



Etude comparative des performances épuratoires de pilotes de traitement des eaux grises par "bac incliné" en zone sahélienne

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER D'INGENIERIE DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT**

Présenté et soutenu publiquement le 29/01/2014 par

Emeline H. BITIE

Travaux dirigés par :

Dr. Ynoussa MAIGA, Post doctorant au Centre Commun de Recherche Eau et Climat (CCREC),
Laboratoire Eau, Dépollution, Ecosystème, Santé (LEDES).

Jury d'évaluation du stage :

Président : Yacouba KONATE

Membres et correcteurs : Awa KOITA
Drissa SANGARE

Promotion [2012/2013]

DEDICACE

Je dédie ce mémoire de fin de formation à Dieu le tout puissant et à ma fille.

REMERCIEMENT

Mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance à Dr. Ynoussa MAIGA qui m'a donné le privilège de bénéficier de son encadrement et de m'avoir guidé pour améliorer la qualité de ce travail.

Mes remerciements également au membre du jury qui ont bien voulu évaluer ce mémoire.

Je remercie toute l'équipe du projet Ameli-EAUR de m'avoir accordé ce stage et de m'avoir permis de réaliser ce mémoire de fin d'étude.

Je suis profondément reconnaissante à mes parents : Mme BITIE W. Odette, Mr BITIE K. Paul ainsi qu'à mes frères K. Alexis et D. Théodore.

C'est avec un grand plaisir que je tiens à remercier mon fiancé pour m'avoir donné les moyens nécessaires pour ma formation. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.

Je remercie, les responsables des laboratoires Ir. Boukary SAWADOGO et Ir. SeyramKossi SOSSOU pour leur disponibilité.

Mes remerciements vont à l'endroit de Mme KOITA Awa Post-doc et Mr SANGARE Drissa doctorant à 2iE.

J'adresse mes sincères remerciements au stagiaire Guy Noël TINDOURE, Yirsigré SOMDA, Josias KONE, les agents d'appui Moustapha OUEDRAOGO et Bernard ZONGO, pour leurs contributions considérables dans la réalisation de certaines expériences.

J'adresse ma reconnaissance à la famille BITIE, la famille SOUGE et la famille TO ainsi que les belles familles DOYE et BICABA pour leur soutien multiforme.

Je remercie du fond du cœur mes camarades stagiaires, mes amis, et l'association ASEO.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à la tante Caroline GNAMOU, à la grande sœur ZERBO Cécile et enfants et à ma très chère amie Mme SANOU/ZERBO Sabine.

Je ne saurai terminer sans remercier les camarades de la promotion 2011-2013 et toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

Que Dieu vous bénisse !

RESUME

Les pays en voie de développement comme le Burkina Faso sont confrontés aux problèmes d'accès à l'eau potable et à un manque de systèmes d'assainissement adéquats. En outre, la culture maraîchère qui est l'une des activités économiques très développées, utilise malheureusement des eaux usées non traitées. Cette pratique augmente considérablement les risques de transmission de maladies et compromet la santé publique. Il est donc important de recycler les eaux grises et de les traiter avant leur réutilisation en irrigation. C'est dans cet ordre d'idée que le projet Améli-EAUR s'investit pour offrir aux populations rurales et péri-urbaines des eaux grises traitées en vue d'une réutilisation en agriculture, à travers le développement d'un pilote de traitement des eaux grises. Suite au faible abattement des germes bactériens constaté, des modifications ont été apportées au modèle initial du système de traitement. Les modifications ont porté sur la longueur, la largeur, la pente du pilote et la granulométrie du matériau filtrant. L'objectif global de notre étude est de contribuer à la mise en place de système de traitement des eaux grises par le système de bac incliné. Il s'est agi plus précisément de déterminer les abattements bactériens, l'élimination de la pollution organique et le niveau de colmatage selon la granulométrie du matériau granitique. L'étude s'est déroulée à la station d'épuration des eaux usées (STEP) de ZIE Ouagadougou (Burkina Faso) sur quatre pilotes de traitement. L'échantillonnage s'est déroulé entre juillet et août 2013 et a consisté aux collectes et aux transports journaliers d'eaux grises pour alimenter les pilotes, aux prélèvements et analyses d'échantillons d'eaux grises suivant des paramètres physico-chimiques et microbiologiques, ce qui a permis d'évaluer les performances épuratoires des pilotes. Parmi les quatre pilotes, le pilote 1 a enregistré les abattements bactériens les plus élevés qui sont respectivement de 2,67 u.log, de 2,47 u.log et de 2,54 u.log pour les coliformes fécaux, *E. coli* et les entérocoques. Les rendements maxima d'élimination de la pollution organique ont été observés au niveau du pilote 1 et sont de 67,6 %, 95,56%, et 91,37% respectivement pour la DCO, la DBO5 et les MES. On retiendra de cette étude que les pilotes présentent de bons rendements quant aux pollutions organiques mais le nombre de germes bactériens reste toujours élevé en comparaison avec les normes en vigueur. Les tests statistiques réalisés montrent une faible différence entre les quatre pilotes dans l'élimination de la pollution organique et bactérienne. Il existe seulement une différence significative entre le pilote 1 et le pilote 3 quant à l'élimination de la DCO. Il ressort également que les modifications apportées au modèle initial des systèmes de traitement par bac incliné a permis d'améliorer les abattements bactériens par rapport aux résultats des études antérieures.

