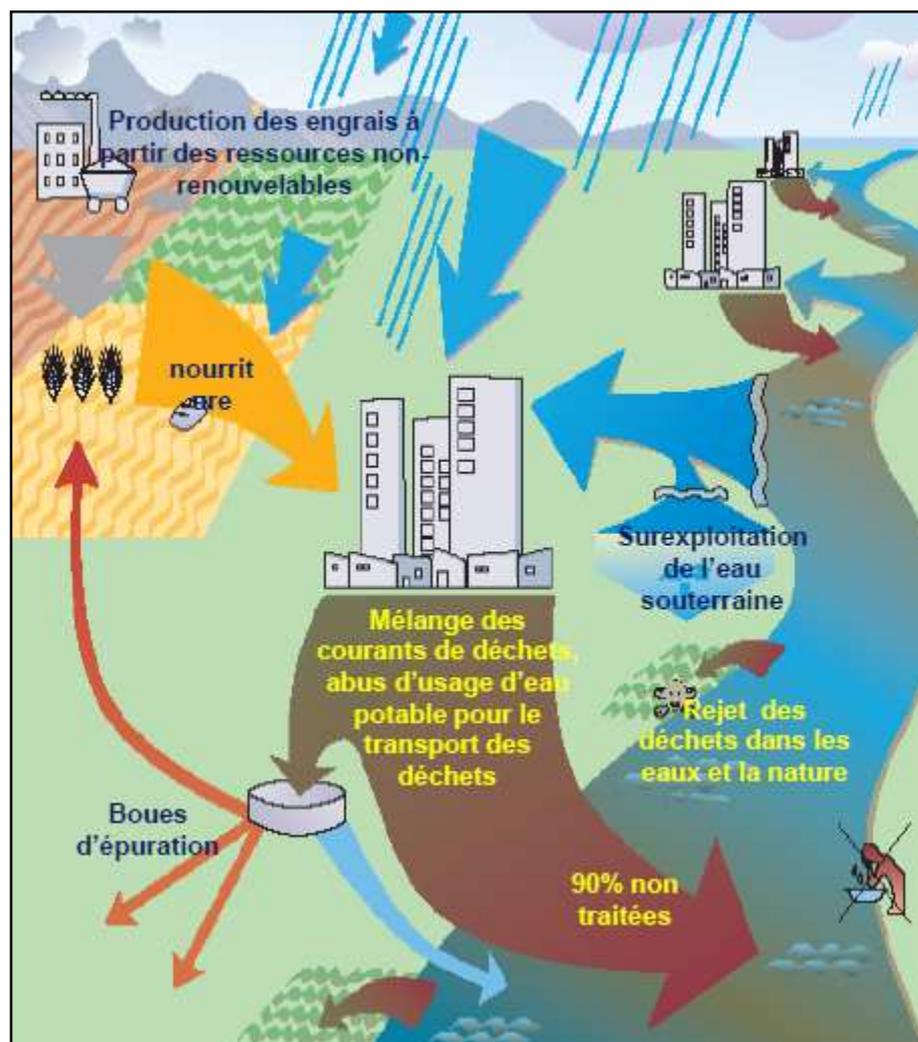


Figure 1.1: *Les contraintes d'assainissement conventionnel* (C. Werner, 2009)

5. Cadre législatif au Maroc

La législation d'assainissement au Maroc est assurée par la Loi sur l'eau n° 10-95 et la charte communale (GIZ, 2011. **Guide de lecture des lois environnementales**).

5.1. Loi sur l'eau 95-10

Loi n° 10-95 repose sur un certain nombre les principes suivants:

- De la domanialité publique des eaux,
- De la réglementation des activités susceptibles de polluer les ressources en eau,
- De la répartition rationnelle des ressources en eau en période de sécheresse pour atténuer les effets de la pénurie,
- Des principes utilisateur-payeur et pollueur-payeur,
- Du recours à des sanctions et à une police des eaux pour réprimer tout acte susceptible d'entraîner la dégradation des ressources en eau.

Source:(Guide de lecture des lois environnementales, 2011)

5.2. Charte communale

L'article 40 de la Charte Communale relatif à l'hygiène, la salubrité et l'environnement charge le Conseil Communal de veiller à « l'évacuation et au traitement des eaux usées et pluviales » et à « la lutte contre toutes les formes de pollution et de dégradation de l'environnement et de l'équilibre naturel ».

Les formes de pollution peuvent être considérées de deux types :

- L'impact direct dans le douar lui-même : contact avec les matières fécales par une mauvaise utilisation de la toilette, croissance de moustiques dans les eaux grises ruisselantes, etc... Cet impact se traduit par une demande de la part de la population.
- L'impact indirect, créé par la contamination du milieu naturel en général et des ressources en eau en particulier. A moins que la nappe ne soit directement utilisée par la communauté servie, cet impact ne peut générer qu'une demande réduite au niveau de population rurale.

Source : (D. Kopitopoulos, 2005)

II. Assainissement écologique

1. Définition

L'assainissement écologique élargit le champ d'application non seulement au traitement des eaux usées, mais aussi à l'approvisionnement en eau des ménages, ainsi qu'aux impacts environnementaux en amont et en aval de l'acte d'épuration et/ou de traitement des eaux. Pour évaluer la qualité d'une technologie d'assainissement écologique, on définira la notion de performance environnementale. C'est à ce niveau que se trouve une des différences entre les deux visions de l'assainissement. A l'autre niveau se trouve l'intégration des activités domestiques dans les grands cycles naturels (cycles de carbone, de l'azote et de l'eau). Le respect de ces cycles a un impact sur les changements climatiques, mais aussi sur la gestion de l'eau dans le monde et sur le fonctionnement des écosystèmes (<http://www.eautarcie.com/>).

2. Critères d'assainissement conventionnel

Un système d'assainissement doit satisfaire aux critères suivants:

- 💧 Prévention de la maladie: un système d'assainissement doit être capable de détruire ou d'isoler les pathogènes d'origine fécale,
- 💧 Accessibilité **financière**: un système d'assainissement doit être à la portée des populations les plus pauvres du monde,
- 💧 Protection de l'environnement: un système d'assainissement doit empêcher la pollution, **restituer** les nutriments **au** sol, et protéger les ressources en eau,
- 💧 Acceptation: un système d'assainissement doit respecter les valeurs culturelles et sociales,
- 💧 Simple: un système d'assainissement doit être assez robuste pour être facilement entretenu dans les limites de la capacité technique **et** des variables qui sont le climat (humidité, température), l'eau (quantité disponible, niveau de l'eau souterraine), et le sol (stabilité, perméabilité, **nature du sol**) **(D. Kopitopoulos, 2005)**.

3. Moyens de destruction de germes pathogènes

La destruction des germes pathogènes s'effectue en 4 étapes :

- 💧 Limiter le volume de matière dangereuse, en détournant l'urine et en n'ajoutant pas d'eau (chasse).
- 💧 Prévenir la dispersion de la matière contenant les germes pathogènes en la stockant dans un dispositif sécurisé jusqu'à ce qu'elle soit **hygiénisée** et propre au recyclage.
- 💧 Réduire le volume et le poids de la matière pathogène par la déshydratation et/ou la décomposition pour faciliter le stockage, le transport et le traitement ultérieur.
- 💧 Rendre les germes pathogènes inoffensifs par la stérilisation: traitement primaire sur le site (déshydratation/décomposition, rétention), traitement secondaire sur ou hors site (déshydratation ultérieure, compostage à haute température, changement du pH par adjonction de chaux), et, si nécessaire, traitement tertiaire (incinération).

Les excréta se composent d'un grand nombre de pathogènes qui nécessitent un temps de **disparition** dit «taux de disparition» dans des conditions environnementales données. Le taux de disparition diffère d'une espèce à l'autre. Les conditions les plus importantes pour leur disparition sont : la température, l'humidité, les éléments nutritifs, la relation avec les autres micro-organismes présents, le rayonnement solaire et le pH (Tab. I.2) (**J. Vargas, 1998**). Dans les conditions naturelles, plus le nombre d'organismes est important, plus le nombre d'organismes capables de provoquer des maladies soit important.

Tableau I.2: conditions environnementales accélérant la disparition des germes pathogènes

<u>Facteurs environnementaux</u>	<u>Moyen</u>
Température	Augmentation ou diminution de la température
Humidité	Augmentation de l'humidité
Éléments nutritifs	Diminution
micro-organismes	Diminution
Rayonnement solaire	Augmentation du rayonnement solaire
pH	Augmentation ou diminution du pH

Les bactéries, virus et protozoaires mettent en général plusieurs mois pour mourir, parfois moins (tableau I.3) (**J. Vargas, 1998**). Les œufs d'helminthes survivent plusieurs mois, et les œufs des espèces *Ascaris* peuvent survivre plusieurs années. Dans la littérature, on trouve plusieurs méthodes de destruction des agents pathogènes. Parmi eux :

- Le compostage à haute température est la plus appropriée pour détruire la plupart des germes le plus rapidement possible,

- Les bassins de stabilisation sont efficaces pour la destruction des protozoaires et des helminthes, mais il est possible que des bactéries et des virus soient encore présents dans le produit final.

La déshydratation détruit le *C. parvum*. Les tests ont montré qu'après seulement deux heures de séchage à température normale, 97% des kystes sont tués. Après 4 heures de séchage, tous les kystes sont détruits (J. Vargas, 1998). Le temps de survie des œufs *d. Ascaris* peut être très long, mais le taux de disparition varie considérablement selon les conditions. Les taux de disparition dans le sol sont accélérés par la sécheresse et la luminosité. Cependant, la méthode la plus efficace pour la destruction des germes pathogènes semble être la déshydratation. Les méthodes humides d'évacuation, comme l'évacuation par chasse d'eau, ne sont pas particulièrement efficaces dans la destruction des germes pathogènes. Les eaux usées constituent un environnement idéal pour la survie des germes pathogènes dans la mesure où elles reproduisent, de plusieurs manières, la situation existant dans les intestins. L'utilisation des eaux usées n'augmente pas seulement la survie des germes pathogènes, elle accroît aussi les taux de prévalence des maladies, lorsque ces eaux sont répandues sur les récoltes ou déversées dans les cours d'eau avant d'avoir subi un traitement efficace.

Tableau 1.3: Temps de survie des germes pathogènes en termes de jour selon différentes conditions de destruction/traitement

Conditions	Bactéries	Virus	Protozoaires *	Helminthes**
• Sol	400	175	10	nombreux
• Récoltes	50	60	inconnu	mois
• Vidanges, fèces, vase 20 - 30 ° C	90	100	30	inconnu
• Compostage (anaérobie à température ambiante)	60 7	60 7	30 7	nombreux mois
• Compostage thermophile (50 - 60 ° C maintenu	20	20	20	7

plusieurs jours)				20
<ul style="list-style-type: none"> • Bassin de stabilisation 				
<p>* excluant le <i>Cryptosporidium parvum</i></p> <p>**surtout les <i>Ascaris</i>; les œufs des autres parasites tendent à mourir plus rapidement</p>				

III. Procédés d'assainissement écologique

Les procédés d'assainissement écologique comprennent trois étapes : la collecte et le transport, le prétraitement et le traitement.

1. Collecte et transport

Toutes les eaux usées de l'habitation (ou des habitations) doivent être collectées (eaux de WC, des Cuisines, des Salle de bains, de lavages des essentiels) (FAO/ONEP, 2004). Elles sont transportées par un collecteur, en fonction de l'importance de la localité, vers les ouvrages de prétraitement et d'épuration.

2. Prétraitement

Le prétraitement permet d'éliminer les particules solides et les graisses, qui perturbent le traitement. Il est généralement réalisé dans une fosse septique toutes eaux. Les matières solides, qui s'y déposent, devront être régulièrement évacuées (au moins tous les quatre ans). Les regards d'accès de la fosse doivent être accessibles pour permettre sa vidange. La fosse toutes eaux doit être installée à proximité de l'habitation, à faible profondeur. Cependant, il y a aussi d'autres dispositifs pour le prétraitement. On cite:

- 💧 Le dégrilleur manuel: Il permet de récupérer un maximum de déchets selon l'espacement entre les barreaux. Ces déchets devront préalablement être séchés soit sur une grille prévue à cet effet, soit dans une poubelle percée sur une aire d'égouttage. La mise en place d'un dégrilleur manuel équipé d'une grille inoxydable inclinée doit être accompagnée de la fourniture d'un râteau de dégrillage adapté à la géométrie de la grille. Son entretien est 2 fois par semaine (fig. I.2).



Figure I.2: le dégrilleur manuel

- Le panier grille: Il permet de récupérer un maximum de déchets plastiques selon l'espacement entre les barreaux. Il est difficile de faire sécher les détritux lorsque le poste de relèvement se situe sur le réseau d'eaux usées. Lorsque la localisation le permet, et si le poste est sécurisé (mise en place d'une clôture), il est possible de mettre en place une poubelle percée avec un couvercle sur une aire d'égouttage. Les eaux d'égouttage sont récupérées et renvoyées dans le poste. Il en va de même pour les postes de relevage situés au sein de la station d'épuration. Ce type de matériel ne permet de retenir que les déchets les plus grossiers et nécessite **un entretien** plus régulier à cause du poids du panier plein à relever (fig. I.3).



Figure I.3: le panier grille

- Fosse toutes eaux: le prétraitement est assuré par une fosse toutes eaux ou appareil équivalent qui reçoit tant les eaux vannes que les eaux ménagères (**Agence de l'Eau Artois Picardie, 2001**). La fosse toutes eaux a pour but de

liquéfier partiellement les matières polluantes contenues dans les eaux usées et retenir les matières solides et les déchets flottants. Elle génère des gaz qui doivent être évacués par une ventilation efficace.

3. Traitement biologique des eaux usées

Le traitement biologique repose essentiellement sur la dégradation de la matière organique contenue dans les eaux usées par une chaîne alimentaire de micro-organismes colonisant successivement les différents bassins et se livrant à des phénomènes de prédation. Le lagunage et les filtres plantés de macrophytes (plantes aquatiques supérieures, dont les roseaux font partie) constituent les systèmes dits «extensifs», issus de l'observation des zones humides naturelles, reproduisant les processus épuratoires des écosystèmes naturels (**M. Berrada, 2007**).

Le traitement biologique repose essentiellement sur la dégradation de la matière organique contenue dans les eaux usées par une chaîne alimentaire de micro-organismes colonisant successivement les différents bassins et se livrant à des phénomènes de prédation. Le lagunage et les filtres plantés de macrophytes (plantes aquatiques supérieures, dont les roseaux font partie) constituent les systèmes dits «extensifs», issus de l'observation des zones humides naturelles, reproduisant les processus épuratoires des écosystèmes naturels.

3.1. Lagunage naturel

Lagunage naturel: l'épuration par lagunage repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en culture libres et d'algues. La lagune représente un écosystème (végétaux, herbivores, carnivores, prédateurs, détrivores). Elle est assurée par un long temps de séjour dans plusieurs bassins en série dont le mécanisme de base est la photosynthèse. La couche d'eau supérieure est exposée à la lumière et cela permet l'apparition d'algues qui produisent le dioxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Ces dernières sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le dioxyde de carbone formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées permettent la multiplication des algues (les microphytes). Dans la couche profonde, il n'y a pas de lumière, ce sont donc les bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Cette dégradation entraîne un dégagement de dioxyde de carbone et de méthane.

