

Royaume du Maroc



**INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II
RABAT**

Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Rural

**Evaluation d'une expérience d'assainissement/épuration décentralisé destinée aux centres périurbains de Casablanca :
Cas du projet de Douar Rmel**

Présenté et Soutenu publiquement par : **Rajaa TANJI**

Devant le jury composé de :

Président	Pr. ABDELLAOUI	I.A.V Hassan II
Rapporteur	Pr. EL HAMOURI	I.A.V Hassan II
Examineur	Pr. MOUGHLI	I.A.V Hassan II
Examineur	Mme. HASSARI	LYDEC

Juillet 2009

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II-B.P. 6206 Rabat-Instituts, 10101 Rabat

Tel : (0537) 77 17 58/59/45 ou 77 07 92 – Fax (0537) 77 81 35 ou 77 58 38

Site Web : www.iav.ac.ma

DEDICACES

A ma tendre et adorable mère,

A mon cher père,

A ma sœur,

A mon frère,

A mes oncles et tantes,

A mes cousins et cousines,

A mes amis,

A toute la famille du Génie Rural,

*Veillez trouver ici l'expression de mon dévouement, ma
reconnaissances et mon vif attachement.*

Rajaa TANJI

REMERCIEMENTS

Les mots me manquent pour traduire mes profonds sentiments et mes considérations à toutes les personnes qui m'ont éclairé, aidé et soutenu tout au long de mon travail.

Mes remerciements sont adressés plus particulièrement à mon encadrant au sein du département EEI, Pr. B.EL HAMOURI, pour son aide, ses orientations et directives ainsi que ses critiques constructives. Merci pour votre permanente disponibilité, la pertinence et la qualité de vos conseils. Je ne saurai vous remercier pour vos qualités humaines. Que vous trouvez ici l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Mes remerciements vont également à Pr. ABDELLAOUI pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant la présidence de notre jury de thèse. Qu'il trouve ici le témoignage de mon respect et ma gratitude.

Mes vifs remerciements vont également à Pr. MOUGHLI qui m'a honoré en acceptant de juger mon travail. Qu'il accepte l'expression de ma reconnaissance et mon respect.

Mes remerciements vont à M T. AGAL et M S. LESCOUIS, directeurs de l'Exploitation Eau et Assainissement de la LYDEC, pour m'avoir accueilli au sein de la Direction durant mon stage de fin d'étude.

Mes sincères remerciements à Mr S. CHENGUITI et Mme S. HASSARI, Mlle S.KASSEH et Mr B. SAMMOUH, pour leur aide et leur accompagnement durant les étapes de formation de mon mémoire.

Mes remerciements A l'ensemble du corps enseignant du Département Eau, Environnement et Infrastructure.

Sans oublier de remercier Mr Y. KADDACH, technicien chargé de la STEP RMEL , Mr Zakour et L'ensemble du personnel de la LYDEC.

Enfin, merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Résumé

La station pilote de Douar RMEL a été construite par la Lyonnaise des Eaux de Casablanca pour tester une approche nouvelle sur l'assainissement liquide décentralisé, écologique et à faible coût. Cette approche est essentiellement destinée aux quartiers périurbains éloignés du réseau central de la ville.

Le projet consiste à i) intercepter les eaux usées du Douar moyennant la mise en place d'un réseau séparatif ; les eaux pluviales étant assainies à l'aide de caniveaux construits dans les ruelles ii) épurer les eaux usées par voie écologique à proximité du douar et iii) infiltrer les eaux traitées à l'aide de puits d'infiltration en raison de l'inexistence d'un exutoire naturel près du douar.

La station Rmel reçoit une moyenne de 14 m³/j. Elle comprend une fosse septique collective d'une capacité de 64 m³ et 3 filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPEV) garnis de sable et plantés de roseaux de l'espèce *phragmites australis*. La surface des filtres est de 86 m² chacun. Une chasse automatique est placée à l'amont pour permettre une alimentation syncopee (par bâchées) des 3 filtres. Chaque filtre est alimenté pendant 4 jours puis mis au repos pendant 8j. L'effluent final est convoyé vers deux puits d'infiltration ; douar Rmel ne possédant pas d'exutoire naturel. La superficie totale occupée par le système de traitement est de 300 m² englobant les filtres et les ouvrages annexes.

Les valeurs des principaux paramètres de pollution des eaux usées brutes de Douar Rmel montrent que ces eaux sont très chargées. Ainsi, les concentrations en DCO, DBO₅, en MES et en NTK donnent les valeurs respectives de 1800, 1100, 500 et 220 toutes exprimées en mg/L. La valeur de la conductivité électrique est également très élevée avec 3980 µS/cm.

Le système de traitement assure un abattement de 53% de DCO, 63% de DBO₅ et 68% de MES. L'effluent final reste malgré tout très chargé comme le montrent les concentrations des principaux paramètres de pollution de l'effluent final soient : 990, 410, 130 et 180, toutes en mg/L, respectivement pour les paramètres DCO, DBO₅, MES, et NTK.

Ces performances plutôt insatisfaisantes révèlent des défaillances de conception. En effet, devant la concentration élevée des eaux usées brutes et l'insuffisance de la fosse septique collective, les FPRV subissent une surcharge organique importante soit, 137g/(m².j) de DBO₅, 28 g/(m².j) de MES et une surcharge hydraulique également importante de 160 mm/j. Dans ces conditions, les FPRV ne peuvent remplir leur rôle convenablement et durablement. Il est donc proposé de ramener la charge à un niveau acceptable pour les filtres en remplaçant la fosse septique collective par un Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant et à Deux Etapes (RAFADE) lequel est capable d'assurer l'abattement recherché. Le système proposé a été dimensionné pour ramener la charge applicable aux filtres à 24 g de DCO/(m².j). L'unité proposée comportera deux réacteurs de 2,5 m de diamètre et 6 m de profondeur chacun, un décanteur de 4 m² et 7 lits de séchages d'une superficie globale de 10 m², cette unité occupera une superficie totale de 40 m² et son coût est estimé à 200 000 DH.

Mots clés : assainissement rural, assainissement décentralisé, filtre planté de roseaux à écoulement vertical, fosse septique, Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant et à Deux Etapes.

Abstract

Lyonnaise des Eaux de Casablanca has built a decentralised wastewater treatment plant (WWTP) in Douar Rmel to test a new affordable sanitation approach developed for periurban components that could not be hooked to the city network.

The project consists of i) intercepting wastewater by a simplified collection network; rainwater is being drained by means of surface-built trenches; ii) treating wastewater by ecological means near the component iii) conveying the treated wastewater to natural waterways or to infiltration wells.

Wastewater treated in Douar Rmel plant averages $14\text{m}^3/\text{j}$. The plant includes a 64 m^3 collective septic tank followed by three subsurface vertical flow filters (ssvf) having 86 m^2 each and set in parallel; they are filled with coarse sand and planted with reeds of the species *Phragmites australis*. The filters are dosed by means of an automatic flushing reservoir that dominates the 3 filters. Dozing is intermittent allowing each filter works for 4 days and rests for 8 others. The final effluent is conveyed to two infiltration wells, as Douar Rmel has no natural waterways nearby. The total area occupied by the treatment system and ancillary works is 300 m^2 .

Figures from the main pollution parameters show that crude wastewater of Douar Rmel is highly concentrated as shown by COD, BOD_5 , TSS and TKN which are respectively 1800, 1100, 500 and 220, all expressed in mg/L. The electrical conductivity value is also high with $3980\ \mu\text{S}/\text{cm}$. The recorded organic load was $137\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ of BOD_5 , $28\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ of TSS and $30\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ of TKN and the hydraulic load was of $160\text{ mm}/\text{d}$.

Obtained performances are not satisfactory denoting that incorrect influent concentrations were taken for the design. Removal efficiencies do not exceed 53% for COD; 63% for BOD_5 , 68% for TSS. In these conditions, The SSVF filters could not play their role in a correct and sustainable way. It is therefore proposed, for bringing the filters loads to acceptable values to substitute a two-step upflow anaerobic reactor (TSUAR) to the collective septic tank. The proposed system is designed to bring load to $24\text{ g of COD}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. It would include two reactors of 2.5 m diameter, 8m deep each, a settler of 4 m^2 and 7 sludge drying beds totalizing 10 m^2 . The unit will require a land area of 40 m^2 and its cost estimated at 200,000 DH.

Keywords: rural purification, decentralized purification, constructed wetlands with vertical flow, septic tank, Two-Step up-flow anaerobic Reactor.

SOMMAIRE

<i>Liste des figures</i>	1
<i>Liste des tableaux</i>	3
<i>Liste des abréviations</i>	5
<i>Introduction et problématique</i>	6
<i>Objectif</i>	9
<i>Méthodologie</i>	10

Chapitre I : Revue bibliographique

I. Les systèmes d'assainissement	12
1. L'assainissement collectif.....	12
2. L'assainissement semi collectif.....	14
II. Traitement par les filtres plantés de roseaux	17
1. Principes de fonctionnement	18
1.1. Filtre planté à écoulement horizontal	18
1.2. Filtre planté à écoulement vertical.....	19
1.3. Système hybride.....	21
2. Rôle des différentes composantes du système	21
2.1. Rôle du matériau de remplissage.....	22
2.2. Rôle des plantes	22
2.3. Rôle des micro-organismes.....	24
3. Mécanismes épuratoires dans les filtres	25
3.1. Les matières en suspension.....	25
3.2. La matière organique.....	25
3.3. Devenir de l'azote.....	26
3.4. Devenir du phosphore.....	26
3.5. Devenir des métaux.....	27
4. Dimensionnement et mise en œuvre	28
4.1. Filtre planté de roseaux à écoulement horizontal.....	28
4.1.1. Approche de dimensionnement.....	28
4.1.2. Mise en œuvre.....	31
4.2. Filtre planté de roseaux à écoulement vertical.....	32
4.2.1. Approche de dimensionnement.....	32
4.2.2. Mise en œuvre.....	33
5. avantages et inconvénients des filtres plantés de roseaux	34
6. Exploitation et Entretien	35
6.1. Exploitation.....	36
6.2. Entretien.....	37

Chapitre II : Matériels & méthodes

I. Présentation des éléments du projet Rmel	40
1. Site d'implantation de la station.....	40
2. Données de base	41
3. La station au fil de l'eau.....	42
3.1 Prétraitement : fosse septique collective.....	43
3.2 Post traitement.....	44
3.2.1 Entraînement des eaux.....	44
3.2.2 Dimensions des filtres.....	45

3.2.3 Imperméabilisation.....	46
3.2.4 Massif filtrant.....	46
3.2.5 Variété de roseaux utilisée.....	47
3.2.6 système de répartition des eaux.....	48
3.2.7 drains.....	48
3.2.8 puits perdus.....	49
3.3 Performances établie par le dimensionnement de la STEP (LYDEC).....	50
II. Présentation de la STEP IAV (eau usée brute).....	51
1. Eaux usées de L'IAV.....	51
2. Description du système de traitement.....	53
2.1. Prétraitement.....	53
2.2. Premier étage de traitement.....	53
2.3. Deuxième étage de traitement.....	54
2.4. Troisième étage de traitement.....	54
III. Echantillonnage et protocole des tests.....	56

Chapitre III : Résultats & discussions

I. Suivi de fonctionnement des ouvrages de la STEP Rmel.....	59
II. Suivi des performances de la STEP Rmel.....	65
1. Charge hydraulique.....	65
2. Caractérisation des eaux usées brutes de Douar Rmel.....	69
3. Performance de l'unité de prétraitement.....	70
4. Qualité des eaux usées traitées et performance des filtres plantés à écoulement vertical.....	71
4.1 Paramètres physiques.....	71
4.2 Matière solides.....	74
4.3 Matière organique.....	76
4.4 Matière azotés	79
4.5 Phosphore.....	80
4.6 Coliforme fécaux.....	81
5. Performance de la STEP-IAV.....	81
6. Comparaison des performances de la STEP Rmel et la STEP de l'IAV.....	83

Chapitre IV : Recommandation pour remédier à l'inadaptation de l'approche choisie

1. Charge recommandé pour les filtres plantés à écoulement vertical.....	85
2. Comment solutionner ce problème de surcharge ?.....	86
2.1. Lit bactérien.....	86
2.1.1. Principe de fonctionnement.....	86
2.1.2. Performances : Avantages et inconvénients.....	87
2.2. RAFADE (Le Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant et à Deux Etapes).....	88
2.2.1. Principe de fonctionnement.....	88
2.2.2. Performance.....	89
2.3. Comparaison et choix.....	90
3. Dimensionnement du RAFADE.....	91

3.1. Réacteurs anaérobies.....	92
3.1.1. Détermination du temps de séjour	92
3.1.2. Volume du Réacteur.....	93
3.1.3. Formes géométrique et nombre de Réacteurs.....	93
3.1.4. Profondeur du Réacteur.....	94
3.2. Décanteur (pour piéger les particules échappant du réacteur 2).....	95
3.3. Les lits de séchage des boues.....	96
3.4. Coût de réalisation.....	99
Conclusion Générale.....	100
Références Bibliographiques.....	102
Annexes.....	108

Liste des Figures

Figure 1	cycle de l'eau en ville.....	12
Figure 2	Assainissement autonome.....	14
Figure 3	Fonctionnement d'une fosse septique	15
Figure 4	Principe des filtres plantés à écoulement horizontal.....	18
Figure 5	Filtres plantés à écoulement horizontal surfacique	19
Figure 6	Filtres plantés à écoulement horizontal sous la surface.....	19
Figure 7	Schéma d'un filtre à écoulement vertical.....	20
Figure 8	La situation géographique de Douar Rmel.....	40
Figure 9	Photo aérienne de Douar Rmel.....	41
Figure 10	Photo du chemin des eaux pluviales	42
Figure 11	Emplacement de la station.....	42
Figure 12	Regard de visite à la sortie du Douar.....	43
Figure 13	Coupe longitudinal de la fosse septique collective.....	43
Figure 14	Dispositif de chasse automatique.....	44
Figure 15	Chambre des vannes.....	45
Figure 16	Les lits de roseaux.....	46
Figure 17	Coupe en travers des lits de roseaux.....	47
Figure 18	Canalisation de distribution des eaux usées.....	48
Figure 19	Plan des lits de roseaux	48
Figure 20	Puisards à la sortie des lits	49
Figure 21	Croquis des deux puits d'infiltration.....	49
Figure 22	Puits perdu N°1.....	59
Figure 23	Croquis de la STEP Rmel.....	50
Figure 24	Plan de masse de la station pilote de l'IAV.....	52
Figure 25	Filtre à écoulement vertical du premier étage.....	53
Figure 26	Bassin des filtres à écoulement horizontal du deuxième étage.....	54
Figure 27	Bassin de filtres à écoulement vertical du troisième étage.....	55
Figure 28	Schéma du principe de fonctionnement de la STEP-IAV.....	55
Figure 29	Schéma des points de prélèvement.....	56
Figure 30	Plan de la fosse d'après le dossier technique de la STEP.....	59
Figure 31	La fosse septique collective.....	59
Figure 32	Le niveau de la bache atteignant le trop plein	60
Figure 33	Dispositif de la chasse lors du déclenchement de la bachee.....	60
Figure 34	L'hétérogénéité de croissance de l'amont à l'aval du lit N°2.....	61
Figure 35	L'hétérogénéité de densité de l'amont à l'aval du lit N°1.....	62
Figure 36	Les 3lits de rhizofiltration.....	62
Figure 37	L'alimentation depuis le centre.....	63
Figure 38	Couche à la surface des filtres empêchant l'infiltration (02/15/2009)... ..	64
Figure 39	Débitmètre	65
Figure 40	Sonde du débitmètre.....	65
Figure 41	Variation du débit au cours d'une journée.....	65
Figure 42	Enregistrement des bachees pendant la semaine du 18 au 25 Février 2009.....	67
Figure 43	Bachees enregistrées pendant la journée du 20 Février 2009.....	68

Figure 44	Evolution de la température l'influent et l'effluent.....	72
Figure 45	Evolution du pH entre l'entrée et la sortie du filtre.....	73
Figure 46	Evolution de la teneur en MES entre l'entrée et la sortie des filtres.....	74
Figure 47	DCO de l'influent et l'effluent	76
Figure 48	DBO ₅ de l'influent et l'effluent	78
Figure 49	Les taux d'abattement moyen de la MES, la DCO et la DBO ₅	79
Figure 50	Schéma du principe du lits bactérien.....	87
Figure 51	Photo du RAFADE de l'IAV HASSAN II.....	89
Figure 52	Unité de prétraitement (El Hamouri, 2005).....	91
Figure 53	Vue en coupe des deux réacteurs R ₁ et R ₂	95

Liste des Tableaux

Tableau 1	Principaux mécanismes d'élimination des différents types de polluant.....	28
Tableau 2	Valeurs semi-empiriques des paramètres relatifs au modèle de Kadlec et Knight.....	30
Tableau 3	Valeurs recommandées de la constante de 1 ^{er} ordre selon le modèle de Reed.....	31
Tableau 4	Donnée de base pour la détermination du débit de projet.....	41
Tableau 5	Performances prévues pour la fosse.....	44
Tableau 6	Dimensions d'un filtre.....	45
Tableau 7	Performances attendues de la STEP.....	50
Tableau 8	Caractéristiques des eaux usées de l'IAV.....	51
Tableau 9	Anomalies des différentes composantes.....	64
Tableau 10	Moyenne, minimum et maximum du débit.....	66
Tableau 11	Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes.....	69
Tableau 12	Gamme habituelle des concentrations des concentrations des eaux usées urbaines au Maroc (source ONEP).....	70
Tableau 13	performances de la fosse de Douar Rmel.....	70
Tableau 14	Concentration des eaux usées brutes de la STEP Queige-France (P.Molle 2003).....	71
Tableau 15	caractéristiques physiques de l'effluent du système de traitement comparées à celles de l'eau usée brutes.....	72
Tableau 16	Evolution de la conductivité électrique entre l'influent et l'effluent au cours des 5mois de suivi.....	74
Tableau 17	Valeurs mensuelles des MES à l'entrée et le sortie du FPR-V.....	75
Tableau 18	La fraction organique des MES.....	75
Tableau 19	Les valeurs mensuelles de la DCO à l'entrée et à la sortie du FPR-V.....	77
Tableau 20	Cumul des pluies mensuelles à Casablanca pour l'année 2009.....	77
Tableau 21	Valeurs mensuelles de la DBO5 à l'entrée et à la sortie des FPR-V... ..	78
Tableau 22	Les matières azotées entre l'influent, l'effluent et le taux d'abattement.....	80
Tableau 23	Résultats obtenus à partir des analyses du prélèvement du 14/06/2009.....	82
Tableau 24	Tableau synthétique des résultats obtenus à partir des analyses entrée/sortie (HASNI 2008).....	82
Tableau 25	Comparaison de la charge organique et hydraulique à l'entrée des filtres de la STEP Rmel et la STEP IAV.....	83
Tableau 26	Les charges requises à l'entrée des filtres verticaux.....	85
Tableau 27	Performance du lit bactérien.....	87
Tableau 28	Avantages et inconvénients du procédé du lit bactérien.....	88
Tableau 29	Performances moyennes de la ligne Réacteur 1+Réacteur 2+Décanteur.....	90
Tableau 30	Comparaison entre le lit bactérien et le RAFADE.....	90
Tableau 31	Valeurs de k pour R ₁ et R ₂	92
Tableau 32	Calcul de TRH pour R ₁ et R ₂	93

Tableau 33	Dimensions des réacteurs.....	95
Tableau 34	Dimensions du décanteur.....	96
Tableau 35	Dimensions des lits de séchage.....	97
Tableau 36	Concentration influent fosse et RAFADE.....	98
Tableau 37	Superficie de l'unité de prétraitement.....	98

Liste des Abréviations

CE	Conductivité Eléctrique
CF	Coliformes Fécaux
DBO5	Demande Biologique en Oxygène au bout de 5 jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DGR	Département de Génie Rural
EH	Equivalent Habitant
FPRV	Filtre Planté de Roseaux à écoulement Vertical
IAV	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
LYDEC	Lyonnaise des Eaux de Casablanca
MES	Matière En Suspension
MO	Matière Organique
MVS	Matière Volatile en Suspension
NTK	Azote Total Kjeldahl
OD	Oxygène Dissous
ONEP	Office National d'Eau Potable
Pt	Phosphore total
RAFADE	Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant et à Deux Etapes
STEP	Station d'épuration
T	Température
TA	Taux d'abattement
Ulog	Unité Logarithmique
UFC	Unité Formant Colonie

Introduction & problématique

Depuis de nombreuses années, le Maroc développe une politique d'amélioration de l'accès des populations rurales à l'eau potable et à l'assainissement. Ainsi, le Programme d'Approvisionnement Groupé en Eau potable des Populations Rurales (PAGER) a été lancé en 1995 avec un taux d'accès à l'eau potable en milieu rural de 14%. Ce programme s'était fixé pour objectif d'atteindre un taux de couverture de 90% en 2007. Cet objectif est pratiquement atteint.

Il n'en est pas de même pour l'assainissement liquide qui reste le parent pauvre notamment en milieu rural.

Sur le plan local et en moins d'un siècle, Casablanca est passée de 20 000 habitants à près de 4,5 millions en 2007. Cette explosion démographique s'est traduite par le développement de zones péri-urbaines d'habitat spontané. Ces zones qui sont des communautés de petite et moyenne taille sont souvent trop éloignées pour être facilement raccordées et à des coûts acceptables au réseau municipal. Reste l'option de l'assainissement décentralisé muni d'une filière d'épuration autonome qui satisfasse aux normes environnementales et garantisse une salubrité publique. Ces zones périurbaines de Casablanca englobent des lotissements insalubres d'environ 60 000 foyers ce qui représente approximativement 360 000 habitants de la ville de Casablanca.

Parmi les objectifs du programme d'urgence de l'Initiative National pour le Développement Humain (INDH) auquel participe la Lyonnaise des Eaux de Casablanca avec son projet « Inmae », on trouve l'assainissement des quartiers défavorisés de Casablanca trouve un écho favorable. Les actions en matières d'assainissement de ces zones concourent à la fois à l'amélioration de la qualité de vie des habitants et à la mise en place, à l'échelle du pays, d'un environnement préservé pour les générations futures, base d'un développement durable.

Selon les enquêtes et travaux menés par la LYDEC, l'assainissement des zones périurbaines du Grand Casablanca non raccordées au réseau s'effectue de la manière suivante :

Pour les eaux noires ou eaux vannes (urines, matières fécales et chasses d'eau), l'évacuation se fait par puits perdus reliés aux toilettes. Ils sont creusés sous ou à proximité des logements.

Ces puits perdus posent des problèmes d'ordre sanitaire et hygiénique :

- Perméabilité des puits qui peut entraîner la contamination des puits d'alimentation en eau potable ;
- Nécessité de vidange avec manipulation des matières fécales fraîches qui entraîne des risques sanitaires pour les ouvriers;
- Coût élevé des vidanges ;
- Dégagement d'odeurs, pullulation d'insectes pouvant véhiculer des agents pathogènes.

Le dépotage des matières de vidange s'effectue souvent près des habitations dans des décharges sauvages, parfois chez les agriculteurs et probablement souvent dans des réseaux d'assainissement de LYDEC avec tous les problèmes d'entretien des réseaux qui en résultent.

En ce qui concerne les eaux grises ou eaux ménagères (eaux de lessives, de vaisselles), elles sont véhiculées à l'aide de rigoles construites par les habitants eux même au milieu des ruelles puis elles sont déversées sur les terrains vagues avoisinants.

Le système de rigoles à ciel ouvert est également source de risques sanitaires et écologiques. Les eaux grises et pluviales s'accumulent dans les zones basses des douars et peuvent éventuellement récupérer les lixiviats des dépôts d'ordures situés à proximité ce qui augmente le danger qu'elles représentent.

Pour répondre au besoin crucial d'assainissement des populations non raccordables, il est nécessaire d'identifier des solutions alternatives d'assainissements décentralisés ayant des coûts d'investissement et d'exploitation modérés qui correspondent aux conditions matérielles des populations concernées.

L'assainissement conduisant à la collecte des eaux usées sans assurer leur épuration n'est pas justifiable. Il est indispensable de penser à l'épuration à travers des systèmes décentralisés applicables dans de pareilles conditions comme le système de filtres à macrophytes, ou Rhizofiltration ou généralement Constructed Wetland. Ce système est adapté aux petites collectivités, Il emploie des processus naturels qui consomment moins d'énergie pour une durabilité plus grande. Le principe repose sur l'utilisation de la capacité d'auto épuration des eaux naturelles par des macrophytes associés à des bactéries épuratrices qui dégradent la matière organique et augmentent la mortalité des agents pathogènes.

En France, les filtres verticaux garnis de sable donnent des rendements d'environ 85% de MES, 72% de DCO et 83% de DBO₅ (Molle, 2003)

Ces résultats sont très satisfaisants et encourageants mais est ce que ces rendements épuratoires peuvent être obtenus dans les conditions marocaines étant donné la forte concentration des eaux usées locales comparées à celle de l'Europe et des USA (très forte consommation d'eau donc forte dilution) ? Quels seront les taux d'abattement dans les conditions marocaines ? Quels seront les facteurs qui pourront influencer la qualité du traitement ? et comment pourra-t-on en optimiser le dimensionnement ?

Le présent travail aborde le suivi du fonctionnement des ouvrages et des performances du premier pilote d'assainissement décentralisé des douars de Casablanca non raccordables au réseau municipal construit sur le modèle : fosse septique collective + Rhizofiltration. Puis, en partant de l'expertise développée à la STEP de L'IAV de Rabat, on adapte le dimensionnement pour le contexte de Douar Rmel : base de dimensionnement pour les projets futurs.

Objectifs de l'étude

Compte tenu de la problématique posée, ce travail s'inscrit dans le sens d'une introduction du concept d'épuration décentralisée par filtres plantés de roseaux.

Le présent travail consiste en la mise en place d'un système de traitement des eaux usées : fosse septique collective + rhizofiltration pour une petite collectivité de 214 foyers. En effet, il s'agit de d'étudier, de diagnostiquer et de proposer des recommandations pour le 1^{er} pilote de collecte et de traitement réalisé en 2007 dans le milieu péri-urbain du Grand Casablanca « projet pilote de Douar Rmel »

De façon plus détaillée, notre objectif est de faire :

- Le suivi du fonctionnement des ouvrages à la STEP ;
- Le suivi qualitatif et quantitatif ainsi que la détermination des performances de la STEP ;
- Comparaison avec les performances épuratoire à la STEP de l'IAV
- Exploitation des résultats obtenus dans la station de l'IAV pour proposer des bases de dimensionnement de la STEP RMEL.

METHODOLOGIE

Pour atteindre les objectifs cités précédemment, l'approche méthodologique adoptée se présente comme suit :

- ❖ Recherche bibliographique sur :
 - Les filtres plantés de roseaux.
 - Les caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes
- ❖ Etude du dossier technique de la STEP Rmel (étude, réalisation et mise en service)
- ❖ Suivi du pilote de traitement des eaux usées à Casablanca :
 - Etat des lieux, détection des anomalies et analyse des dysfonctionnements
 - Caractérisation qualitative et quantitative des eaux usées brutes
 - Des analyses régulières des eaux à l'entrée et à la sortie de chaque unité de traitement
- ❖ Comparaison des performances de la STEP RMEL avec celles de la STEP de l'IAV :
 - Analyse de qualité des eaux à l'entrée et à la sortie des étages de traitement de la STEP de l'IAV.
- ❖ Etablir le dimensionnement préconisé de l'unité de prétraitement à la STEP Rmel : Réacteurs Anaérobies à Flux Ascendant et à Deux étapes.

Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I- Les systèmes d'assainissement

L'assainissement des eaux usées est devenu un impératif pour nos sociétés modernes. En effet, le développement des activités humaines s'accompagne inévitablement d'une production croissante de rejets polluants. Les ressources en eau ne sont pas inépuisables. Leur dégradation, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peut non seulement détériorer gravement l'environnement, mais aussi entraîner des risques de pénurie. Trop polluées, nos réserves d'eau pourraient ne plus être utilisables pour produire de l'eau potable, sinon à des coûts très élevés, du fait de la sophistication et de la complexité des techniques à mettre en œuvre pour en restaurer la qualité. C'est pourquoi il faut "nettoyer" les eaux usées pour limiter le plus possible la pollution de nos réserves en eau : rivières, lacs et nappes souterraines.