MOTS CLES :

Eaux grises, Bac incliné, Filtre, Granite, Zone sahélienne

ABSTRACT

The developing countries like Burkina Faso are facing issues related to the access to drinking water adequate sanitation services. In addition, gardening is one of the highly developed economic activities, unfortunately using untreated wastewater. This practice greatly increases the risk of disease transmission and compromises public health. It is therefore important to recycle gray water and treat it before its reuse in irrigation. Therefore, Améli-EAUR project accounts to provide rural and peri-urban populations treated greywater for reuse in agriculture, through the development of a system of gray water treatment. Following the low reduction of bacterial germs found, changes were made to the initial model of the treatment system. Modifications were made on the length, the width, the slope of the treatment unit and the grain size of the filter material. The overall objective of our study is to contribute to the establishment of system for graywater treatment system by slanted soil. More specifically, it was to determine the bacterial reductions, the elimination of organic parameters and the level of clogging related to the size of the granit material. The study was conducted at the wastewater treatment plant wastewater ((STEP) of 2IE Ouagadougou (Burkina Faso) on four pilot units. Sampling was carried out between July and August 2013 and has been the daily collection and transport of graywater to feed the pilots, sampling and analysis of the gray water samples following physico-chemical and microbiological parameters, allowing to assess the treatment performance. From the four treatment units, the unit 1 recorded the highest bacterial reductions which were respectively 2.67 log.u, 2.46 log.u and 2.47 log.u, for fecal coliforms, *E. coli* and Enterococci. The maximum removal efficiency for organic pollution was observed in the unit 1 with 67.6%, 95.56 % and 91.37 % for COD, BOD5 and SS respectively .It can be deduced from this study that the treatment units have good removal efficiency on organic pollution, but the number of bacterial germs remains high in comparison with the standards. Statistical tests performed show weak difference between the four units regarding the removal of organic and bacterial pollution. There is only one significant difference between the pilot 1 and the pilot 3 on the COD removal. It also emerges that the modifications to the original model of treatment system has improved bacterial reduction compared with results of previous studies.

KEYS WORD:

Gray water, slanted soil, filter, granit, sahelian zone.

SIGLES ET ABREVIATIONS

Améli-EAUR : Amélioration de l'accès durable à l'eau potable et l'assainissement en milieu urbain et rural.