Le premier bassin est divisé en 2 lagunes (lagunes n° 1 et n° 2) dans le bassin, on y trouve les bactéries et les algues microscopiques. La minéralisation de la matière

organique soluble en suspension est assurée par les bactéries qui la transforment en eau, gaz carbonique, nitrates et phosphates. Ces composés vont être assimilés par les algues qui grâce à la lumière du soleil vont effectuer la photosynthèse pour assurer leur métabolisme et libérer de l'oxygène pour la vie des bactéries. Cette photosynthèse aboutit à la production de biomasse dans laquelle sont captés les composés organiques et les minéraux qui sont en excès dans l'eau. L'eau est ainsi épurée. Les eaux restent environ 50 jours dans ce bassin. Pour que le bassin soit efficace, il faut que les surfaces soient larges et peu profondes. Le deuxième comprend une seule lagune dont on y trouve des macrophytes (des roseaux, des massettes, des joncs, des iris, des aulnes), qui sont réputées par leurs capacités épuratives. Ces plantes ont la capacité à la fois de transformer la matière organique et de fixer les métaux lourds et produits dérivés des détergents. L'apparition de zooplancton (daphnies, cyclopes) permet d'améliorer la filtration de l'eau. Il s'établit ainsi des chaînes alimentaires entre les bactéries, le phytoplancton, le zooplancton et les végétaux. Les eaux vont rester environ 40 jours dans ce bassin. Le bassin ne doit pas dépasser 1 mètre de profondeur, et il faut prévoir une hauteur de gravier où se trouvent les plantes (fig. I.4).

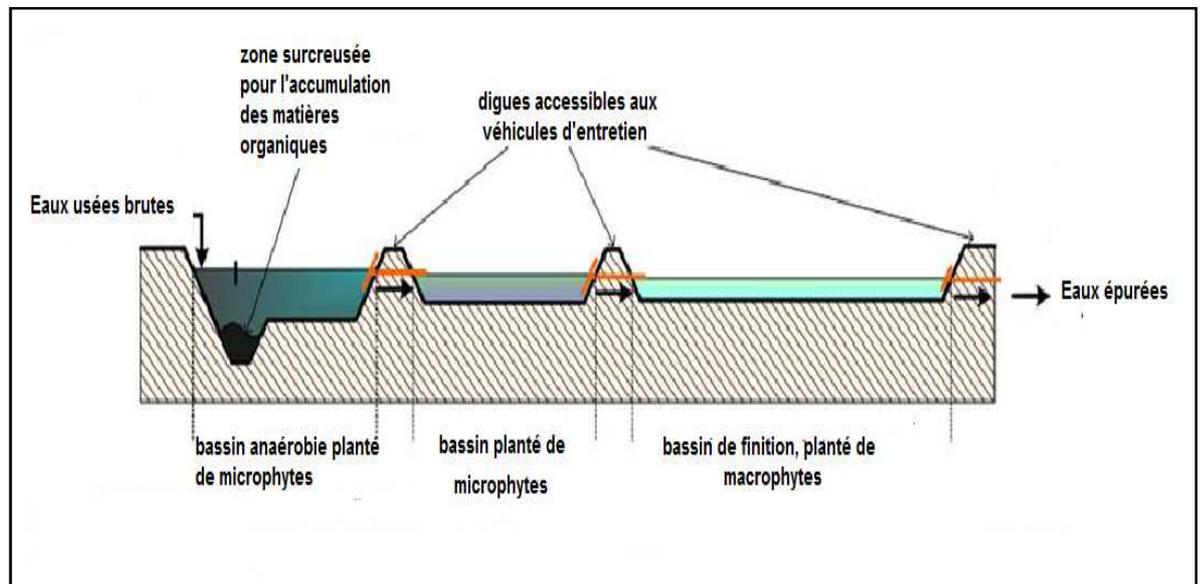


Figure I.4: traitement des eaux usées par lagunage naturel

3.2. Filtre planté de macrophytes

L'épuration se fait de manière biologique principalement en aérobie dans des milieux granulaires fins à grossiers, constituant un massif filtrant. Ce massif filtrant ne nécessite

pas un lavage régulier et même les boues ne sont pas produites au niveau des filtres car elles se produisent à l'amont (au niveau des dispositifs de prétraitement). La littérature a cité deux types de filtres plantés, qui suivent le sens d'écoulement : filtres à écoulement vertical et filtres à écoulement horizontal.

a. Les filtres à écoulement vertical

Ils comprennent au minimum 2 ou 3 filtres qui fonctionnent en alternance, pour but de minéraliser la matière organique accumulée, pendant les phases de repos. Le temps nécessaire sur le premier étage est environ deux fois le temps de fonctionnement ce qui conduit à 3 lits en parallèle. Pour le deuxième étage les temps de repos et de fonctionnement sont équivalents : 2 lits suffisent donc. La rotation s'effectue le plus souvent tous les 3-4 jours. L'effluent s'écoule verticalement dans le premier étage tout en percolant le substrat et subit une première filtration, permet une nitrification partielle et une élimination partielle des matières en suspension par la biomasse bactérienne en formant une couche de boues à la surface dont cette couche assiste à une multiplication des bactéries épuratrices qui participent aussi au processus d'épuration. L'épuration se poursuit dans le deuxième étage pour un complètement de la dégradation de la matière organique et la nitrification en fonction de la température, le PH et l'oxygène. Le processus de dénitrification se limite par les conditions aérobies du système (fig. I.5).

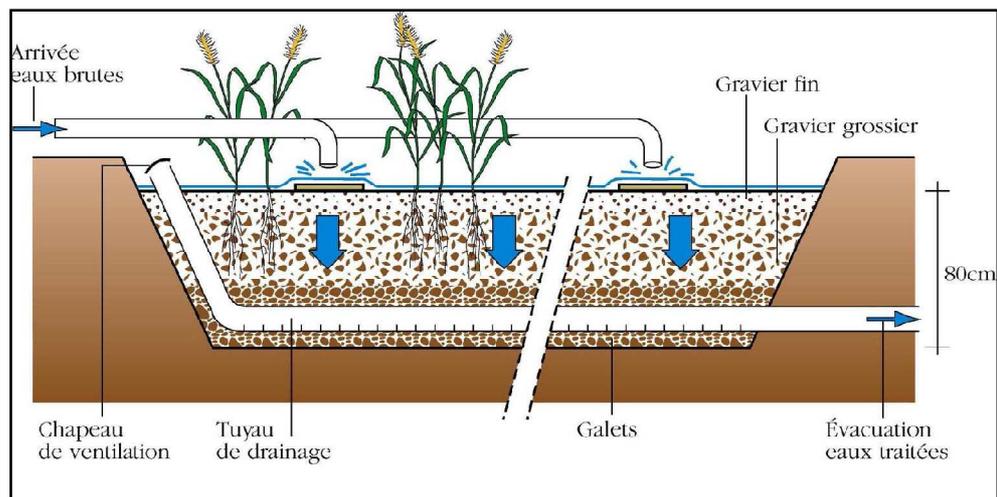


Figure I.5: Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement vertical

b. Les filtres à écoulement horizontal

Ils sont complètement saturés en eau par un système de siphon en sortie permettant de régler la hauteur d'eau dans le bassin. L'effluent se déverse dans le gabion d'alimentation et arrive

au gabion d'évacuation en subissant une épuration au niveau du massif filtrant. Ces gabions permettent une répartition et récupération homogène des eaux. Ce type présente une certaine sensibilité vis-à-vis le colmatage, on peut prévenir ce dysfonctionnement par l'installation d'un dispositif décanteur-digesteur ou d'une fosse toutes eaux amont du filtre planté. Le niveau d'eau en sortie dépend de l'évolution de la perméabilité du massif filtrant au cours du temps et de la variation des charges hydrauliques appliquées. Cette augmentation de niveau peut être contrôlée par un système de rehausse sur toute la hauteur du filtre (fig. I.6).

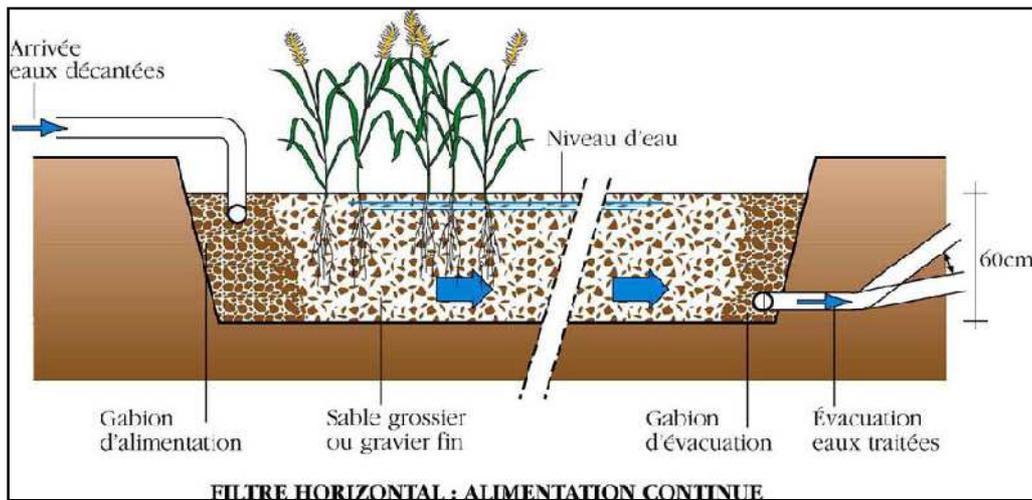


Figure I.6: Coupe transversale schématique d'un filtre à écoulement horizontal

4. Réutilisation des eaux usées

Le Décret d'Application (N° 2-97-875 du 4 février 1998) de la loi sur l'eau 10-95 relatif à l'utilisation des eaux usées stipule qu'aucune eau usée ne peut être utilisée si elle n'a pas été préalablement reconnue épurée. L'utilisation des eaux usées brutes est donc proscrite.

Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation qui fixent les paramètres bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques.

L'irrigation est l'activité humaine qui consomme le plus d'eau. La réutilisation agricole des eaux épurées est un moyen d'économiser ces ressources en eau. Au Maroc, le volume annuel des eaux usées a presque triplé au cours des trois dernières décennies. Il est passé de 48 à 500 millions de m³ de 1960 à 1999 et il est prévu d'atteindre près de 900 millions de m³ en l'an 2020 (A. JEMALI, A. KEFATI, 2002). Cela dû à l'accroissement démographique ; à l'augmentation des taux de branchement au réseau d'eau potable et au réseau d'assainissement. L'évolution temporelle des rejets urbains est présentée dans la figure I.9.

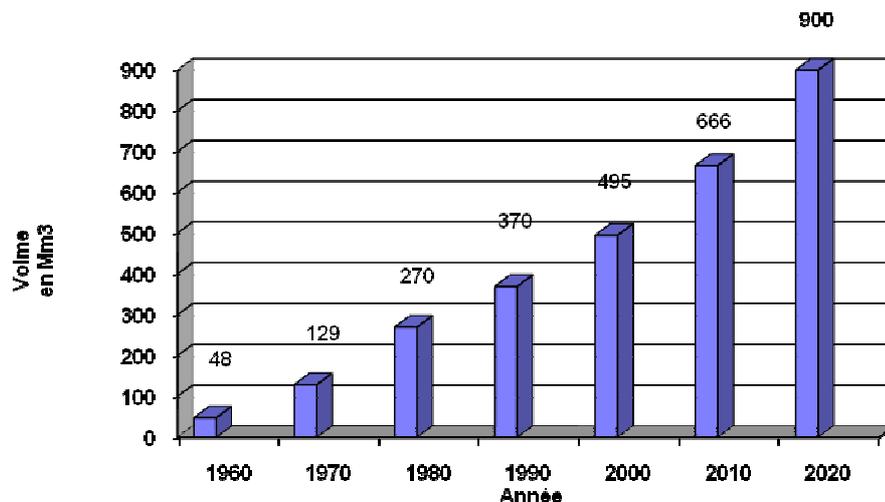


Figure I.9: Evolution des rejets urbains au Maroc

Par conséquent, de nombreux projets de recherches concernant le traitement et la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation ont été lancés au Maroc afin d'apporter des réponses aux questions préoccupantes d'ordre agronomique, sanitaire et écologique. **Telles** que la réalisation des stations dans **les** moyennes villes (ex. Nador, Benslimane, Boujaâd), **les** petits centres urbains, **les** complexes touristiques, des aéroports, et des unités industrielles. Le bénéfice d'une REUE peut donc être double :

- 💧 au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais ;
- 💧 au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue.

c. Procédé de filtre planté à écoulement horizontal

1. Rôle des composantes du filtre planté

Les filtres plantés comptent trois composantes ayant un rôle majeur dans le traitement qui sont les plantes, les microorganismes et le massif filtrant.

1.1. Rôle des plantes

Les plantes les plus utilisées sont les roseaux (*Phragmites australis*), les massettes ou quenouilles (Typha) qui sont les plus fréquentes (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005**). Mais on peut utiliser d'autres espèces pour le traitement effectué par ces filtres (tab I.5 de l'annexe 1). Les plantes ont de nombreux rôles:

- 💧 Maintien de la conductivité hydraulique initiale : la croissance des racines et des rhizomes limite le colmatage des filtres grâce à la formation de pores au niveau du massif filtrant. La croissance de ces racines permet aussi d'accroître la surface de fixation pour le développement des micro-organismes,
- 💧 Aération des filtres par les fissures engendrées de la croissance du réseau racinaire. Mais cet apport d'oxygène se limite au jour et seulement près des racines et des rhizomes,
- 💧 Elimination de métaux lourds, des nutriments (N et P) par des plantes émergentes qui peuvent enlever une quantité faible en phosphore et azote (5 à 10%). Par contre, l'enlèvement du phosphore à partir de plantes flottantes telles que les lenticules (*Lemna sp.*) et les jacinthes d'eau (*Eichornia crassipes*). Cette élimination est surtout importante en période de croissance des plantes. Lorsque le besoin des plantes est satisfait, elles n'en consomment plus.
- 💧 Protection contre la dessiccation en été grâce à la couverture foliaire, qui permet aussi l'atténuation d'impact négatif **des faibles ou fortes degrés de température.**
- 💧 Plantes qui donnent un aspect esthétique et paysager (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 1999**).

1.2. Rôle des microorganismes

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 1999**). Par transformation de cette matière organique en CO₂ pour les bactéries aérobies et en méthane pour les bactéries anaérobies (**L'Office National de l'Eau, 2008**).

1.3. Rôle du substrat

De par sa granulométrie, le matériau de remplissage a un rôle évident de filtration des matières en suspension présentes dans les eaux usées, d'où le nom de filtres (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 1999**). Et s'il présente une bonne capacité d'adsorption, il peut accumuler une partie du phosphore présent dans les influents (**L'Office National de l'Eau, 2008**).

2. Mécanismes d'élimination et performances épuratoires

2.1. Matières en suspension (MES)

Les MES sont éliminées par filtration. Dans les filtres horizontaux, l'accumulation a lieu dans les premiers mètres du filtre, ce qui peut entraîner un colmatage. Un prétraitement en amont demeure indispensable au système d'épuration (décanteur-digesteur) (**L'Office National de l'Eau, 2008**).