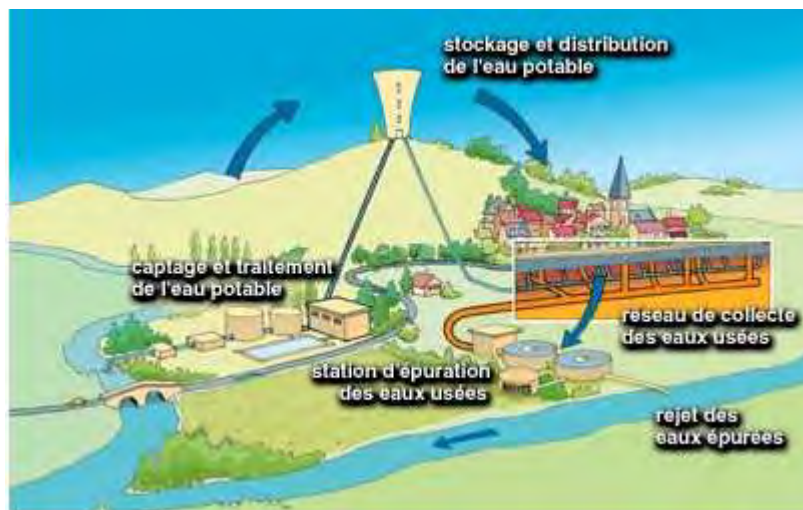


Figure 1 : Cycle de l'eau en ville

L'assainissement désigne l'ensemble des moyens de collecte, de transport et de traitement d'épuration des eaux usées avant leur rejet dans le milieu récepteur.

Selon la nature de l'habitat et le choix de la collectivité, on distingue deux grands types d'assainissement : assainissement collectif et assainissement non collectif

1. L'assainissement collectif

Désigne celui où les bâtiments sont reliés à des réseaux comprenant un dispositif de collecte, un système de traitement centralisé et d'évacuation des eaux.

En général, la construction, l'utilisation, l'entretien et le suivi relèvent des administrations publiques.

Dans la pratique, on rencontre deux grands systèmes de réseaux d'assainissement collectif :

- Système séparatif constitué de deux réseaux, un pour l'évacuation des eaux usées et un autre qui assure l'évacuation des eaux pluviales;
- Système unitaire où l'ensemble des eaux usées et des eaux pluviales sont évacués par un seul réseau.

Le problème avec les systèmes d'assainissement collectif émane du mélange très hétérogène des flux des eaux usées des habitations et des industries des points de vue quantité et composition.

Les défauts des systèmes d'assainissements collectifs sont les suivants (HAKEM ., 2006) :

- Coût élevé et forte demande énergétique pour la construction, le fonctionnement et la maintenance des systèmes d'assainissement et le traitement de l'eau usée.
- Quantité importante de déchets non recyclables (38%) et par conséquent une demande élevée pour des infrastructures de traitement coûteuses (équipements d'incinération et de décharges);
- Besoin élevé en matières premières (ressources) et en énergie pour la production d'engrais;
- Pertes élevées de nutriments (phosphore et azote) : la récupération des nutriments à travers les boues d'épuration dans l'agriculture est de plus en plus difficile.

Finalement les coûts de construction et de maintenance des infrastructures de traitement des eaux usées par personne (réseaux d'égout et équipement des traitement des eaux usées) sont considérables du fait des grandes quantités d'eaux usées qui doivent être évacuées.

2. L'assainissement non collectif

L'assainissement non collectif désigne « 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 ».

Longtemps considéré comme un mode d'assainissement peu satisfaisant, l'assainissement non collectif dans sa conception moderne constitue une véritable alternative à l'assainissement collectif, dont le développement en milieu rural et péri-urbain n'est pas forcément justifié pour d'évidentes raisons de coût. Il est ainsi admis qu'au delà de 35 mètres de canalisation entre deux habitations, l'assainissement collectif n'est plus «rentable». L'assainissement non collectif constitue un mode d'assainissement à part entière, performant et fiable pour peu qu'il soit mis en œuvre correctement et parfaitement entretenu (extraction tous les 4 ans des matières de vidange). D'un point de vue environnemental, l'assainissement non collectif doit être considéré comme un mode d'assainissement qui permet de protéger efficacement les milieux naturels (forte capacité épuratoire des sols, absence de rejet en cours d'eau).

Pour l'assainissement non collectif, on distingue entre l'assainissement qui se fait au moyen d'ouvrages individuel situés à l'intérieur des limites de chaque lot d'habitation. Et le cas où plusieurs habitations individuelles ou bâtiments collectifs sont drainées par un réseau aboutissant à un système d'épuration (le lagunage, le lit bactérien, la boue activée comme exemples de systèmes d'épuration).

Typiquement, un dispositif de traitement et d'évacuation des eaux usées qui dessert une résidence isolée se compose d'une fosse septique et d'un élément épurateur.



Figure 2 : Assainissement autonome

Qu'est ce qu'une fosse septique ?

Ce dispositif de traitement est utilisé depuis longtemps. La fosse septique a été inventée par le français Jean Louis MOURRAS de VESOUL en 1871. Elle est utilisée dans la plupart des pays du monde. La fosse septique, répondant aux règles de l'art, se divise en compartiments qui sont munis de déflecteurs pour empêcher les eaux brutes de passer directement dans l'élément épurateur. Les solides se déposent au fond du réservoir sous forme de boues, alors que les matières plus légères flottent à la surface sous forme d'écume. Les bactéries présentes dans le système permettent de décomposer les matières organiques contenues dans les eaux usées. Le système est conçu pour que les boues et les écumes demeurent dans la fosse, et que seulement la portion liquide soit acheminée vers l'élément épurateur. Ce liquide peut s'épurer ensuite naturellement dans le sol.

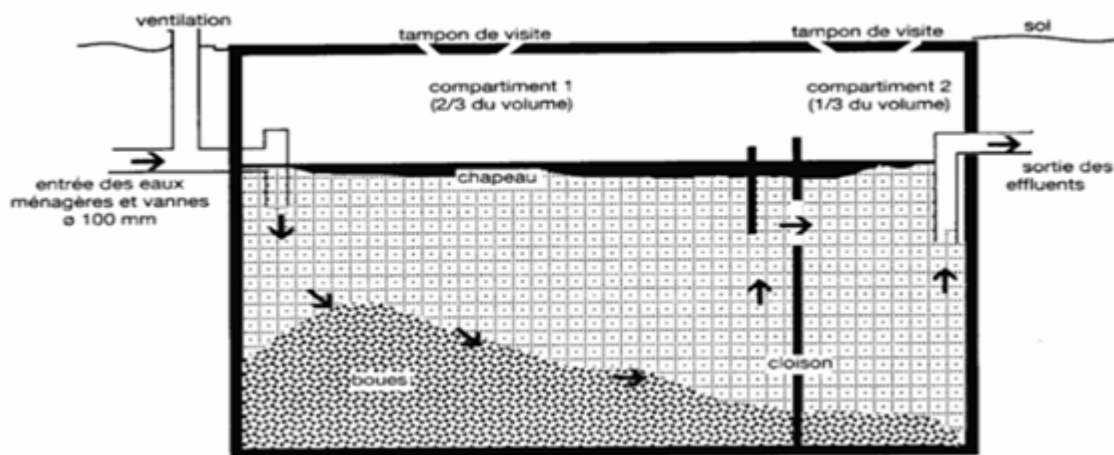


Figure 3 : Fonctionnement d'une fosse septique

Les matières solides s'accumulent, en général, dans un premier compartiment et subissent une fermentation anaérobie basique que l'on appelle "digestion". Cette digestion entraîne la production de gaz carbonique, d'hydrogène sulfureux et de méthane. A la surface, les bulles entraînent des particules de boues qui finissent par former une croûte appelée "chapeau". Au fond, les matières solides se déposent. Un conduit de ventilation doit donc assurer l'évacuation des gaz, tandis que des vidanges périodiques doivent permettre l'évacuation des matières solides.

Après le premier compartiment, un deuxième reçoit les effluents décantés sous la forme d'un liquide clair. Après un certain temps, en général de 1 à 3 jours, si aucun ouvrage annexe n'est présent, le liquide ainsi prétraité sort de la fosse et est évacué par des puits perdus ou des drains de terre cuite disposés en tranchée. Une grande partie des problèmes posés par les fosses septiques sont dus à ce qu'on néglige trop souvent le traitement de ces effluents. Le liquide sortant de la fosse doit être admis dans un ouvrage annexe (filtres bactériens, puits perdus, tranchées d'infiltration, lits filtrants, plateaux absorbants...) pour un traitement plus poussé et respectueux de l'hygiène publique.

II- Traitement par les filtres plantés de roseaux

Les filtres sont des excavations étanchées du sol remplies de couches superposées de gravier ou de sable de différentes granulométries suivant la qualité des eaux usées à traiter (Molle, 2003).

Le traitement des eaux usées s'effectue au moyen d'une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques, incluant la sédimentation, la précipitation, l'adsorption sur les particules granulaires, l'assimilation par les plantes et les transformations microbiologiques.

On appelle « roseau » diverses plantes des sols humides d'assez grande taille, à tige creuse et rigide, plus ou moins ligneuse. Il s'agit en général de graminées, appartenant particulièrement aux genres *Arundo* ou *Phragmites*.

La variété la plus utilisée est *Phragmites australis*, appelé aussi le roseau commun ou petit roseau, cette plante est très commune sur toute la planète, dans les sols frais et humides, au bord des rivières, des lacs et des étangs. Elle aime les sols vaseux et résiste à la stagnation dans l'eau, mais est sensible au sel.

La technologie des filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux des collectivités a notamment été mise au point en France, pour sa version à écoulement vertical, par le CEMAGREF à partir d'un modèle d'origine allemande conçu par le Dr SEIDEL dont quelques unités ont été implantées en France au cours des années 70-80. Diverses améliorations visant à simplifier la filière et fiabiliser son fonctionnement ont été apportées dans le but de procéder à son développement.

La forte demande actuelle pour ce type de stations d'épuration est réelle. Il s'agit d'une technologie fiable, simple d'exploitation, facilitant grandement la gestion des boues et qui, de surcroît, est bien acceptée par les habitants en raison d'une image ressentie comme « naturelle », renforcée par sa bonne aptitude à l'intégration dans le paysage rural.

Selon le type d'écoulement on distingue différents types d'application des filtres plantés à savoir :

- *Les filtres plantés à écoulement horizontal

- *Les filtres plantés à percolation verticale.

Il existe également des systèmes hybrides qui sont le fruit de combinaisons des filtres à écoulement vertical et des filtres à écoulement horizontal.

1. Principe de fonctionnement

1.1. Filtre planté à écoulement horizontal

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à l'extrémité amont du bassin, il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible (Figure 4).

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

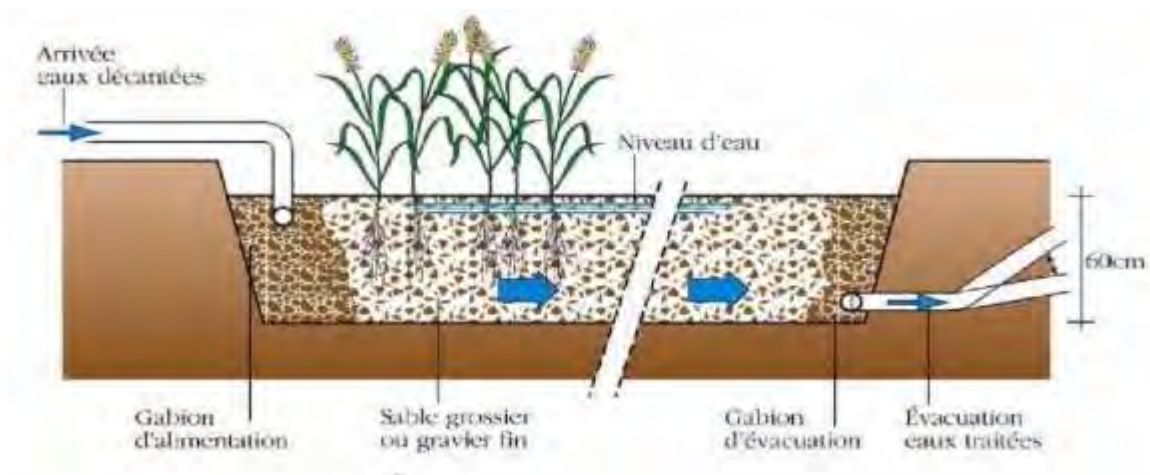


Figure 4 : Principe des filtres plantés à écoulement horizontal

Parmi les filtres plantés à écoulement horizontal, on distingue entre :

- les lits plantés à écoulement horizontal en surface ;
- les lits plantés à écoulement horizontal sub-surfacique.

Les lits plantés à écoulement en surface (figure 5) comporte une tranche d'eau libre en surface et ressemblent à des lagunes à macrophytes. Des végétaux se développent et s'enracinent dans la couche superficielle de sol sous-jacent. Ils servent de support pour le développement du bio film sur leurs tiges, adsorbent des nutriments et apportent de l'oxygène par leurs racines. Les lits plantés à écoulement en surface sont souvent utilisés en traitement secondaire ou tertiaire des eaux usées domestiques et agricoles.

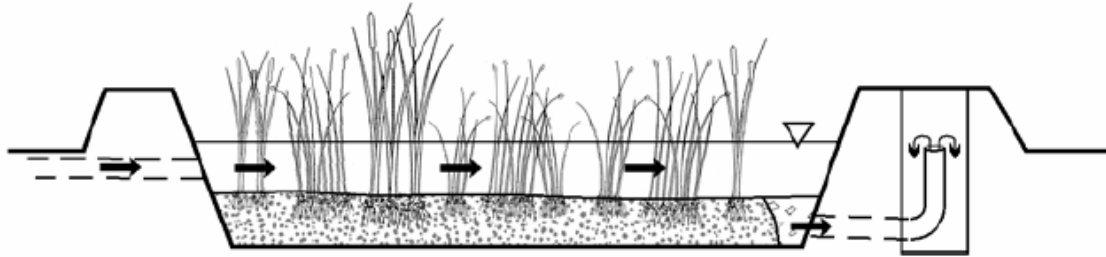


Figure 5 : Filtre planté à écoulement horizontal surfacique

Quant aux lits plantés de macrophytes à écoulement horizontal sous la surface (figure 6), les plantes sont enracinées sur le support granulaire constitué de gravier ou sables voire même le sol en place si la texture de ce dernier le permet. Les microorganismes responsables de l'épuration sont fixés sur les supports minéraux et les racines des plantes.

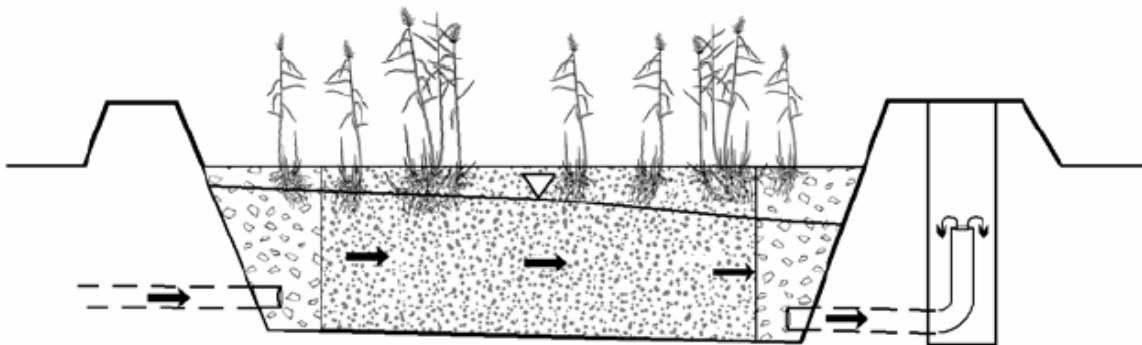


Figure 6 : Filtre planté à écoulement horizontal sous la surface

1.2. Filtre planté à écoulement vertical

L'effluent est réparti sur la surface du filtre et il va s'écouler à l'intérieur en subissant un traitement physique (filtration), chimique et biologique (biomasse fixées sur support fin).

Les eaux épurées sont drainées, comme le montre la figure 7, pour être récupérées par des drains au fond du filtre.

En effet, le principe consiste à alimenter des filtres plantés de façon alternée. Il est nécessaire que les massifs reçoivent la même quantité des eaux usées et selon un rythme bien défini.

Ces phases d’alternance et de repos sont fondamentales pour:

- Réguler la croissance de la biomasse épuratrice fixée.
- Maintenir les conditions d’aérobies dans le massif constitué de sable, gravier.
- Minéraliser les dépôts organiques apportés par les eaux usées et retenus à la surface du filtre.

Ces filtres sont généralement constitués de 2 étages, eux-mêmes fractionnés en plusieurs bassins unitaires permettant le phasage des cycles d’alimentation–repos. L’alimentation en eaux usées brutes est possible, très fréquente en France.

Un élément clé de cette filière est la qualité d’aération du système autorisant une dégradation biologique aérobie importante, l’aération est assurée par :

- Une convection au sein du massif filtrant liée au déplacement des lames d’eau.
- Une diffusion de l’oxygène depuis la surface du filtre et les cheminés d’aération,

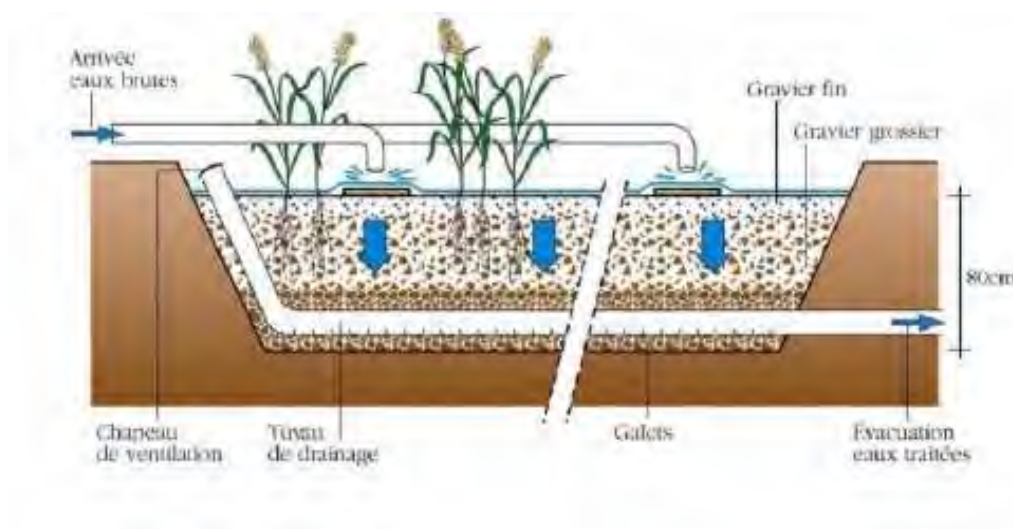


Figure 7 : Schéma d’un filtre à écoulement vertical

1.3. Système hybride

Les systèmes hybrides sont en fait l'association en série de filtres verticaux et de filtres horizontaux. L'association la plus courante, initialement étudiée par le Dr. K. Seidel et mise en œuvre de façon relativement limitée aux Etats-Unis, en Allemagne, en Autriche et en France (Boutin, 1987) est constituée de deux étages consécutifs de filtres verticaux en parallèle suivis de deux ou trois étages de filtres horizontaux en série. L'intérêt d'une telle association est d'obtenir une bonne nitrification dans les filtres verticaux qui sont bien oxygénés, mais aussi une dénitrification dans les filtres horizontaux où l'on trouve les conditions d'anoxie nécessaires à cette réaction. Les rendements de la dénitrification ne sont pas très élevés car les bactéries dénitrifiantes ont besoin de matière organique pour se développer et dénitrifier correctement. Or, en sortie des filtres verticaux, la majeure partie de la matière organique a été dégradée, elle n'est donc plus disponible pour les bactéries.

Des variantes ont aussi été étudiées plus récemment où l'on trouve des filtres horizontaux en premier étage suivi de filtres verticaux.

En effet, les premiers filtres ont pour rôle la rétention des matières en suspension et l'élimination des matières organiques dissoutes, les seconds mieux oxygénés assurent la nitrification. Une recirculation des effluents nitrifiés en tête de traitement peut permettre d'obtenir de bons résultats en matière de dénitrification, mais ce dispositif nécessite d'installer des pompes et organes de programmation dont la complexité serait en contradiction par rapport à la rusticité des filtres plantés de macrophytes qui est leur principal intérêt.

2. Rôle des différentes composantes des filtres plantés

Autour des racines des roseaux où croissent de grandes populations de bactéries consommatrices ou non d'oxygène (aérobie / anaérobie) se constitue la rhizosphère.

La rhizosphère est une zone humide artificielle d'épuration combinant les différentes composantes d'un milieu de vie constitué de végétaux supérieurs (roseaux), de micro-organismes (bactéries) et leurs supports (substrats).

2.1. Rôle du matériau de remplissage

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 donné à ces systèmes d'épuration. L'efficacité du matériau de remplissage dans la filtration dépend en grande partie de sa texture qui a une forte influence sur la conductivité hydraulique. Un matériau de granulométrie fine, par exemple, permet de retenir plus les matières en suspension mais le colmatage reste plus préjudiciable comparé à un matériau plus grossier.

Le choix d'un matériau optimisé au regard des objectifs de traitement recherché est imposé par la géométrie et le principe de fonctionnement des filtres, selon qu'ils sont horizontaux ou verticaux.

Schématiquement, on peut dire que pour un filtre vertical, dont le fonctionnement est nécessairement aérobie, le choix d'une granulométrie adaptée doit nécessairement prendre en compte la chute de la conductivité hydraulique liée au développement bactérien (par réduction de la porosité totale) et la nécessaire porosité supplémentaire indispensable pour la diffusion qui est le facteur prépondérant de l'aération du milieu.

En filtre horizontal, au plan strictement physique, les paramètres peuvent apparaître plus simples à caler mais ils se compliquent au niveau biologique étant donné que des auteurs (Lemore, 1984, s'appuyant sur des données bibliographiques anciennes, Mitchell and Nevo, 1964 ; Siegrist, 1987, Ronner and Wong, 1994) mentionnent de possibles interférences des sécrétions bactériennes selon que le métabolisme bactérien est de type aérobie ou anaérobie pour des bactéries pouvant passer facultativement d'un métabolisme à l'autre, selon les conditions oxydo-réductrices du milieu. La composition du matériau de remplissage influence également le traitement par sa capacité à adsorber le phosphore ou encore les métaux lourds.

2.2. Rôle des plantes

Plusieurs espèces de plantes ont été utilisées, mais communément les roseaux (type *phragmites australis*) par leur résistance aux conditions rencontrées (longues périodes submergées des filtres, périodes sèches, forte teneur en matières organiques) et leur

rapide croissance des racines et de rhizomes, sont les plus souvent utilisées. (Brix, 1987).

Les plantes ont de nombreux rôles, incluant des rôles directs et des rôles indirects.

Il y a d'abord des rôles indirects :

- ✓ Dans les filtres verticaux, elles empêchent la matière organique retenue en surface de former une croûte relativement imperméable qui gênerait l'infiltration des eaux. Ceci est possible grâce aux rhizomes qui permettent à la plante de se développer horizontalement en émettant de nouvelles tiges de loin en loin. Ces jeunes tiges percent la couche de boues et aménagent ainsi à leur base un anneau libre à la circulation de l'eau qui est régulièrement réalisé par les oscillations provoquées par le vent.
- ✓ Les plantes favoriseraient le développement de micro-organismes cellulolytiques grâce à l'ombrage qu'elles procurent et à l'hygrométrie qu'elles maintiennent. La couche de boues à la surface des filtres verticaux est ainsi plus rapidement minéralisée.
- ✓ Elles servent, tout comme le substrat minéral, de support au développement microbien au niveau de leurs parties souterraines. Les populations microbiennes présentes dans le matériau support et sur la rhizosphère (zone des rhizomes et des racines) sont plus importantes que dans les filtres non plantés.
- ✓ Elles fournissent de l'oxygène aux bactéries, par transfert depuis les parties aériennes (tiges et feuilles), vers les parties souterraines par un tissu qui leur est propre. L'oxygène est libéré au niveau des jeunes racines très fines, dans un film aqueux oxygéné, de moins d'1 mm d'épaisseur, qui entoure le chevelu racinaire. La quantité d'oxygène ainsi transférée est faible (et selon certains auteurs négligeable, notamment en hiver quand les plantes sont flétries [Brix and Schierup, 1990]), mais ce rôle peut avoir son importance dans les filtres horizontaux, où le seul autre mécanisme d'aération est l'échange par la surface du filtre.

On affecte par ailleurs aux plantes des rôles directs :

- ✓ Elles assimilent les nutriments, telles l'azote et le phosphore, pour leur métabolisme propre et/ou pour les stocker. Ce phénomène représente cependant une faible partie de l'élimination totale en traitement principal. Il peut être non négligeable en traitement tertiaire où le flux de matières polluantes, rapporté aux surfaces plantées, est moins important. Cependant, à la mort de la plante, tout ce qui a été assimilé sera de nouveau libéré dans le système par la décomposition. C'est pourquoi le faucardage des filtres est préconisé.
- ✓ On suppose enfin, qu'au niveau de leurs racines, certaines plantes sécrètent des antibiotiques, contribuant ainsi à l'élimination des micro-organismes pathogènes. Peu d'investigations à caractère fondamental sont conduites sur cet aspect.

2.3. Rôle des micro-organismes

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique. Ce sont eux qui assurent les différents processus d'oxydation et de réduction. Ils génèrent grâce à la dégradation de la matière organique l'énergie nécessaire à la biosynthèse. Ils minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes. Ils assurent également les réactions de nitrification/dénitrification.

Ils ont besoin d'un support de fixation pour se développer et ne pas être entraînés par les eaux usées ; celui-ci est assuré par les plantes (surtout leurs organes souterrains) et le matériau de filtration.

La dégradation de la matière organique par les micro-organismes est productrice de biomasse bactérienne qui doit être à son tour dégradée pour éviter le colmatage.

3. Mécanismes d'épuration

Les filtres sont des réacteurs physico-chimiques et biologiques artificiels, dans lesquels un support rapporté permet à une biomasse de se développer. L'effluent va subir différents mécanismes épuratoires.

3.1. Matières en suspension

Les matières en suspension sont retenues par *filtration*.

Dans les filtres horizontaux, l'accumulation a lieu dans les premiers mètres du filtre, ce qui peut entraîner un colmatage. Pour éviter cela, une décantation primaire doit être mise en place en amont du système pour éliminer les matières pouvant sédimenter. Les matières colloïdales sont retenues au sein du système, au moins en partie, et sont dégradées par les bactéries ou adsorbées à d'autres solides.

Dans les filtres verticaux, les matières en suspension s'accumulent à la surface du filtre où elles forment une croûte superficielle. Celle-ci pourrait gêner l'infiltration des eaux sans la présence des macrophytes qui empêchent le colmatage du filtre.

3.2. Matière organique

La matière organique est dégradée par des bactéries hétérotrophes aérobies ou anaérobies.

La *dégradation aérobie* transforme la matière organique en biomasse bactérienne et en éléments minéraux simples.

La *dégradation anaérobie* est limitée par la présence d'oxygène. C'est pourquoi elle peut avoir lieu dans les filtres horizontaux, saturés en eau en permanence et où des zones dépourvues d'oxygène existent à proximité de zones aérobies, et très peu dans les filtres verticaux. Les champignons et les actinomycètes dégradent les grosses molécules organiques en plus petites, que les bactéries dégradent à leur tour.

3.3. Devenir de l'azote

L'*ammonification* est la minéralisation de l'azote organique en ammoniacque. Elle a lieu aussi bien en milieu aérobie qu'anaérobie.



Dans des conditions aérobies, l'azote ammoniacal est oxydé en nitrites puis en nitrates par des bactéries nitrifiantes ; c'est la *nitrification* :



De faibles teneurs en oxygène ralentissent la réaction, c'est pourquoi les filtres horizontaux n'assurent pas de manière significative ce processus. Les filtres verticaux sont eux, par contre, de grands producteurs de nitrates.

La *dénitrification*, c'est à dire la réduction des nitrates en composés gazeux (NO, N₂O, N₂), a lieu, elle, dans des conditions d'anoxie (absence d'oxygène, mais présence de nitrates). Elle ne se produit donc pas, ou très peu, dans les filtres verticaux. Les bactéries dénitrifiantes sont hétérotrophes, elles ont donc besoin de matière organique pour se développer. Or, comme la dénitrification n'intervient qu'après la nitrification qui elle-même n'a lieu qu'après la dégradation de la matière organique, elles ne peuvent jouer pleinement leur rôle que grâce à des systèmes complexes de recirculation des eaux riches en nitrates qui doivent être renvoyées en tête de traitement où se trouve la matière organique. C'est pourquoi la dénitrification ne peut pas être un objectif principal de l'épuration par les systèmes verticaux si dans le même temps on souhaite conserver leur caractère «rustique». Dans les filtres horizontaux, la rhizosphère crée un milieu hétérogène où les zones aérobies, anoxies et anaérobies se côtoient ce qui permet à la nitrification et à la dénitrification d'avoir lieu consécutivement dans des zones très proches mais très restreintes du point de vue spatial.

3.4. Devenir du phosphore

Dans les eaux usées, le phosphore 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.

Dans les zones humides naturelles, le phosphore est retenu principalement sur les sédiments, mais la capacité de stockage du sol est très faible.

Dans les filtres plantés de macrophytes, 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. C'est pourquoi, certains concepteurs ajoutent des composants tels que de la limaille de fer, de l'argile ou de la chaux pour augmenter la capacité de rétention du support.