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène en cinq jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DGRE : Direction Générale des Ressources en Eau

DGEP : Direction Générale de l'Economie et de la Planification

LEDES : Laboratoire Eau, Dépollution, Ecosystèmes et Santé

MAHRH : Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques

MES : Matières En Suspension

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PN-AEPA : Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement

UFC : Unité Formant Colonies

SAR: Sodium Adsorption Ratio

Liste des figures

Figure 1:Schéma de principe du filtre planté à écoulement vertical.....	10
Figure 2 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal	10
Figure 3 : Schéma de principe d'une station par filtres enterrés.....	11
Figure 4 : Localisation de la zone d'étude.	15
Figure 5 : Vue d'ensemble des quatre pilotes.	16
Figure 6 : Schéma montrant les différents composants des pilotes.....	17
Figure 7 : Abattement des coliformes fécaux dans les différents dispositifs	22
Figure 8 : Abattement de <i>E. coli</i> dans les quatre pilotes	23
Figure 9 : Abattement des entérocoques	23
Figure 10 : Rendement d'élimination de la DCO.....	25
Figure 11 : Rendement d'élimination de la DBO5	25
Figure 12 : Rendement d'élimination MES	26
Figure 13 : Comparaison des pilotes sur l'abattement en coliformes fécaux	28
Figure 14 : Comparaison des pilotes sur l'abattement en <i>E. coli</i>	28
Figure 15 : Comparaison des pilotes sur l'abattement en entérocoques	29
Figure 16 : Comparaison des pilotes sur l'élimination des MES	30
Figure 17 : Comparaison des pilotes sur l'élimination de la DCO.....	31
Figure 18 : Comparaison des pilotes sur le rendement l'élimination de laDBO5.....	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Normes de réutilisation des eaux grises en irrigation	13
Tableau 2 : Différences entre les pilotes	18
Tableau 3: Valeurs moyennes des coliformes fécaux, <i>E. coli</i> et entérocoques (UFC/100ml) dans le pilote 1 et 2.	24
Tableau 4: Valeurs moyennes des coliformes fécaux, <i>E. coli</i> et entérocoques (UFC/100ml) dans le pilote 3 et 4.	24
Tableau 5: Valeurs moyenne des paramètres <i>in situ</i>	27

Table des matières

DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENT.....	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux	viii
Table des matières	ix
Hypothèses :.....	3
CHAPITRE I : GENERALITES	4
I. Définition des eaux grises.....	5
II. Caractéristiques des eaux grises.....	5
1. Caractéristiques quantitatives	5
2. Paramètres physico-chimiques et microbiologiques	6
a. Les paramètres physico-chimiques	6
b. Les paramètres microbiologiques.....	7
III. Impacts sanitaire et environnemental des eaux grises.....	8
IV. Différents systèmes de traitement des eaux grises.....	9
1. Les filtres plantés de roseaux	9
2. Les filtres enterrés	11
3. Le système d'épuration par épandage.....	11
4. Système par filtration-percolation et dénitrification.....	12
5. Système de traitement par "bac incliné"	12
V. Normes de réutilisation des eaux grises en irrigation.....	12
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	14
1) Présentation du site expérimental	15
2) Description des unités pilotes	15
3) Collecte des eaux grises et alimentation des pilotes.....	18
4) Echantillonnage et mesure des paramètres <i>in situ</i>	18
5) Paramètres physico-chimiques.....	19
6) Paramètres microbiologiques.....	19
7) Traitement des données	19
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	21
I) RESULTATS	22
1) Abattement des indicateurs bactériens de contamination fécale	22
a) Coliformes fécaux.....	22
b) <i>E. coli</i>	22
c) Entérocoques	23
2) Rendement épuratoire pour la pollution organique.....	24
3) Les paramètres mesurés <i>in situ</i>	26
4) Résultats de l'analyse statistique	27
II. Discussion	32

1. Comparaison des résultats avec les pilotes des études réalisés en milieu rural (Nikiema, 2012) et peri-urbain (Ouédraogo, 2013).....	32
2. Comparaisons des performances des différentes unités pilotes	33
3. Qualité des eaux traités et impacts éventuels.....	35
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	38
ANNEXE.....	A