2.2.Matière organique

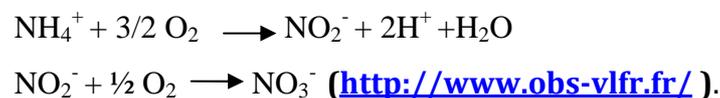
La dégradation de la matière organique se fait par des bactéries hétérotrophes aérobies ou anaérobies. La dégradation aérobie transforme de la matière organique en biomasse bactérienne et en éléments minéraux simples :

Matière organique + bactéries + O₂ \longrightarrow nouvelles cellules + CO₂ + H₂O (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005**).

La dégradation anaérobie est limitée par la présence d'oxygène dans le cas des filtres horizontaux à cause de l'alimentation en continu. Les champignons et les actinomycètes dégradent les grosses molécules organiques en plus petites, que les bactéries dégradent à leur tour.

2.3.Nutriments

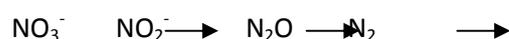
La décomposition des matières organiques azotées s'effectue en présence d'oxygène. L'azote organique se transforme ammonium, ce dernier se transforme en nitrite, qui se transforme en nitrate grâce aux bactéries nitrifiantes selon les réactions suivantes :



Ces bactéries récupèrent une partie de l'énergie de la réaction pour satisfaire leurs besoins énergétiques, en absorbant le carbone inorganique dissous pour synthétiser leurs propres structures organiques. L'activité de ces bactéries est responsable du faible niveau de l'azote ammoniacal et du nitrite dans les eaux oxygénées. Alors que dans les eaux anoxiques, les nitrates jouent le rôle d'oxydants vis-à-vis les matières organiques, selon la réaction suivante :



Elle s'effectue aussi par l'intermédiaire des bactéries anaérobies. C'est la dénitrification :



(Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005).

Le comportement d'azote dans filtres verticaux et horizontaux est différent. Les filtres verticaux assurent une bonne nitrification avec 75 à 95 % de rendement sur l'azote ammoniacal et des concentrations de sortie de l'ordre de 5 mg/l. Les filtres horizontaux atteignent difficilement les 50 % de nitrification à cause d'un manque d'oxygène disponible. Par contre, en ce qui concerne l'abattement de l'azote total, les filtres verticaux ne dépassent pas les 35 % alors que les filtres horizontaux atteignent les 50 % avec 25 mg N/l en moyenne dans l'effluent. En effet, les nitrates formés y sont réduits par dénitrification.

Alors que le phosphore dans les eaux usées est présent sous formes de poly-phosphates, de phosphore organique et d'ortho-phosphates. Les deux premières formes sont hydrolysées en orthophosphates (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) par l'action des micro-organismes. Il est adsorbé aux oxydes de fer, d'aluminium et à la calcite de la surface de la matrice par des réactions d'échange de ligands. La plante assimile le phosphore pour ses tissus en croissance, l'exportation potentielle s'élève à 30 à 150 kg P par ha et par an. Les rendements obtenus pour le phosphore total varient de 5 à 95 % **(Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005).**

2.4. Agents pathogènes

Ils sont éliminés de plusieurs manières. Cette élimination dépend du temps de séjour. La prolongation de leur séjour et leur emplacement dans un milieu différent de celui dans lequel elles se développent limitent aussi leurs chances de vie.

- Elimination par prédation : c'est un phénomène où le prédateur engloutit ou attaque une proie (I.10). Elle se fait par :
 - ✓ Digestion : la matière organique soluble venant des producteurs primaires est utilisée par les bactéries, qui constituent une nourriture pour les consommateurs supérieurs. Les flagellés et les ciliés font leur proie de ces bactéries et les digèrent, ce qui rend les éléments nutritifs qu'elles contiennent, à nouveau disponibles pour une production primaire. De cette façon, une grande partie du carbone fixé par les micro-organismes est minéralisée et recyclée.
 - ✓ Rétention : les bactéries se retiennent au sein du prédateur **(L. Prescott, J. Harley, D. Klein, 2002.)**.

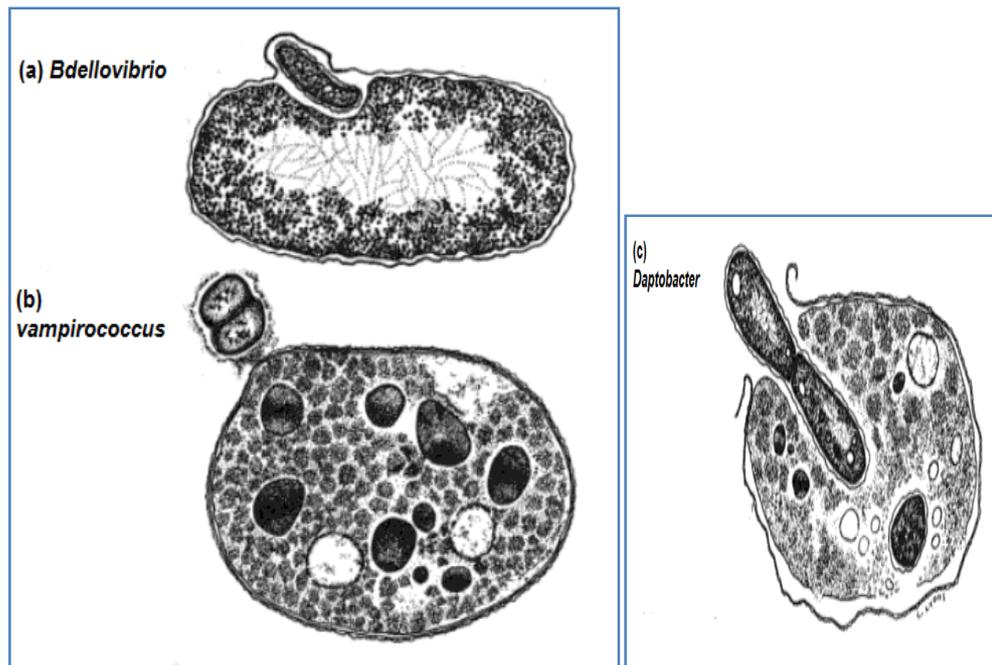


Figure 1.10: Exemples de bactéries prédatrices

(a) *Bdellovibrio*, un prédateur périplasmique qui perce la paroi cellulaire et croit à l'extérieur de la membrane plasmique.

(b) *Vampirococcus*, un prédateur avec un mode épibiotique pour attaquer sa proie bactérienne.

(c) *Daptobacter*, il se localise dans le cytoplasme de la bactérie qu'elle attaque.

3. Domaine d'application

Les filtres plantés sont mis en œuvre dans une gamme de capacités ne dépassent pas quelques milliers d'habitants (généralement inférieur à 2 000 EH). Ils sont destinés au traitement des eaux usées domestiques, leur dimensionnement tient compte des flux hydrauliques, ainsi que ceux de la pollution (Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005).

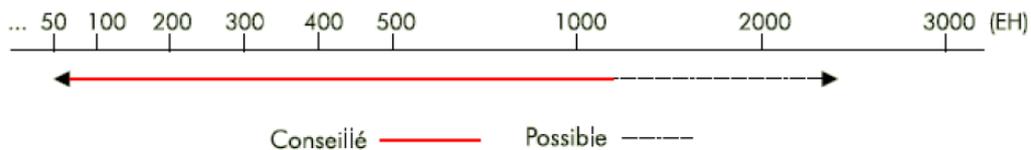


Figure I. 11 : domaine d'application du procédé filtre planté (conseil général Loire en Rhône alpes)

4. Critères d'implantation

Il est préférable que l'implantation du filtre soit à un point plus bas du réseau d'évacuation des eaux usées, sur un terrain en légère pente afin que l'écoulement entre les bassins puissent être gravitaire. Pour cela, il faut un minimum de 4 m de dénivelée entre l'entrée et la sortie pour les filtres à écoulement vertical. Si la pente n'est pas suffisante, un poste de relevage qui nécessite alors le raccordement de la station à une ligne électrique (**L'Office National de l'Eau, 2008**). Ceci se traduira par des coûts d'exploitation très élevés. Dans le cas d'un terrain argileux, il est préférable de le compacter et l'étanchéfier. Les contraintes sont résumées dans le tableau I.6.

4.1. Données topographiques et surfaces disponibles

La surface de traitement nette nécessaire pour ces systèmes est supérieure à celle des systèmes de traitement classiques (boues activées, lit bactérien, par exemple), mais inférieure à la superficie nécessaire au lagunage.

Elle est de l'ordre de 2,5 à 5 m²/E.H, pour les filtres horizontaux. La réduction de la surface peut entraîner un dysfonctionnement au niveau de l'installation (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 1999**).

4.2. Climat

Les filtres horizontaux supportent sans problème de longues périodes de gel (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005**). Il peut être intéressant de laisser la végétation en place après la fauche d'automne. Avec la neige, elle constitue un excellent isolant. Les systèmes verticaux supportent également des périodes de gel à condition de prévoir des pentes de canalisation suffisantes afin d'éviter la stagnation d'eau qui pourrait geler et donc gêner l'alimentation et endommager la tuyauterie.

Pour de courts épisodes pluvieux, le système est capable d'absorber des variations de débit passagères. Si la région est particulièrement pluvieuse, le dimensionnement se fera sur une base hydraulique par estimation du débit par temps de pluie.

4.3. Milieu récepteur

Le milieu récepteur exige un niveau de qualité en termes de DBO₅, DCO et MES dans l'Arrête n°1607-06 du 29 Joumada II 1427 (25 Juillet 2006) relatif aux valeurs limites spécifiques des rejets domestiques: 300 DBO₅ mg O₂/l, 600 DCO mg O₂/l, 250 MES mg/l (D. Kopitopoulos, 2005).

Si la nitrification est une nécessité, la mise en place d'un filtre vertical sera généralement indispensable (L'Office National de l'Eau, 2008).

5. Bases de dimensionnement et conception

5.1. Dispositifs d'alimentation

L'alimentation d'un lit à flux horizontal est normalement continue (Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005). Mais on peut utiliser des moyens d'alimentation discontinue dite alimentation par bâchées ou par poste de relevage. Par exemple, l'alimentation par bâches et par chasses pendulaires sert à stocker temporairement les effluents, puis de les disperser rapidement sur le filtre dans le but de submerger la totalité du filtre avec une lame d'eau suffisante. L'infiltration au niveau du filtre est ainsi homogène. Ces siphons sont de type auto amorçant. Sur certaines stations, le poste de relèvement remplace cet ouvrage, pour d'autres le poste déverse ces effluents dans la bache de stockage. La lame d'eau préconisée est de 3 à 5 cm pour une unité fonctionnelle. Elles nécessitent des contrôles réguliers par l'exploitant. Des problèmes de colmatage concernant la grille de remplissage de la chasse se produisent régulièrement selon le type d'ouverture utilisé, surtout lorsque l'arrivée des effluents est gravitaire. Certaines chasses ont des augets qui peuvent se désamorcer lorsque celles-ci ont leur fonctionnement forcé, ou lorsque des déchets solides bouchent l'évacuation du système de vidange du bac. Dans ce deuxième cas, l'installation d'un prétraitement efficace est primordiale (Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2008) (fig. I.11).



Figure I.11: *L'alimentation par bâches et par chasses pendulaires*

5.2. Dispositifs de répartition

Le répartiteur des effluents permet d'avoir une modulation du débit dans le filtre. La répartition peut se faire :

- 💧 par tranchée : caniveau légèrement en charge par rapport au niveau d'eau dans le lit ; l'eau est distribuée à travers un gabion de répartition (**Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2008**).

- 💧 par puits artésiens: ce mode de répartition est devenu le plus utilisé car il est moins coûteux (tuyau souterrain en PVC et tuyau hors sol en Inox), il assure une bonne répartition et ne nécessite pas de démontage des rampes lors du curage puisqu'elles sont enfouies dans le sable. Cependant ce procédé nécessite de prendre quelques précautions, les tuyaux enterrés restant en charge entre chaque vidange de bâchée. Un robinet de purge des canalisations est nécessaire afin de permettre la vidange complète du tuyau en période de gel. Le diamètre des canalisations doit être adapté au débit d'alimentation afin de réaliser un curage pour éviter le dépôt de matières lourdes pouvant boucher le tuyau et créer des odeurs (**L'Office National de l'Eau, 2008**) (fig. I.12).



Figure I.12: Répartition des effluents par puits artésiens

une rampe d'alimentation: elle est placée sur la tranche de bassin avec une multitude de points d'alimentation afin que la répartition sur l'ensemble de la tranche transversale soit la plus homogène possible (**Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2008**). Les rampes d'alimentation ne doivent cependant pas être enterrées en raison du colmatage possible par les rhizomes (I.13).



Figure I.13: Répartition des effluents par une rampe

5.3. Lits filtrants

La pratique professionnelle, et particulièrement dans le domaine des petites collectivités où la conception des systèmes est encore très empirique et relativement peu précise, veut que l'unité de compte utilisée lors du dimensionnement des ouvrages de traitement est l'équivalent habitant (EH) (**Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2008**). Cette valeur diffère d'un pays à l'autre, en raison de la nature des réseaux unitaires ou séparatifs. Dans la réglementation européenne, il correspond à 60 g DBO₅/j.

💧 La surface des filtres horizontaux: est calculée selon la relation empirique de Cooper et al. , 1996. Elle dépend de la concentration moyenne en DBO₅ à l'entrée et à la sortie et au moyen journalier.

$$A_s = \frac{Q_j (\ln C_{DBO_5 e} - \ln C_{DBO_5 s})}{K_{DBO}}$$

Avec :

A_s = surface du filtre (m²)

Q_j = débit moyen journalier arrivant à la station (m³/j)

C_{DBO₅ e} = la concentration moyenne journalière en DBO₅ à l'entrée (mg/l)

C_{DBO₅ s} = la concentration moyenne journalière en DBO₅ à la sortie (mg/l)

K_{DBO} = constante (m/j). Elle dépend du type d'eaux à traiter (eaux brutes, eaux traitées biologiquement...).

La surface est directement proportionnelle au débit, elle augmente également avec la concentration en DBO₅ à l'entrée et vice versa. L'application de cette formule conduit, en fonction du type d'eaux à traiter et donc de la valeur de K_{DBO}, aux surfaces résumées dans le tableau I.7. Mais il reste préférable de se référer directement aux surfaces spécifiques nécessaires par habitant : 5 m² / hab. **(Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2008).**

Tableau I.7: Valeurs de k_{DBO} et de surfaces spécifiques en fonction du type d'eaux à traiter

Types d'eaux	Concentration (DBO ₅ mg/l)	k _{DBO₅}	m ² /hab.
Brutes	-	-	-
Décantées	150 - 300	0,1	5
Traitées biologiquement	10 - 20	0,3	1
Surverse de réseau unitaire	-	0,3 - 0,6	0,5 - 1

💧 La profondeur: elle peut atteindre 0,6 m. Elle correspond à la profondeur atteinte par les rhizomes des roseaux en milieu saturée continue **(Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005).**

💧 La pente du fond: généralement la surface des filtres horizontaux est plane et c'est le fond qui est légèrement pentu (1% environ). Et pour atténuer les écoulements de surface et forcer le passage de l'eau dans le massif. (Geller, 1990) a suggéré que la surface des filtres soit légèrement ascendante (0,5 à 2%).