La plante assimile le phosphore pour ses tissus en croissance, l'exportation potentielle s'élève de 30 à 150 kg P par ha et par an (Brix et Schierup 1989). Cependant, le rapport P/N dans les eaux usées brutes est largement supérieur à celui de la biomasse végétale et la fraction pouvant être exportée est donc négligeable, nettement en dessous de 10 %.

On observe presque toujours des rendements élevés durant les premiers temps après la mise en service des filtres (adsorption sur le matériau), mais ils vont rapidement devenir quasiment nuls dès lors que tous les sites d'adsorption du support minéral seront saturés.

3.5. Devenir des métaux

Dans les eaux usées, on trouve les métaux sous forme soluble ou particulaire. Les formes particulaires sont retenues par filtration. Les formes solubles sont éliminées, principalement par deux mécanismes. D'une part, les métaux précipitent sous forme d'oxydes et de sulfides métalliques grâce à, respectivement, des bactéries métallo-oxydantes dans les zones aérobies et des bactéries sulfato-réductrices dans les zones anaérobies. Ils sont ensuite retenus dans la matrice du filtre. D'autre part, à l'interface racine/sédiment, on rencontre de forts gradients rédox qui provoquent la précipitation d'hydroxydes ferriques complexes.

Ceux-ci s'accumulent dans la rhizosphère formant une sorte de gaine autour des racines. Elle constitue une barrière efficace contre l'assimilation végétale et favorise la co-précipitation avec d'autres métaux lourds dans la plaque d'hydroxyde ferrique.

Le tableau 1 résume les différents mécanismes rencontrés dans les filtres plantés de macrophytes.

Tableau 1 : Principaux mécanismes d'élimination des différents types de polluants.

Polluants	Mécanismes d'élimination
Matière en Suspension	Filtration Dégradation microbienne anaérobie Dégradation microbienne aérobie
Matière organique	Ammonification suivie d'une nitrification et d'une dénitrification microbienne. Volatilisation de l'ammoniac Assimilation végétale Adsorption sur la matrice
Phosphore	Adsorption sur la matrice Assimilation végétale
Métaux	Adsorption et échange de cations, Complexation Précipitation Assimilation végétale Oxydoréduction microbienne
Micro-organismes	Filtration Mort naturelle Prédation Sécrétion d'antibiotiques par les racines des macrophytes

(Source : Agence de l'Eau de Rhône Méditerranée et Corse, 1999)

4. Dimensionnement et mise en œuvre

4.1. Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

4.1.1. Approches de dimensionnement

Différents approches ont été utilisées pour établir la superficie des filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal. Les principales approches sont celle basée sur le temps de rétention hydraulique et celle basée sur la charge hydraulique superficielle (Bernier, 2002).

➤ Approche basée sur la charge hydraulique superficielle

Le modèle proposé par Kadlec et Knight est exprimé dans l'équation 1 :

$$A = Q (\ln C_e - \ln C_s) / k_v \quad (1)$$

Où :

A : superficie du filtre (m²),

Q : débit (m³/j),

C_e : concentration à l'entrée (mg/L),

C_s : concentration à la sortie (mg/L),

K_v : constante cinétique d'ordre 1 (m/j)

La valeur de K_v peut être ajustée en fonction de la température en utilisant l'équation 2 :

$$K_v (T^\circ\text{C}) = k_v (20^\circ\text{C}) \cdot \Theta^{(T - 20)} \quad (2)$$

K_v (T°C) : constante cinétique du premier ordre à la température,

K_v (20°C) : constante cinétique du premier ordre à la température 20°C,

Θ : coefficient d'Arrhenius.

Les valeurs proposées pour les paramètres du modèle de Kadlec et Knight sont consignées dans le tableau 2

Tableau 2 : Valeurs semi empiriques des paramètres relatifs au modèle de Kadlec et Knight (en se basant sur la DBO₅)

Paramètre	Unité	Valeur
K (20°C)	m/an	180
Θ	-	1,00

➤ **Approche basée sur le temps de rétention hydraulique**

Le modèle proposé par Reed et al, 1995 est basé sur une hauteur d'eau moyenne dans le milieu. L'équation (3) utilisée pour le calcul de la superficie requise est la suivante.

$$A=Q/ (K_T*y*\rho)*\ln (C_i/C_e) (3)$$

La concentration de l'effluent (sortie) est donnée par :

$$C_e=C_i*e^{-K_T*t}$$

Avec

$$K_T=K_{20}*\Theta^{(T-20)}$$

Où

A : Superficie requise en m²

Q : Débit (m³/j)

K_T : Constante d'ordre 1 à la température T (j⁻¹)

C_i : Concentration à l'entrée du filtre (mg/L)

C_e : Concentration à la sortie du filtre (mg/L)

t : Temps de rétention hydraulique (j)

y : Hauteur d'eau (m)

ρ : Porosité

Θ : Coefficient d'Arrhenius de température (%)

Les valeurs proposées pour les paramètres du modèle de Reed sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Valeurs recommandées de la constante de 1^{er} ordre selon le modèle de Reed

Paramètres	$K_{20} (j^{-1})$	Θ
DBO ₅	1,1	1,06
Nitrification	0,107	1,048
Dénitrification	1,1	1,15

Dans les conditions de Rabat, la valeur de K_{20} est de $1.93j^{-1}$ avec Θ égal à 1,047 pour la DBO₅ (El Hamouri et al, 2007).

4.1.2. Mise en œuvre

***Pente** : la pente du fond du lit doit permettre de vidanger complètement le filtre. La pente ne doit cependant pas provoquer l'assèchement des racines au niveau de la sortie. Une variation de la profondeur du lit de 10% de la hauteur de matériau à l'entrée est suffisante.

***Matériaux** : à l'origine, le procédé s'est développé en utilisant du sol en place, tout en préconisant d'atteindre, à terme, une conductivité hydraulique de $3.10^{-3}m/s$. Bon nombre de filtres ont été construits en faisant l'hypothèse que la conductivité hydraulique augmenterait avec le développement racinaire.

***Végétaux** : la variété la plus largement utilisée est le roseau Phragmites Australis en raison de sa vitesse de croissance, de son développement racinaire et de sa résistance aux conditions de saturation du sol. La plantation peut se faire à l'aide de grains, de jeunes pousses ou de rhizomes avec une densité de l'ordre de 4 pieds par m^2 .

***Choix des terrains** : une dénivelée de 1 à 2 mètres entre le point d'alimentation de la future station et l'aval permet d'alimenter les filtres par gravité. La dénivelé requise n'est pas très importante en raison de l'écoulement horizontal.

Si le sol est argileux, l'étanchéité naturelle peut être atteinte par simple compactage. Dans le cas contraire, la pose d'une géo membrane imperméable est nécessaire.

***Compartmentation** : pour les tailles supérieures à 500 m², un fractionnement en plusieurs unités de taille réduite améliorera la répartition hydraulique et facilitera l'entretien.

4.2. Filtres Plantés à Ecoulement Vertical (FPEV)

4.2.1. Approche de dimensionnement

La surface de filtres nécessaire pour traiter une eau usée est fonction de ses caractéristiques, du débit journalier à traiter mais aussi des objectifs visés. Différentes approches sont utilisées pour déterminer la surface requise et il n'existe pas, du moins jusqu'à maintenant, de formule rationnelle comme dans le cas des filtres horizontaux.

Les formules empiriques proposées dans la littérature sont développées à l'étranger, dans des conditions souvent très différentes de celles du Maroc. Il convient alors, si on les utilise, de vérifier leur adaptabilité aux conditions climatiques marocaines. Pour déterminer la surface des filtres verticaux un certain nombre de formules, généralement empiriques, sont proposées dans la littérature.

La surface totale de filtre requise A (m²) dépend du type de réseau (Molle et al).

➤ **Si le réseau est séparatif alors la superficie de filtres est calculée par :**

$$A = 2,0 \text{ m}^2 / \text{EH},$$

➤ **Par contre si le réseau est unitaire, on estime la surface par :**

$$A = 2,5 \text{ m}^2 / \text{EH},$$

EH= Equivalent habitant, l'équivalent habitant est un paramètre permettant de quantifier la pollution d'une agglomération à partir de la population qui y réside et des autres activités non domestiques.

L'EH au plan réglementaire européen correspond à un flux journalier de DBO₅ de 60 g DBO₅/j.

Les bases de dimensionnement sont fondées de façon empirique en précisant les charges organiques surfaciques journalières limites acceptables sur un tel système.

Deux étages sont mis en place pour assurer un traitement fiable.

Le premier étage est dimensionné pour recevoir environ $40 \text{ g DBO}_5 \text{ m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ (60% de la surface totale), soit $1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{EqH}^{-1}$. Cet étage est compartimenté en 3 filtres minimum permettant d'obtenir des périodes de repos de 2/3 du temps.

Le dimensionnement du deuxième étage est basé sur la perméabilité du sable. Généralement, il correspond à 40% du dimensionnement total, soit $0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{EqH}^{-1}$.

4.2.2. Mise en œuvre

***Alimentation** : la vitesse d'alimentation en eaux usées brutes doit être supérieure à la vitesse d'infiltration pour bien répartir l'effluent. Les dépôts qui s'accumulent à la surface contribuent à amoindrir la perméabilité intrinsèque du matériau et donc améliorent la répartition de l'effluent. Les végétaux limitent le colmatage de surface, les tiges percent les dépôts accumulés. Les arrivées d'eau se font en plusieurs points.

***Matériaux** : le matériau de garnissage du premier étage se compose de plusieurs couches de gravier présentant une granulométrie de 2-8 mm, pour une épaisseur de l'ordre de 40 cm. Les couches inférieures sont de granulométrie intermédiaire (10-20 mm) permettant d'atteindre une couche drainante de gravier (granulométrie 20-40 mm). Le deuxième étage affine le traitement. Il est composé d'une couche de sable d'une hauteur d'au moins 30 cm. Les risques de colmatage sont ainsi moindres.

***Evacuation** : la couche inférieure de gravier 20-40 mm assure le drainage de l'effluent. Les drains en tubes synthétiques, rigides et munis d'entailles larges, sont préférentiellement utilisés car ils sont peu sensibles au colmatage. Chaque drain est relié à une cheminée d'aération.

***Plantation** : théoriquement, plusieurs espèces de plantes peuvent être utilisées (Scirpus spp, Typha...), mais les roseaux (de type Phragmites australis), par leur résistance aux conditions rencontrées (longue période submergée du filtre, périodes sèches, fort taux de matières organiques), et la rapide croissance du chevelu de racines et rhizomes, sont les plus souvent utilisés dans les climats tempérés. La densité de plantation est de 4 plants/m^2 .

***Conception** : la surface impliquée par ce procédé rend parfois impossible son installation pour des agglomérations de taille moyenne.

Une dénivellé de l'ordre de 3 à 4 mètres entre les points amont et aval permet d'alimenter les filtres par gravité (siphons ne nécessitant aucun apport d'énergie). Pour des collectivités d'une taille proche de 3000/4000 EH, la mise en place de pompes peut devenir nécessaire.

5. Avantages et inconvénients des filtres plantés de roseaux

Le traitement par les filtres plantés de roseaux présente les avantages suivants :

- Aucune nuisance olfactive : un échantillon de terreau prélevé en surface, c'est-à-dire au contact de l'effluent, a une odeur de terre mouillée.

Les roseaux ont la propriété de transporter, en grande quantité, de l'oxygène depuis leurs feuilles vers leurs racines et radicelles. Ainsi, tout l'environnement racinaire, et donc la masse de boues, deviennent un milieu oxygéné (aérobie) propice à la dégradation de la matière organique, sans odeurs (pas de phénomènes de fermentation producteurs d'odeurs).

- Une exploitation simple et un entretien réduit : elle ne nécessite qu'un minimum d'installation électromécanique, et reste facilement extensible par l'adjonction d'un ou plusieurs lits : « faucardage ». Il évite le pourrissement des roseaux et ainsi un relargage de pollution.
- Une station écologique : une production de boues très réduite (1cm de boues à la surface de chaque lit, par an). Une station d'épuration qui fonctionne de manière rustique, et requiert peu d'énergie. Elle s'inscrit parfaitement dans la politique du développement durable.

Filtres plantés à écoulement vertical

Les filtres plantés à écoulement vertical présentent les avantages et les inconvénients suivants :

Avantages

- Facilité et faible coût d'exploitation. Aucune consommation énergétique si la topographie le permet ;

- Traitement des eaux usées domestiques brutes ;
- Gestion réduite au minimum des dépôts organiques retenus sur les filtres du 1^{er} étage ;
- Bonne adaptation aux variations saisonnières de population.

Inconvénients

- Exploitation régulière, faucardage annuel de la partie aérienne des roseaux, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux ;
- Utiliser cette filière pour des capacités supérieures à 2000 EH reste très délicat pour des questions de maîtrise de l'hydraulique et de coût par rapport aux filières classique ;
- Risque de présence d'insectes ou de rongeurs.

Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal présentent les avantages et les inconvénients suivants :

Avantages

- Faible consommation énergétique ;
- Pas de nuisance sonore et bonne intégration paysagère ;
- Aucune nécessité d'une qualification poussée pour l'entretien ;
- Bonne réaction aux variations de charges.

Inconvénients

- Forte emprise de sol ;
- Une installation pour des tailles de 2000 à 15000 EH peut s'envisager sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique.

6. Exploitation et entretien

Même s'il est vrai que ce type d'installation est peu contraignant du point de vue exploitation et demande peu d'entretien, ces aspects ne doivent en aucun cas être

négligés car ils sont primordiaux pour le bon fonctionnement de la station ainsi que pour sa pérennité.

6.1. Exploitation

Alternance d'alimentation des bassins

La périodicité avec laquelle les bassins doivent être alimentés puis laissés au repos dépend du système retenu ainsi que du niveau de traitement, mais aussi du nombre de bassins par étage.

En général, les filtres horizontaux sont alimentés en permanence, surtout en traitement tertiaire. En traitement secondaire, l'alimentation peut être alternée à raison d'une semaine d'alimentation et une semaine de repos.

Les filtres verticaux doivent nécessairement être alimentés en alternance. Les périodes d'alimentation ne doivent pas être trop longues afin que la matière organique ne puisse colmater le filtre, mais pas trop courtes non plus, car ce colmatage progressif permet une meilleure répartition de l'effluent, augmentant ainsi l'efficacité du traitement. Les périodes de repos doivent être suffisamment longues afin de jouer pleinement leur rôle, mais pas trop non plus pour ne pas affecter ni la croissance des roseaux ni celle de la population bactérienne alors en période de disette. La périodicité «idéale» est de 3 à 4 jours d'alimentation pour une semaine de repos.

La permutation manuelle des vannes d'alimentation présente un intérêt puisqu'elle impose des visites souvent bihebdomadaires de la station et permet ainsi d'effectuer une inspection visuelle régulière. Dans le cas d'une permutation automatisée, il pourra être prévu que l'automate n'assure la permutation qu'une fois sur deux afin que l'exploitant soit contraint, au minimum, à une visite hebdomadaire.

Vidange des bassins restés en eau

Dans les filtres horizontaux, la hauteur d'eau est maintenue constante grâce à un système de siphon permettant d'ajuster le niveau d'eau dans le filtre. Si on décide de les alimenter de façon intermittente, il faut les vidanger 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 stagnant en fond de bassin. La vanne située au bas du filtre doit rester ouverte pendant la période de repos.

Dans le cas des filtres verticaux, le problème ne se pose pas puisque les filtres sont automatiquement drainés entre chaque bâchée.

6.2. Entretien

Entretien particulier lors de la mise en route

La première année surtout, il est indispensable de procéder à un désherbage manuel des filtres afin que les plantations ne soient pas concurrencées par des plantes adventices. Selon la densité de recouvrement à la fin de la première année, il sera peut-être nécessaire de renouveler l'opération l'année suivante, d'où l'intérêt d'une plantation suffisamment dense (4 plants/m²).

Par la suite cela ne sera plus utile car les roseaux parviendront à maintenir une population monospécifique.

Entretien courant

Entretien des systèmes de prétraitement & traitement primaire

Le dégrilleur, le dessableur et le déshuileur doivent être nettoyés régulièrement. Le siphon et la bêche de stockage en tête des filtres plantés de roseaux doivent être nettoyés aussi. Les dispositifs de traitement primaire tels que les fosses septiques ou les décanteurs-digesteurs doivent être vidangés en fonction du niveau des boues accumulées, c'est à dire une à deux fois par an pour les décanteurs digesteurs.

Entretien des abords de la station

L'entretien des abords de la station consiste à tondre régulièrement les abords de la station afin de préserver un certain esthétisme ainsi qu'à entretenir les éventuelles clôtures en fonction des dommages occasionnels.

Visite et vérification des installations électromécaniques

Il s'agit de s'assurer du bon fonctionnement des appareils électromécaniques et de détecter les pannes éventuelles le plus rapidement possible. Cette visite de contrôle doit donc avoir lieu au moins une fois par semaine.

Faucardage des macrophytes

Le faucardage des macrophytes a lieu une fois par an, généralement à l'automne. Pendant les deux premières années qui suivent la plantation, il est recommandé de laisser les plantes se développer sans les couper.

Suivi

Un cahier d'entretien doit être tenu et mis à jour à chaque visite. On doit y trouver les manipulations effectuées, les divers travaux d'entretien et/ou de réparation, les dysfonctionnements... ; Tout événement pouvant avoir un impact sur le fonctionnement de la station (crues, fortes pluies, dégâts causés par les animaux...) doit y être notifié.

chapitre II: Matériels & méthodes

I. Présentation des éléments du projet Rmel

1. Site d'implantation de la station

Douar R'mel se trouve dans la commune de Dar Bouazza. Cette commune s'étend sur une superficie de 13 000 hectares, se situe à l'extrémité ouest de la Wilaya du Grand Casablanca, elle est limitée au nord par l'océan atlantique, au sud et à l'ouest par la province de Settat et à l'est par les préfectures et arrondissements d'Ain Chok et de Hay Hassani.

Cette commune est de nature touristique dans la partie côtière et agricole à l'intérieur, elle dépend administrativement de la province de Nouaceur.

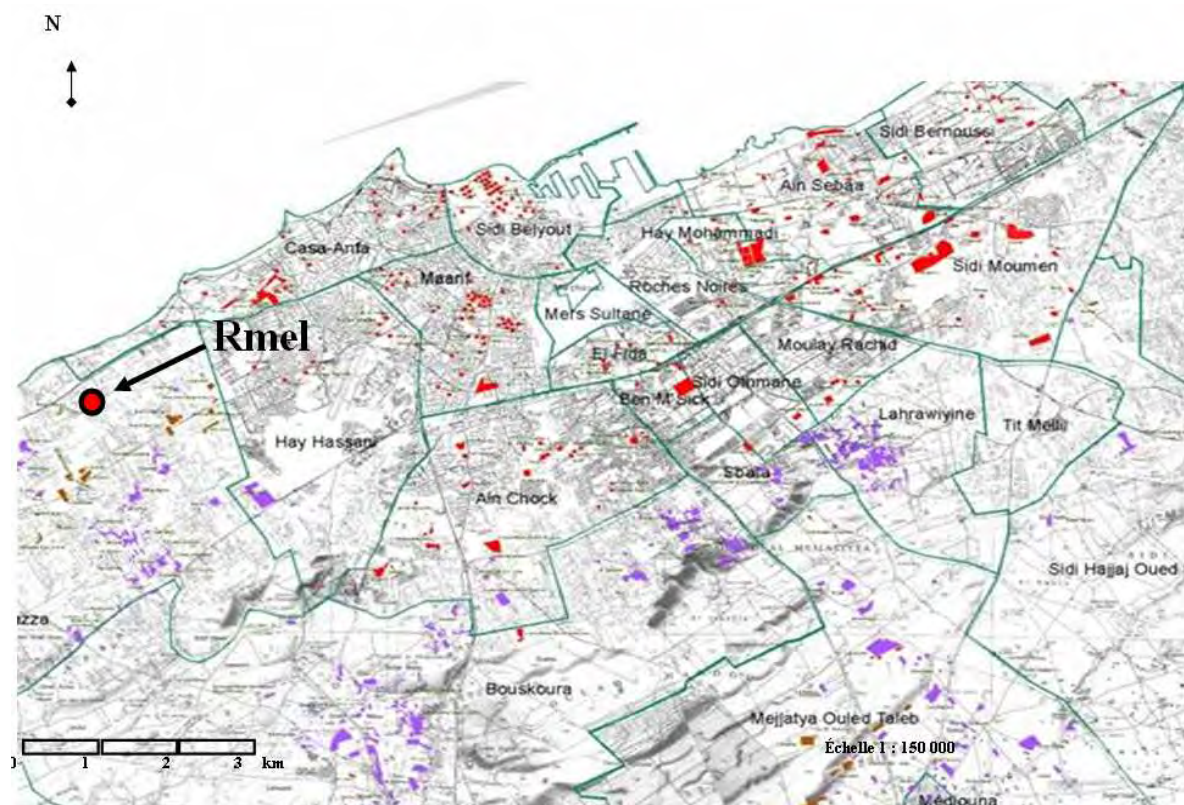


Figure 8 : La situation géographique de Douar Rmel

Douar R'mel se situe à 150 m de la route d'Azemmour. Le Douar est relativement structuré, il abrite 214 foyers et est constitué de 5 ruelles relativement larges (figure 9). Il s'agit d'un douar, d'habitats denses à faible taille, non raccordé au réseau municipal. La solution préconisée pour l'assainissement de ce douar est une fosse septique collective suivie d'une rhizofiltration.



Figure 9 : Photo aérienne de Douar RMEL

2. Données de base

✓ Débit

Les données de base utilisées lors du dimensionnement de la STEP sont reportées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Données de base pour la détermination du débit de projet.

Nombre d'habitations (foyers)	214
Habitant/foyer (habitants)	5
Population (habitants)	1070
Consommation (L/hab/j)	30
Taux de retour (%)	80
Débit de rejet (L/hab/j)	24
Débit m ³ /j	26

✓ Charge organique

La charge organique rejetée par habitant est estimée à 15 g/hab/j. Donc la charge organique totale prise pour le dimensionnement du système d'épuration est 16 Kg/j soit une concentration de 625 mg/L

3. La station au fil de l'eau

Les eaux usées que reçoit la station sont les eaux noires et les eaux grises du Douar, les eaux pluviales sont rejetées grâce à des caniveaux dans la rue.



Figure 10 : Photo du chemin des eaux pluviales à Douar Rmel

La station traite un débit moyen journalier de $14 \text{ m}^3/\text{j}$. Le système d'épuration comporte une fosse septique collective qui reçoit les eaux assainies de l'ensemble du douar avant d'être transportées vers des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.

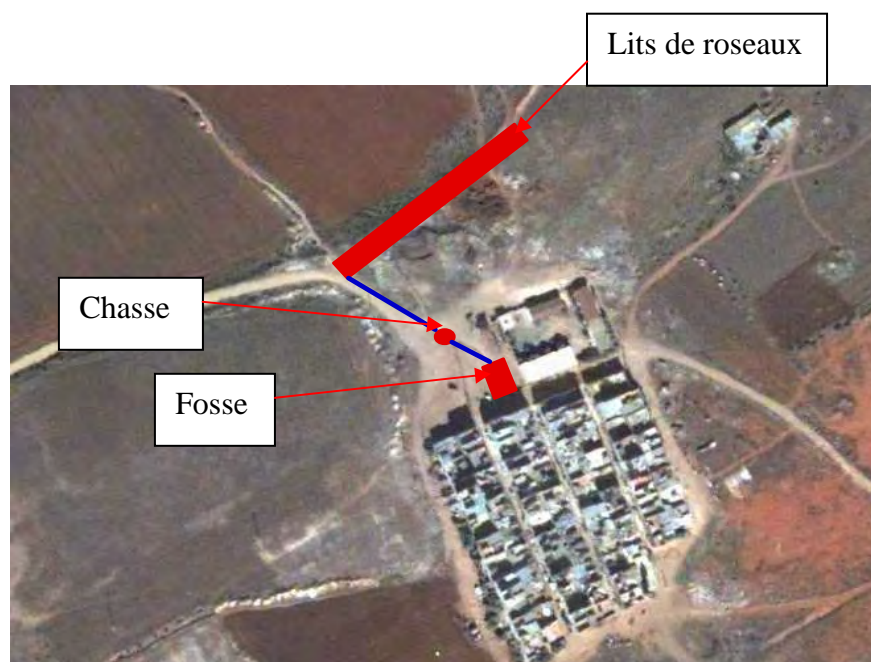


Figure 11: Emplacement de la station

3.1. Pré - traitement : Fosse sceptique collective

Les conduites des eaux usées provenant des 5 rues se rejoignent au niveau d'un regard de visite à la sortie du Douar, puis ces eaux sont assainies grâce à une conduite en PVC (Φ 200) vers la fosse septique collective.

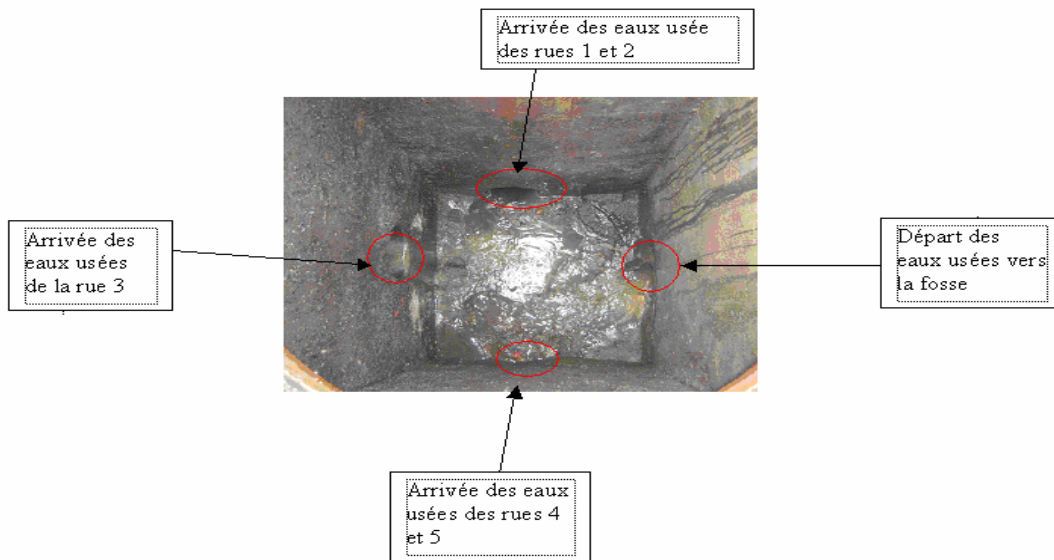


Figure 12 : Regard de visite à la sortie du Douar

La fosse septique est le siège d'un traitement préliminaire : élimination de matières flottantes, huiles, graisses, sédimentation des matières en suspension (MES) et minéralisation plus ou moins poussée des boues accumulées. La fosse a une forme cubique avec un volume de 64 m^3 , soit pour une hauteur utile de 3 m, une longueur de 8,6 m et une largeur de 3 m. Le temps de séjour dans la fosse est de 2.5 jours.

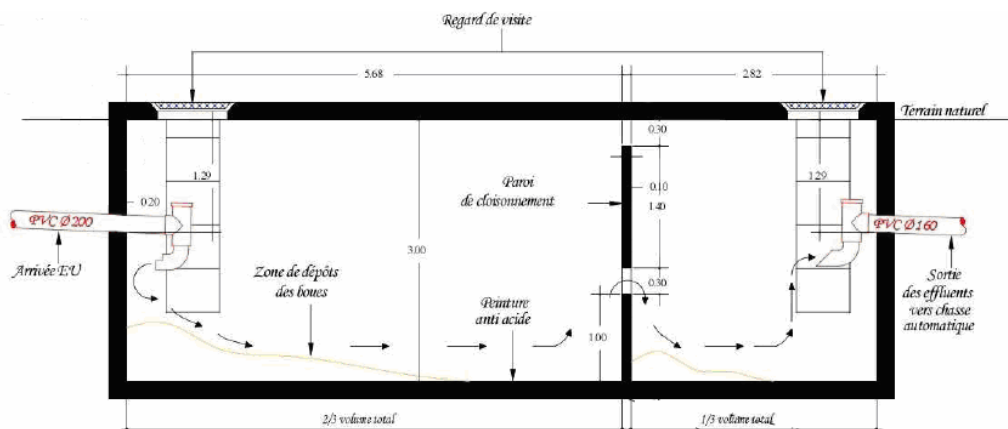


Figure 13 : Coupe longitudinale de la fosse septique collective

La fosse est munie d'une cloison siphonide placé au 2/3 de la longueur. La séparation des deux compartiments a été mis en oeuvre afin de :

- Permettre à la fosse de remplir sa mission de :
 1. Décantation par la partie inférieure d'une hauteur de 1 m.
 2. Transport des eaux vers la chasse à travers la partie passage des eaux d'une hauteur de 0.3m.
- En l'absence d'un dispositif de ventilation, la ventilation de la fosse est assurée par une hauteur vide de 0.3 m

Le tableau 5 résume les performances attendues de la fosse.