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Contextes et Problématique

La plupart des pays sahéliens comme le Burkina Faso font face à des difficultés d'accès à l'eau potable et à un manque de systèmes d'assainissement adéquats. De même, les systèmes de traitement des eaux usées sont très peu répandus ou sont peu efficaces, ce qui engendre une pollution de l'eau à vaste échelle. (DRECHSEL et al 2010). En 2005, au Burkina Faso, le taux d'accès à l'eau potable dans les centres urbains et ruraux était respectivement de 74% et 60% (DGRE, 2006). Le taux de couverture de système d'assainissement amélioré est évalué à 14% en milieu urbain et 10% en milieu rural (MAHRH, 2006). Malgré les efforts consentis par l'état burkinabè, pour l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, les indicateurs dans ce domaine demeurent faibles surtout en milieu rural où d'énormes progrès restent à réaliser en matière d'assainissement, et de protection de l'environnement (DGEP 2011). Le Burkina Faso est aussi un pays à vocation agricole car l'agriculture occupe plus de 80 % de la population active (BELDA et al.2010) et la culture maraîchère est l'une des activités économiques de la plupart des populations démunies. On constate en effet une utilisation des eaux usées sans traitement pour l'irrigation des cultures notamment à proximité des centres urbains. Cela pose de nombreux problèmes de santé publique, comme la prolifération des maladies diarrhéiques. Par conséquent recycler les eaux usées est une nécessité (Roorda, 2004). Mais les eaux vannes sont très polluées et les eaux grises présentant une faible pollution en comparaison aux eaux vannes pourraient être réutilisées en maraîchage. En outre, plus de la moitié (50%-80%) des eaux usées produites dans les ménages sont des eaux grises (Morel and Diner 2006). Cependant, ces eaux doivent d'abord être traitées car elles demeurent polluées. En plus, la mise en place de système de traitement des eaux grises doit répondre aux conditions socio-économiques et environnementales des zones concernées. D'où l'idée de développer des systèmes de traitement en utilisant des matériaux locaux et surtout la recherche de l'optimisation des performances de ces systèmes. C'est dans cette dynamique que le projet Améli-EAUR (Amélioration de l'accès durable à l'eau potable et l'assainissement en milieu urbain et rural), dans son volet traitement des eaux grises s'investit à mettre à la disposition des populations rurales et péri-urbaines des eaux grises traitées pour une réutilisation en maraîchage. Pour rendre cela effectif, un système de traitement par bac incliné a été mis en place en zone rurale (Barkoundba, Kologoudiessé) et peri-urbaine à (Kamboinsé). Toutefois, les eaux issues de ce traitement montrent toujours un taux élevé de germes bactériens (Nikiéma, 2012, Ouédraogo, 2013). Pour pallier cette insuffisance, une modification du pilote s'impose afin de permettre une meilleure réduction des germes pathogènes. Ainsi donc, des modifications ont été apportées au modèle initial de système de "bac incliné" et suivies d'une construction sur le site expérimental de

traitement des eaux usées de 2iE. Ce travail a pour but d'évaluer et de comparer les performances épuratoires de ces systèmes de filtration sur granite.

Objectif général

L'objectif général de ce travail est de contribuer à la mise en place de système de traitement des eaux grises par le système de "bac incliné ".

Objectifs spécifiques

En clair il s'agit de :

- ➔ Déterminer les abattements microbiens en fonction de la granulométrie du matériau granitique.
- ➔ Déterminer les performances des pilotes sur l'élimination des paramètres organiques ;
- ➔ Déterminer le niveau de colmatage en fonction des différentes granulométries .

Hypothèses :

Pour l'atteinte de nos objectifs, nous avons émis les hypothèses suivantes :

- ❖ Les modifications réalisées permettront un meilleur abattement des germes pathogènes ;
- ❖ Les modifications réalisées permettront une amélioration de l'élimination des paramètres organiques par le système.

Le présent mémoire est structuré en trois (3) grandes parties :

La première partie présente les généralités ;

La deuxième partie est consacrée à la description des matériels et méthodes, suivie d'une troisième partie présentant les résultats et discussion.

Enfin, il se termine par une conclusion et des recommandations.