💧 La géométrie des lits: il existe deux méthodes pour déterminer la géométrie des lits horizontaux :

- Détermination de la géométrie, en tenant compte la perméabilité des matériaux de garnissage :

La géométrie de lit est basée sur la perméabilité des matériaux de garnissage. Les filtres horizontaux fonctionnent en milieu saturé, leur perméabilité K_s peut être élaborée par la loi de Darcy :

$$Q = A * K_s * (dH/dL)$$

Avec :

Q = débit maximum journalier en m^3/j

$A = H * l$, l'aire de la section transversale du lit en m^2 , (H = hauteur de l'eau dans le filtre et l = largeur),

K_s = conductivité hydraulique à saturation du matériau vierge (m/s)

dH/dL = gradient hydraulique (m/m), utilisé pour la conception, correspond à la pente de la ligne d'eau à obtenir en fonctionnement : depuis la surface du filtre jusqu'à niveau de l'entrée et jusqu'à environ 10 cm de la hauteur totale au niveau de la sortie.

Les valeurs de K_s utilisées pour dimensionner sont des ordres de grandeur de la perméabilité en fonction des matériaux continue (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 1999**). Cette perméabilité est liée à la granulométrie des matériaux et évolue avec le colmatage progressif du massif. Une partie de ce colmatage est modérée par l'effet décolmatant des rhizomes et racines. Le tableau I.8 présente les surfaces d'épandage en fonction de la perméabilité du sol.

Tableau I.8: les surfaces d'épandage en fonction de la perméabilité du sol

Valeur de k	500 à 50	50 à 20	20 à 10	10 à 6
Hydromorphie	Sol très perméable	Moyennement perméable	Perméabilité médiocre	Très peu perméable
Sol bien drainé (pas de nappe superficielle)	15 m ² de tranchées ou 25 m ² de lit d'infiltration	25 m ² de tranchées	40 m ² de tranchées	60 m ² de tranchées
Sol moyennement drainé (hauteur de la nappe voisine de 1 à 1,50 m de la surface du sol)	20 m ² de tranchées ou 35 m ² de lit d'infiltration	25 m ² de	50 m ² de tranchées	-

- Détermination de la géométrie par calcul itératif : On calcule la section transversale A avec une première valeur du gradient hydraulique (dH/dL) 1. La connaissance de la profondeur (0,6 m) permet de déterminer une largeur l1 et on déduit une longueur L1 à partir de la valeur de la surface horizontale S. on peut déterminer alors la hauteur de la sortie de l'effluent $H1 = (dH/dL) 1 * L1$,

On réitère ce calcul, jusqu'à obtenir un niveau d'eau à la sortie qui égale 10 cm de la surface du massif continue (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005**).

- 💧 Les matériaux de garnissage: la norme autrichienne ÖNORM B 2505 propose pour les filtres horizontaux une granulométrie de 4 à 8 mm lorsque le lit reçoit des eaux simplement décantés continue (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 1999**). Et pour un lit installé avant un autre traitement en aval, on peut utiliser une granulométrie plus fine (1 à 4 mm).



5.4. Dispositifs d'évacuation des eaux traitées

Les dispositifs d'évacuation doivent permettre de caler la ligne d'eau dans le massif filtrant à partir de 5 cm sous le niveau des matériaux de garnissage continue (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 1999**). Ils ajustent le niveau de sortie selon des pointes hydrauliques ou

un vieillissement de la perméabilité pour éviter le débordement d'eau dans les filtres et assurer que les plantes sont à un niveau compatible à leur développement. On peut utiliser une couche drainante remplie de granulats grossiers (60 à 80 mm) sur toute la largeur du lit, des drains en PVC (diamètre 100 mm minimum) ou un dispositif de collecte avec manchon sur coude rotatif. La figure I.14 présente en coupe un dispositif de collecte avec manchon sur coude rotatif, un tuyau accroché à différentes hauteurs peut le remplacer.

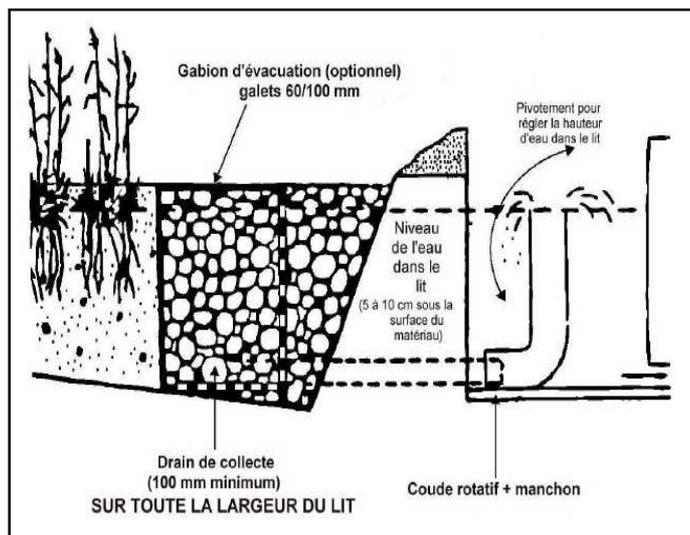


Figure I.14: Dispositif d'évacuation en sortie de lits plantés à flux horizontal

6. Entretien et exploitation

Les filtres plantés sont peu contraignants du point de vue de l'exploitation et demandent peu d'entretien par rapport à une installation classique, ces aspects sont primordiaux pour le bon fonctionnement de la station ainsi que sa pérennité. Leur suivi peut se faire à l'aide d'un cahier d'entretien, qui doit être tenu et mis à jour à chaque visite et contient les manipulations effectuées, les divers travaux d'entretien et/ou de réparation et les dysfonctionnements.

6.1. Entretien

L'entretien comprend les actions suivantes :

- 💧 Entretien du dégrilleur/dessableur/déshuileur : le dégrilleur doit être nettoyé une fois par semaine, le refus est déposé dans un panier de séchage où il séjourne puis évacué avec les déchets ménagers. Alors que le dessableur doit être entretenu régulièrement et plus particulièrement après de fortes pluies qui peuvent entraîner des quantités importantes de sable dans le cas d'un réseau unitaire. Et le déshuileur peut être nettoyé deux fois par an.

💧 L'écémage du décanteur primaire,

💧 L'inspection des ouvrages a pour objectif d'éviter:

- Dégradation des terrassements,
- Dégradation des bétons,
- Dégradation des canalisations de répartition.

💧 L'Evaluation du fonctionnement permet:

- l'observation de la végétation,
- la répartition de l'eau,
- la présence d'un dysfonctionnement.

💧 Le désherbage manuel des adventices présents à la surface des filtres en début de vie de la station,

💧 Le nettoyage des organes hydrauliques : le siphon et la bache de stockage en tête des filtres plantés de roseaux doivent être nettoyés au jet d'eau sous pression au moins une fois par trimestre, afin de fiabiliser le fonctionnement, essentiel, du dispositif d'injection par baches.

💧 Le faucardage : dans le cas des filtres plantés à écoulement horizontal, il n'est pas nécessaire pour le fonctionnement épuratoire. Cela permet d'assurer une protection thermique pendant les périodes de gel. Il se fait une fois par an, généralement à l'automne. Durant les deux premières années les plantes ne doivent pas être coupées pour leur permettre de se développer. Les plantes fauchées peuvent être utilisées pour une valorisation artisanale ou brûlées. Il ne reste alors que les reliquats de tiges qui sont coupés à la faux.

💧 Le traitement des insectes : dans le cas des filtres à écoulement horizontal le traitement des insectes est inutile étant donné l'absence d'eau stagnante en surface des filtres. Cependant des dysfonctionnements n'affectant pas forcément de manière significative l'épuration peuvent entraîner la prolifération de moustiques.

♻️ L'Entretien des abords de la station : il consiste à tondre régulièrement les abords de la station pour préserver un certain esthétisme ainsi que pour entretenir les clôtures en fonction des dommages occasionnels.

6.2.Exploitation

Dans le cas d'alimentation en continu, la hauteur d'eau est maintenue constante par un système de siphon (ajustement du niveau d'eau dans le filtre). Et lorsque l'alimentation est discontinuée, il faut vidanger le filtre afin que l'air puisse y circuler librement et que la dégradation aérobie des matières accumulées puisse avoir lieu. Ceci évite de plus le dégagement de mauvaises odeurs liées à la fermentation dans une eau stagnante en fond de bassin. La vanne située au bas du filtre doit rester ouverte pendant la période de repos.

DEUXIEME CHAPITRE :

MATERIELS ET METHODES

I. Description du procédé du traitement des eaux usées

Le filtre planté a été réalisé en Août 2010 dans le site de projet pilote d'ecosan à Dayet Ifrah. La réalisation a été conçue par la GIZ. Les filtres plantés à écoulement horizontal appartiennent au système d'épuration par culture bactérienne fixe dont les eaux usées dans notre cas sont d'origine domestique: des eaux noires et grises. Le système de traitement se compose d'une fosse de décantation et d'un filtre planté. Le trop plein de la fosse de décantation se déverse dans un bac de répartition qui alimente le filtre planté. Ce filtre est dimensionné en fonction des qualités et quantités des eaux usées. Le filtre planté installé à l'école est constitué d'un bassin dont les parois sont maçonnées ; il est ensuite rempli de graviers dans lesquels sont plantés des macrophytes. Les eaux usées sont épurées tout au long de leur cheminement dans

le filtre par l'action de la microfaune qui se développe sur les racines et les graviers. Les eaux épurées sont utilisées dans l'irrigation du jardin de l'école (fig. II.1).

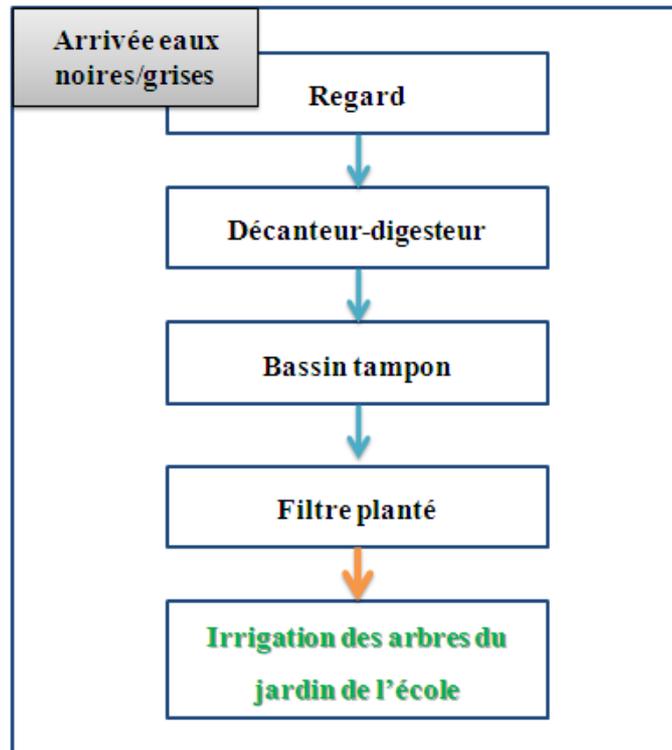


Figure II.1 : Le système de traitement des eaux usées de l'école et la mosquée.

1.1. Composantes du système

Le système de traitement des eaux noires et grises comprend un réseau de collecte, une unité de traitement primaire, suivie d'un traitement par le filtre planté à écoulement horizontal.

a. Réseau de collecte

Le réseau de collecte d'eaux usées est séparatif à flux gravitaire dont les canalisations sont en PVC d'un diamètre de 110 mm.

b. Unité de traitement primaire

L'unité de traitement primaire se compose des éléments détaillés ci-après :

- 💧 Un regard: il sert à réduire la vitesse du flux entrant dans le décanteur-digester. Fabriqué en béton.
- 💧 Le décanteur-digester : il assure la décantation des MES et la digestion anaérobie de la fraction organique des boues décantés dont les sédiments s'écoulent vers le digesteur sous forme de boues liquides et sont traités par digestion anaérobie. Fabriqué en pierres et ciment de forme cylindrique et de diamètre 2,5 m Son volume est de l'ordre de 4 m³. Le temps de séjour est de l'ordre de 3j.
- 💧 Un bassin tampon : il sert de bassin de stockage et permet de réguler le débit d'émission des effluents vers le filtre planté.

c. Filtre

Le filtre se compose d'un dispositif d'alimentation, d'un dispositif de répartition, d'un lit filtrant et d'un dispositif d'évacuation.

💧 Dispositifs d'alimentation et répartition

L'alimentation des installations est gravitaire en continu par un gabion d'alimentation, qui sert à répartir et apporter le flux d'une manière homogène sur l'ensemble du massif filtrant. Ce gabion se compose d'une couche de pierres (4 à 12 cm), placé sur la tranche de bassin avec une multitude de points d'alimentation sur l'ensemble de la tranche transversale soit la plus homogène possible (fig.II.2). L'organe d'acheminement des eaux usées brutes est un tuyau en PVC, il a un diamètre de 100 mm percé de fentes de 5 mm de largeur. Il est démontable, pour permettre l'entretien en cas de besoin (fig.II.3).

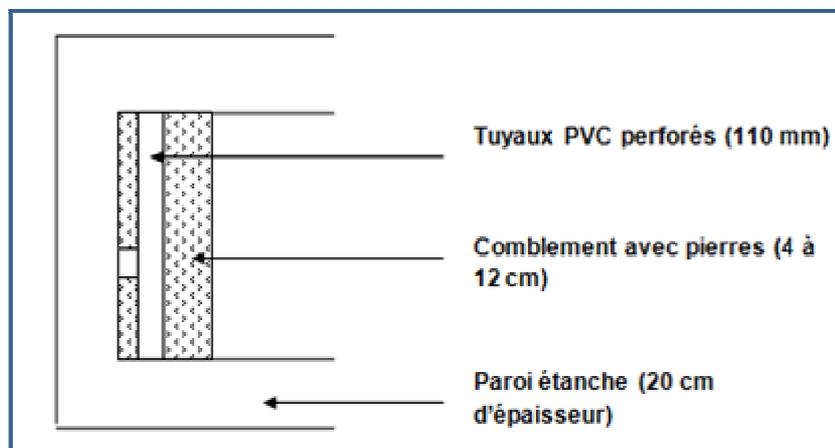


Figure II.2: Le gabion d'alimentation des filtres plantés

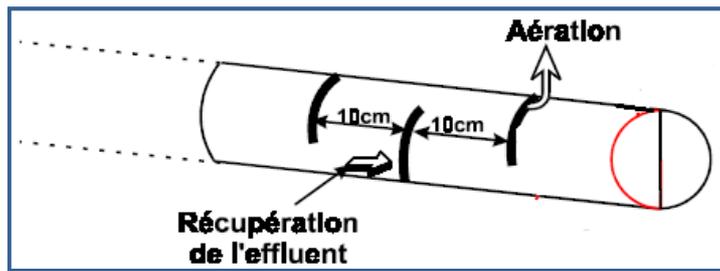


Figure II.3: L'organe d'acheminement des effluents

💧 Lits filtrants

La superficie du bassin est 50m^2 et sa construction a compris les étapes suivantes :

- Le terrassement pour mettre la pose du filtre, le décanteur-digesteur et la cuve tapon,
- La construction de la paroi étanche en béton armé pour protéger la nappe de toute contamination par infiltration des eaux usées en cours de traitement,
- La tuyauterie : les tuyaux sont en PVC et ont un diamètre de 100 mm. Les tuyaux sont démontables et ne sont pas collés et percés de fentes de 5 mm de largeur.
- Le massif filtrant est mis en œuvre par 3 couches de granulométrie différente, sa hauteur du matériau est de l'ordre de 0,6 m (fig. II.4).