Tableau 5 : performances prévues pour la fosse

La charge à l'entrée de la fosse (Kg/j)	16
Taux d'élimination %	40
La charge à la sortie de la fosse (Kg/j)	10

3.2. Les filtres plantés à écoulement vertical

3.2.1. Entraînement des eaux

Chasse d'eau automatique

A la sortie de La fosse les eaux usées sont évacuées vers la chasse grâce à une conduite en PVC ($\Phi 160$). Le dispositif de chasse consiste en un système à flotteur, relié au clapet d'ouverture chassant l'eau vers le système des vannes, remontant avec le niveau d'eau jusqu'à un niveau maximal pour lequel le système se déclenche automatiquement alimentant ainsi le filtre, en eaux usées, par bâchées.

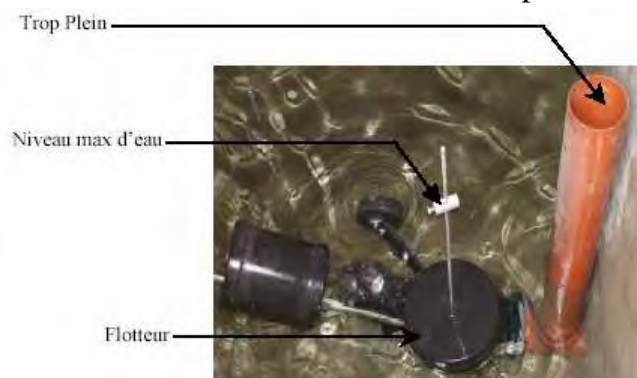


Figure 14 : Dispositif de chasse automatique

Vannes

Il s'agit d'un jeu de trois vannes manuelles (L'ouverture et la fermeture des vannes sont assurées grâce à une clé de vannes) qui commandent l'alimentation séquentielle des trois filtres. Chacune des vannes correspond à un filtre et donc permet l'entraînement hydraulique des eaux usées en alternance vers ces filtres : 1 lit sur trois est alimenté, les deux autres sont mis en repos, la rotation est faite tous les 4 jours ; la période de repos par lit (8 jours) est le double de la période d'alimentation (4jours).



Figure 15 : La chambre des vannes

3.2.2. Dimensions des filtres

Dans la station pilote de Douar Rmel, le système est constitué de trois filtres parallèles. Les filtres possèdent les mêmes dimensions données le tableau 6.

Tableau 6 : Dimensions d'un filtre

Désignation	Unité	Valeur
Surface	m ²	86.1
Longueur	m	10.5
Largeur	m	8.2
Profondeur	m	2.3



Figure 16: Les lits de roseaux

3.2.3. Imperméabilisation

Les filtres sont imperméabilisés à l'aide d'une géo membrane thermo soudée PEHD de 1 mm précédée par un géotextile afin de protéger la géo membrane du contact direct avec le milieu agressif (moellons pointus...) et éviter ainsi des fissurations qui pourraient nuire à sa fonction d'étanchéité.

3.2.4. Massif filtrant

Le massif filtrant des trois filtres est constitué des couches superposées suivantes :

- Une couche de gravier (30/60 mm ou 30/80 mm) sur une profondeur de 0.2 m au fond du filtre.
- Une couche de gravier (2/8 mm) sur une épaisseur de 0.1m.
- Une couche de sable lavé (0.7/1.5 mm) sur une épaisseur de 0.6 m.

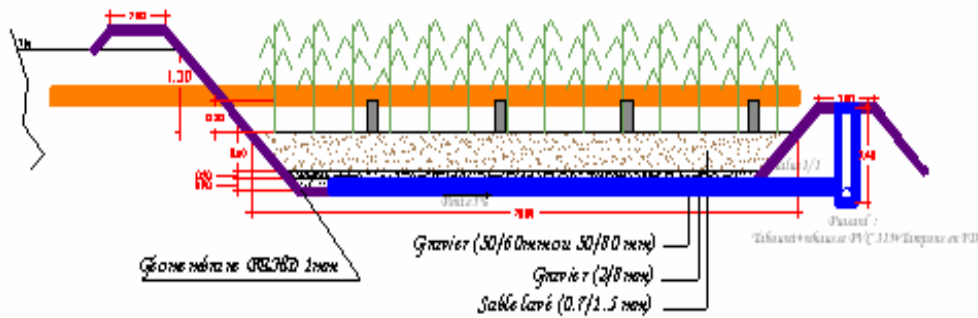


Figure 17 : Coupe en travers du lit de roseaux

3.2.5. Variété de roseau utilisée

La variété utilisée est le roseau *Phragmites australis*. C'est une plante largement utilisée au sein des stations d'épuration. Cette plante est adaptée pour les milieux humides. Elle est réputée pour faciliter l'épuration et l'écoulement des eaux usées grâce à son profond enracinement, sa vitesse de croissance ainsi qu'à sa résistance à la forte variabilité du niveau d'eau et aux conditions de saturation. La densité de plantation adoptée pour notre station est de 4 pieds /m², les roseaux ont été plantés à l'état adulte. (Voir fiche de la variété *Phragmites australis* en annexe)

3.2.6. Système de répartition des eaux

Dans les filtres à écoulement vertical, l'effluent doit être réparti sur la surface du filtre et doit s'écouler à l'intérieur en subissant un traitement physique (filtration), chimique et biologique (biomasse fixées sur support fin). Le bon fonctionnement des filtres nécessite une bonne répartition des eaux sur la totalité de la surface du filtre.

Le système d'alimentation des filtres est constitué de conduites de distribution depuis le centre du lit. Chaque conduite est perforée en 33 distributeurs par lit de roseaux. Le diamètre des distributeurs est de 29.4 mm. Les lits de roseaux ont une surface de 86.1 m² chacun, ce qui fait une superficie d'arrosage de 2,6 m²/distributeur. Des carreaux

de carrelage ont été déposés sous chacun des distributeurs (le jet d'eau tape sur le carreau ce qui homogénéise la distribution sur la surface du filtre).
 Les conduites d'alimentation sont terminées par bouchon permettant le curage.



Figure 18 : Canalisation de distribution des eaux usées

3.2.7. Les drains

Les eaux épurées sont récupérées par des drains enterrés. Les drains (2 par lits) sont posés le long des filtres. A la sortie, les drains sont raccordés par un collecteur latéral unique.

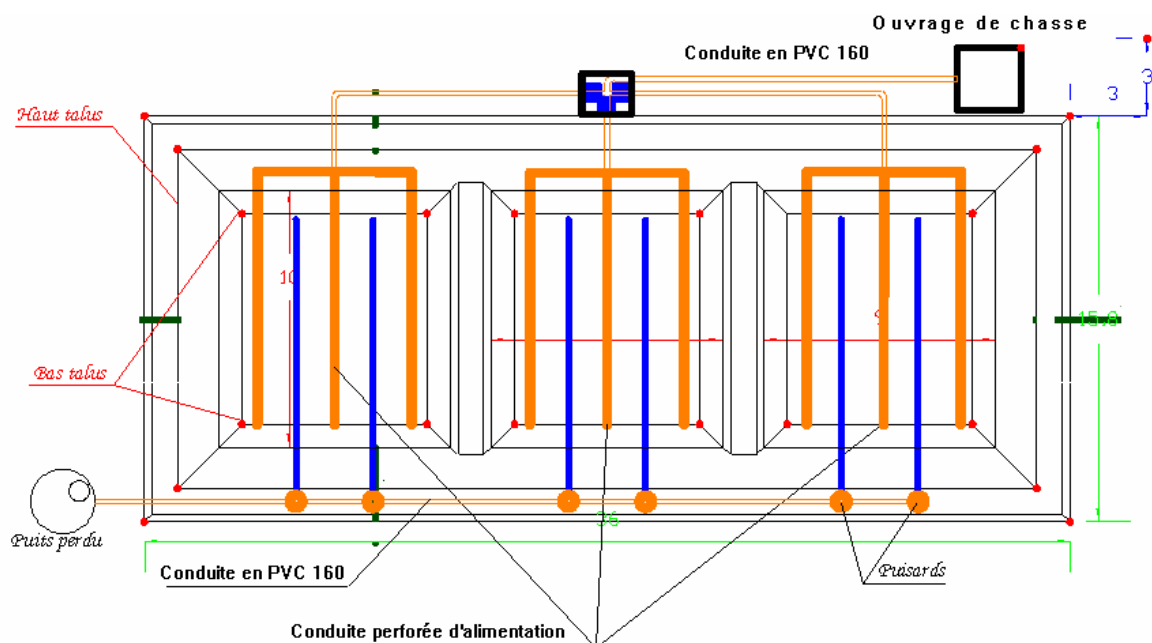


Figure 19 : Plan des lits de roseaux

Les eaux traitées sont dirigées vers un regard avec trois entrées distinctes (Puisards), permettant l'analyse de la qualité de l'eau issue de chacun des 3 lits.



Figure 20 : Puisards à la sortie des lits

3.2.8. Puits perdus

En l'absence d'un exutoire naturel pour évacuer les eaux épurées, les puits perdus d'infiltration sont une composante importante de la STEP de Rmel.

Il s'agit de deux puits installés en série qui permettent l'infiltration en profondeur des eaux traitées. La perméabilité du terrain est de 17 mm/h. Il s'agit d'un terrain de nature rocheuse, la perméabilité dépend des fissures.

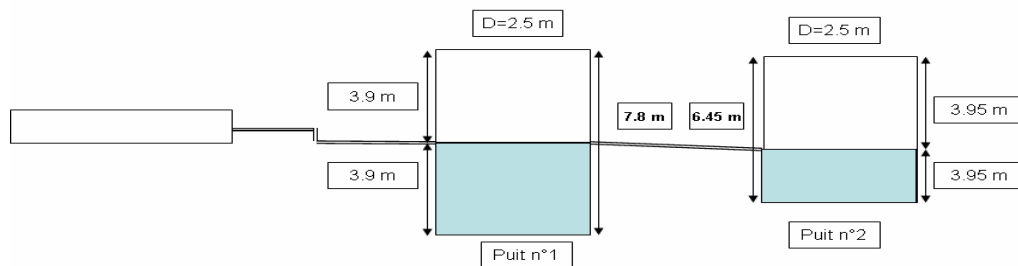


Figure 21: Coupe des deux puits d'infiltration

La photo de la figure 22 montre l'arrivée des eaux traitées des lits et le départ vers le 2^{ème} puits.



Figure 22 : Puits perdu N°1

3.3. Les performances établies par le dimensionnement de la STEP (LYDEC)

Les performances attendues de la station telles que prévues lors du dimensionnement sont rapportées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Performances attendues de la STEP

Paramètre	Unité	Performance
DBO ₅	Mg/L	25
DCO		125
MES		15
NTK		30
Pt		15

L'ensemble des composantes de la station est schématisé dans le croquis de la figure 23.

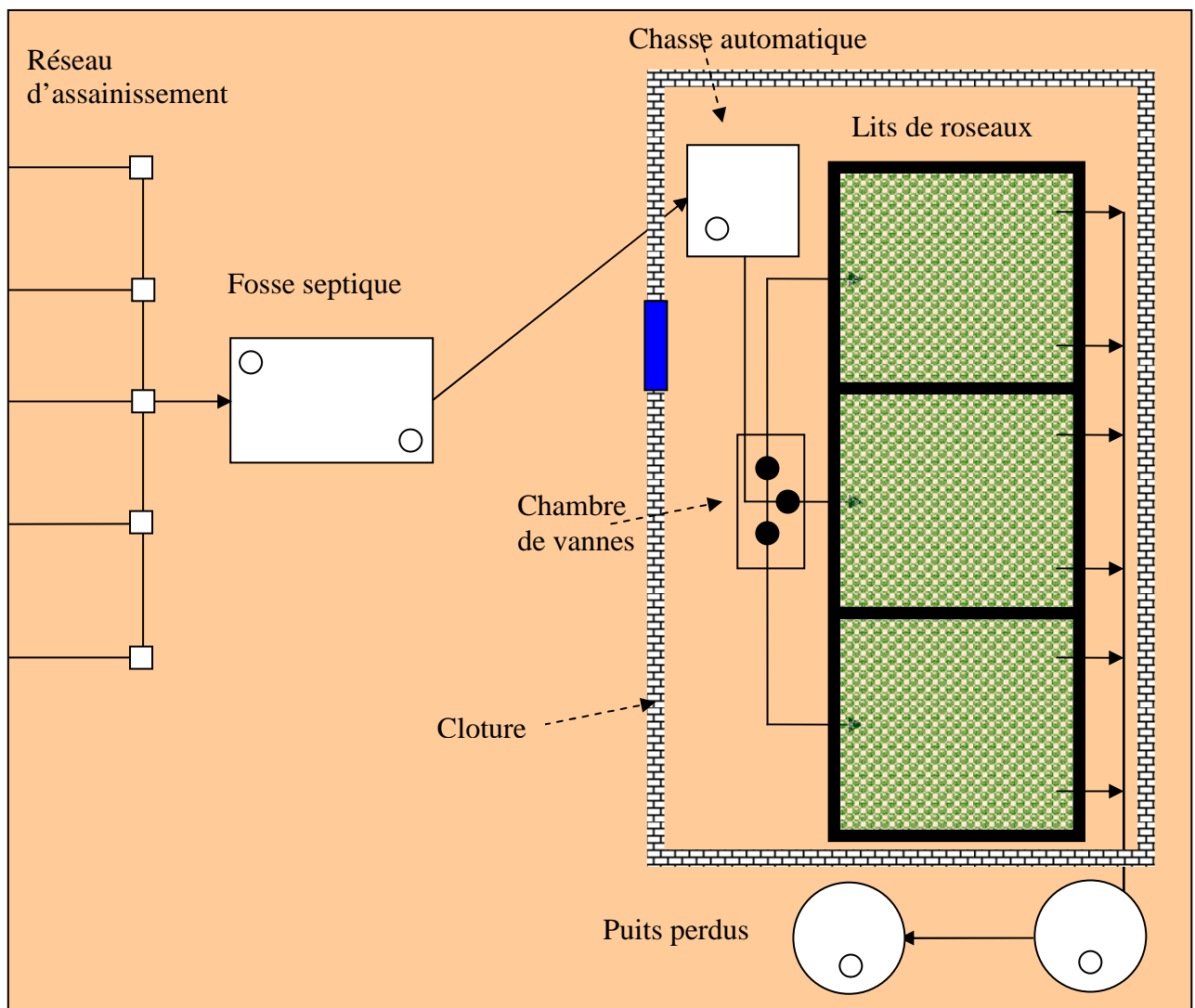


Figure 23 : Croquis de la STEP Rmel

II. Présentation de la STEP IAV

Afin de mieux évaluer les performances de la STEP Rmel et adapter les bases de son dimensionnement, on a procédé à la comparaison des performances de la STEP Rmel à la STEP-IAV.

1. Eaux usées de l'IAV

Le réseau « eau mixte » de l'IAV Hassan II collecte les eaux usées de l'ACSA et celles du campus. Ces dernières englobant la résidence des étudiants, les locaux de l'administration, ceux réservés à l'enseignement et les laboratoires de recherches.

Deux grands restaurants sont exploités l'un pour les étudiants et le second au niveau de l'ACSA. Les eaux usées sont interceptées à la sortie du campus avant le rejet dans le réseau municipal puis pompé sur 1000 m et 11 m de dénivelée jusqu'au site de la station d'épuration des eaux des eaux usées « STEP eau mixte »

La quantité d'eau mixte à traiter dans la STEP constituée de trois étages de filtres, type hybride V/H/V (écoulement Vertical/écoulement Horizontal/écoulement vertical nitrification/dénitrification) est de 10 à 13 m³/jour. (TALL, 2007)

Les principales caractéristiques des eaux usées du campus sont reprises dans le tableau

Tableau 8 : Caractéristiques des eaux usées de l'IAV

Paramètres	Valeurs (g /m ³)
DCO	800
DBO ₅	390
MES	330
NTK	72

(Source : El Hamouri, 2004)

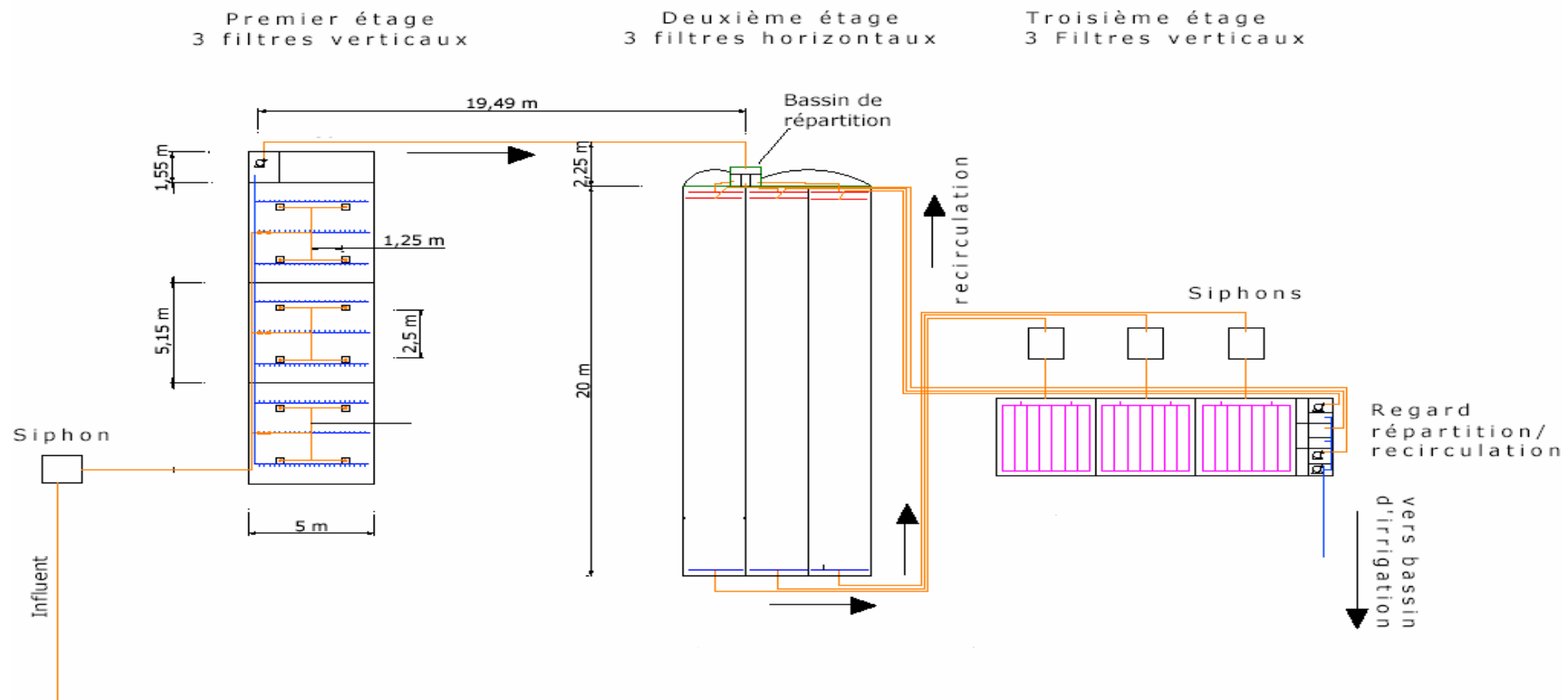


Figure 24 : Plan de masse de la station pilote de l'IAV

2. Description du système de traitement

2.1. Prétraitement

Les filtres à écoulement vertical du premier étage ont été conçus pour recevoir des eaux usées brutes, l'eau à traiter subit un dessablage et un dégrillage pour retenir tout ce qui est grossier tels que les plastiques et les bouchons des emballages de produits laitiers et les épluchures de légumes provenant du restaurant.

2.2. Premier étage de traitement

Le premier étage est formé de trois filtres plantés *Phragmites australis* à écoulement vertical placés en parallèle.

Chacun des trois filtres est alimenté, par bâchée grâce à un siphon auto-amorçant, d'eau usée brute pendant 4 jours consécutif avant d'être mis au repos pendant 8 jours.

Les bassins sont de forme carrée de dimensions 5m*5m et d'une profondeur de 1,2m.

Le massif filtrant de 55cm est constitué de trois couches de gravier :

- Une couche de drainage d'une épaisseur de 15 cm et constitué de granulats de 20 à 40 mm
- Une couche intermédiaire de 10 cm composée de gravier de 10 à 20 mm ;
- Enfin une couche de gravier de 30 cm dont la taille des granulats est comprise entre 2 et 8 mm.



Figure 25 : Filtre à écoulement vertical du premier étage

2.3. Deuxième étage de traitement

Cet étage est formé de trois filtres à écoulement horizontal placés en parallèle avec recyclage à partir du 3^{ème} étage.

Les filtres horizontaux sont utilisés principalement pour assurer l'oxydation des matières organiques, ils permettront également la dénitrification de l'effluent qui sera recyclé à partir des filtres du troisième étage.

Les dimensions de chaque bassin sont : 20 m*2,45 m et la hauteur est de 60 cm.

Le matériau de filtration est constitué de gravier dont les diamètres varient entre 12 et 20 mm, des gabions dont la taille est de l'ordre de 40 mm sont utilisés sur 1 m dans le sens de l'écoulement à l'entrée et à la sortie des bassins.



Figure 26 : Bassins des filtres à écoulement horizontal du deuxième étage

2.4. Troisième étage de traitement

Le troisième stade (stade de nitrification) est à écoulement vertical non planté, il est formé de trois filtres placés en parallèle, chacun reçoit l'eau du bassin du deuxième étage correspondant, à la sortie l'eau est partagée en deux parties égales (50/50) dont

une partie est acheminée vers les deux filtres horizontaux recevant le recyclage pour dénitrification.

Les dimensions de chaque filtre sont : 4m*4m soit $A=16m^2$.

Les matériaux de garnissage sont constitués de trois couches :

- Couche de surface d'une épaisseur de 20 cm et la taille des granulats est entre 12 à 20 mm
- Couche filtrante d'une épaisseur de 20 cm et la taille des granulats est entre 1 et 5 mm
- Et une couche de fond d'une épaisseur de 20 cm et la taille des granulats est entre 12 et 20 mm.



Figure 27 : Filtres à écoulement vertical du troisième étage

Le principe de fonctionnement de la STEP de l'IAV est schématisé dans le croquis de la figure 28.

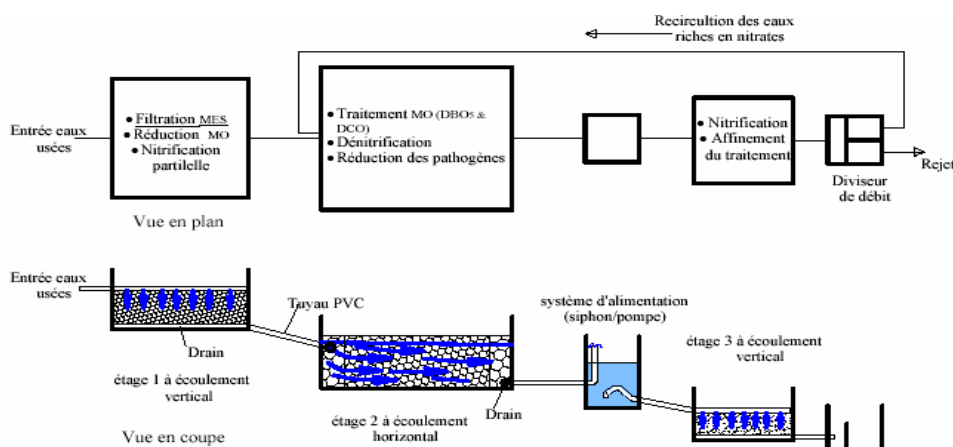


Figure 28 : Schéma du principe de fonctionnement de la STEP-IAV (TALL, 2007)

III. Echantillonnage et protocoles des tests

Afin d'établir une caractérisation complète des eaux usées de Douar Rmel, avant et après traitement, une série de campagnes de mesure des différents paramètres de pollution a été effectuée.

Les résultats obtenus permettent d'évaluer la charge de l'effluent brut ainsi que le rendement, du procédé de prétraitement (fosse collective) et de traitement (les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical), par comparaison des teneurs en entrée et en sortie du système.

Le schéma de la figure 29 précise les points de prélèvements.

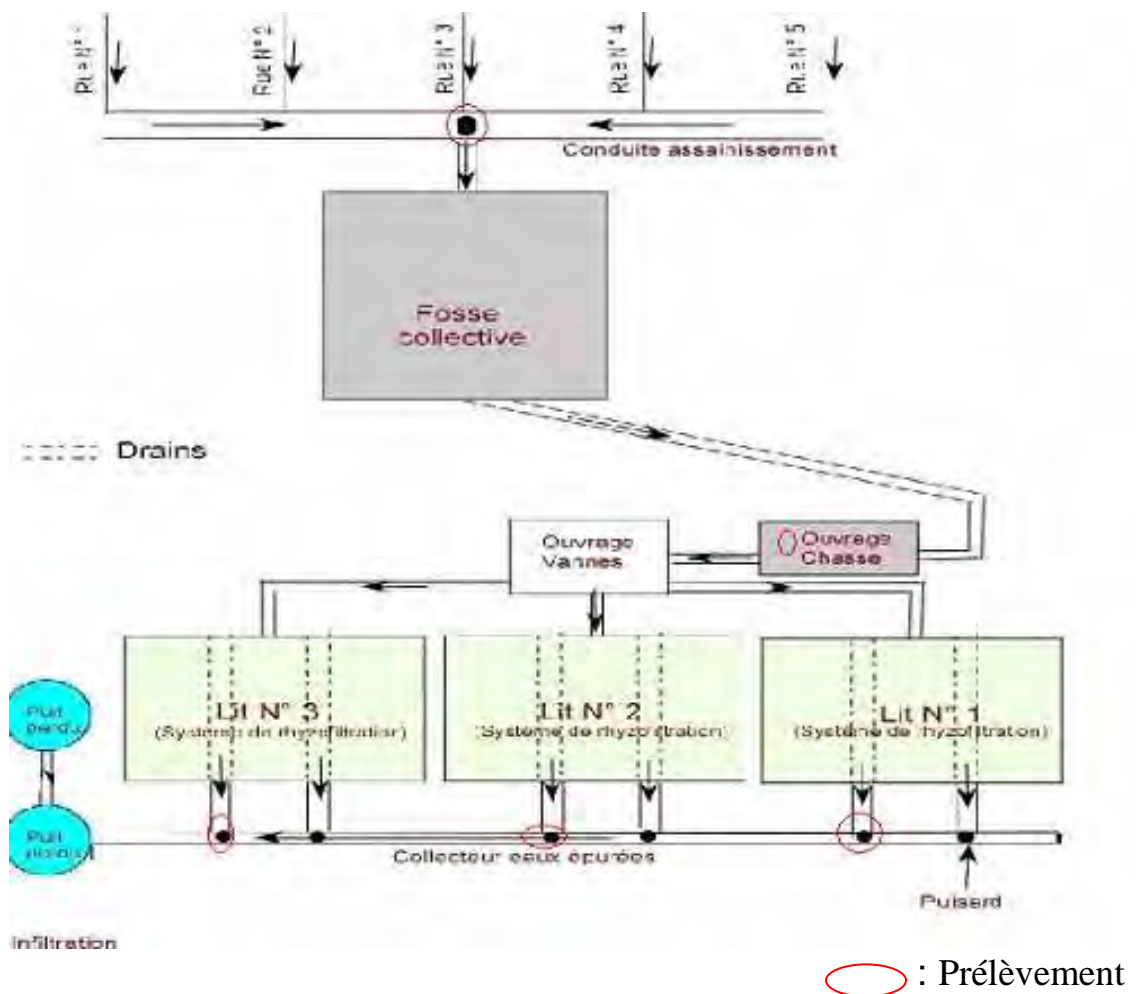


Figure 29 : Schéma présentant les points de prélèvements des échantillons effectués par le personnel de la LYDEC

Les fréquences de prélèvements ont été déterminées par les responsables de la LYDEC bien avant le démarrage de ce travail, il s'agit d'un échantillon ponctuel qui donne une idée sur la qualité de l'échantillon prélevé à l'instant indiqué et pourrait ne pas refléter la qualité moyenne sur la journée.

Les échantillons sont prélevés à une fréquence mensuelle (de janvier à mai) pendant la bûchée de 12h00, la bûchée jugée la plus chargée de la journée. Les prélèvements d'échantillon sont effectués dans des flacons en plastique.

Les flacons sont conservés dans des glacières pendant le transport vers le laboratoire. Les échantillons qui servent aux analyses bactériologiques sont prélevés dans des flacons stériles.

Afin de comparer les performances de la STEP Rmel et celles de la STEP de l'IAV, les prélèvements et analyses effectuées sur la STEP de l'IAV l'ont été par nos soins. Une campagne d'analyse d'échantillons composites à raison d'un prélèvement tous les deux heures a été réalisée pendant la première quinzaine du mois de juin.