CHAPITRE I : GENERALITES

I. Définition des eaux grises

Les eaux grises désignent toutes les eaux usées domestiques produites dans un ménage à l'exception des eaux de toilette (Morel et Diener, 2006). Les eaux grises sont donc issues des activités des ménages notamment des bains, des douches, des lavabos, des machines à laver, des buanderies et des éviers de cuisine (OMS, 2006 ; Karma, 2007 ; Bhausahab et al. 2010). Certains auteurs ne tiennent pas compte des eaux usées provenant des éviers de cuisine et des machines à laver, à cause de leur forte teneur en particules de pétrole et d'aliments (Al-Jayyousi, 2003; Wilderer, 2004). Les ablutions sont également sources d'eaux grises (Ahmed et al., 2008). Les sources de l'eau de consommation, le nombre d'individus dans les ménages, l'âge de ces individus, le niveau de vie des ménages sont autant de facteurs qui influent considérablement sur la production et les caractéristiques des eaux grises (Morel et Diener, 2006).

II. Caractéristiques des eaux grises

1. Caractéristiques quantitatives

La quantité d'eau grise produite par un ménage dépend de plusieurs facteurs dont le nombre de personnes présentes dans ce ménage, leur âge, et leur niveau de vie. Aussi, les activités menées au sein du ménage influent-elles sur la production d'eau grise. La quantité d'eau grise générée dans une famille est liée également à la quantité d'eau utilisée pour les activités, mais surtout de la plus ou moins grande facilité d'obtention de cette eau à utiliser (Mungai, 2008). Il est à noter que les eaux grises constituent 50% à 80% des eaux usées domestiques (Prathapar et al. 2006 ; Kulabako et al., 2011). Le pourcentage d'eau grise enregistré en milieu urbain est la plupart du temps plus élevé (85%) qu'en milieu rural 64% (Lina et al., 2008). De plus, Morel a montré que les eaux grises produites par les douches sont estimées à 60% de la production totale. En milieu rural au Burkina Faso, le pourcentage d'eau grise issu des douches est de 56% contre 17% issue de la lessive, 15% de la vaisselle et 12% des ablutions (Sangaré 2011). Mais en milieu péri-urbain, Adoum (2011) a enregistré 43% pour les eaux grises des douches, contre seulement 17% provenant de la vaisselle. Lina et al. (2008) ont rapporté que les eaux grises des lavabos et des douches sont élevées en zone urbaine et celles issues des cuisines et de la lessive sont plus importantes en zone rurale. Il faut noter que les eaux grises produites journalièrement diffèrent selon les lieux (Morel et Diener, 2006). Ainsi il a été enregistré 30 l/j/personne au Mali, 113 l/j/personne en Australie, 225 l/j/personne en Malaisie (Morel et Diener, 2006). Au Burkina Faso, des études menées en milieu rural sur la quantification d'eau grises par concession ont donné des valeurs variant entre 70 à 147 l/j/concession (Sangaré 2011). Ikio (2011) a rapporté des valeurs comprises entre 67 et 344,21 l/j/concession à la même année.

2. Paramètres physico-chimiques et microbiologiques

La qualité des eaux grises est caractérisée par leur composition chimique et microbiologique.

a. Les paramètres physico-chimiques

Le pH : en général, les eaux grises des lessives sont alcalines et les valeurs peuvent atteindre 10, contrairement aux eaux de vaisselle qui ont un pH variant de 5,9 à 7,4 (Li et al., 2009). Des études menées au Burkina Faso, ont révélé des valeurs de pH des eaux grises de douche variant entre 6,9 et 7,8 (Sangaré, 2011) en milieu rural et entre 7,9 et 10,3 en milieu péri-urbain (Adoum, 2011). Les valeurs limites pour une eau d'irrigation se situent entre 6,5 à 8,5. (Department of water affairs and forestry, 1996).

La température des eaux grises est souvent plus élevée que celle des eaux d'approvisionnement et est comprise entre 18°C et 30°C ; elle peut atteindre un maximum de 25 à 35°C (Crites et Tchobanoglous, 1998). La température influe considérablement sur l'activité microbiologique, la solubilité des gaz et la rapidité des réactions (Sana, 2009).

La conductivité électrique des eaux grises est comprise entre 300 et 1500µS/cm (Morel et Diener 2006). Cependant des études menées par Li et al. (2008) ont montré des valeurs de conductivité pouvant atteindre 4500µS/cm. Lorsque la conductivité électrique est très importante dans les eaux destinées à l'irrigation, elle peut avoir des conséquences néfastes aussi bien sur le sol que sur les plantes (Abdul-Hameed et al., 2010).