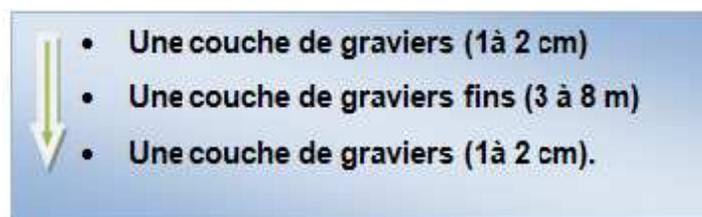


Figure II.4: La granulométrie du massif filtrant

💧 L'évacuation des eaux épurées

Elle est gravitaire par un gabion qui se compose d'une couche de pierres (4 à 12 cm).

💧 Système de valorisation des eaux traitées

La valorisation des eaux traitées est assurée par un système d'irrigation, qui se compose d'un tuyau perforé. Les perforations de ce tuyau qui irrigue les arbres du jardin (fig. II.5).

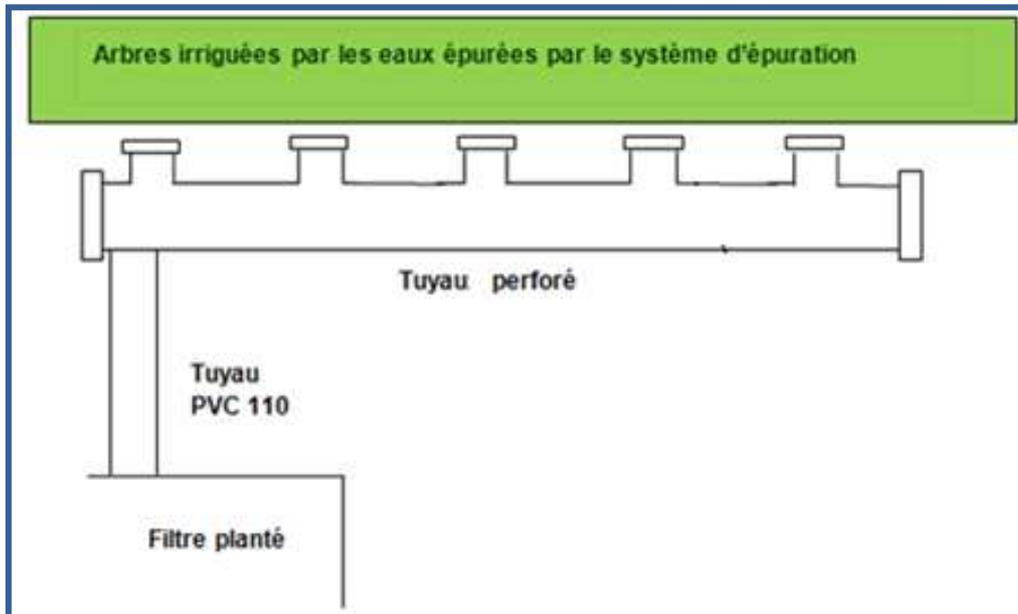


Figure II.5: Le système d'irrigation par les eaux traitées à l'école

II. Evaluation de l'état du filtre planté

Pour évaluer le fonctionnement et la performance du filtre planté on a fait des suivis de la station. Ils ont été effectués par des inspections des ouvrages du système de traitement. (Tab. II.1), (**Ministère de l'agriculture et de la pêche, 2007. Cahier des clauses techniques particulières, filtres plantés de roseaux**).

Tableau II.1 : le suivi de l'état des filtres plantés (**Cahier des clauses techniques particulières, filtres plantés de roseaux 2007**).

Les ouvrages sont conçus pour permettre une extension aisée de la station d'épuration.

L'entrepreneur fournit une note de fiabilité détaillée abordant, au moins :

- les risques de colmatage,
- les risques de débordement des filtres,

- les risques induits par le gel.

Mentionnant toutes les pièces et ouvrages sujettes à ces risques, cette note précise tout particulièrement les organes suivants:

- Les ouvrages d'arrivée,
- Les ouvrages de prétraitement (dégrillage),
- Les dispositifs d'isolement des filtres,
- Les pompes,
- Les dispositifs de vidange du réservoir de stockage (réglage, présence de graisse...)

Dispositifs d'alimentation

C'est grâce à ces dispositifs d'alimentation qu'un filtre planté de roseaux peut fonctionner correctement [8]. Le bon fonctionnement de ces installations assure une bonne dégradation de la pollution. Leur exploitation doit être soignée.

1.1. Drains d'alimentation

Les drains d'alimentation sont suivis pour s'assurer qu'il n'y a pas une mauvaise alimentation des filtres. Il faut nettoyer les drains (**Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005**):

-  Isoler le massif filtrant concerné
-  Démonter les bouchons situés aux extrémités
-  Nettoyer au jet d'eau la canalisation
-  Nettoyer les orifices bouchés
-  Remonter les bouchons
-  Remettre en fonctionnement normal

1.2. Gabion d'alimentation

Le gabion d'alimentation et d'évacuation se compose des pierres drainantes, ces pierres ont le risque d'avoir un colmatage causé par les matières solides qui se décomposent, s'adhèrent et forment une couche à la surface des pierres et entre pierres ; si ces matières ne sont pas éliminées dans le traitement primaire en amont.

2. Lits filtrants

2.1. Massif (niveau d'eau)

Le massif filtrant au-delà de la rétention physique des MES offre un support au développement d'une biomasse qui dégrade la pollution en condition aérobie (**L'Office National de l'Eau, 2008**).

Le suivi des bassins de filtres plantés a concerné le niveau d'eau qui dépend de l'évolution la perméabilité du massif filtrant au cours du temps et de la variation des charges hydrauliques. Sa montée peut entraîner un dégagement des odeurs nauséabondes. Ce niveau est ajustable par un système de rehausse sur toute la hauteur du filtre. 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 (**Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2008**). Le suivi de la croissance végétale, ainsi que le faucardage de la partie aérienne des roseaux, sont les principales tâches d'exploitation à ce niveau.

on a mesuré le niveau d'eau à chaque mètre tout le long du filtre.

2.2. Evaluation des plantes testées

On a observé dans la première visite que la densité des plantes n'est pas suffisante. Donc, la végétalisation des filtres plantés demeure indispensable.

a. Végétalisation de filtre

La végétalisation du filtre est une étape qui consiste à planter un plant ou groupe de plants (avec système racinaire) prélevés dans un milieu humide et replantés dans un autre. Le prélèvement se fait en tout moment ; cela favorise le choix de végétalisation par transplantation ; dont la période la plus favorable de transplantation se situe de fin mars à fin juin, lorsque les plantes développent leur système racinaire.

b. Disposition et densité des plants

Le raisonnement de la disposition des plants permet une répartition homogène, pour assurer à chaque plante le maximum d'espace vital. On a choisi le positionnement en quinconce (les plants sont décalés d'une demi-longueur ($e/2$) et sont disposés en triangles sur 3 alignements) pour permettre le regroupement de végétaux en massif et créer un milieu riverain plus naturel et des habitats plus favorables à la faune que ne le feraient les végétaux disposés en quinconce (fig. II.6). En prévoyant une distance entre les plants correspondant à leur largeur estimée une fois à maturité.

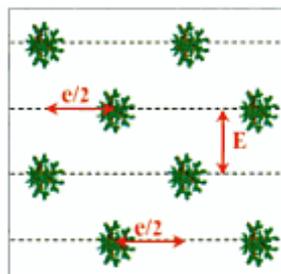


figure II.6: positionnement des plantes en quinconce

La densité qu'on a choisit c'est 4 plants par m^2 pour le roseau, 6 plants par m^2 pour l'Iris (Tab. II.2).

Pour évaluer le degré d'adaptation du papyrus, on a implanté une vingtaine des pieds.

Tableau II.2: La densité d'implantation des plants

<u>Les plantes</u>	<u>Roseaux</u>	<u>Iris</u>	<u>Papyrus</u>
<u>La densité de plantes</u>	100 pieds	150 pieds	20 pieds

Pour leur succession, on s'est basé sur leur écologie (Tab. II.3):

- 🌿 Mettre l'Iris au bord pour favoriser un bon ensoleillement, vue l'indépendance de la plante de ce facteur ;

- 🔹 Mettre le papyrus de la partie gauche du filtre pour le protéger contre les rayons solaires ; tout en favorisant l'ensoleillement du roseau.

Tableau II.3: L'écologie des plantes choisies

Plantes	Exposition au soleil	Rusticité	Profondeur (cm)	Densité
Cyperus papyrus	Soleil,	(-1 à +5 °C)	-5 à -30cm	1 plant par m ²
Phragmites australis	Soleil, Mi-ombre,	(-23 à -18 °C)	0 à -60 cm	4 plants par m ²
Iris pseudacorus	Soleil,	5 (-29 à -23 °C)	jusqu'à 40 cm	6 plants par m ²
Iris pseudacorus (nain)	Soleil,	5 (-29 à -23 °C)	jusqu'à 40 cm	6 plants par m ²

c. implantation

- 🔹 Enlever les branches endommagées en gardant le bourgeon terminal (fig. II.7).



Figure II.7: La préparation du matériel végétal

- 🔹 Creuser un trou suffisamment large et profond (dépend de la profondeur nécessaire au développement racinaire) pour permettre l'étalement des racines,
- 🔹 Planter le plus verticalement possible et enfouir les racines jusqu'au niveau du collet (fig. II.8).





Figure II.8: La méthode d'implantation des plants

d. Entretien et suivi des plants

L'entretien a compris les actions suivantes :

- 💧 Désherbage manuel des mauvaises herbes et des organes flétris: l'invasion des filtres par les mauvaises herbes va gêner la croissance des plants plantés. Dans ce cas, on peut effectuer un désherbage manuel qui doit se faire de façon régulière. De préférence les enlever en l'apparition des premiers plants. Durant le suivi de leur état, on a trouvé des racines au niveau du massif filtrant, qu'on a enlevé pour éviter leur développement dans les filtres. On a aussi enlevé les parties aériennes qui ont flétri pour favoriser un développement rapide des plantes,
- 💧 Développement des plantes: il a été assuré par les observations à chaque visite de l'état des plantes et leur taille.

III. Evaluation des flux des matières à l'entrée et à la sortie du filtre planté

L'évaluation des flux des matières a été effectuée à l'Office National de l'Eau Potable (O.N.E.P). Les personnels de l'office ont prélevé les échantillons puis ils les ont transportés au laboratoire selon les conditions de conservation des échantillons.

💧 Prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate qui conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donné. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (MES, gaz dissous, etc.). On a effectué des prélèvements instantanés, ils ne donnent qu'un reflet sur la composition des eaux qui a un caractère évolutif. Et pour avoir des échantillons représentatifs, on a fait des prélèvements composites:

- 💧 le premier à 7h00 min du matin,
- 💧 le deuxième à 12h30 min,
- 💧 le troisième à 16h00 min.

Pour les paramètres physico-chimiques, on a utilisé des flacons en plastique. Pour les paramètres bactériologiques, on a utilisé des flacons en verre afin d'arrêter toute interaction de la matière du plastic avec les bactéries. Les échantillons ont été conservés dans une glacière à 4° C (O.NE.P.).

💧 Analyse des flux des matières

L'analyse des flux de matières a compris une analyse des indicateurs de pollution fécale (coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux (SF)), des indicateurs de pollution physico-chimiques (MES, DBO₅) et les éléments nutritifs présents dans les eaux traitées.

2.1. Indicateurs de pollution fécale

Les indicateurs de pollution fécale pris en compte dans cette partie sont uniquement les coliformes (dits coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux (SF)). Pour les dénombrer, on a utilisé la méthode par ensemencement en milieu liquide ou du nombre le plus probable (NPP). Le principe de la méthode NPP consiste à ensemer de nombreuses prises d'essai d'un même échantillon et/ou de dilutions de celui-ci dans des tubes de milieu de culture liquide. Les prises d'essai de l'échantillon ou des dilutions, sont donc incorporées dans une première série de tubes de milieu non véritablement sélectif : c'est le test de présomption (croissance ou non). Ce premier test est qualitatif et permet de conclure seulement à la présence ou à l'absence de microorganismes dans la prise d'essai. On enseme une

deuxième série de tubes de milieu plus sélectif en repiquant les tubes ayant donné un résultat positif dans la première série : c'est le test de confirmation. A partir de ces résultats, on estime la quantité de microorganismes après détermination du NPP (O.NE.P.).

2.2. Indicateurs de pollution physico-chimiques

a. Demande biochimique en oxygène (BDO₅)

La Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (DBO₅) est la concentration en masse d'oxygène dissous consommée dans des conditions définies par l'oxydation biologique des matières organiques et/ou inorganiques contenues dans l'eau. (Définition de l'ISO 6107/2.).

Le principe de mesure est manométrique. La quantité d'oxygène consommée par les substances biodégradables de l'échantillon est mesurée grâce à un détecteur de pression (O.NE.P.). Pour exprimer les résultats on convertit les valeurs affichées dans le détecteur (digit) en valeur DBO₅ avec le tableau.

$DBO_5 \text{ en mg d'O}_2/\text{L} = \text{Digit} \times \text{Facteur (Echantillon)} \times \text{Dilution éventuelle}$

b. Matières en suspension (MES)

Cette méthode s'applique à la détermination des solides en suspension totaux et volatils, dans les échantillons d'eaux. Le domaine d'application se situe entre 5 et 20 000 mg/L, lorsque 250 ml est filtrée et entre 1 et 4000 mg/L, lorsque 1000 ml est filtrée, pour les solides en suspension totaux. La limite supérieure peut être augmentée si une dilution appropriée est effectuée sur l'échantillon. A l'aide d'un équipement de filtration sous vide, l'échantillon est filtré sur un filtre Whatman 934 AH de porosité 1,5 µm. Le filtre est ensuite séché à 105 °C et la masse du résidu est déterminée par pesée. Exprimé en mg/litre ce résidu constitue la quantité de matières en suspension totales. Ce même résidu est ensuite calciné dans un four à 550°C. La différence entre le poids du résidu séché à 105°C et celui du résidu calciné à 550°C exprimée en mg/l constitue la quantité de matières en suspension volatiles (O.NE.P.). Les résultats sont exprimés grâce à cette relation

$$x = \frac{(A - B)}{2a} * 100$$

Où:

A: Poids de la membrane+ solides (g)

B: Poids de la membrane vide (g)

c. Nutriments

Phosphore (P)

La détermination du PO_4^{2-} a été réalisée par des Kits (O.NE.P.).

Azote (N)

L'azote est un constituant majeur de l'atmosphère (78%) joue un rôle essentiel dans la biosphère. Les différentes formes minérales (ammoniac, nitrites, nitrates) et organiques (acides aminés, protéines) font l'objet d'échanges réversibles incessants. Les différentes étapes du cycle de l'azote : fixation atmosphérique, assimilation, ammonification, nitrification, sont régies par des phénomènes biologiques impliquant des bactéries, plantes, champignons. Les formes susceptibles de se trouver dans l'eau sont : Azote Kjeldhal, Azote ammoniacal, Nitrates et Nitrites (O.NE.P.).