Les prélèvements ont concerné les eaux usées brutes ainsi que les effluents des différents étages de traitement.

Les protocoles des analyses réalisés à l'IAV sont repris en annexe. Ces protocoles sont en totalité conformes à ceux de Standard Methodes 21ed (APHA, 2005)

Chapitre III: Résultats :

Qualité des eaux usées traitées et performance de la STEP

I. Suivi du fonctionnement des ouvrages

Avant d'entamer le suivi et la détermination des performances de la STEP, l'état des lieux, la détection des anomalies des différents composants à travers une série de vérifications et d'observation s'impose ; l'analyse des anomalies et des dysfonctionnements permettra de tirer des conclusions sur l'origine de ces défaillances et permettra ainsi d'y remédier.

Les anomalies constatées aux niveaux des différentes composantes peuvent être résumées comme suit :

1. Fosse septique

La fosse septique collective est conçue pour assurer deux fonctions majeurs : la décantation et la digestion anaérobie. Toute fosse septique construite sur place ou préfabriquée doit être raccordée à une conduite de ventilation. La fermentation des solides emmagasinés dans une fosse septique génère des gaz. L'évacuation de ces gaz est nécessaire pour éviter les odeurs malodorantes et éviter les risques pour la santé.

A la station de Rmel, on note l'absence de ventilation au niveau de la fosse (Figure 35) sachant que l'Avant Projet Détaillé de la station prévoit une fosse septique munie d'une ventilation (Figure 34).

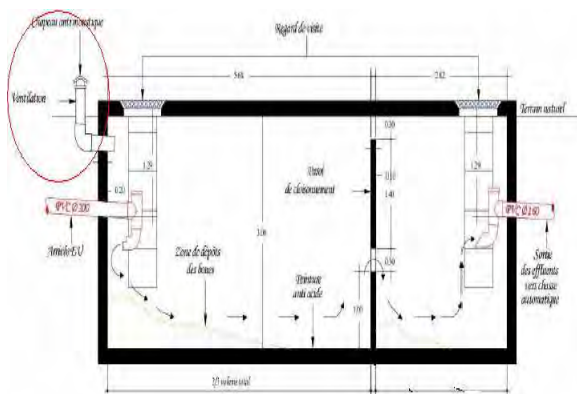


Figure 34 : Plan de la fosse d'après le dossier technique de la STEP



figure 35 : La fosse septique collective

2. Dégrillage des particules fines

Il était prévu lors des études techniques d'installer un dégrilleur pour l'élimination des objets volumineux qui s'échappent à la décantation primaire. L'absence de ce dernier à la station augmente le risque d'obturer les conduites de connexion avec la chasse automatique.

3. La chasse d'eau

L'objectif de l'installation de la chasse automatique est de permettre une alimentation automatique des filtres par bâchée. Durant le premier mois de suivi de la STEP, Le déclenchement et l'enclenchement des bâchées ne se faisaient pas automatiquement, le clapet était en dysfonctionnement mécanique : Le niveau d'eau dans la bêche d'alimentation atteignait le trop plein (1.33m) et l'écoulement vers les lits se faisait en continu (Figures 36 et 37). Le déclenchement des bâchées se réalisait manuellement et donc de manière épisodique selon les visites de l'équipe d'entretien.



Figure 36 : Le niveau dans la bêche atteignant trop plein



figure 37 : Dispositif de la chasse lors du déclenchement de la bâchée

Le dysfonctionnement de la chasse donnait lieu à une alimentation continue des lits. Or, le principe des filtres plantés à écoulement vertical consiste en une alimentation discontinue par bâchée plus ou moins espacées.

Ces phases d'alternance et de repos sont fondamentales pour:

- Réguler la croissance de la biomasse épuratrice fixée.

- Maintenir les conditions d'aérobie dans le massif constitué de sable et de gravier.
- Minéraliser les dépôts organiques apportés par les eaux usées et retenues à la surface du filtre

La réparation de la chasse a été assurée vers le début du mois de janvier afin de permettre une alimentation normale par bâchée.

4. Les lits de rhizofiltration

Les lits de rhisofiltration qui constituent la principale composante de la STEP, siège du traitement biologique, connaissent à leurs tours les dysfonctionnements suivants :

- Une hétérogénéité de croissance des roseaux dans les trois lits. La hauteur des roseaux varie d'une rangée à l'autre. Les plantes de l'amont du lit ont une taille plus grande par rapport à celle du milieu et de l'aval du lit.



Figure 38 : L'hétérogénéité de croissance de l'amont à l'aval du lit N°2

- La densité des roseaux à l'amont est plus importante qu'en aval du lit

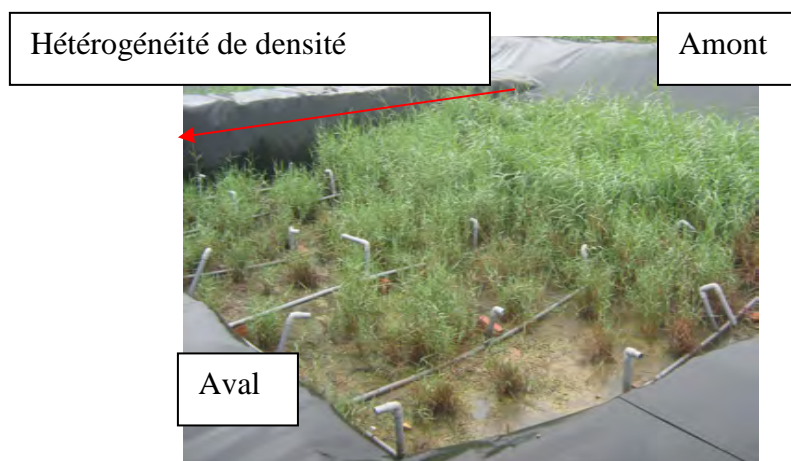


Figure 39 : L'hétérogénéité de densité de l'amont à l'aval du lit N°

- Stagnation des eaux à l'aval des lits, chose accentuée durant la saison pluvieuse.
- Présence de mauvaises odeurs surtout durant la saison estivale. Ces odeurs sont générées au niveau de la fosse septique, la dispersion de l'eau lors de la bâchée occasionne la volatilisation de H_2S soluble et donne ainsi de mauvaises odeurs.

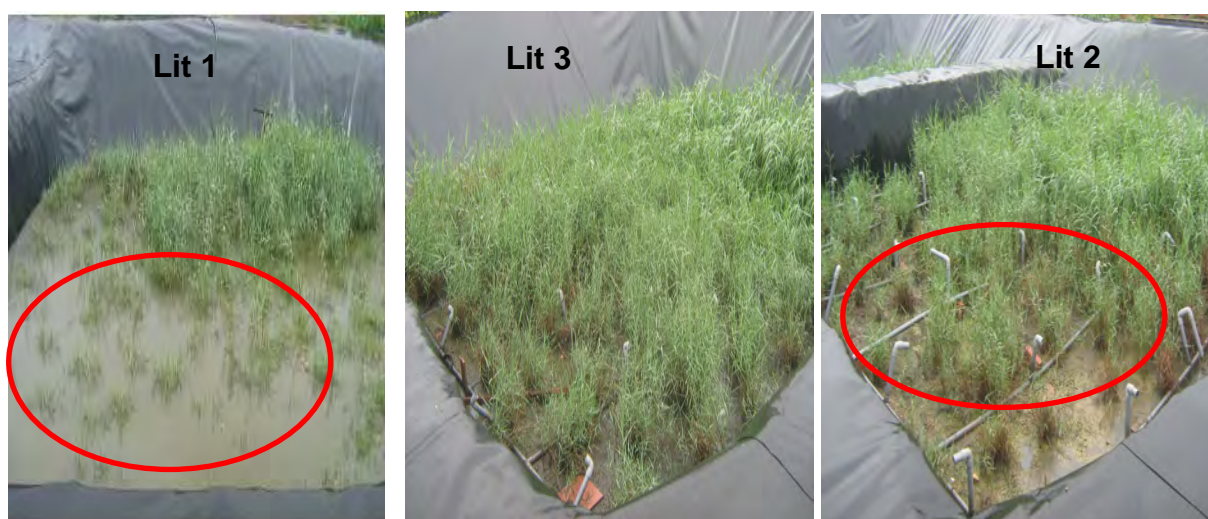


Figure 40 : Les 3 lits de rhizofiltration

En effet, l'hétérogénéité de croissance et de densité est due principalement aux difficultés d'infiltration (variation de la conductivité hydraulique du filtre). De même l'existence d'une pente, au niveau des filtres, favorise la stagnation des eaux et mettent les roseaux en aval en stress plus long par rapport à ceux en amont (le phénomène est plus remarqué pour le lit 1 qui présente la pente la plus importante.) ; le nivellement s'avère donc nécessaire afin de palier à la stagnation. On note que le faucardage réalisé

le 18/03/2009 a diminué l'ampleur de l'hétérogénéité et a permis aux plantes de reprendre.

5. Dispositif de distribution

Dans le cas des filtres plantés à écoulement vertical, l'alimentation se fait grâce à des distributeurs pour assurer une homogénéité du flux vertical sur tout le massif filtrant.

La distribution dans le cas de la rhizofiltration à douar Rmel se fait principalement par le centre faute d'absence de raccords ou cassure de la rampe conduisant les eaux usées aux distributeurs (Figure 41).



Figure 41: L'alimentation depuis le centre

Ce mode d'alimentation des lits a un effet négatif sur l'aération du système. En effet, un élément clé de la filière des filtres plantés à écoulements vertical est la qualité d'aération du système autorisant une dégradation biologique aérobie importante, l'aération est assurée par :

- Une convection au sein du massif filtrant liée au déplacement des lames d'eau.
- Une diffusion de l'oxygène depuis la surface du filtre et les cheminés d'aération,

6. Dispositif de drainage

Le suivi visuel du débit sortant du lit entre bâchée révèle une insuffisance d'évacuation des eaux traitées avec des débits constants et faibles ; En effet les eaux usées restent piégées à la surface du lit puisque leur infiltration à travers le massif filtrant est faible .

Le ressuyage complet des lits pendant les jours de repos permet d'observer la présence d'une couche d'algue verdâtre d'une épaisseur de 4 à 5 cm à la surface des lits ; la formation de cette couche rend l'infiltration au niveau des filtres plus difficile et prolonge la durée de ressuyage des filtres.

De même, la forte concentration en matières organiques qui arrive au niveau du filtre occasionne le développement intense de biomasse bactérienne qui conduit au bouchage des pores.



Figure 42 : Couche à la surface des filtres empêchant l'infiltration (02/15/2009)

Le tableau 11 résume les anomalies décelées pour chacune des composantes de la STEP.

Tableau 11 : Anomalies des différentes composantes

Composantes	Anomalies
Fosse septique	Absence de ventilation
La chasse d'eau	Durant les premiers mois de suivi la chasse était en dysfonctionnement
Les lits de rhizofiltration	Densité et croissance hétérogène, Stagnation des eaux, mauvaises odeurs
Dispositif de distribution	Fuites aux niveaux des raccords des rampes de distribution.
Dispositif de drainage	Dépôt de couche à la surface, infiltration insuffisante

II. Suivi des performances

1. Charge hydraulique

- **A l'entrée de la station**

Cette partie consiste à évaluer la charge hydraulique à la sortie du Douar. Pour ce faire, le débit a été mesuré à l'aide d'un débitmètre 24 heures asservi. Il s'agit d'un débitmètre à effet doppler permettant la mesure de la hauteur d'eau dans la conduite et de la vitesse et donne ainsi le débit. (Voir annexe 3)



Figure 43 : Débitmètre



figure 44 : Sonde du débitmètre

La figure suivante retrace la variation du débit au cours de la journée du 19 mars 2009 tel qu'enregistré par le débitmètre.

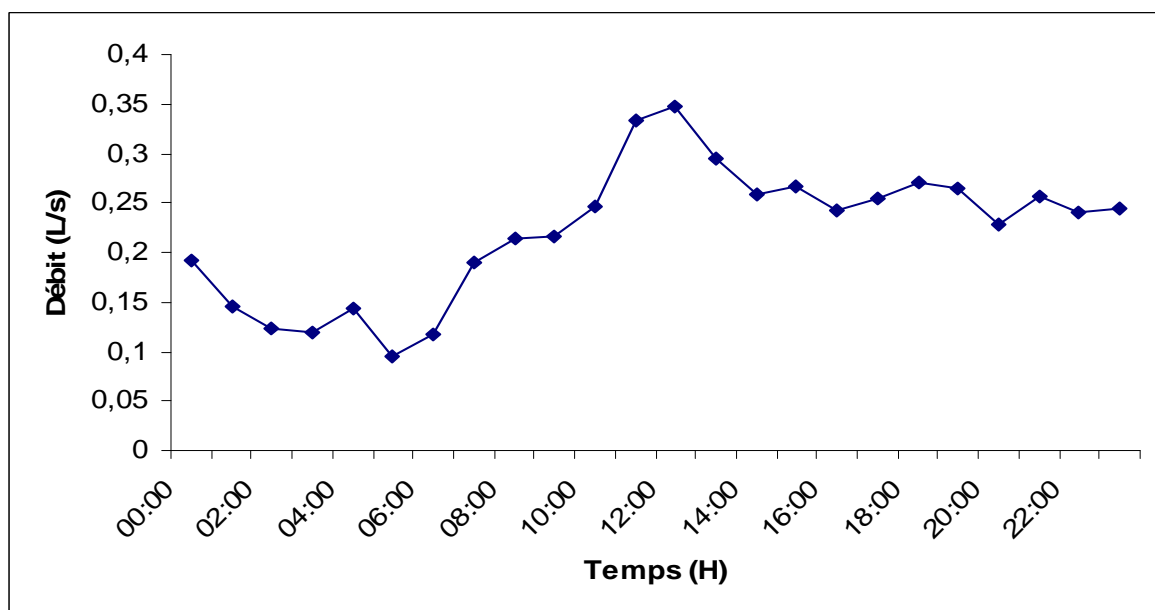


Figure 45 : Variation du débit au cours d'une journée

Le tableau donne la valeur moyenne, minimale et maximale du débit enregistré à la sortie du Douar.

Tableau 12 : Moyenne, minimum et maximum du débit des eaux usées de douar Rmel

	Moyenne	Minimum	Maximum
Débit (L/s)	0,208	0,046	0,348

La figure montre que le débit s'annule pendant la nuit et atteint son maximum au milieu de la journée (entre 11h30 et 13h45) où l'activité au Douar est à son maximum. La consommation en eau du Douar reste faible. En effet, alors qu'en moyenne, un habitant de l'agglomération casablancaise consomme entre 68 et 77 L/jour. Au niveau de Douar RMEL, la consommation en eau est de 19 L/ (hab*jour) soit quatre fois moins que la moyenne des casablancais.

Cette faible consommation en eau est due au souci d'économie d'eau : la peur d'avoir des factures élevées et l'absence d'équipements dans les maisons : pas de chasse d'eau, pas de douches, pas d'éviers etc. Cette faible consommation entraîne des concentrations élevées des eaux usées issues de ce Douar en DBO₅, DCO, MES et azote.

- **A L'entrée des filtres plantés**

Après le séjour dans la fosse septique collective, les eaux usées sont collectées au niveau de la bêche d'alimentation. Le suivi du nombre de bâchées reçues par les filtres pendant la semaine du 18 au 25 février 2009 est repris dans la figure 46.

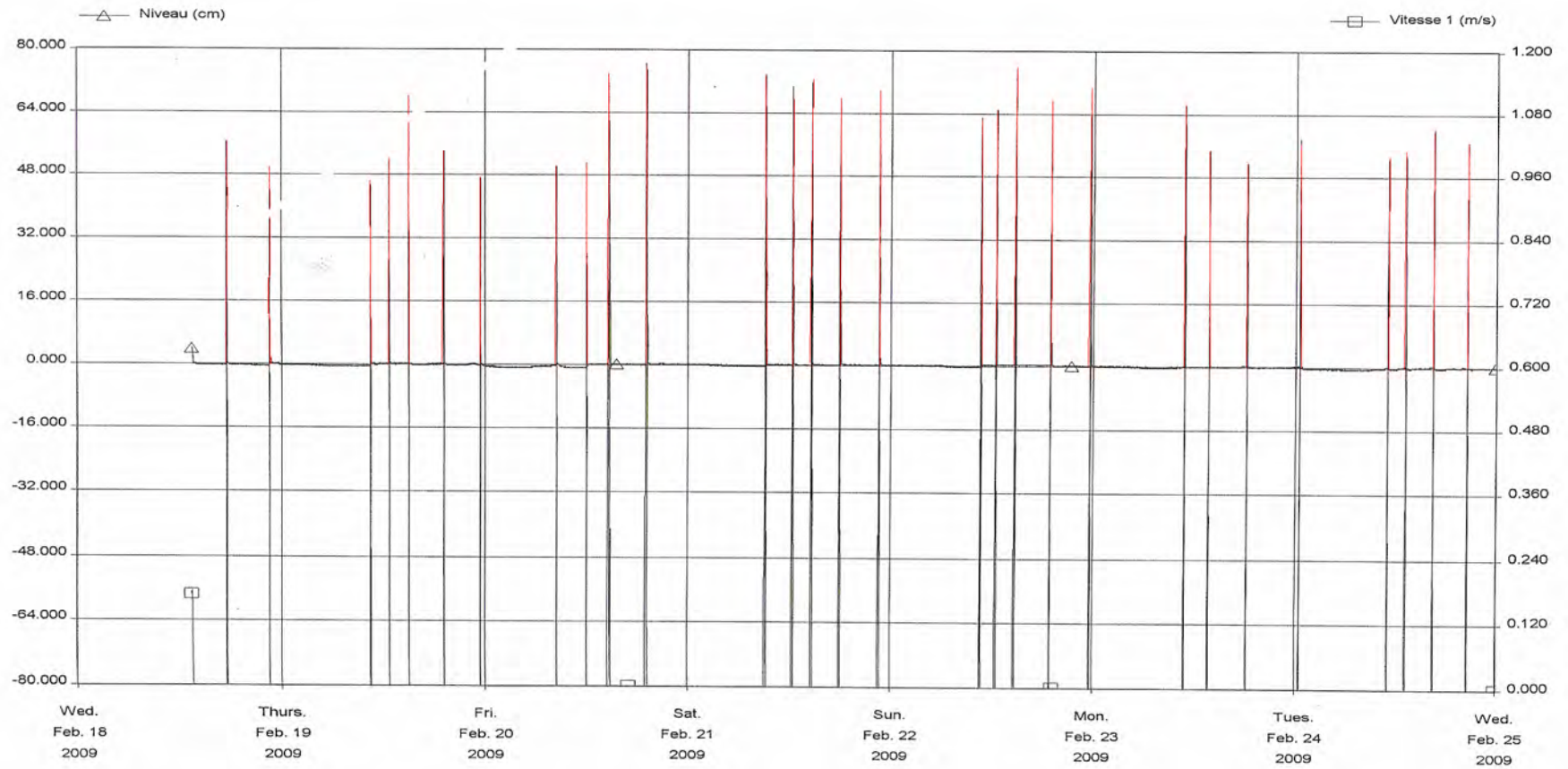


Figure 46 : Enregistrement des bâchées pendant la semaine du 18 au 25 février 2009

Il en ressort que pendant une semaine typique à Douar RMEL, le nombre de bâchées (marquées en rouge) est de 4 bâchées par jour.

Les graphiques des figures 47 donne les bâchées enregistrées pendant la journée du 20 février.

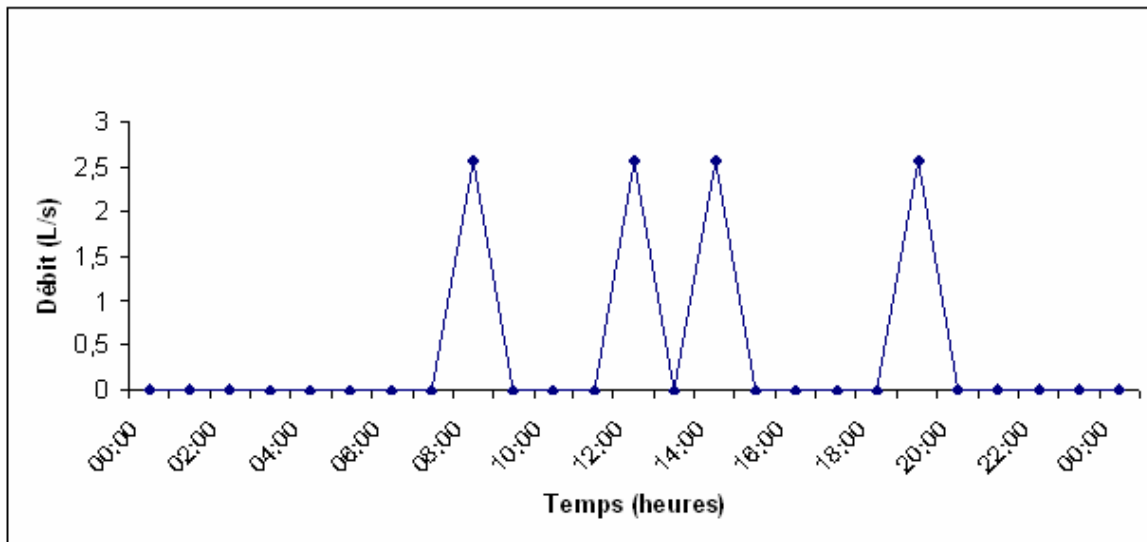


Figure 47 : Bâchées enregistrées pendant la journée du 20 février

Ces bâchées suivent l'activité dans le Douar : une bâchée au début de la matinée (8h-9h), 2 bâchées consécutives lors des heures de pointe (entre 12 et 14h). Et une bâchée pendant la nuit qui connaît une faible activité. Le volume quotidien des eaux usées produites à partir du Douar est de 14 m³/j.

2. Caractérisation physico-chimique des eaux usées brutes de douar Rmel

Le tableau 13 dressé ci-dessous résume les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux usées brutes recueillies à la sortie du Douar.

Tableau 13 : Caractéristiques physico-chimique des eaux usées brutes de Douar Rmel

(Ces valeurs sont la moyenne des mois de janvier et mars)

paramètres	Unité	Moyenne
Température	°C	18.35
Ph	-	7.32
Conductivité	µs/cm	3980
MES	mg/L	502
MVS		292
DCO		1843
DBO ₅		1111
NH ₄ ⁺		200
NTK		221
Pt		27
CF	UFC/100ml	7.10 ⁶

On peut relever les remarques suivantes : le pH est de neutre à alcalin ce qui ne gênera pas la croissance bactérienne.

82% des matières en suspension sont des matières en suspension volatiles.

En dépit du fait que le réseau est court, 90% de l'azote est sous forme ammoniacale.

Ce pourcentage élevé peut être expliqué par le long séjour des eaux usées depuis le Douar jusqu'à la STEP (surdimensionnement du réseau).

Afin d'apprécier la qualité des eaux usées brutes de Douar Rmel, on se réfère aux concentrations habituelles des eaux usées urbaines habituelles au Maroc (tableau 14)

Tableau 14 : Gamme habituelle des concentrations des eaux usées urbaines au Maroc

Paramètre (en mg/L)	Centres à moins de 20000 Hab	Centres entre 20000 et 100000 Hab	Centres à plus de 100000 Hab
DBO5	400	350	300
DCO	1000	950	850
MES	500	400	300

(Source ONEP, 1998)

Les concentrations trouvées à Douar RMEL, zone péri-urbaine de Casablanca, sont très élevées et dépassent les concentrations habituelles des eaux usées urbaines au Maroc pour les centres de moins de 20000 habitants (ONEP, 1998).

3. Performance de l'unité de prétraitement

Le suivi des performances de l'unité de prétraitement à travers des prélèvements à l'entrée et à la sortie a donné les résultats rapportés au tableau 15.

Tableau 15 : Performances de la fosse septique de douar Rmel

(Ces valeurs sont la moyenne des mois de janvier et mars)

Paramètres	Unité	Entrée (moyenne)	Sortie (moyenne)	Abattement (%)
Température	°C	18.35	18.57	-
pH		7.32	7.52	-
Conductivité	µs/cm	3980	3775	-
MES	mg/L	500	250	50
MVS		290	175	40
DCO		1840	1380	25
DBO ₅		1110	840	25
NH ₄ ⁺		200	270	-
NTK		220	230	-
Pt		28	22	20
CF		UFC/100ml	7.10 ⁴	2.6 10 ⁴

Malgré l'abattement de 50 %, les concentrations des MES à la sortie de la fosse restent élevées, les rendements en N et P sont généralement faibles car ces éléments sont

dissous alors que l'élimination à ce stade concerne le N et P particuliers. Il est clair que le prétraitement dans la fosse est insuffisant pour ce genre d'effluent.

La sortie de la fosse constitue également l'entrée des filtres verticaux.

En France, les filtres verticaux garnis de sable sont situés en 2^{ème} étage. Les concentrations qu'ils reçoivent sont encore moindres. Les caractéristiques des eaux usées brutes que reçoit la station de Queige sont repris dans le tableau 16.

Tableau 16 : Concentration des eaux usées brutes de la STEP Queige-France (P.Molle 2003)

	Concentration de l'influent (mg/L)
MES	76
DCO	65
DBO ₅	75
P	7

Comparés aux eaux usées françaises, les eaux usées à l'entrée de la station de Rmel sont très chargées.

4. Qualité des eaux usées traitées et performance des filtres verticaux

Les campagnes de mesures effectuées mensuellement pendant la durée de suivi (janvier 2009 à mai 2009) ont permis de donner la caractérisation des eaux usées à l'entrée et à la sortie des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.

4.1. Paramètres physiques

Le tableau 17 représente les caractéristiques physiques de l'effluent et des eaux usées brutes.

Tableau 17 : Caractéristiques physiques de l'effluent du système de traitement comparées à celles des eaux usées brutes.

	Eaux usées brutes				Effluent			
	Moy	min	max	E.T	moy	min	max	E.T
T°C	19.3	13	26	3.3	20	13	27,5	4.22
pH	7.32	7.2	7.45	0.12	7.51	7.35	7.8	0.14
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	3980	3190	4770	790	3912	3550	4030	302

- Température

La température de l'eau constitue un facteur important pour le développement des bactéries responsables de la dégradation de la pollution.

A partir des résultats du suivi, on peut tracer la courbe de variation de température de l'eau le long de la période de mesure.

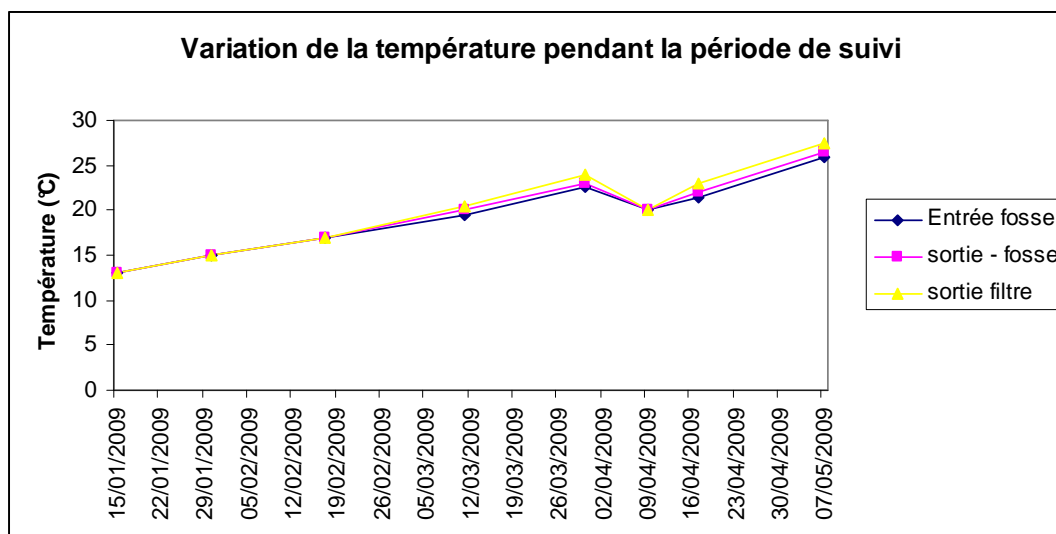


Figure 49 : Evolution de la température de l'Influent et l'Effluent

A partir de la figure 49, on peut dire que la température a évolué entre 12 et 25°C.

Une légère augmentation de la température est observée à la sortie des filtres par rapport à l'entrée, ceci est dû à l'effet du rayonnement solaire qui favorise le réchauffement des filtres.

- pH

Le pH donne une idée sur l'acidité de l'eau, la figure 50 représente l'évolution de pH entre l'entrée et la sortie du filtre pendant la période de suivi.

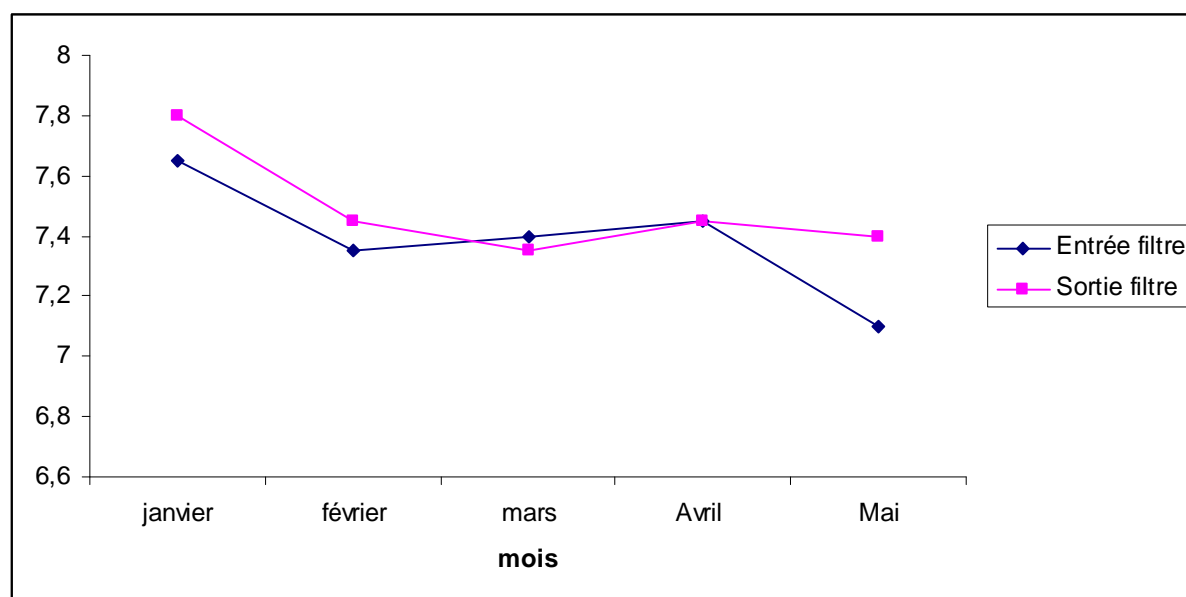


Figure 50 : Evolution du pH entre l'entrée et la sortie du filtre

D'après la figure 50, on remarque que le pH change de 0,19 entre l'entrée et la sortie. Le pH moyen des eaux usées brutes est 7.32 ce qui constitue un milieu favorable pour le développement de la flore bactérienne. A la sortie, la mesure du pH donne une moyenne de 7, 51. La baisse du pH entre le mois de janvier et mai est expliqué par le manque d'aération du filtre et la tendance vers l'anoxie.

- Conductivité électrique

La conductivité électrique est un paramètre qui renseigne sur la teneur en sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée.

La conductivité électrique des eaux usées est intimement liée à celle de l'eau consommée, elle augmente avec la température.

Le tableau 18 regroupe les valeurs de la CE à l'entrée et à la sortie du système.

Tableau 18: Evolution de la conductivité électrique entre l’Influent et l’Effluent au cours des 5 mois de suivi

	Entrée fosse ($\mu\text{s/cm}$)	Sortie fosse - entrée filtre ($\mu\text{s/cm}$)	Sortie filtre ($\mu\text{s/cm}$)
Janvier	3190	3100	3550
Février	-	4000	3670
Mars	4770	4450	4030
Avril	-	4400	4400
Mai	-	3980	4110
Moyenne	3980	3950	3910

La conductivité est élevée. La conductivité électrique moyenne des eaux traitées est de $3912\mu\text{s/cm}$.

4.2. Matières solides

Les matières solides comprennent, les matières solides dissoutes et en suspension qui contiennent à leur tours des matières volatiles.

- Matière en suspension et matières volatiles en suspension

La figure 51 représente la teneur des MES des eaux usées à l’entrée et à la sortie des filtres.

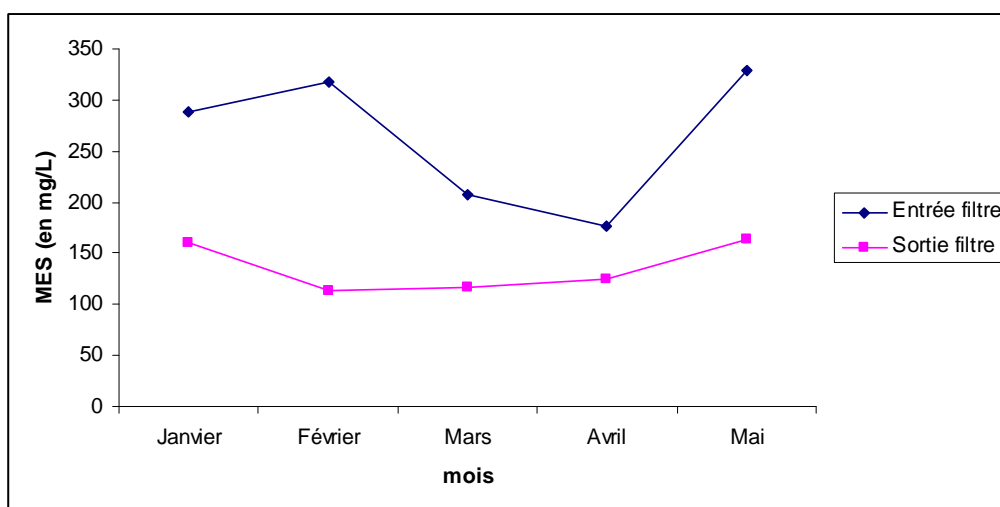


Figure 51 : Evolution de la teneur en MES entre l’entrée et la sortie des filtres

Le tableau 19 rapporte les valeurs des matières en suspension ainsi que les abattements enregistrés pour chaque mois.

Tableau 19 : Valeurs mensuelles des MES à l'entrée et la sortie du FPR-V

Mois	Influents (mg/L)	Effluent (mg/L)	Abattement (%)
Janvier	290	160	44
Février	320	110	65
Mars	210	120	55
Avril	180	125	30
Mai	330	160	50
Moyenne	270	130	50%

Le taux d'abattement moyen est de 50%. Avec le temps, l'effluent de l'unité de prétraitement devient plus chargé en Matières en Suspension qui s'échappent à la fosse septique, ceci peut être dû à l'intensification de l'activité microbienne avec l'élévation de la température et qui entraîne l'accumulation de la boue comme en témoigne Le rapport MVS/MES

- Matières Volatiles en Suspension

La teneur en Matières En Suspension volatiles est rapportée dans le tableau 20.

Tableau 20 : La fraction organique des Matières en Suspension

	Influent	Effluent
MES (mg/L)	317	113
MVS (mg/L)	245	93
% MVS	77%	82%

Les matières volatiles représentent la fraction organique des matières en suspension. Le tableau 20 montre que la fraction organique des MES représente 77% pour l'eau à l'entrée et 82% pour les eaux à la sortie. Donc 82% des MES sortant des filtres sont d'origine organique provenant probablement d'une flore microbienne qui se développe activement dans la fosse.

4.3. Matières organiques

La demande chimique en oxygène et la demande biochimique en oxygène sont les deux paramètres qui sont le plus fréquemment utilisés pour évaluer le degré de pollution organique de l'eau, la mesure de ces paramètres fait appel à des processus d'oxydation chimique ou biologiques, la DCO permet l'évaluation de la pollution chimiquement oxydable. Par contre la DBO donne une estimation de la matière organique biodégradable.

- Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La figure 52 illustre l'évolution de la DCO de l'influent durant la période de suivi et la différence entre la DCO de l'entrée et celle de l'effluent permettant ainsi de déceler l'effet des filtres sur son abattement.

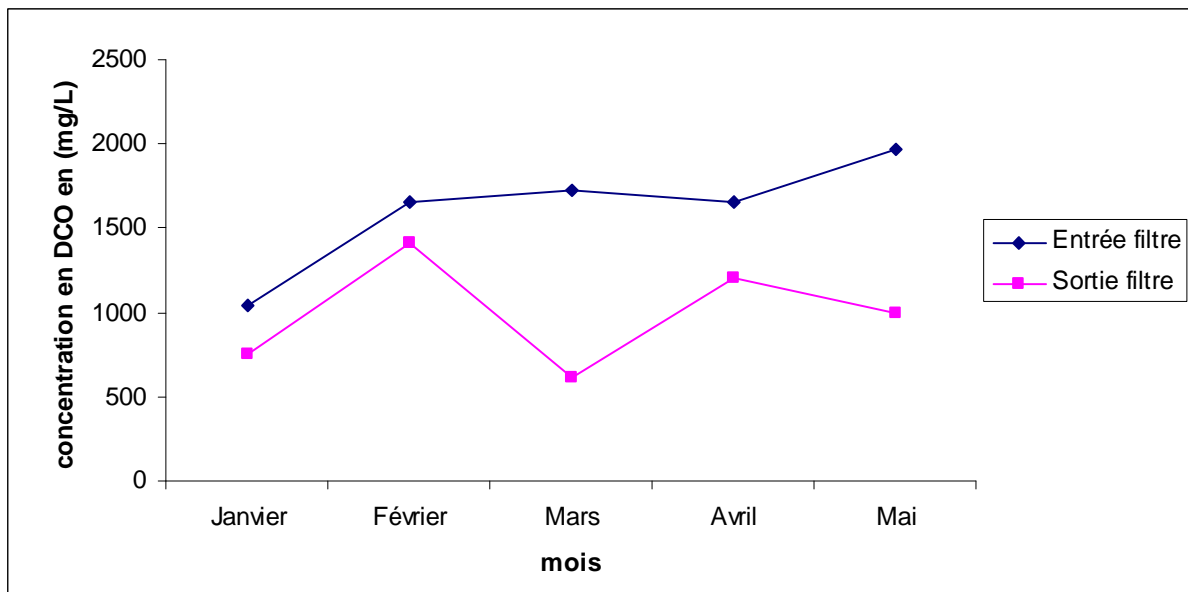


Figure 52 : Valeurs de la DCO de l'Influent et l'Effluent

Le tableau 21 résume les valeurs de la DCO pendant la période de suivi ainsi que l'abattement obtenu à la sortie des filtres.

Tableau 21 : Les valeurs mensuelles de la DCO à l'entrée et la sortie du FPR-V

Mois	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Abattement (%)
Janvier	1040	750	28
Février	1660	1410	15
Mars	1730	610	65
Avril	1660	1200	28
Mai	1970	1000	50
Moyenne	1610	990	37%

L'influent des mois de janvier, février et avril est moins concentré que celui du mois de mars et mai. Ce qui est expliqué par la dilution par les eaux de pluie comme en témoigne le tableau du cumul des pluies mensuelles à Casablanca de cette année.

Tableau 22 : Cumul des pluies mensuelles à Casablanca pour l'année 2009

Mois	Cumul de pluie (mm)
Janvier	168
Février	159
Mars	114
Avril	153
mai	60

Référence :(www.meteo-maroc.org)

L'eau arrive très chargée aux filtres (1610 mg/L en moyenne) ce qui affecte la qualité de l'effluent et favorise le colmatage des filtres d'où la formation de la croûte à la surface des filtres qui affecte l'infiltration et l'aération.

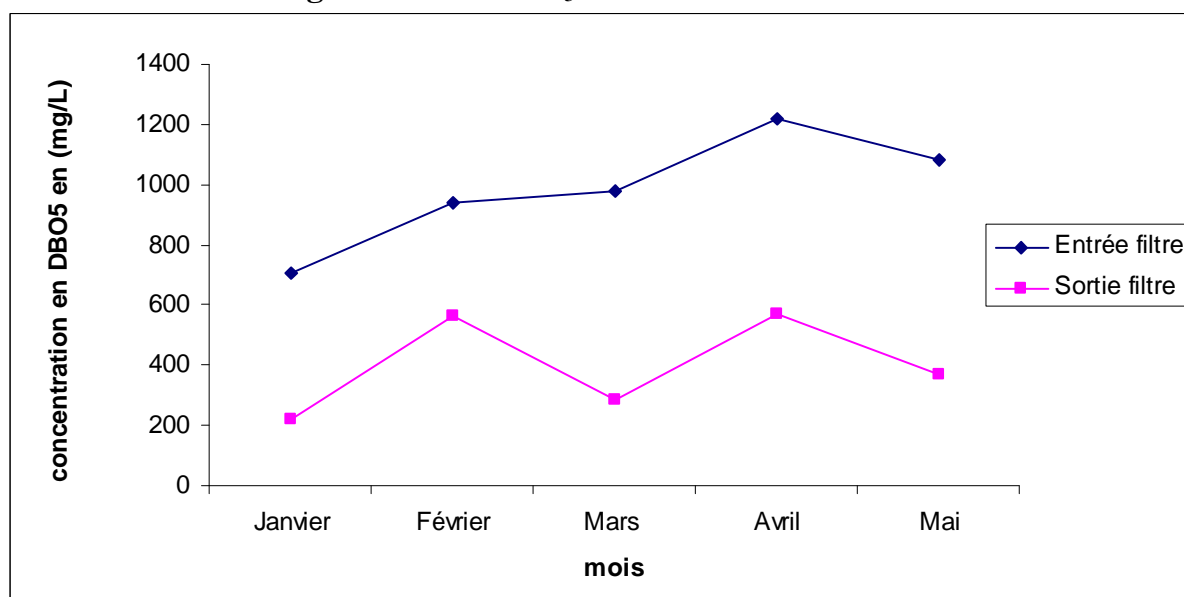
D'autre part, l'eau qui arrive à s'infiltrer est chargée de MO soluble qui permet à la flore bactérienne de croître et donc contribue à boucher les pores de sable.

- Pour la DBO₅

Pour mieux apprécier la teneur en matières organiques, les mesures de la DCO ont été accompagnées de mesures de la DBO₅.

La figure 53 illustre l'évolution de la DBO₅ durant la période de suivi entre l'entrée et la sortie permettant ainsi de déceler l'effet des filtres sur l'abattement.

Figure 53 : La DBO₅ de l'Influent et l'Effluent



Le tableau 23 rapporte les valeurs de la DBO₅ pendant la période de suivi et l'abattement obtenu à la sortie des filtres.

Tableau 23 : Valeurs mensuelles de la DBO₅ à l'entrée et la sortie du FPR-V

Mois	Influents (mg/L)	DCO/DBO ₅ (Influent)	Effluent (mg/L)	DCO/DBO ₅ (Effluent)	Abattement (%)
Janvier	710	1,46	220	3,36	68
Février	940	1,76	560	2,5	40
Mars	980	1,76	285	2,1	80
Avril	1220	1,36	570	2,1	53
Mai	1080	1,82	370	2,7	66
Moyenne	985	1,63	400	2,55	60%

La courbe d'évolution de la concentration en DBO_5 montre une tendance croissante de la concentration de l'influent qu'on explique par les dilutions par les pluies du mois de janvier et février.

Le rapport de la DCO/DBO_5 de l'influent est égal à 1,63, ce qui montre que c'est un influent facilement biodégradable. Le rapport DCO/DBO_5 de l'effluent est de 2,5 ce qui montre que la partie biodégradable est consommée.

La figure 54 résume les TA obtenus pour les filtres concernant les MES, la DCO, et la DBO_5

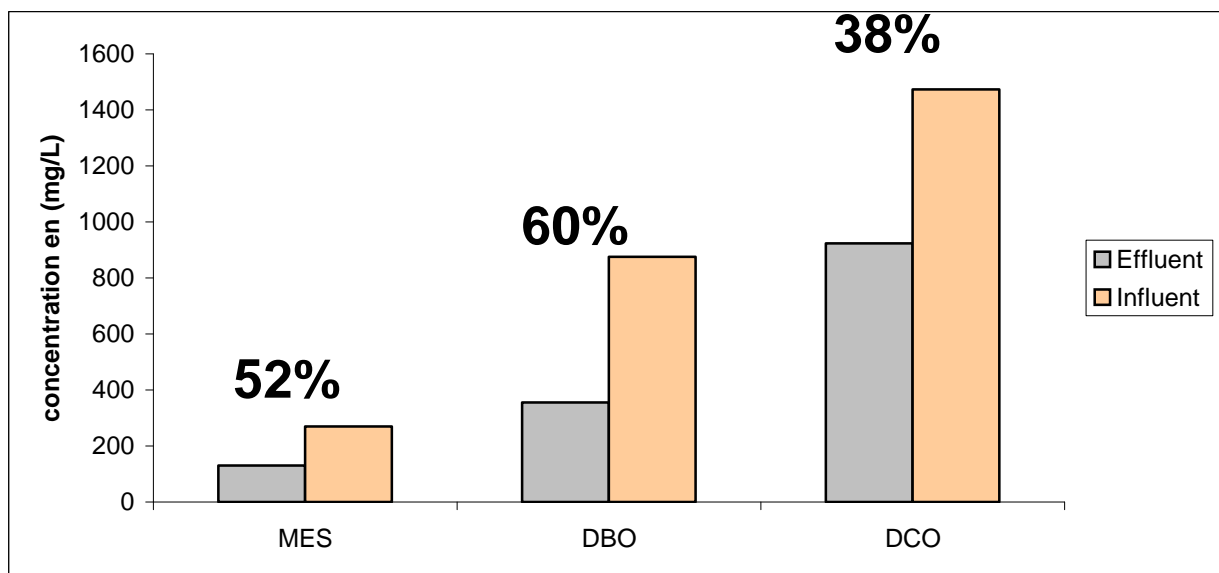


Figure 54 : Les taux d'abatteurs moyens des MES, de la DCO et de la DBO_5

4.4. Matières azotées

L'azote présent dans les effluents domestiques, existe sous deux formes prédominantes : l'azote organique et l'azote ammoniacal. Ce dernier est un paramètre particulièrement important car il contribue à l'évaluation du rendement de l'épuration d'un effluent.

L'objectif du traitement relativement à N est celui d'oxyder le N organique et le N ammoniacal pour que l'oxydation de l'azote ne consomme pas d' O_2 dans le milieu récepteur.

Le tableau 24 rapporte les concentrations de l'effluent et l'influent ainsi que le taux d'abattement.

Tableau 24 : Les matières azotées entre l'influent, l'effluent et le taux d'abattement

	NTK (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)
Effluent	168	158
Influent	220	200
TA (%)	24	20

$$\text{En effet : NTK} = \text{Norg} + \text{N-NH}_4^+$$

$$\text{Norg} = \text{NTK} - \text{N-NH}_4^+$$

L'azote organique est négligeable dans cet influent : 20 mg/L. la quasi-totalité du N est ammoniacal ce qui est dû au long séjour dans le réseau.

A partir des résultats du tableau, le taux d'abattement de NH₄⁺ est de 20%. Pour l'azote total, les filtres éliminent en moyenne 24%.

On sait bien que grâce à l'action des micro-organismes et en présence de l'oxygène, l'azote organique se transforme en azote ammoniacal et que ce dernier se transforme en nitrite puis en nitrate.

Or, dans ce système de filtre planté, l'aération n'est pas satisfaisante : l'apport en oxygène est limité. Ceci réduit l'efficacité de la nitrification. La transformation de l'azote est limitée et les concentrations en azote ammoniacal à l'effluent sont élevées. Et exerce donc une forte demande en O₂ dans le milieu récepteur ce qui n'est pas recommandé.

4.5. Phosphore

L'élimination du phosphore est limitée, la concentration en Phosphore total demeure inchangée entre l'entrée et la sortie : 20 mg/L environ.

En ce qui concerne le phosphore, les filtres plantés de roseaux ne sont pas très efficaces .effectivement les besoins des plantes en phosphore sont très limités. On peut

aussi envisager que les matériaux filtrants puisse adsorber l'élément P mais ils saturent assez vite rendant ainsi l'adsorption inefficace.

4.6. Bactériologie

Les micro-organismes sont retenus par filtration, puis décimés soit par prédation, soit par biocides émis par les racines des plantes, soit par mort naturelle, et enfin éliminés par dégradation avec la matière organique.

Le dénombrement des coliformes fécaux à l'entrée des filtres donne $2,7 \cdot 10^6$ UFC/100 ml. A la sortie, ils sont de $2,1 \cdot 10^6$ UFC/100 ml. D'où les filtres enlèvent moins d'une unité logarithmique.

Malgré que ce sont des filtres à sable, ces filtres verticaux ne sont pas performants pour l'élimination des germes pathogènes. En effet le développement de la flore bactérienne a bouché les pores du sable et a limité l'élimination des coliformes.

5. Performance de la STEP IAV

La STEP de l'IAV a fait l'objet de suivi de qualité des eaux pour l'année 2008 et 2009. Les résultats de suivi des performances de cette STEP sont reportés aux tableaux 25 et 26. Les résultats du deuxième étage concernent les filtres horizontaux plantés sans recyclage.

Les MES sont éliminés par filtration à la surface du 1^{er} étage des FPEV (73% d'élimination) sous forme de boues qui seront minéralisées progressivement.

Une nitrification partielle et une réduction des matières organiques (MO) sont également effectuées au niveau de cet étage. La dégradation de la MO se poursuit dans le deuxième étage des FPEH (89% d'élimination à ce stade).

Cependant, dans les Filtres horizontaux, règnent des conditions essentiellement anaérobies (absence d'O₂) ce qui fait que la nitrification y est limitée.

Les FPEV sont par contre bien aérés et donc une bonne nitrification y est possible (74% d'élimination de NTK et 73% d'élimination de NH₄⁺ à la sortie du troisième étage). A la sortie des filtres du troisième étage, les eaux sont riches en nitrates.

Tableau 25: Résultats obtenus à partir des analyses du prélèvement du 14/06/09

Paramètres	DCO (mg/L)	Rdt (%)	MES (mg/L)	Rdt (%)	NTK (mg/L)	Rdt (%)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Rdt (%)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
Influent (Eau usée brute)	1330		945		135		94		3
Effluent Etage 1	580	56	216	77	95	30	75	20	1
Effluent étage 2 (filtres horizontaux :(+POR))	230	60	38	82	70	26	50	30	1,5
Effluent étage 3 (filtre verticaux)	150	40	22	42	30	56	12	77	60
Rdt cumulé (%)		89		98		77		87	

Tableau 26 : Tableau synthétique des résultats obtenus à partir des analyses entrée/sortie (HASNI ,2008)

Paramètres	DCO (mg/L)	Rdt (%)	MST (mg/L)	Rdt (%)	MES (mg/L)	Rdt (%)	MVS (mg/L)	Rdt (%)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Rdt (%)	NTK (mg/L)	Rdt (%)	N-NO ₃ ⁻
Influent (Eau usée brute)	1000		1532		500		474		55		75		0
Effluent Etage 1	630	37	1050	31,5	132	73,5	116	75,5	38	31	65	14	2
Effluent étage 2 (filtres horizontaux (+POR))	154	76	757	28	16	88	11	90,5	33	13	40	38	1,7
Effluent étage 3 (filtre verticaux)	95	39	857	44	14	97,5	9	18	19	42,5	12	70	62
Rdt cumulé (%)		91		44		97		98		65		84	

6. Comparaison des performances de la STEP Rmel et la STEP de l'IAV

Le suivi des performances épuratoires du système de traitement par les filtres plantés de roseaux de type hybride mené à l'IAV a permis de tirer les conclusions suivantes :

La technologie du filtre à macrophyte hybride à alimentation en eau usée brute sur le premier étage vertical donne d'excellents résultats, quand elle est dimensionnée pour les petits centres ruraux, les rendements réalisés sont :

✓ DCO : 94 %, DBO₅ : 98 %, MES : 98,5 %, C.F : 4unités log

Tandis que les rendements enregistrés au niveau de la STEP Rmel sont :

✓ MES : 68 %, DBO : 63 %, DCO : 53 %

En tenant compte du débit journalier et de la surface des filtres, on peut comparer la charge organique et hydraulique à l'entrée des filtres de la STEP RMEL et celle du filtre similaire de la STEP de l'IAV :

Tableau 27 : Comparaison de la charge organique et hydraulique à l'entrée des filtres de la STEP Rmel et la STEP de L'IAV

	DBO₅ (g/m² .j)	MES (g/m² .j)	NTK (g/m² .j)	Charge hydraulique (mm/j)
L'entrée du filtre de la STEP RMEL	140	30	30	100
L'entrée du filtre similaire à la STEP de l'IAV	50	20	8,4	60

Chapitre IV: Recommandation pour remédier à l'inadaptation de l'approche choisie

Nous avons constatés suite à l'examen des résultats de suivi de la STEP Rmel que l'abattement de la charge organique réalisé par la fosse septique n'est pas suffisant. L'effluent de cette étape reste trop chargé pour être appliqué à un filtre planté vertical garni de sable. La matière organique appliquée en quantité importante provoque un développement de biofilm excessif qui conduit au colmatage des filtres puis forcement à celui des puits perdus constituant le seul moyen de se débarrasser des eaux épurées car il n'existe pas d'exutoire naturel à proximité de Douar Rmel.

L'objectif de cette partie est de remédier à l'inadaptation du présent dimensionnement en proposant une solution qui demande peu d'espace et qui permet une meilleure gestion des boues.

1. Charge requise pour les filtres plantés à écoulement vertical

Les objectifs de dimensionnement des filtres à la station de Rmel sont l'élimination de la matière organique (DBO_5) soluble résiduelle non éliminée au niveau de la fosse septique et l'oxydation de l'azote en NO_3^- .

A partir des différentes approches de dimensionnement des filtres plantés verticaux, citées dans la littérature; on dresse le tableau 28 qui présente les charges requises pour les filtres à la station RMEL.

Tableau 28: Les charges recommandées à l'entrée des filtres verticaux

Auteurs	DBO_5 recommandée à l'entrée des filtres ($g/m^2.j$)	charge à l'entrée des filtres de RMEL / Charge recommandée
Grant (1995)	30	4,5
Cooper (1996)	30	4,5
Platzer (1999)	18	7,5
Grant&Griggs (2001)	45	3
Weedon (2001,2003)	46,8	2,9
Brix et al (2003)	54	2,5
Boutin (2003)	30 à 37,2	4,5 à 3,7
Cooper (2003)	37	3,7
Charge à l'entrée des filtres à RMEL	137	1

La charge appliquée aux filtres de RMEL est 2,5 à 7,5 fois plus élevée que les charges recommandées dans la littérature.

2. Comment solutionner ce problème de surcharge ?

L'approche est de palier à cette défaillance de conception en proposant un prétraitement qui peut permettre de ramener la charge organique à un niveau acceptable par les filtres compte tenu des surfaces présentes.

On se propose d'étudier les possibilités :

- D'installer un lit bactérien entre la fosse septique et les lits de roseaux,
- D'installer un RAFADE (Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant et à Deux Etages) à la place de la fosse septique.

Le choix de la solution préconisée sera basé sur la comparaison des deux systèmes de point de vue : performance, l'emprise du sol, la gestion des boues ainsi que le critère économique.

2.1. Lit bactérien

2.1.1. Principe de fonctionnement

Le lit bactérien est un procédé de traitement biologique aérobie à culture fixée sur support grossier.

Cette filière consiste à alimenter en eau, préalablement décantée, un ouvrage contenant une masse de matériau (pouzzolane ou plastique) servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film biologique responsable de l'assimilation de la pollution. Le film biologique se décroche au fur et à mesure que l'eau percole. La partie inférieure de l'enceinte lit bactérien contient des ouïes d'aération qui assure l'oxygénation de l'ouvrage.

En sortie du lit bactérien, est recueilli un mélange d'eau traitée et de biofilm. Ce dernier est piégé au niveau d'un décanteur secondaire sous forme de boues et l'eau

traitée rejoint le milieu naturel et une partie des boues issues du décanteur secondaire est recirculée au niveau du lit bactérien.

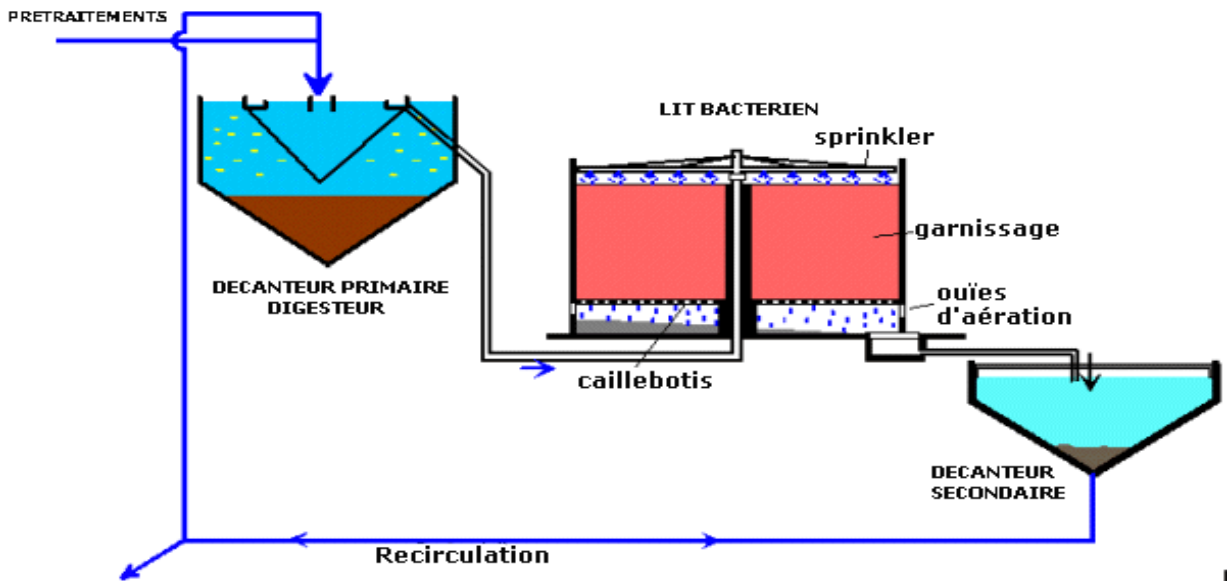


Figure 55 : Schéma du principe des lits bactérien

2.1.2. Performances : Avantages et inconvénients

Les performances du lit bactérien dépendent du support utilisé, de la charge appliquée. Les performances épuratoires généralement obtenues pour ce type de procédé sont présentées dans le tableau.