- Azote total: On a déterminé l'azote total par la méthode colorimétrique par flux continu MOND CI 103, qui s'applique à la détermination de l'azote Kjeldhal dans les eaux par la différence entre l'azote total et la somme des nitrates et nitrites. Son principe se base sur l'oxydation aux UV de toutes les formes d'azote en nitrates en ajoutant à l'échantillon une solution de borax avec un excès de potassium persulfate. L'échantillon est mélangé à un tampon qui passe dans une colonne de grains de cadmium recouverts de noir de cuivre, pour réduire les nitrates en nitrites. Les nitrites résultantes donnent une réaction de diazotation avec la sulfanilamide, couplé au chlorhydrate d' α -naphtyl-éthylènediamine pour former un complexe rose, dont l'intensité de la coloration, mesurée à 540 nm, proportionnelle à la concentration en nitrates résultant de l'oxydation.

Les résultats sont lus à l'aide d'un logiciel SKALAR exprimés en mg/L.

- Azote ammoniacal: On a déterminé de l'azote ammoniacal par la méthode colorimétrique par flux continu MOND CI 102. Cette méthode s'applique à la détermination de la concentration en ammonium dans les eaux. Elle utilise la réaction Berthelot modifié : l'ammoniac est chloré en monochloramine, celle-ci réagit avec le salicylate pour former la 5-aminosalicylate en présence de nitroprussiate. Après oxydation et couplage oxydant, il se forme un complexe coloré vert. L'intensité de coloration, mesurée à 660 nm, proportionnelle à la concentration initiale en ammoniac. Les résultats sont observés à l'aide d'un logiciel SKALAR et exprimés en mg NH_4/L pour l'azote ammoniacal dans les eaux.
- Nitrates : Leur détermination a été réalisée par des Kits.

IV. Evaluation de dimensionnement du filtre planté

Pour vérifier le dimensionnement du filtre, on a utilisé la méthode citée dans le chapitre des études bibliographiques (5. Bases de dimensionnement et conception). En estimant les quantités des eaux usées qui entrent dans les filtres plantés par un sondage des bénéficiaires des installations sur :

- 💧 Le nombre des habitants,
- 💧 La quantité hebdomadaire des eaux usées rejetées.

Et pour la DBO_5 , on a effectué son analyse à l'Office National de l'Eau Potable.

V. Evaluation des coûts de réalisation du filtre planté

Pour évaluer les coûts, on a fait une estimation des matériaux, des quantités utilisées, ainsi qu'une estimation du coût de la main d'œuvre.

1. Dosage de béton et mortier

Pour doser 1 m³ de béton, on met :

- 🔹 350 Kg de ciment
- 🔹 400 L de sable
- 🔹 800 L de gravier

Et pour doser 1 m³ de mortier, on met :

- 🔹 400 Kg de ciment
- 🔹 1000 L de sable

2. Quantification des besoins en matériaux

Le bassin se compose d'une dalle de 10 m³ (5 * 10 * 0,2), de deux parois de 1,2 m³ (5 * 0,6 * 0,2), et de deux parois de 2,4 m³ (10 * 0,6 * 0,2).

2.1. Dalle de filtre

Pour construire une dalle, on aura besoin de fer et de béton : 1 m³ vaut 10 m de fer, 0,4 T de ciment, 0,4 m³ de sable et 0,8 m³ de gravier. Donc une dalle de 10 m³, on aura besoin de :

- 187,5 Kg de barre de fer, puisque 1 barre pèse 4,5 Kg,
- 4 T de ciment,
- 4 m³ de sable,
- 8 m³ de gravier.

2.2. Parois de filtre

Pour construire les parois, on aura besoin des briques de (15 cm * 20 cm * 40 cm) remplies de mortier. 1 m³ se compose de 12,5 briques (2,5 * 4) et chaque brique doit être remplie de 0,009 m³ de mortier.

a. Parois de 1,2 m³

La paroi de 1,2 m³ va être construite par 15 briques et 0,15 m³ de mortier.

b. Parois 2,4 m³

La paroi de $2,4 \text{ m}^3$ va être construite par 30 briques et $0,6 \text{ m}^3$ de mortier. Donc Le Total Sera 90 brique remplies de $0,17 \text{ m}^3$ de mortier.

- 90 briques,
- 0,07 T de ciment,
- $0,07 \text{ m}^3$ de sable,
- $0,13 \text{ m}^3$ de gravier.

2.3. Décanteur-digesteur

Le décanteur sera construit par 500 briques remplies de $0,94 \text{ m}^3$ de mortier.

- 500 briques,
- 0,4 T de ciment,
- $0,4 \text{ m}^3$ de sable,
- $0,8 \text{ m}^3$ de gravier.

VI. Actions menées contre les risques sanitaires

Des précautions devraient être prises pour empêcher tout contact entre toute personne et l'effluent en raison des risques potentiels de transmission de maladies. L'absence des clôtures, permettent l'entrée des enfants qui jouent et jettent des déchets solides au niveau du filtre. Les actions menées contre les risques sanitaires sont :

- ♻ Sensibilisation des élèves: on a sensibilisé les élèves par des séances sur la préservation du patrimoine naturel rural, surtout du jardin de l'école. Afin de la conserver et le valoriser, notamment à travers *sa qualité paysagère et sa diversité biologique* afin de contribuer à la qualité du cadre de ce jardin (fig. II.9). Ces séances ont été faites par des actions de conseil et des actions de pédagogie à l'environnement pour préserver leur jardin.



Figure II.9: sensibilisation des élèves sur la préservation du patrimoine naturel rural

💧 Mise d'une barrière biologique qui assure la protection des élèves contre une contamination par des germes pathogènes au niveau de l'école, car pour eux la mise d'une clôture peut être considérée une interdiction de jouer (fig. II.10). C'est pour ça, on a mis une sorte de clôture biologique. Il s'agit d'une ceinture de plantes qui empêche l'accès des élèves au filtre planté d'une façon indirecte.

💧 Construction d'un amphithéâtre pour les élèves (fig. II.10).



Figure II.10 : L'amphithéâtre Et La barrière végétale mise au jardin.



TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

I. Evaluation de l'état de filtre planté

1. Regard et unité de traitement primaire

Les regards de visite doivent être inspectés tous pour vérifier le bon écoulement des effluents (<http://www.spanc66.fr/>). L'inspection a permis de constater qu'une fraction de la matière fécale décante. Cette décantation est due à la conception du regard dont les drains sont surélevés par rapport à la base du regard (fig. III.1).

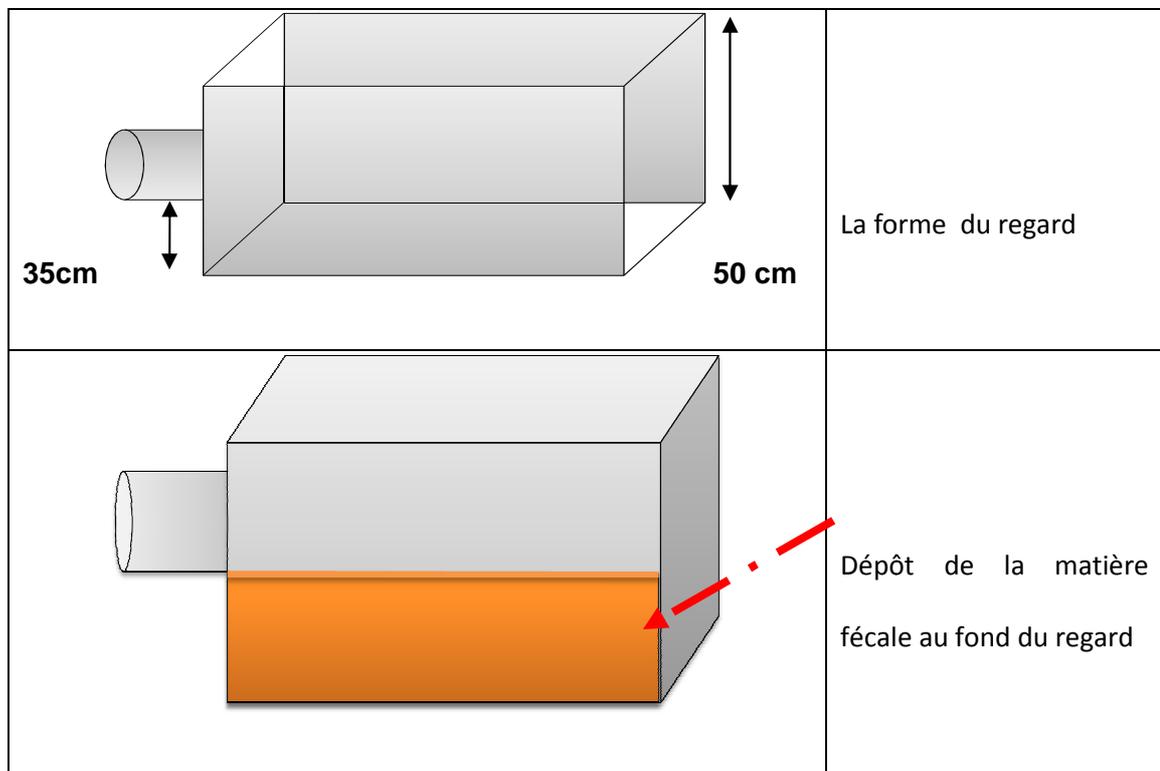


Figure III.1 : L'état du regard

2. Dispositifs d'alimentation



2.1. Drain d'alimentation

Les déchets organiques empêchent très vite les drains de fonctionner et forment de longues masses fibreuses et malodorantes qui les bouchent. Et c'est ce qu'on a constaté au niveau du drain d'alimentation du filtre. Pour le déboucher :

- 💧 On a isolé le massif filtrant concerné,
- 💧 On a nettoyé le drain et les orifices bouchés au jet d'eau,
- 💧 On a remonté les bouchons et on a remis en fonctionnement normal.

2.2. Gabion d'alimentation

Durant nos visites de suivis, le gabion a été en bon état et cela justifie que l'apport de la matière décomposée qu'on a trouvée n'est pas à l'origine des ouvrages en amont. Car si c'était le cas, on avait assisté à un colmatage du gabion.

3. Massif filtrant

3.1. Niveau d'eau

Le niveau d'eau dans un filtre planté à écoulement sous-surface est maintenu à 5-15 cm en dessous de la surface pour assurer un écoulement souterrain. L'évaluation du niveau a permis de constater que le niveau d'eau respecte ce qui est cité dans la littérature (fig.III.2).

Le suivi du niveau d'eau des deux parties du filtre a montré que la distribution de l'eau au niveau du filtre est homogène, puisque les valeurs sont identiques à chaque point (on a mesuré le niveau d'eau à chaque mètre tout le long du filtre).



NIVEAU D'EAU DANS LA PARTIE DROITE DU FILTRE PLANTE	NIVEAU D'EAU DANS LA PARTIE GAUCHE DU FILTRE PLANTE
 <p>34 cm</p>	 <p>33 cm</p>
 <p>32 cm</p>	 <p>30 cm</p>
 <p>20 cm</p>	 <p>19 cm</p>



Figure III.2 : Les niveaux d'eau au niveau du filtre.

3.2. plantes testées au niveau des filtres plantés (croissance et adaptation des plantes)

Le suivi des plantes testées a permis à la fois d'observer le développement des plants implantés et leur adaptation vis-à-vis des conditions climatiques. Les roseaux, les iris nains et les iris, après la phase hivernale, repoussent correctement au début du printemps 2011. Les plants de roseaux sont pleinement développés, bien verts en Mai avec une hauteur moyenne qui atteint les 2 m (Tab III.1). Ainsi que l'iris et l'iris nain qui atteignent respectivement une hauteur moyenne de 1,6 m et 0,8 m.

Les plants d'iris, d'iris nain et de roseaux ont pu s'adapter aux conditions climatiques de la région. Alors que les plants du papyrus n'ont pas pu s'adapter aux conditions climatiques de la région. (Tab III.2).



Tableau III.1: Comparaison entre l'état actuel des plantes au niveau du filtre planté installé au site d'étude et celui de la première visite

<u>première visite</u>	
	
	<u>Etat actuel</u>







Tableau III.2: L'adaptation des espèces vis à vis les conditions climatiques

<u>Plantes</u>	<u>Images</u>
Iris et Iris nain	 <p data-bbox="564 1160 1362 1189">Les Iris sont bien développées, et elles ont fleuries en début Mai.</p>
Roseaux	 <p data-bbox="564 1749 1027 1778">Plantes bien développées de Roseaux</p>



Les plants de Papyrus, n'ont pas pu se développer.ils ont gardé la même taille après leur implantation.

On explique ça par la non adaptation aux conditions climatiques



Plants de Papyrus

II. Résultats d'évaluation des flux des matières à l'entrée et à la sortie des filtres plantés

Dans cette partie seront présentés les résultats relatifs au comportement du filtre. Au paravent, compte tenu de l'importance des niveaux de traitement des eaux usées, une présentation de la qualité d'eau obtenue en sortie de traitement sera présentée.

Les rendements épuratoires des paramètres chimiques sont calculés par la relation suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{(X_{ERU} - X_f)}{X_{ERU}} * 100 \text{ (M. mompoint, 2004)}$$

Où :

XERU = Concentration du paramètre considéré dans l'ERU appliquée sur le lit,

Xf = Concentration du paramètre considéré dans le filtrat.



1. MES

La concentration en MES a changé de 323 mg/L à 87 mg/L, après le traitement effectué au niveau du filtre et avec un rendement de 73 % (Tab. III.3).

Tableau III.3: Comparaison de la concentration des MES et son rendement au niveau du filtre

Paramètre	Système de traitement		Limite de rejet	unités	Rendement (%)
	Entrée	Sortie			
MES	323	87	250	mg MES/L	73 %

2. DBO₅

La DBO₅ a changé de 60 mg/L à 15 mg/L, après le traitement effectué au niveau du filtre et avec un rendement de 75 % (Tab. III.4).

Tableau III.4: Comparaison de la concentration de la DBO₅ et leur rendement au niveau du filtre

Paramètre	Système de traitement		Limites de rejet	unités	Rendement (%)
	Entrée	Sortie			
DBO ₅	60	15	300	mg DBO ₅ /L	75 %

3. Charge polluante fécale

Le nombre de coliformes fécaux a changé de $3,2 \cdot 10^3$ NNP/100 ml à $0,9 \cdot 10^1$ NNP/100 ml, après le traitement effectué au niveau du filtre et avec un rendement de 99,71 % (Tab. III.5).



Alors que le nombre de coliformes totaux a changé de $2,9 \cdot 10^4$ NNP/100 ml à $2,2 \cdot 10^2$ NNP/100 ml, après le traitement effectué au niveau du filtre et avec un rendement de 99 % (Tab. III.5).

Tableau III.5: Comparaison du nombre de coliformes totaux et fécaux et son rendement au niveau du filtre par 100 ml.

Paramètre	Filtre		Limite de rejet	unités	Rendement (%)
	Entrée	Sortie			
Coliformes Fécaux	$3,2 \cdot 10^3$	$0,9 \cdot 10^1$	10^5	NNP/100 ml	99,71 %
Coliformes totaux	$2,9 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^2$	10^5	NNP/100 ml	99 %

4. Nutriments

Les quantités présentes en azote et en phosphore vont servir d'éléments nutritifs au sol du jardin et le redonner sa fertilité (Tab. III.6).

Tableau III.6: les concentrations des 3 formes d'azote (N total, $N-NH_4$: ammoniac, NO_3^- : nitrates) et du phosphore total



Paramètres	Système de traitement		unités
	Entrée	Sortie	
N-NH ₄	32	25	mg NH ₄ ⁺ /L
NO ₂ ⁻	32	10	mg NO ₂ ⁻ /L
NO ₃ ⁻	193	95	mg NO ₃ ⁻ /L
phosphore total	10,7	0,64	mg P T/L

III. Résultats de vérification du dimensionnement des filtres plantés

On va vérifier les dimensions du filtre (Tab. III.7). Selon la méthode ci-dessous :

Tableau III.7: les paramètres de vérification du dimensionnement du filtre

Nombre des usagers	Superficies	DBO ₅		Eaux usées	
		Entrée	Sortie	Eaux grises	Eaux noires
174	50 m ²	190	15	4410 L/ 5 j et 740 L/ 2 j (vacances de	



				l'école)
--	--	--	--	----------

⚡ Puisque la profondeur (0,6 m), la pente du fond (1% environ) et les matériaux de garnissage (norme autrichienne ÖNORM B 2505 : pour les filtres horizontaux, la granulométrie est de 4 à 8 mm) obéissent aux celles citées dans la bibliographie. On va calculer les surfaces des filtres pour vérifier le dimensionnement des filtres :

- La surface des filtres horizontaux est calculée selon la relation empirique de Cooper et al., 1996. Elle dépend de la concentration moyenne en DBO₅ à l'entrée et à la sortie et au débit moyen journalier appliqué.

$$As = \frac{Qj (\ln CDBO5 e - \ln CDBO5 s)}{KDBO}$$

Avec :

As = surface du filtre (m²)

Qj = débit moyen journalier arrivant à la station (m³/j)

CDBO₅ e = la concentration moyenne journalière en DBO₅ à l'entrée (mg/l)

CDBO₅ s = la concentration moyenne journalière en DBO₅ à la sortie (mg/l)

KDBO = constante (m/j). Elle dépend du type d'eaux à traiter (eaux brutes, eaux traitées biologiquement...) (Tableau I.6 du chapitre I).

Les eaux sont décantées, donc la KDBO= 0,1

$$As = (0,73 * (\ln 190 - \ln 15)) / 0,1 = \mathbf{6.8 \text{ m}^2 / \text{Hab.}}$$

Donc la vérification des dimensionnement montre que les filtres sont sous dimensionnés (50 m²) : 50/174 = 0,2 m². Alors que le dimensionnement pour un habitant égale 6,8 m². Cela dû à une fausse estimation des charges polluantes et hydrauliques appliquées.



IV. Résultats d'évaluation des coûts de construction de filtre planté

L'évaluation des coûts de construction de filtre nous a permis d'estimer les matériaux, les quantités utilisées et le coût de la main d'œuvre (Tab.III.9).

1. Matériaux et quantités utilisées

💧 Ciment : 4,47 T,

💧 Sable : 4,47 m³,

💧 Sable : 8,21 m³,

💧 Fer : 187,5 Kg.

💧 Installations sanitaires :

- 100 m de tuyau PVC 110 mm,
- 3 Coude PVC 110 mm (90°),
- 4 bouchons PVC 110 mm,
- 2 Tés PVC 110 mm,
- 4 kg Colle PVC,
- 1 colle divinyle.

💧 Biodigesteur

- 12 tubes **galvanisés** 1/2'',
- 7 Coudes **galvanisés** 1/2" Tés 1/2',
- Une Vanne gaz 1/2',
- 2 Bouchons 1/2" Manchons (fem.-fem.),
- 5 Mamelons (mâle-mâle),
- 4 téflons (rouleau),
- 4 fils attache fer à Betton,



Master Spécialisé

Génie et Gestion de l'Eau et l'Environnement

- 5 Clous,
- Collier serrage,
- 1 TuyauPVC 110 mm,



Autres

- 6 m³argile,
- 13 kg Sikalite,
- 70 kg Bitume Flintkote,
- 2 buses 200 mm,
- 1 buse 300 mm,
- 20 m² de pellicule plastifiée (bâche).



Tableau III.8: estimation des prix de matériaux de construction & le coût de min d'œuvre.

Usage	Produits	Unité	Quantité total	UP	prix tot
Maçonnerie	Ciment	T	4,47	1270	5677
	Sable	m ³	4,47	170	760
	Gravier concassé	m ³	8,21	150	1232
	gravette 6-10mm	m ³	25	200	5000
	Argile	m ³	6	40	240
	Fer rond acier 8 mm	T	0,03	7300	219
	Sikalite	Kg	13	8	104
	Bitume Flintkote	Kg	70	10	700
	briques 20*20*40cm	U	590	5	2950
	+	Buse 200 mm	U	2	20
	Buse 300 mm	U	1	45	45
	pellicule plastifiée (bâche)	m ²	60	20	1200
Conduites Biogaz	Tube galvanisé 1/2"	ml	12	20	240
	Coudes galvanisés 1/2"	U	7	5	35
	Tés 1/2"	U	1	6	6
	Vanne gaz 1/2"	U	2	30	60
	Bouchons 1/2"	U	5	2	10
	Manchons (fem.-fem.) 1/2"	U	4	5	20
	Mamelon (mâle-mâle)	U	4	5	20



	1/2"				
	Téflon (rouleau)	U	5	13	65
	fils attache fer a betton	U	1	20	20
	Clous	Kg	1	12	12
	Colliers serrage	U	3	1	3
Installations sanitaires	TuyauPVC 110 mm	m	110	15	16504+48
	Coude PVC 110 mm (90°)	U	3	12	36
	BOUCHON PVC 110 mm	U	4	12	48
	Té PVC 110 mm	U	2	15	30
	Colle PVC	Kg	4	90	360
	colle divinyle	l	1	90	90
cout main d'œuvre					4200
cout total					39926

2. Comparaison des coûts de construction et les coûts optimisés

La comparaison des coûts de construction et les coûts optimisés nous a permis de constater que l'optimisation des coûts peut avoir lieu pour la construction des ouvrages (fig. III. 3). Le coût de construction a été de l'ordre de 49930 DH, alors que notre estimation permis d'optimiser le coût de construction à une valeur égale à 39926 DH.

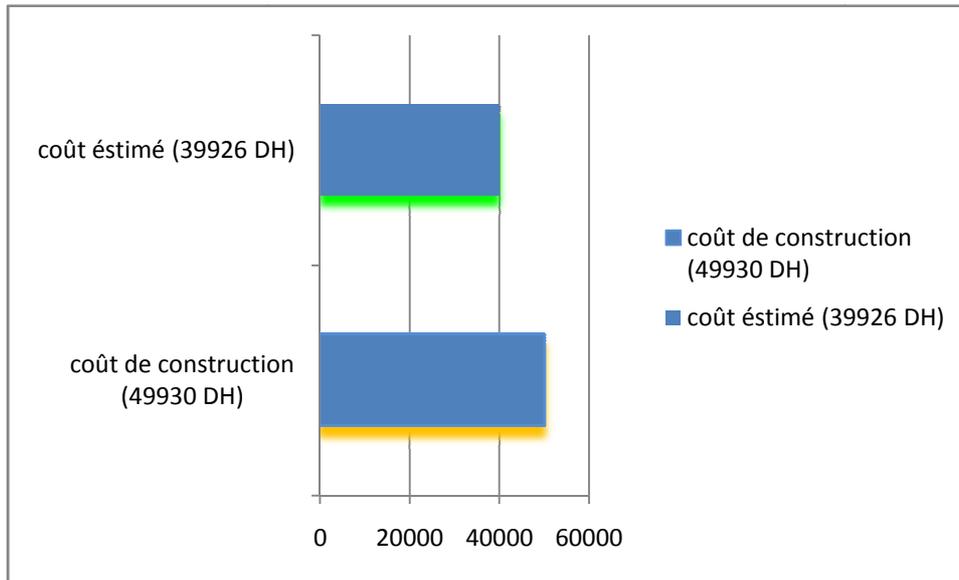


Figure III.3 : La comparaison des coûts de construction et estimés



QUATRIEME CHAPITRE : DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

I. Discussion générale

Les filtres plantés à flux horizontal sont utilisées pour le traitement des eaux usées domestiques et municipales brutes. **Kadlec et Knight, 1996** ont énuméré leur composition : DBO₅ : 220 mg/L, MES : 220 mg/L, PT : 8 mg/L, NH₄-N : 25 mg/L et NO_x-N : 0 mg/L. les



concentrations varient selon la consommation d'eau des villes et des villages (**J. Vymazal, 2009**).

Vymazal and Kröpfelová, 2008, ont effectué une étude sur la performance d'un filtre planté à écoulement horizontal. Pour les MES la valeur à l'entrée a été 113 mg/L et à la sortie 22,3 mg/L avec un rendement de 68,1 %. Dans notre cas, les eaux traitées au niveau du filtre ont présenté à l'entrée une valeur qui égale 323 mg/L et qui est devenu 87 mg/L à la sortie avec un rendement de 73 %.

Pour la DBO₅, **J. Vymazal, 2009**, a eu une valeur de 108 mg/L à l'entrée du filtre dont la sortie a présenté 16 mg/L. le rendement a été de l'ordre de 85 %. Une autre étude par **Vymazal and Kröpfelová, 2008**, a présenté une valeur de 19,5 à l'entrée et 6,8 à la sortie, avec un rendement de 60,7 %. On a trouvé comme résultat une valeur de 190 mg/L à l'entrée du filtre dont la sortie présente 15 mg/L. le rendement est de l'ordre de 92,1 %.

E.Llorensa, M.W.Saaltinkb, J. Garcíaa 2010, ont montré que la performance de la station dont ils ont effectué leur étude présente une valeur qui varie entre 40 et 13 pour l'ammonium (NH₄-N) dans une période entre Octobre et septembre 2003, alors qu'on eu comme résultat une valeur qui est de l'ordre de 25 mg/L. le résultat est proche de celui eu dans cette étude. Et pour les nitrates, ils ont eu 0 mg/L, alors qu'on a eu 95 mg/L à la sortie du filtre. Cette variation est due au degré d'oxydation au niveau du filtre (**M. Pourbaix, 1945**).

Pour le phosphore, on a eu 10,7 mg/L à l'entrée, qui s'est arrivé à 0,64 mg/L à la sortie avec un rendement de 96,7 %. **Vymazal, 2005**, a eu 8,74 mg/L à l'entrée, qui s'est changé à 5,15 à la sortie avec un rendement de 41 %.

Alors que pour les coliformes fécaux et totaux, le rendement épuratoire présente une valeur qui s'approche à 100 %. On a eu un rendement en coliformes fécaux et totaux qui égale à 99,99 %.

Les paramètres de pollution organique (MES, DBO₅) ont présenté des valeurs qui sont inférieurs aux valeurs fixées pour le rejet dans la nature et des rendements élevés. Et même chose pour les paramètres de pollution fécale. Cela prouve que le filtre planté fonctionne correctement et qu'il a pu s'adapter au contexte du village.



Le filtre a présenté aussi au cours de son évaluation, un comportement normal et il a été en bon état. Les plantes testées ont présenté un haut degré d'adaptation vis-à-vis du contexte climatique de la région.

Cependant la sensibilisation des élèves a permis de les éloigner de l'entourage du filtre, en passant plus de temps à l'amphithéâtre.

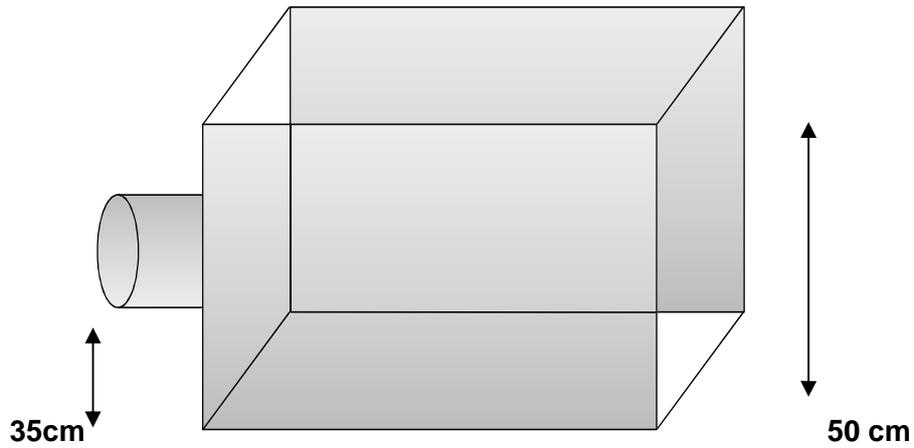
Et pour les coûts de construction ont a pu les optimiser grâce à leur évaluation, en se basant sur l'étude des matériaux utilisées et leurs quantités.

En général, le système a présenté une haute performance épuratoire et cela prouve qu'il est bien adapté au milieu rural.

II. Recommandations techniques

La recommandation proposée pour le filtre planté implanté à l'école est :

- 💧 Surélever le fond du regard pour donner à ce fond le même niveau qu'au drain d'évacuation, la figure III.4 illustre la mise du fond du regard au même niveau du drain.
- 💧 Garder le même dimensionnement de filtre, puisque il présente une bonne performance épuratoire, vue les résultats qu'on a eu pour les valeurs des paramètres de pollution organique et fécale.