Tableau 29 : Performance du lit bactérien

	Charge (kgDBO ₅ .m ⁻³ .j ⁻¹)	Rendement DBO ₅ (%)
Forte charge	1 à 5	50-70
Moyenne charge	0,3 à 1	70-90
Faible charge	<0,3	> 90

Le procédé du lit bactérien présente les avantages et inconvénients résumés dans le tableau 30.

Tableau 30 : Avantages et inconvénients du procédé du lit bactérie

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Faible consommation d'énergie ;• Fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôles• Bonne décantabilité des boues ;• Plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques• Généralement adaptés pour les petites collectivités ;• Résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment)	<ul style="list-style-type: none">• Performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisante• Coût d'investissement assez élevé (peut être supérieur d'environ 20% par rapport à une boue activée) ;• Nécessité de pré traitement efficace ;• Sensibilité au colmatage ; Ouvrage de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés

2.2. RAFADE (Le Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant et à Deux Etapes)

2.2.1. Principe de fonctionnement

Le Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant et à Deux Etapes (RAFADE) est développé depuis 15 ans à la STEP de l'IAV (El HAMOURI, 2004).

Il s'agit d'unité de prétraitement à haut rendement composée de réacteurs à flux ascendant et à deux étapes.

Les réacteurs du RAFADE entièrement couverts sont chargés d'enlever les matières organiques solubles et les MES tout en minimisant la production de boues et leur manutention. Les réacteurs fonctionnent comme piège pour la DCO particulières et comme digesteur hébergeant les bactéries anaérobies.

Ces réacteurs à alimentation ascendante constituent une excellente approche pour la digestion anaérobie des eaux usées. L'alimentation ascendante augmente le contact entre le substrat (eau usée) et les bactéries anaérobies ce qui permettra d'atteindre de meilleures performances et des temps de séjours plus courts c'est-à-dire une faible occupation de terrain et de coût de l'ouvrage.

De même, l'alimentation en deux étapes, étape préliminaire de sédimentation et d'hydrolyse en amont de l'étape de méthanisation, permet d'augmenter les performances du réacteur.

Le RAFADE offre l'avantage de la simplicité pour la gestion des boues. En effet, les boues n'ont pas besoin d'être retirés des réacteurs. L'excédent des boues qui quittent les réacteurs est piégé dans le décanteur duquel il est retiré puis dirigé vers les lits de séchage.



Figure 56 : Photo du RAFADE de l'IAV Hassan II

2.2.2. Performance

Le RAFADE enlève l'essentiel des substances biodégradables et en suspension : 80% de la DCOt et 90% de la MES.

Les taux d'élimination obtenus sur le RAFADE pendant les cinq années consécutives de suivi de la STEP de l'IAV sont repris dans le tableau 31.

Tableau 31 : Performance moyenne de la ligne Réacteur1+Réacteur2+décanteur

	Influent	Réacteur 1		Réacteur 2		Décanteur		TE
	Valeur	Valeur	TE	Valeur	TE	Valeur	TE	cumulé
DCOt (mg/l)	800	530	34	380	28	310	18	60
DCOst		285		159	44	59	-	
DCOs (mg/l)	420	270	36	120	56	120	-	70
DBO ₅ (mg/l)	390	200	49	150	25	120	20	70
MES (mg/l)	330	300	9	280	7	230	18	30
MSV (mg/l)	190	150	21	160	-	105	34	45
NTK (mg/l)	72	60	17	66	-	65	2	10
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	46	48	-	50	-	50	-	-
P Total (mg/l)	8,2	8	2	8	-	8	-	-
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	5,7	6	-	6	-	5	15	-
CF	3,6 E7					7,1 E5		
Helminthes oeuf/l	13					0	100	100

DCOt : DCO totale ; DCOst : DCO après 30 min de décantation; DCOs : DCO soluble ; NTK : azote total Kjeldhal ; N-NH₄⁺ : azote ammoniacal; PO₄³⁻ : orthophosphates .

(Source, El HAMOURI, 2004)

Ces résultats démontrent la stabilité et la consistance des performances et permettent de conclure qu'il s'agit d'un pré-traitement fiable.

2.2. Comparaison et choix

La connaissance puis la comparaison des avantages et inconvénients des deux procédés permettent de choisir le plus adapté au contexte de Douar RMEL selon :

- Le coût pour une population défavorisée
- Surface disponible
- Forte charge
- Gestion de boue

Tableau 32: Comparaison entre le lit bactérien et le RAFADE

Critère de choix	Lit bactérien	RAFADE
Forte charge	Sensibilité au colmatage	Procédé rustique
Gestion de boue	nécessité d'installer un décanteur	simplicité pour la gestion des boues (il n'est pas prévu d'intervention pour l'évacuation des boues.)

Critère de choix	Lit bactérien	RAFADE
Surface disponible	Ouvrage de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés	Faible occupation de terrain
Coût	Coût d'investissement assez élevé (peut être supérieur d'environ 20% par rapport à une boue activée)	Faible coût de l'ouvrage.

Il en ressort que le choix d'un RAFADE à la place de la fosse septique existante sera la solution qui va permettre de ramener la charge organique à un niveau acceptable par les filtres verticaux, et qui demandera le moins d'espace et de coût. De plus, la technologie RAFADE facilitera la gestion de boue et mettra fin aux contraintes liées à la vidange des fosses.

3. Dimensionnement du RAFADE

L'unité de prétraitement qu'on propose consiste donc en un RAFADE : Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant et à Deux Etages suivi d'un décanteur et des lits de séchage.

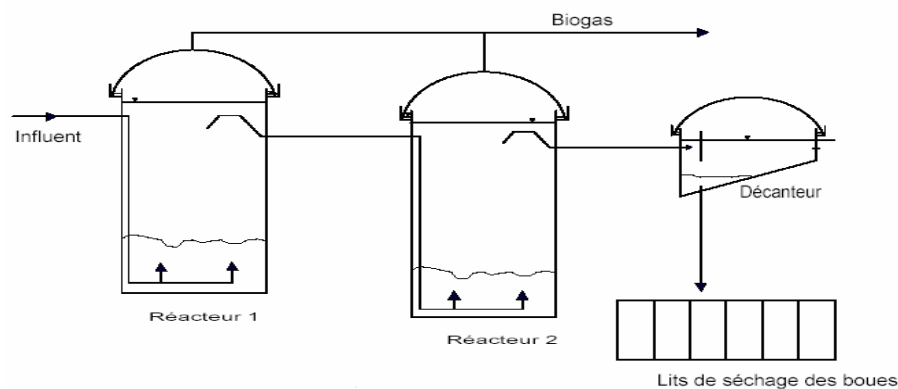


Figure 57 : Unité de prétraitement (El Hamouri, 2005)

Le dimensionnement du RAFADE, du décanteur et des lits de séchage s'est fait en utilisant le logiciel, récemment mis à jour, disponible sur le site Internet www.iav.ac.ma Département du Génie Rural au nom de Pr B.EL Hamouri.

3.1. Réacteurs anaérobies

3.1.1. Détermination du temps de séjour

Pour la détermination de ce temps de séjour nous allons nous baser sur l'approche de la constante cinétique de premier ordre de dégradation.

La constante cinétique de premier ordre de dégradation de la DCO (k) traduit l'activité des bactéries qui dégradent la matière organique admise dans un réacteur pour tirer l'énergie nécessaire à leur maintien et leur croissance, c'est un élément de dimensionnement important pour le RAFADE.

L'équation pour un modèle d'écoulement en piston est :

$$C_e / C_s = e^{(-K*TRH)}$$

Où C_s : concentration de sortie ;
 C_e : concentration d'entrée ;
 k : constante cinétique de premier ordre ;
 TRH : temps de rétention hydraulique

Dans cette approche, nous considérons chaque réacteur à part avec sa constante de dégradation et son taux d'abattement, car les deux réacteurs du RAFADE ont des performances différentes.

Le test de traçage (Serhane ; 2005) à la station de l'IAV pour la détermination de la constante cinétique de dégradation a donné les résultats rapportés au tableau 32.

Tableau 33 : Valeurs de k pour R₁ et R₂

Réacteur	K (J ⁻¹)
R ₁	0,93
R ₂	0,33

Les deux réacteurs R_1 et R_2 assuraient des taux similaires d'enlèvement de la DCO. Cependant, il faut noter que les deux réacteurs fonctionnaient en série et que par conséquent, R_2 ne recevaient que $2/3$ de la charge organique de R_1 . L'efficacité de l'abattement de la DCO soluble dans R_2 était 1.5 fois plus élevée que celle qui avait lieu dans R_1 .

A RMEL et avec une DCO d'entrée de 1843 mg/L et en utilisant les constantes cinétiques du premier ordre ci-dessous, on peut déterminer le TRH tel que présenté dans le tableau 34.

Tableau 34 : Calcul de TRH pour R_1 et R_2

Réacteur	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	$\ln(C_i/C_e)$	K (j-1)	TRH (h)
R_1	1843	280	0,93	0,93	48
R_2	280	145	0,329	0,33	47,8

Nous avons adopté un TRH de 48 h pour chacun des réacteurs.

3.1.2. Volume du Réacteur

Le volume du réacteur est donné par la formule :

$$V = Q \times TRH$$

Avec Q : débit en m^3/j

TRH : temps de rétention hydraulique en j

Les réacteurs projetés doivent traiter un débit de 14 à 16 m^3/j . pour un temps de rétention hydraulique de 2 jours donc notre RAFADE comportera deux réacteurs en série avec 28 à 32 m^3 chacun. On adoptera 40 m^3

3.1.3. Formes géométrique et nombre de Réacteurs

Les réacteurs peuvent avoir une forme rectangulaire ou circulaire. La forme circulaire est plus stable et plus économique à la construction. Elle peut être recommandée pour

les petites installations alors qu'il serait plus avantageux de recourir à la forme rectangulaire, ou mieux carrée, pour les plus grandes installations.

3.1.4. Profondeur du Réacteur

La profondeur (ou hauteur) est liée à la performance : plus cette dernière est importante, meilleure est la performance. La profondeur détermine la vitesse d'ascension. Des valeurs élevées de cette vitesse sont recherchées pour améliorer le contact entre les cellules bactériennes et l'influent (substrat). Cependant, des valeurs excessives de la vitesse d'ascension peuvent conduire au lessivage des boues actives et à la réduction de la concentration des boues dans le réacteur. Rappelons que la concentration des boues dans le réacteur conditionne le taux de digestion. La moyenne quotidienne de vitesse d'ascension ne doit pas dépasser 0.7 m /h (van Haandel and Lettinga : 1994).

$$V = Qi / A = Vr / TRH \times A = H / TRH$$

V: vitesse d'ascension (m/h);

Qi: débit quotidien moyen (m³/j)

A: surface du réacteur (m²);

Vr: volume du réacteur (m³);

H: profondeur du réacteur (m);

TRH : temps de rétention hydraulique en (h)

Donc, à TRH constant l'augmentation de la profondeur se traduit par une augmentation de la vitesse d'ascension.

La fourchette de variation des hauteurs d'eau recommandée pour ce type d'ouvrages est généralement entre 4m et 6m (van Haandel and Lettinga, 1994).

On aura les dimensions rapportées au tableau 35.

Tableau 35 : Dimensions des réacteurs

		Réacteur 1	Réacteur 2
Temps de Réention Hydraulique	J	2	2
Volume	m³	40	40
Profondeur	m	8	8
Surface par réacteur	m²	5	5
Diamètre du réacteur	m	2,5	2,5
Nombre d'entrée par réacteur	U	1	1
Vitesse d'ascension (max 0,7)	m/h	0,33	0,33

La figure 57 schématise une vue en coupe des deux réacteurs :

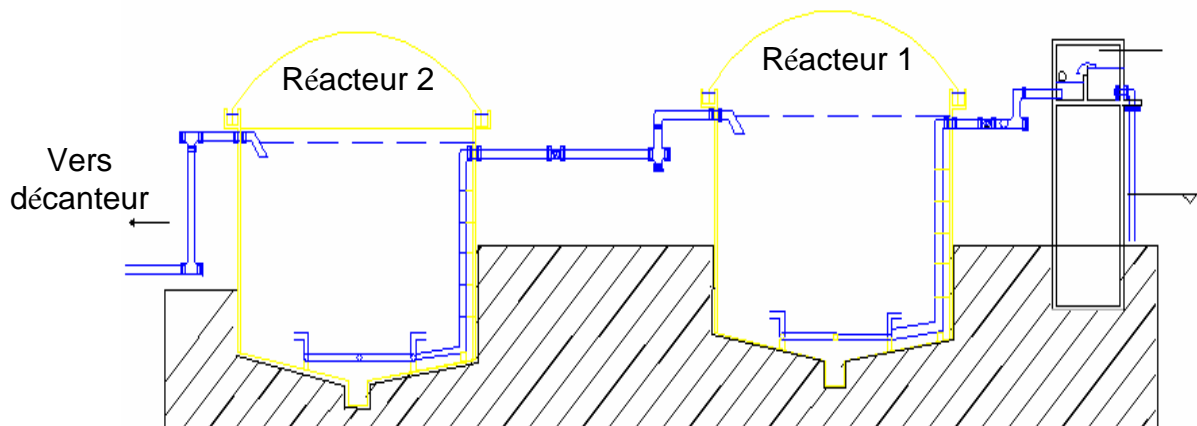


Figure 58 : Vue en coupe des deux réacteurs R₁ et R₂

On note que la station est réalisée au niveau d'une ancienne décharge ce qui nécessite des déblais jusqu'à la partie stable du sol.

3.2. Décanteur (pour piéger les particules échappant du réacteur 2)

La décantation, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ces particules s'accumulent au fond du décanteur, d'où l'on peut les extraire périodiquement.

L'une des principales caractéristiques du RAFADE est le choix délibéré de construire un décanteur indépendant à l'extérieur plutôt que de l'intégrer au réacteur.

La surface du décanteur est obtenue par :

$$S = Q / V$$

S = surface du décanteur en m²,
 Q = débit d'eau à l'entrée du décanteur en m³/h
 V = vitesse de sédimentation m/h

Nous signalons que le temps de séjour de l'eau dans le décanteur est court, donc si on dimensionne ce dernier sur la base du débit moyen nous risquons d'avoir un lessivage de boues au moment du débit de pointe.

Le débit de pointe est de 26 m³/j, on aura donc besoin d'une superficie de 4 m². La forme correspondante à la meilleure hydraulique dans un décanteur rectangulaire donne un rapport de largeur sur longueur de 1 pour 6. En générale, on adopte un rapport compris entre 1/3 et 1/6 selon la disponibilité du terrain (ONEP, 2003)

La profondeur doit être comprise entre 1,5 et 2 m pour assurer un écoulement laminaire stable en filets parallèles, et éviter les inversions thermiques.

Notons que la vitesse est indépendante de la hauteur de l'ouvrage de décantation (RICHARD, 1974). Nous allons adopter une profondeur moyenne de 1,7 m.

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau 36.

Tableau 36 : Dimensions du décanteur

Paramètre	Unité	Valeur
Débit adopté	m ³ /j	104
Vitesse de sédimentation	m/h	1,5
Surface totale	m ²	4
Nombre de décanteur	U	1
Surface par décanteur	m ²	4
Profondeur moyenne	m	1,7
Volume par décanteur	m ³	5
Largeur par décanteur	m	1
Longueur par décanteur	m	4
HRT	h	0,72
MES résiduelles	mg/L	38
MES éliminées	Kg/j	6
Volume de boue épaissi évacué	m ³ /j	0,1
Concentration des boues évacuées	Kg/m ³	84

3.3. Les lits de séchage des boues

La production spécifique moyenne des boues obtenue sur le RAFADE de Rabat est de 0,22 g MES /g DCO appliquée. Pour dimensionner les lits de séchages, nous allons nous baser sur la même valeur de production spécifique.

Les lits de séchage de boues sont caractérisés par leur productivité P_1 . Cette dernière est définie par l'équation :

$$P_1 = F_b / T_t$$

Où P_1 : productivité du lit de séchage $\text{kg MS m}^{-2} \text{j}^{-1}$

F_b : charge en boue appliquée en kg MS m^{-2}

T_t : temps total nécessaire pour un cycle complet de séchage (j).

La productivité des lits de séchage de la station de l'IAV est de 0,75 kg de matière sèche $\text{m}^{-2} \text{j}^{-1}$ pour des boues contenant 90 % de solides (EL Hafiane, 2003).

Dans les conditions climatiques de Rabat et en appliquant une charge surfacique de 1,5 kg MES $\text{m}^{-2} \text{j}^{-1}$, on remarque que la teneur relative en eau décroît de 97 à 10 % en 10 jours en saison froide et pluvieuse et en 3 jours dans la saison estivale, chaude.

La durée d'un cycle de séchage est obtenue par :

D (j) = (charge appliquée (kg MES/ m^2)/productivité du lit de séchage (kgMES/ $\text{m}^2 \cdot \text{j}$))

La surface totale des lits est obtenue par la relation :

$$A = P_j / P_1$$

Où P_j : production journalière (kg MS /j).

P_1 : productivité du lit de séchage $\text{kg MS m}^{-2} \text{j}^{-1}$

En appliquant un coefficient de sécurité de 20 %, la superficie totale sera :

$$St = 1.2 \times A$$

Les résultats de calcul des lits de séchages sont résumés dans le tableau 37.

Tableau 37 : Dimensions des lits de séchages

Paramètre	Unité	Valeur
Production spécifique	Kg MES/kg DCO	0,22
Production quotidienne	Kg MES/j	11
Productivité du lit de séchage	kg MES/ $\text{m}^2 \cdot \text{j}$	1,5
Surface du lit	M^2	7
Coefficient de sécurité	20 %	1,2
Surface totale	m^2	8,4
Charge appliquée	kg MES/ m^2	10
Durée d'un cycle de séchage	J	7
Surface par lit	m^2	2

Paramètre	Unité	Valeur
Nombre de lits	U	7
Profondeur par lit	m	0,7
Largeur par lit	m	1
Longueur par lit	m	2
Lit de stockage des boues sèches	m ²	1
Surface totale des lits de séchage	m ²	10
Profondeur de construction	m	1
Epaisseur de la couche de gravier	m	0,3
Epaisseur de la couche de sable	m	0,4

Les performances du RAFADE sont données en DCO, la concentration de l'effluent en DCO est de 145 mg/L

En utilisant, le rapport DCO/DBO=1.9

La concentration en DBO₅ à l'entrée de la STEP est de 1111 mg/L, le passage de l'eau à travers le RAFADE réduit la concentration pour atteindre 76 mg/L.

Le tableau 38 compare la concentration l'effluent actuel à la sortie de la fosse, et la concentration de l'effluent attendue à la sortie du RAFADE

Tableau 38 : Concentration influent, effluent fosse et RAFADE

Paramètre	Influent mg/L	Effluent (fosse) mg/L	Effluent (RAFADE) (mg/L)
DCO	1840	1380	145
DBO₅	1100	840	80

Le RAFADE permettra donc d'arriver à des charges acceptables à l'entrée des filtres verticaux.

Le tableau 39 résume les surfaces nécessaires pour les ouvrages du RAFADE.

Tableau 39 : Superficie de l'unité de prétraitement

Désignation	Superficie (m²)
Réacteur 1	5
Réacteur 2	5
Décanteur	4
Lits de séchage	10
Total	24

L'installation du RAFADE nécessitera donc une superficie totale de 24 m² soit 40 m² pour l'ensemble des passerelles et des ouvrages.

3.4. Coût de réalisation

A partir des coûts des travaux et des équipements nécessaires pour la construction des ouvrages de traitement par RAFADE de l'IAV.

Le coût de réalisation des ouvrages du RAFADE est estimé à 182 417 DHs soit un coût de réalisation par habitant de 170 DHs (voir tableau des coûts de construction prévisibles du RAFADE en annexe)

Conclusion

Le suivi du fonctionnement des ouvrages et des performances à La STEP Rmel, composée de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical précédés d'une fosse septique collective, pendant 5 mois de janvier à mai 2009 a permis de tirer des conclusions sur l'approche d'épuration autonome ainsi adoptée.

Concernant les solides, en dépit de l'élimination de 50 % des MES au niveau de la fosse, l'influent à l'entrée des filtres demeure chargé pour être appliqué à des filtres verticaux ce dont témoigne l'effluent final de la STEP qui est de 130 mg/L.

D' autre part, l'influent des filtres est très chargé en matière organique (1600 mg/L de DCO et 980 mg/L de DBO₅). Ce qui conduit à une croissance excessive de biomasse (biofilm) laquelle favorise l'obturation des pores de sable. Dans ces conditions, effluent final compte encore 990 mg/L de DCO et 400 mg/L de DBO₅.

Pour ce qui est des matières azotés, l'insuffisance de l'aération réduit l'efficacité de la nitrification ainsi les concentrations en azote ammoniacal de l'effluent restent élevées et atteignent 200 mg/L.

Pour les coliformes fécaux, malgré qu'il s'agisse de filtres garnis de sable, l'abattement des coliformes fécaux ne dépasse pas une unité logarithmique.

Les filtres plantés de roseaux réalisent des performances remarquables lorsqu'ils sont dimensionnés d'une manière adéquate et lorsque la charge de l'influent reste dans les limites des eaux usées urbaines. Ainsi, la STEP pilote de l'IAV réalisent les abattements de 95 % en DCO, 97 % en MES et 84 % en NTK

Les dysfonctionnements constatés sur les filtres à RMEL sont dus à la surcharge organique qui, elle-même, découle de la très forte concentration des eaux usées brutes qui n'était pas prise en considération lors du dimensionnement ainsi qu'à l'insuffisance du pré traitement au niveau de la fosse septique collective.

Il est proposé dans ce travail de garder les filtres tels quels mais de choisir entre deux solutions :

- ajouter un système de traitement complémentaire entre la fosse et les filtres ;
- remplacer la fosse par un système capable d'assurer l'abattement recherché.

La comparaison a été limitée à deux procédés : le lit bactérien et les réacteurs anaérobies ; parmi ce type de réacteurs, le RAFADE : réacteurs anaérobies à flux ascendant et à deux étapes. Ce dernier est utilisé, à l'échelle pilote, à Rabat depuis 1996 et, à échelle réelle, à El Attaouia depuis 1999.

Sur la base d'une analyse préliminaire, sommaire, dont les principaux critères sont : la gestion des boues, la sensibilité au colmatage, la consommation de l'énergie électrique (recyclage), et la disponibilité du terrain nous avons pu conclure qu'il est préférable de remplacer la fosse par le système RAFADE. Cette analyse mérite d'être approfondie avant la prise de la décision finale.

Le RAFADE proposé permettra de ramener la charge en DCO de 1840 mg/L à 145 mg/L ce qui correspond à la charge acceptable par les filtres verticaux.

Le coût estimé pour la réalisation du RAFADE à RMEL est de 200 000 DHs.

Références bibliographiques

Administration du Génie Rural et Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate, 1998, Epuration et réutilisation des eaux usées à des fins agricoles, 156 pages

Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, 1999, Epuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes. Une étude bibliographique. 78 pages

APHA, 1989, Standard methods for the examination of water and wastewater 17th edition, American Public Health Association, New York, USA

BAKIR, H, 2000, Guiding principes and options for accelerated extension of wastewater management services to small communities in EMR countries. Amman-Jordan, 6-9 November 2000

BENHAMIDA, B, 1998, À propos du contrat de gestion déléguée des services de distribution d'électricité, d'eau potable, et d'assainissement liquide dans la Wilaya de Casablanca. 8 pages

BERNIER B., 2002. Gouvernement du Québec, Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique, Disponible sur Internet : www.menv.gouv.qc.ca

BOUTIN C, MOLLE P, 2006, Upgrading pond effluent with vertical flow constructed wetlands and intermittent sand filters: comparison of performances and hydraulic behaviour. 10th international conference on wetlands systems for water pollution control Sept. 23-29 2006. Lisbon, Portugal

BOUTIN C., MOLLE P., LIENARD A., MERLIN G., IWEMA A., How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems

CEMAGREF / SATESE, stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation, document technique N°5 bis des Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau (FNDAE), 39 pages.

Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts-CEMAGREF. 1986, les stations d'épuration adaptées aux petites collectivités, document technique N°5 des Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau (FNDAE), 60 pages.

CHAZAREN F., MERLIN G., Influence of raw wastewater with sequential load on vertical subsurface flow constructed wetlands behaviour.

CHENGUITI S., 2003, Problématique de vidange des fosses septiques, Direction Exploitation Eau et Assainissement DEEA /LYDEC

CIGER&INASEP, 1997, Epuration des eaux usées : l'élimination biologique de l'azote et du phosphore, Publilink/CIGER

COOPER, P, The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates

COOPER., BERLAND J., BOUTIN C., et MOLLE P., 1991, Procédés extensifs d'épuration des eaux usées, office des publications officielles des communautés européennes, 44 pages

DNRM, 2002. Departement of Natural Ressources & Mines, Guidelines for Effluent Quality. Queensland Government, Australia.

Direction de l'eau et de l'assainissement du ministère de l'intérieur, l'épuration des eaux usées au Maroc : synthèse des études expérimentales, 94 pages.

ECKENFELDER, W.W, gestion des eaux usées urbaines et industrielles, 267 pages

EDELINE, F, l'épuration biologique des eaux : théorie & technologie des réacteurs, 450 pages

EKAM, A., 1998, Communes et assainissement autonome : rôle et responsabilités, 190 pages

EI HAMOURI, B. 2004, Réacteur Anaérobie et Chenal à Haut Rendement pour l'épuration des eaux usées des petites communautés. Réalisation, exploitation et performances, Monographie, IAV Hassan II

EI HAMOURI, B., 2007, Subsurface-horizontal flow constructed wetland for sewage treatment under Moroccan climate conditions. In *Desalination* 215 (2007).Pp.153-158. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. ISBN : 9981-1769-8-2.Rabat, 2005.

ECKENFELDER, W, W, Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, 503 pages.

EPA (United States Environmental Protection Agency), 1986, The National Pre-treatment Program: Environmental Regulations and Technology. 27pages.

ESSER D., BOUTIN C., MOLLE P., LIENARD A., 2000, les filtres et lits plantés de roseaux en traitements d'eaux usées domestiques : perspectives pour le traitement d'eaux pluviales, 9 pages

FARES M, et BRIGHLI Y, 2007, Etude sectorielles d'assainissement de la zone rurale du Grand Casablanca, projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état.

GAID A, 1993. Traitement des eaux usées urbaines, techniques de l'ingénieur, traité de construction C5 220

HAKEM A., 2006, .Synthèse technique : les systèmes économe en eau, ENGEEF, février 2006, 19 pages

HASNI M, 2008, Performances d'élimination des pollutions azotée d'un filtre à macrophytes hybride alimenté en eaux usées brutes. Mémoire de 3^{ème} cycle, IAV Hassan II, Rabat.131 pages

HASSARI S, 2007, Bilan de fonctionnement du parc des stations d'épuration des eaux usées au Maroc, typologie de leurs dysfonctionnements et proposition de solution, TFE MISEAD

HEDUIT A, 2008, « traitement des eaux usées domestiques, dimensionnement des installation » cours Master Sciences et Technologies, Mention Génie de l'Environnement, Spécialité Gestion et Traitement des eaux des sols et des déchets de l'AGRO Paris TECH

HEDUIT A, « principales filières intensives de traitement, Eléments de dimensionnement », CEMAGREF

KADLEC R. KNIGHT R., 1996, Treatment wetlands (Lewis Publishers, Boca Raton, Florida)

LAHJOUJ J., 2006, « Filtre planté de roseaux à écoulement horizontal » et « chenal algal à haut rendement » : performances en post traitement. Mémoire de 3^{ème} cycle, IAV Hassan II, Rabat.104 pages

LESAVRE J, assainissement des petites collectivité : le lagunage naturel.

LIENARD A, MOLLE P, BOUTIN C, MERLIN G, IWEMA A, traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art des performances des filtres plantés de roseaux en France

LIENARD A, TROESCH S, MOLLE P, THIRION F, HERITIER P, Jean-Christophe BAUDEZ et ESSER D, valorisation des boues traitées en lits plantés de roseaux : premiers retours d'expériences des curages épandages sur quelques stations françaises.