L'état actuel du regard

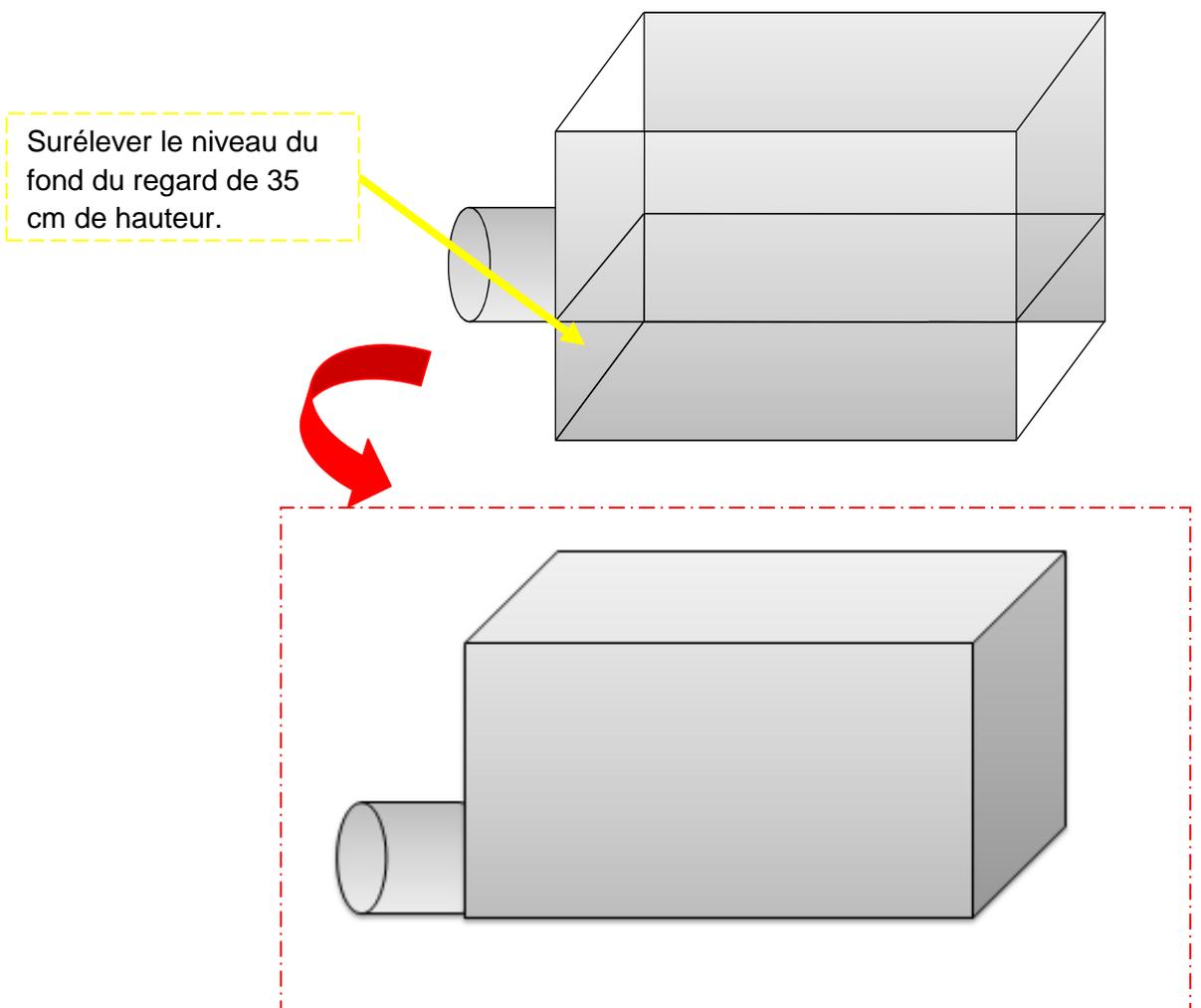


Figure III.4: La mise de drain au même niveau du fond du regard



CONCLUSION

En définitive, cette étude sur l'évaluation de performance du traitement des eaux noires et grises dans le milieu rural par le procédé de filtre planté à écoulement horizontal, a permis d'évaluer l'adaptation du procédés au contexte climatiques du pays.

Le filtre planté présente un bon rendement en charge fécale, en MES et en DBO₅. Les concentrations en azote et en phosphore présentent des nutriments seront bénéfiques pour la fertilisation du sol par cette eau.

L'iris et le roseau ont présenté une bonne adaptation vis-à-vis les conditions climatiques de la région, alors que ce n'était pas le cas pour le papyrus dont les plants n'ont pas pu reprendre.

Cependant, on n'a pas pu évaluer le fonctionnement du procédé dans la saison froide. Car la durée fixée pour l'étude ne le permet pas. Pour mieux évaluer le système, il faut faire un suivi régulier de l'état des installations et une évaluation de leur performance par des analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : D. Kopitopoulos, 2005. Guide pour l'assainissement liquide des douars marocains.

[2] : D. Dupont, 2008. L'assainissement écologique des eaux usées domestiques.

[3] : D. Kopitopoulos, 2005. Guide pour l'assainissement liquide des douars marocains.

[4]: S. Esrey, J. Gough, D. Rapaport, R.Sawyer, M. Simpson-Hébat & J. Vargas, 1998.
Assainissement écologique.

[5] : GIZ, 2011. Guide de lecture des lois environnementales.

[6] : M. Berrada, 2007. Assainissement non collectif dans la province de Kénitra, Analyses et perspectives.

[7] : Christine Werner, 2009. Assainissement écologique et durable – principes, techniques et applications



[8] : A. JEMALI, A. KEFATI, 2002. Réutilisation des eaux usées au Maroc.

[9] : Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 2005. Epuration des eaux usées domestiques par Filtres Plantes de Macrophytes, Recommandations techniques pour la conception et la réalisation.

[10] : Agence de l'eau Rhône méditerranée & corse, 1999. Epuration des eaux usées domestiques par Filtres Plantes de Macrophytes, Etude bibliographique.

[11] : L'Office National de l'Eau, 2008. Bilan de fonctionnement des procédés de traitement des eaux usées pour les stations d'épuration de petite capacité du bassin Loire-Bretagne.

[12]: L. Prescott, J. Harley, D. Klein, 2002. Microbiology.

[13] : Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2008. Recommandations pour le bon fonctionnement des stations d'épuration des filtres plantés de roseaux.

[14] : Ministère de l'agriculture et de la pêche, 2007. Cahier des clauses techniques particulières, filtres plantés de roseaux.

[15] : M. mompoint, 2004. Evaluation des dangers écologiques générés par les effluents liquides urbains sur l'écosystème de la baie de Port-au-Prince : Première approche méthodologique.

[16]: J. vymazal, 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment

[17]: A. Albuquerque, J.Oliveira, S. Semitela, L. Amaral, 2009. Evaluation of the effectiveness of horizontal subsurface flow constructed wetlands for different mediaevaluation of the effectiveness of horizontal subsurface flow constructed wetlands for different media

[18]: E. llorensa, M. saaltinkb, J. garcíaa, 2010. Cwm1 implementation in retrasocodebright: first results using horizontal subsurface flow constructed wetland data



[19]: J. vymazal, 2009. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface Flow for various types of wastewater

[20]:E.Llorensa, M.W.Saaltinkb, J. Garcíaa, 2010. First results using horizontal subsurface flow constructed wetland data.

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

[1'] : <http://www.assainissement.fr/>

[1'] : <http://www.loire.fr/>

[2'] : <http://www.spanc66.fr/>

[3'] : <http://www.omafra.gov.on.ca/>

[4'] : <http://www.akvo.org/>

[5'] : <http://www.mddep.gouv.qc.ma/>

[6'] : <http://www.eau-rhin-meuse.fr/>



ANNEXES

ANNEXE 1 : Les plantes les plus utilisées dans le procédé d'épuration des eaux usées (filtre planté)

Le	nti	Te	Avantages :



	<ul style="list-style-type: none"> • adaptabilité au milieu de culture • facilité d'exploitation • croissance rapide et grande biomasse (fertilisants et biogaz) • production d'engrais azoté et phosphoré • réduction de la croissance des algues par blocage des rayons lumineux • réduction de la turbidité de l'eau
	<ul style="list-style-type: none"> • blocage des installations de pompage d'eau et des canaux d'irrigation • vieillissement des réservoirs
Economique	<p><u>Avantages :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • économie sur l'investissement, par rapport à une station classique • fourrage pour le bétail • usage en pharmacopée • valeur nutritive pour les animaux • présence de vitamines • extractions des protéines
	<ul style="list-style-type: none"> • Baisse de la pêche et de pisciculture
Environnemental	<p><u>Avantages :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • absorption des métaux lourds et d'autres composés toxiques (phénol) • absorption de la matière organique • réduction des particules en suspension • baisse de l'eutrophisation par absorption d'azote et de phosphore



	<ul style="list-style-type: none"> • fixation d'agents polluants • production de l'oxygène nécessaire à la nitrification
	<p><u>Inconvénients :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • prolifération des foyers d'infection

Plant es	Domai ne		Avantages / inconvénients
Roseaux	Technique	Avantages	<p>Exploitation simple : très faible technicité requise pour l'exploitant</p> <ul style="list-style-type: none"> • alimentation directe par les eaux brutes, sans décantation préalable pour les filtres à écoulement vertical • acceptation des eaux parasites • maintien de la perméabilité par les roseaux : le colmatage des filtres est ainsi évité • pas ou peu de gestion des boues primaires • accumulation de boues minéralisées, à l'aspect de terreau, d'environ 15 cm en 10 ans, sans diminution de la perméabilité. <p>=> les boues obtenues ont un taux de matières sèches de l'ordre de 25% (données SINT).</p>
		Inconvénients	<p>maintenance simple de faible durée mais régulière</p> <ul style="list-style-type: none"> • risque de sous-charge de l'installation lors de la mise en service (problème de colonisation par les roseaux)



		<ul style="list-style-type: none"> risques de colmatage, à la fin de l'hiver, par une hauteur importante de dépôts organiques non minéralisés à la surface du filtre, et donc une moindre oxygénation du milieu faucardage annuel de la partie aérienne flétrie des roseaux, en hiver, à partir de la 2^{de} année suivant la plantation désherbage manuel sélectif avant la prédominance de la colonisation par les roseaux période de plantation conseillée entre avril et octobre, entraînant un manque de souplesse dans la mise en eau d'installations neuves dénivelé important (3 - 4 m) requis entre l'entrée et la sortie de la station
Economique	Avantages	<p>adapté aux petites collectivités et aux fonctionnements estivaux saisonniers</p> <ul style="list-style-type: none"> faibles coûts d'exploitation : économie de 15 % sur l'investissement, par rapport à une station classique rusticité du procédé <p>=> peu ou pas d'appareils électromécaniques si l'alimentation est gravitaire emprise au sol limitée</p>
	Inconvénients	nécessité d'un dessableur sur un réseau unitaire
Environnemental	Avantages	<p>performances épuratoires satisfaisantes</p> <ul style="list-style-type: none"> désinfection partielle bonne intégration paysagère absence d'odeur, excepté lorsque le réseau est le siège de septicité <p>Pas d'endommagement pour la nature.</p>
	Inconvénients	<p>faible dénitrification</p> <ul style="list-style-type: none"> Appréhension des agriculteurs pour la valorisation agricole des boues quant à la



			<p>dissémination des roseaux</p> <ul style="list-style-type: none">• Il se pose la question du risque d'accumulation de pollution vers les plantes, notamment de métaux lourds
--	--	--	--



Jacinthe d'eau	Technique	Avantage	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptabilité au milieu de culture • Facilité d'exploitation • croissance rapide et production de biomasse (fertilisants, papier, manufactures artisanales, carburant alternatif : éthanol, biogaz) • adaptabilité aux variations brusques • réduction de la croissance des algues par blocage des rayons lumineux • réduction de la turbidité de l'eau
		Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • blocage des installations de pompage d'eau • blocage des canaux d'irrigation • vieillissement des réservoirs • étouffement et écran à la lumière pour les profondeurs du plan d'eau
	Economique	Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • gain suite à une exploitation rationnelle • esthétique et cadre touristique (présentation sous forme de plante ornementale) • préservation des zones de pêche • fourrage pour bétail : vitamine A et antioxydants • usage en pharmacopée • compost, papier, matelas • valeur nutritive pour les animaux et humains, fabrication des médicaments, potentiel antioxydant, présence de vitamines et extraction des protéines
		Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • obstruction pour la navigation • baisse de pêche et de la pisciculture
	Environnemental	Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Absorption de la matière organique • absorption des métaux lourds et d'autres composés toxiques (phénol)



			<ul style="list-style-type: none"> • réduction des particules en suspension • fixation d'agents polluants • baisse de l'eutrophisation • oxygénation de l'eau par les racines (nécessaire à la nitrification) • prévention de l'érosion
		Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • évapotranspiration • prolifération des foyers d'infection • réduction de la biodiversité • changement de la qualité de l'eau

Annexe 2 : Les contraintes d'implantation des filtres plantés

Contraintes	Éléments à prendre en compte	Critères	Faisabilité	Conditions de faisabilité/contraintes
Contrainte amont	Importance du flux à Traiter	< 100 E.H.	Bonne	Economie d'échelle et facilité d'exploitation par rapport à un traitement non collectif si les coûts de



				raccordement sont raisonnables.
		> 100 E.H. et < 2000 E.H.	Optimale	Plus on s'approche de la limite supérieure, plus l'emprise au sol et le coût en font un procédé moins intéressant.
		> 2000 E.H.	Difficile	Le procédé a une capacité à priori illimitée, mais l'emprise au sol et le coût par E.H. le rendent moins compétitif par rapport à une installation classique.
	Type de réseau d'assainissement alimentant la station	Séparatif	Optimale	Prendre en compte toutefois le débit réel en évaluant l'apport d'eaux claires ou d'eau de pluie.
		Unitaire	Bonne	Pas d'incompatibilité en principe, mais le débit attendu doit être pris en compte explicitement.
	Type d'eaux usées à Traiter	Brutes ou prétraitées	Bonne pour les filtres à percolation	En aucun cas les filtres horizontaux ne pourront accueillir des eaux brutes.



			verticale	Pour les filtres verticaux, un dégrilleur suffit.
		Décantée	Bonne pour les filtres à écoulement horizontal	La décantation est inutile pour les filtres verticaux. Le matériau filtrant doit en revanche être adapté (plus fin).
		Issues d'un traitement biologique	Bonne	Les filtres à écoulement horizontal sont d'un plus grand intérêt grâce au temps de séjour qui est plus élevé, au matériau plus fin (élimination des MES et des micro-organismes). Une dénitrification y est possible.
		Eaux de pluies ou issues d'un déversoir d'orage	Bonne	Les systèmes semblent adaptés, mais peu d'essais ont été réalisés.
Contrainte de site	Surface disponible	> 10 m ² /E.H.	Optimale pour les filtres horizontaux	
		> 5 m ² /E.H.	Optimale pour	



			les filtres verticaux	
		> 4 m ² /E.H.	Mauvaise	Constitue la limite inférieure pour les filtres verticaux (aménagement annexes compris)
Caractéristiques du Terrain	Relief (2 m)		Optimale	Possibilité d'aménager des terrasses. L'avantage est que la totalité de l'écoulement peut être gravitaire donc aucune consommation d'électricité.
	Aucun relief		Mauvaise	Les dispositifs électromécaniques, alors nécessaires à tous les niveaux, rendent l'installation plus coûteuse à l'investissement et à l'exploitation.
	Terrain argileux		Bonne	Assure une étanchéité naturelle au système à condition d'être parfaitement compacté.
	Sol perméable		Bonne	Peut être utilisé comme matériau de remplissage du



				dernier étage de traitement. Le premier étage doit être étanchifié.
	Conditions climatiques	Tempéré à montagnard modéré	Optimale	Attention toutefois aux risques de gel qui nécessitent des précautions supplémentaires pour l'installation et la conception des canalisations
		Montagnard rigoureux	Mauvaise	Les risques de gel sont trop importants, ce qui peut avoir une influence néfaste avant tout sur les plantations.
	Besoin en personnel d'exploitation	Employé communal	Optimale	Un employé communal peut, assurer l'entretien et l'exploitation de la station. C'est un des avantages du système.
Contraintes aval	Objectifs d'épuration	Nitrification	Bonne	Nécessité de dispositifs verticaux ou hybrides
		Dénitrification	Mauvaise	Sauf en cas d'application d'une récirculation des eaux nitrifiées en tête de station (bassin de



				décantation primaire, filtre horizontal)
		Déphosphatation	Mauvaise	Sauf en cas d'application de substrats avec des propriétés Complexantes
		Abattement bactériologique	Moyenne	Moyenne dans le cas de filtres horizontaux, faible dans le cas des filtres verticaux à faible épaisseur.