LPEE ,2006-2007, Laboratoire Public d'Essai et d'Etude procédures d'essai des eaux, dosage des orthophosphates et du phosphate total, détermination des matières en suspension, dosage de l'azote total khjeldahl NTK, détermination de la demande biochimique en oxygène DBO₅ et de la demande chimique en oxygène DCO.

Lyonnaise des Eaux de Casablanca, Schéma Directeur Antipollution & Schéma Directeur d'Assainissement.

LYDEC, 1999, Guide d'installation des équipements d'assainissement individuel

LYDEC, 2006, La commission d'assainissement : gestion des fosses septiques.

MARTIN J, Le point sur l'épuration et le traitement des effluents (eau, air) volume 1 ,214 pages

MELKAOUI A, performances et dimensionnement du réacteur anaérobie à flux ascendant à deux étapes : De la station prototypes de L'IAV Hassan II à la station d'El Attaouia, Mémoire de 3^{ème} cycle, IAV Hassan II, Rabat. 158 pages

MOLLE P, LIENARD A, GRASMICK A, IWEMA A, KABBABI A, 2005 , Apatite as an interesting seed to remove phosphorus from wastewater in constructed wetlands.

MOLLE P, PROST-BOUCLE S, LIENARD A, 2008, Potential for total nitrogen removal by combining vertical flow and horizontal flow constructed wetlands: a full-scale experiment study.

MOLLE P. 2003, filtres plantés de roseaux : limites hydrauliques et rétention du phosphore, pp : 3-21.

MOLLE P. 2007, collecte, épuration et réutilisation des eaux usées des communautés rurales cour international tenu à Rabat au département Génie Rural à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II le 08, 09 et 10 Mai 2007.

MOLLE P., A. LIENARD, A. GRASMICK, A. IWEMA, 2006, Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads

NAZIH J., 2005, Adaptation du filtre planté de roseaux à écoulement horizontal (Constructed Wetlands) pour l'épuration des eaux usées des petites communautés au Maroc : caractéristiques hydrauliques, performances et dimensionnement. Mémoire de 3^{ème} cycle, IAV Hassan II, Rabat .129 pages

ONEM (observatoire National de l'Environnement du Maroc), Octobre 2001. Rapport sur l'état de l'environnement du Maroc (REEM) ,292 pages

ONEP (Office National de l'Eau Potable), Juillet 1998, Approche de la typologie des eaux usées urbaines au Maroc.18 pages

PNUE, 2000 : Programme des Nations Unies pour L'Environnement.

Service de l'expertise technique en eau du ministère de l'Environnement, 2001, Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique.

STANDARD METHODS, 1985. Standards Methods for Examination of Water and Wastewater (16th ED). American Public Health Association, 1015 15th Str.NW, Washington DC 2005,USA

TALL A., 2007, Conception, réalisation et performances d'un système hybride de filtres plantés de macrophytes pour l'épuration des eaux usées domestiques des petites communautés. Mémoire de 3^{ème} cycle, IAV Hassan II, Rabat.119 pages

TAZI SADEK. H, 2009, présidente d'ALMAE : l'association Alliance Maghreb Machrek pour l'eau, l'eau : perspectives et enjeux, présentation orale (cycle de conférences de LYDEC Casablanca)

TORRENS A, MOLLE P, BOUTIN C and SAGLOT M, 2006, Association of Stabilization Ponds and Intermittent Sand Filters: an appropriate wastewater treatment system for small communities. In 7th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems, Mexico

VALIRON F, Manuel d'assainissement spécifique pour les pays à faible revenu, Agence de coopération culturelle et technique & Conseil international de la langue française, 381 pages.

YACOUBI M., 1999, les Ressources En Eau Au Maroc. Institut Méditerranéen de l'eau : Bilan, Perspectives et Plan d'action

Site Web

www.carteleau.org

www.oieau.org

www.cemagref.fr

www.epa.gov

www.fndae.fr

www.lenntech.com

www.eaufrance.com

www.ifen.fr

Annexe

Liste des Annexes

- Annexe 1 Fiche de la variété *Phragmites australis*
- Annexe 2 Album photo
- Annexe 3 Mesures des variations du débit pendant les journées 18,19 et 20 mars
- Annexe 4 Les protocoles des analyses
- Annexe 5 Les coûts de construction prévisibles du RAFADE

✓ Annexe 1 : Fiche de la variété *Phragmites australis*

Nom scientifique : *Phragmites australis* ;

Famille : Poacées (ou Graminées) ;

Catégorie : graminée vivace ;

Synonyme : Roseaux à balais ;

Floraison : de juin à novembre ;

Cycle de vie : vivace à longs rhizomes, de 1 à 4 cm ;

Répartition : Atlantique, Méditerrané ;

Habitat : berges des étangs, marais, fossés ;

Fleurs : inflorescence de 10 à 30 cm, blanchâtres, unilatérale et assez dense, composé un petit rameau penché sur lesquels s'attachent les épillets violacés;

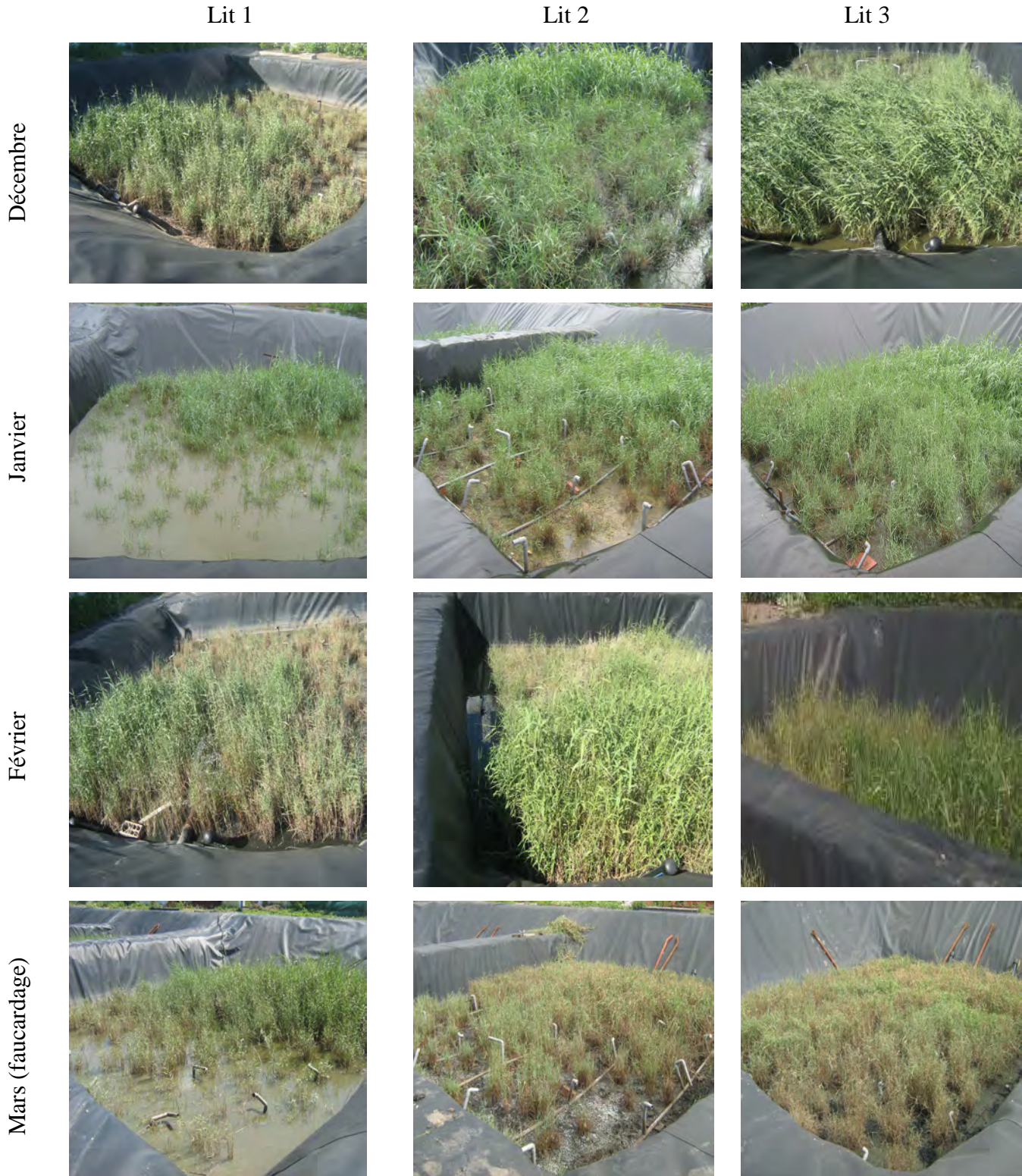
Feuilles : feuilles alternes, longuement effilés et pointues, à bords coupants, de 1 à 3 cm de large ; pas de ligule, mais le longs poils blancs ;

Tige : tiges très raides, creuses, fragiles, de moins de 2 cm de diamètre et pouvant mesurer jusqu'à 2 m.



Phragmite australis

Annexe 2 : Album photo



Avril



Annexe 3 : Mesures des variations du débit pendant les journées 18,19 et 20 mars

Date	Heure	Insight For Windo Niveau (cm)	ws: Version: Vitesse 1 (m/s)	5.7 Débit 1 (l/s)
18-mars-09	15:00	2,034	0,18	0,284
18-mars-09	16:00	2,175	0,17	0,267
18-mars-09	17:00	2,182	0,17	0,269
18-mars-09	18:00	2,179	0,17	0,272
18-mars-09	19:00	2,269	0,17	0,288
18-mars-09	20:00	2,015	0,17	0,238
18-mars-09	21:00	2,015	0,17	0,236
18-mars-09	22:00	1,993	0,16	0,228
18-mars-09	23:00	2,054	0,15	0,223
19-mars-09	00:00	2,134	0,12	0,192
19-mars-09	01:00	2,04	0,1	0,146
19-mars-09	02:00	2,004	0,09	0,123
19-mars-09	03:00	2,053	0,08	0,119
19-mars-09	04:00	2,058	0,1	0,143
19-mars-09	05:00	2,021	0,07	0,094
19-mars-09	06:00	2,015	0,08	0,118
19-mars-09	07:00	2,063	0,13	0,19
19-mars-09	08:00	2,048	0,15	0,214
19-mars-09	09:00	2,031	0,15	0,217
19-mars-09	10:00	1,969	0,18	0,247
19-mars-09	11:00	2,171	0,21	0,334
19-mars-09	12:00	2,208	0,21	0,348
19-mars-09	13:00	2,04	0,2	0,294
19-mars-09	14:00	1,942	0,19	0,259
19-mars-09	15:00	2,131	0,17	0,267
19-mars-09	16:00	1,897	0,19	0,242
19-mars-09	17:00	2,01	0,18	0,255
19-mars-09	18:00	2,143	0,17	0,27
19-mars-09	19:00	2,084	0,18	0,264
19-mars-09	20:00	1,941	0,17	0,229
19-mars-09	21:00	2,04	0,18	0,257
19-mars-09	22:00	1,976	0,17	0,24
19-mars-09	23:00	2,143	0,16	0,245
20-mars-09	00:00	1,476	0,13	0,123
20-mars-09	01:00	1,149	0,11	0,072
20-mars-09	02:00	1,1	0,1	0,06
20-mars-09	03:00	1,025	0,13	0,067
20-mars-09	04:00	0,928	0,1	0,046
20-mars-09	05:00	1,231	0,08	0,06
20-mars-09	06:00	1,739	0,09	0,103
20-mars-09	07:00	1,889	0,14	0,18
20-mars-09	08:00	1,936	0,16	0,211
20-mars-09	09:00	2,168	0,16	0,254
20-mars-09	10:00	1,969	0,19	0,262
20-mars-09	11:00	2,264	0,21	0,336

Annexe 4 : Les protocoles des analyses

1. Caractéristiques physiques

Température

Ce paramètre est mesuré sur place à l'aide d'un thermomètre. L'augmentation de la température accélère certaines réactions chimiques.

pH

Le pH mesure l'acidité de l'eau et fournit une indication globale à propos des substances dissoutes dans l'eau. « Le pH des eaux usées est un paramètre important quand le traitement préconisé est de type biologique ». Ce paramètre est mesuré à l'aide d'un pH-mètre.

Conductivité électrique

La conductivité est la capacité de passage du courant au travers d'une colonne d'eau comprise entre 2 électrodes. Elle donne une idée de la teneur globale en sels dissous dans l'eau et donc de sa minéralisation. L'unité de mesure est le μ /Siemens/cm ou mho/cm.

La conductivité des eaux usées est très variable d'une région à l'autre. Il faut noter que les traitements physiques ou biologiques ont peu d'incidence sur ce paramètre. Ce paramètre est mesuré à l'aide d'un conductimètre.

2. Matières solides

Les matières en suspension (MES)

Principe

Il s'agit de la quantité de matière, organiques ou minérales, en suspension dans l'eau. Ils correspondent à la pollution solide.

Les échantillons passent par un système de filtration sous vide, puis les filtres sont pesés avant et après séchage dans l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant.

Procédure

Les filtres utilisés sont des filtres de cellulose.

Humecter les filtres avec de l'eau distillée pour enlever toute trace de poussière.

Déposer les filtres sur des boîtes de pétri et mettre dans l'étuve à une température de 105°C pendant une heure, le temps de les faire sécher et jusqu'à poids constant.

Retirer les filtres de l'étuve et laisser refroidir, il faut les mettre dans le dessiccateur en les laissant dans les boîtes de pétri, environ 15 minutes. Numéroté les filtres tout justes sur le bord du filtre avec un stylo, ensuite peser les filtres avec une balance très précise.

Déposer le filtre sur un système de filtration sous vide. Prendre un échantillon de 100 ml et le faire passer sur le filtre

Retirer les filtres de l'appareil de filtration sous vide et le mettre dans sa boîte de pétri pour ensuite le mettre à l'étuve à 105°C, pendant 2 heures jusqu'à poids constant.

Retirer les filtres de l'étuve et laisser refroidir puis mettre les filtres avec les boîtes de pétri dans le dessiccateur 15 minutes. Finalement peser les filtres sans les boîtes de pétri et noter la masse finale

$$\text{MES (mg/L)} = (\text{Masse après (en g)} - \text{Masse avant (en g)}) / \text{Volume (en mL)} * 10^6$$



Figure 30 : pesée des filtres



figure 31 : dessiccation des filtres



figure 32 : filtration à vide

Les matières en suspension volatiles

Principe

On entend par matières volatiles en suspension la partie des matières en suspension susceptibles d'être volatilisées à 530°C. Les MVS sont généralement assimilées aux matières organiques en suspension.

Mode opératoire

Cette manipulation se fait après avoir quantifié les matières en suspension. Mettre les creusets avec les filtres dans le dessiccateur 15 minutes. Peser la masse des filtres avec les creusets avec une balance très précise. Mettre au four à 530°C, pendant 2 heures, on le laisse refroidir toute la nuit. Le lendemain mettre les échantillons dans le dessiccateur pendant 15 minutes. Finalement peser les échantillons.

Calcul

$$\text{MESV (mg/L)} = (\text{Masse avant (en g)} - \text{Masse après (en g)}) / \text{Volume (en mL)} * 10^6$$

3. Les composés organiques

Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables de l'eau et dans certaines conditions opératoires. Il s'agit d'un des paramètres spécifiques que l'on utilise pour déterminer la concentration des polluants principaux. C'est une mesure assez précise des matières organiques et de certains sels minéraux oxydables, à la différence de la DBO₅, qui ne prend en compte que les matières organiques biodégradables. La demande chimique en oxygène est déterminée en utilisant une méthode titrimétrique.

Principe de dosage

En milieu acide, certaines matières (organiques et minérales) contenues dans l'eau seront oxydées par un excès de dichromates de potassium.

Procédure

Rincer les tubes de digestion pour DCO à l'eau distillée et avec une solution de H₂SO₄ pour rinçage, introduire 10 ml de l'échantillon, et 10 ml d'eau distillée dans un deuxième tube (solution témoin), mettre 10 ml de HPP (hydrogénophthalate de potassium) dans un troisième tube (solution de référence de 500mg/L de DCO).

Ajouter dans chaque tube 5 ml de la solution de Mercure et de dichromate de potassium et 15 ml de sulfate d'argent.

Mettre le tube de digestion pour la DCO dans les orifices du minéralisateur pour DCO, mettre les réfrigérants à reflux sur les tubes de digestion pour DCO. Régler le cadran du minéralisateur à 120 minutes à une température de 150°C, peser sur bouton chauffage et mettre l'autre bouton en position préchauffage, attendre 15 minutes. Une fois les 15 minutes écoulées changer la position du bouton préchauffage pour le mettre en position ébullition. Une fois les 120 minutes écoulées la machine s'arrête d'elle-même. Laisser refroidir les échantillons à la température de la pièce.

Une fois les tubes refroidis ajouter 45 ml d'eau distillée. Ajouter 3 à 4 gouttes de l'indicateur coloré (Ferroïne). Avec le sel de Mohr faites une titration appelée titration dosage en retour. En principe au début, l'échantillon est d'une couleur jaune-vert, il devient ensuite vert-bleu pour terminer par une couleur rouge brique.

Noter le volume de la solution de sel de Mohr utilisé pour chaque titration.

Expression des résultats :

$$\text{DCO (mg/L)} = 8000 \cdot C \cdot (V_1 - V_2) / V_0$$

Avec :

C : Concentration (mol/L) de sulfate de fer et d'ammonium = 0,12 N

V₀ : Volume de l'échantillon (ml) = 10 ml

V₁ : Volume de sel de Mohr utilisé pour la titration du témoin (ml)

V₂ : Volume de sel de Mohr utilisé pour faire la titration de l'échantillon (ml)



Figure 33 : Tubes de digestion pour DCO pendant 2h

Demande biochimique en oxygène DBO_5

Principe

La DBO ou demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique.

Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire. Les valeurs de DBO mesurées dans l'industrie peuvent être très faibles pour des eaux résiduaires peu biodégradables et aller jusqu'à plusieurs grammes par litre dans des secteurs comme l'agro-alimentaires.

Le test doit être mené en milieu saturé en OD (concentration en oxygène dissous de 8 mg/L à 20°C) de sorte qu'un minimum de 2 mg/L d'OD soit consommé à la fin d'incubation (5 jours) et que la concentration résiduelle en OD soit au moins égale à 1 mg/L.

Procédure

Préparer l'eau de dilution saturée en oxygène.

- En prenant compte du nombre des échantillons et des dilutions à faire on calcule le volume de l'eau nécessaire,
- On y ajoute les nutriments à savoir : 5 ml de la solution de phosphates, 1 ml de $MgSO_4$, 1 ml de $CaCl_2$, 1 ml de $FeCl_3$ et 1 ml de NH_4Cl par litre d'eau.
- On introduit l'appareil pour injecter de l'oxygène, il est important d'oxygéner l'eau au moins 4 heures avant de commencer les dilutions, l'idéal est de préparer l'eau la veille et faire l'expérience le lendemain.

Déterminer la prise de l'échantillon :

Afin d'obtenir une consommation de 2 mg/L et laisser une concentration résiduelle en OD de 1mg/L au moins à la fin de l'incubation, la prise d'échantillon est calculée à l'aide de la valeur de DCO déterminée préalablement et du rapport $R=DCO/DBO_5$; on s'arrange pour faire trois à quatre dilutions pour encadrer la valeur attendue de DBO_5 en partant du fait que le rapport R, pour une eau usée urbaine, peut être de 1,7; 2,0 ou de 2,5.

Exemple : si la DCO mesurée est X mg/L, on peut alors déterminer le volume d'échantillon qui laisserait une concentration en OD d'environ Y mg/L au bout de 5 jours d'incubation par la relation suivante :

$$V=Y \text{ (mg/L)}*1000\text{(ml)}*R/Z \text{ (mg/L)}$$

Où :

V : volume de la prise d'échantillon ;

Y : concentration résiduelle en OD (doit être >1mg/L) ;

Z : valeur de la DCO.

Le volume de l'échantillon qui vient d'être calculé, doit être dilué dans 1L d'eau oxygéné puis on met les échantillons dans des flacons spéciaux, on ajoute aussi l'inhibiteur de la nitrification (Allylthiourée) à une concentration de 2 mg/L.

Prévoir un témoin contenant seulement de l'eau oxygénée.

Faire la lecture en utilisant une électrode à oxygène dissous (oxymètre).

Mettre les bouteilles dans l'incubateur à 20°C pendant 5 jours.

Une fois, les 5 jours écoulés refaire la lecture de DBO.

Calcul :

$$DBO_5 \text{ (mg/L)}= \text{facteur de dilution}*(DBO_0-DBO_5)-(\text{facteur de dilution}-1)*(DBO_0\text{témoin}-DBO_5\text{témoin})$$

4. Composés azotés

Ion ammonium (N-NH₄⁺)

Principe

L'azote ammoniacal (NH₄⁺) provient de la décomposition par des bactéries de l'azote organique ou des rejets directs des animaux (urines, excréments).

Le dosage de $N-NH_4^+$ est effectué avec la méthode titrimétrique précédée d'une distillation. En milieu alcalin, l'ammoniac est entraîné par la vapeur d'eau. Le distillat est ensuite titré avec l'acide sulfurique 0,02 N.

Procédure

Dans un tube spécialement fait pour la machine de distillation, on met 50ml d'échantillon et 2 ml d'une solution tampon qui empêche l'hydrolyse qui peut fausser les résultats, et puis on met le tube dans la machine et on ajoute 5 ml d'eau distillé et 5ml d'eau distillé et 5 ml de NaOH. Dans l'autre récipient on met 25 ml d'acide borique.

Titration

On prend le résidu qui est dans le récipient et on procède au titrage, et on ajoute quelques gouttes de réactif Tashiro.

Le titrage se fait avec l'acide sulfurique 0,02N. L'échantillon est au départ d'une couleur verte, ce qui veut dire qu'il y a présence de l'azote et doit devenir rose, une fois titrée.

Finalement noter le volume utilisé de l'acide sulfurique.

Calcul

$$\text{Concentration de } NH_4^+ \text{ (mg/L)} = \text{volume de } H_2SO_4 * 5.6$$

Le facteur 5.6 équivaut à :

Concentration de l'acide sulfurique *masse de l'azote*1000/Volume de l'échantillon.

Azote Total Kjeldahl (NTK)

Principe

L'Azote Total Kjeldahl comprend l'azote organique et ammoniacal.

Pour la détermination de l'azote total Kjeldahl (NTK), une minéralisation de l'azote organique en azote ammoniacal est réalisée en milieu acide et à chaud. L'ammonium est ensuite dosé par l'acide sulfurique 0,02 N.

Procédure

On met 50 ml de l'échantillon à analyser dans un tube, on ajoute 50 ml du réactif de digestion et on met les échantillons dans le minéralisateur.

Une fois les échantillons refroidis, on ajoute 50 ml d'un autre réactif NTK, dont on détaillera la composition dans l'annexe, on utilise le distillateur automatique de la même manière que pour l'azote ammoniacal ainsi que le titrage.

Calcul :

$$\text{Concentration en Azote total (mg/L)} = \text{Volume de H}_2\text{SO}_4 * 5,6$$

Nitrates

Les nitrates (NO₃), forme très stable, dont la présence dans l'eau peut présenter une gêne car il constitue un agent fertilisant susceptible de favoriser le développement excessif d'algues dans le milieu récepteur (phénomène d'eutrophisation).

Procédure

Dans un bécher on met 10 ml d'échantillon (diluer si nécessaire, dans le cas des échantillons de la sortie du troisième étage (stade de dénitrification), on dilue les échantillons 10 fois) et 1 ml de salicylate de sodium puis on chauffe en laissant un petit volume de l'échantillon, après on laisse refroidir et on ajoute 2 ml de H₂SO₄, 15 ml de l'eau distillé et 15 ml de tartrate de sodium et de potassium (il est très important d'ajouter ces produits dans l'ordre), ce mélange donne un produit d'une couleur jaune, en même temps on prépare la courbe d'étalonnage :

Tableau 9 : Méthode de préparation de la courbe d'étalonnage des nitrates

Concentration (mg/L)	Solution étalon fille à 0,01g/L (mL)	Eau distillée (mL)	Solution de salicylate de Na à 0,5% (mL)
0	0	10	1
1	1	9	1
2	2	8	1
5	5	5	1
10	10	0	1

La lecture se fait au spectrophotomètre dans une longueur d'onde égale à 420 nm.

Calcul

Avec les résultats de la courbe d'étalonnage, on trace la droite standard de l'absorbance en fonction de la concentration, l'équation de la droite est sous la forme suivante : $Y=aX+b$

On calcul après la concentration des échantillons avec la formule : $X=(Y+b)/a$

Pour les échantillons dilués à la sortie du troisième étage il faut multiplier par le facteur de dilution.

5. Composés phosphorés

Phosphore total

Principe

Après digestion à chaud en milieu acide et en présence de persulfate d'ammonium comme catalyseur, le phosphore organique est transformé en orthophosphates qui sont par la suite dosés.

Procédure

Dans un bécher on met 50 ml d'échantillon (puisque les échantillons ont une teneur trop élevée, on les dilue 10 fois c à d on met 5 ml d'échantillon et on complète à l'eau distillée), on met une goutte de Phénolphtaleine, si une coloration rose apparaît, il faut ajouter quelque goutte de H_2SO_4 jusqu'à changement de couleur. On ajoute ensuite 1 ml de solution d'acide sulfurique et 0,4 g de $(NH_4)_2S_2O_8$ ou $K_2S_2O_8$ ou $K_2S_2O_8$ ou $Na_2S_2O_8$. On met les échantillons préparés sur une plaque chauffante jusqu'à un volume final de 10 ml. On les retire et on les laisse refroidir.

Ensuite on ajoute de l'eau distillée jusqu'à 30ml, on ajoute une goutte de l'indicateur Phénolphtaleine et on neutralise la solution avec NaOH (1N) jusqu'au virage de la couleur.

Ajouter 2 ml de solution d'acide ascorbique et 8 ml du réactif.

On prépare la courbe d'étalonnage de la même façon que pour les orthophosphates.

Calcul

Avec les résultats de la courbe d'étalonnage, tracer la droite standard avec la concentration sur l'axe des X et l'absorbance sur l'axe des Y. L'équation de la droite est de la forme suivante : $Y=aX+b$

Calculer la concentration des échantillons avec la formule :

$$X=(Y+b)/a*\text{facteur de dilution}$$

Orthophosphates

Procédure

Pour la préparation de la courbe d'étalonnage :

Tableau 10 : Méthode de préparation de la courbe d'étalonnage des Orthophosphates

Concentration (mg/L)	Solution étalon fille à 1mg/L (mg)	Eau distillée (mL)	Solution Réactif en mL (y compris l'acide ascorbique)
0	0	42	8
1	1	41	8
2,5	2,5	39,5	8
5	5	37	8

Dans un bécher, on met 20 ml d'échantillon (puisque les échantillons ont une teneur trop élevée, on les a dilué 4 fois c.à.d on met 5 ml d'échantillon et on complète par l'eau distillée), on ajoute 8 ml du réactif. On attend 30min la stabilisation de la coloration.

La lecture se fait au spectrophotomètre à une longueur égale à 700 nm.

Calcul

Avec les résultats de la courbe d'étalonnage, on trace la droite standard : l'absorbance est fonction de la concentration, l'équation de la droite est sous la forme suivante :

$$Y=aX+b$$

On calcul après la concentration P-PO₄³⁻ des échantillons avec la formule :

$$X=(Y+b)/a*\text{facteur de dilution}$$

Annexe 5 : Les coûts de construction prévisibles du RAFADE

	Unité	quantité	Coût unitaire (DH)	Coût total (DH)
Déblai	M ³	500	30	15000
Béton	M ³	24	1900	45600
Enduit	M ²	390	54	21060
Acier	Kg	2750	15	41250
Conduites en PVC				
40 mm	m	10	9	90
50 mm	m	5	14	70
75 mm	m	20	33	660
110 mm	m	120	90	10800
Vanne				
40 mm	U	6	65	390
Vanne				
75 mm	U	4	70	280
110 mm	U	7	90	630
Coudes 90				
40 mm	U	4	9,6	38,4
50 mm	U	2	13,2	26,4
75 mm	U	10	42,82	428,2
110 mm	U	25	82,45	2061,25
Coudes 120				
75 mm	U	2	60	120
110 mm	U	2	71	142
Té				
40 mm	U	4	12	48
50 mm	U	1	16,5	16,5
75 mm	U	2	46,15	92,3
110 mm	U	8	90	720

	Unité	quantité	Coût unitaire (DH)	Coût total (DH)
Embouts				
50 mm	U	2	14	48
75 mm	U	2	40	80
Réductions				
75/63 mm	U	1	6	6
63/50 mm	U	1	7,7	7,7
110/75 mm	U	6	19	114
Raccord union	U	1	138,5	138,5
75 mm				
Pompe submersible	U	1	2500	2500
Couvercle du réacteur en Polyester	U	2	20000	40000
Total (DHs)				182 417