Les matières en suspension (MES) varient de 50 à 300 mg/l; elles peuvent cependant excéder 1500 mg/l (Del Porto and Steinfeld, 1999). Une étude menée par Schenck (2012) a rapporté des concentrations en MES variant entre 194 et 1142 mg/l dans la zone périurbaine de Kamboinsé au Burkina Faso. Une concentration élevée en MES augmente la turbidité des eaux grises et peut provoquer le colmatage des conduites (Morel et Diener 2006).

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader par voie chimique les matières organiques qu'elles soient biodégradables ou non dans un échantillon d'eau. La demande biologique en oxygène (DBO) quant à elle, mesure la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader les substances organiques biodégradables dans un échantillon d'eau pendant 5 jours à 20°C (Morel and Diener 2006). Le rapport DCO/DBO5 est un bon indicateur de la biodégradabilité des eaux grises. Des études ont montré que ce rapport se situe entre 2,9 et 3,6 (Al-Jayyousi, 2003; Jefferson et al. 2004; Li et al. 2009). Les eaux grises provenant de la lessive et de la cuisine ont des concentrations en DCO autour de 2950 mg/l et la concentration en DBO5 est de 1460 mg/l (Li et al., 2009). Ces concentrations peuvent atteindre des valeurs extrêmes de 8000mg/l pour la DCO et 4000 à 7000mg/l pour la DBO (Lina et al., 2008 ; Eklund and Tegelberg, 2010). Il a été constaté également que les eaux grises issues des douches ont des

concentrations de 600mg/l pour la DCO et 200 mg/l pour la DBO, des teneurs relativement faibles que celles issues des lessives et des cuisines (Eklund and Tegelberg, 2010). Les ablutions génèrent des eaux grises renfermant des concentrations faibles autour de 20 à 30 mg/L pour la DBO5 et 50 mg/l pour la DCO (Ahmed et al. 2008).

L'azote et le phosphore sont d'importants paramètres car ils représentent des nutriments pour les plantes. Les eaux de cuisine sont à l'origine de la présence de l'azote dans les eaux grises. Ce sont principalement les produits alimentaires qui libèrent les composés azotés dans les eaux grises de cuisine (Morel et Diener, 2006). Les détergents utilisés lors des lessives et vaisselles sont à l'origine de la présence du phosphore dans les eaux grises (Morel and Diener 2006). Le phosphore est un élément nutritif essentiel à la croissance des organismes. Le phosphore contenu dans les eaux grises peut à une certaine teneur, contribuer à l'eutrophisation des eaux de surface.

Le potassium (K^+) est également un nutriment qui joue un rôle très notable dans la fertilité du sol. Le K^+ permet d'accroître et d'améliorer le rendement et la qualité des cultures (Morel and Diener 2006). La concentration en K^+ dans les eaux grises traitées varie de 10 à 30 mg/l (FAO, 2003).

Les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) sont aussi très importants pour une meilleure productivité des plantes. Mais lorsque la teneur en ces ions atteint des valeurs extrêmes, cela peut conduire à une augmentation du pH du sol et provoquer une baisse de la teneur du phosphore dans le milieu (Al-Shammiri et al., 2005).

Le sodium est également un cation qu'on retrouve dans les eaux grises destinées à l'irrigation. Cependant la concentration de ce cation doit être contrôlée. En effet, à une forte concentration, le sodium rend le sol alcalin et cette alcalinisation conduit le plus souvent à une diminution de la perméabilité du sol (Abdul-Hameed et al., 2010), toute chose qui entrave la croissance des plantes.

Les tensio actifs sont les principaux composants des produits d'entretien ménager (Morel et Diener, 2006). Les principales sources de ces tensio actifs dans les eaux grises sont les détergents utilisés lors de la lessive et de la vaisselle ou tout autre produit de nettoyage personnel ou ménager (Morel et Diener, 2006). C'est pourquoi la quantité de tensio-actifs dans les eaux grises dépend considérablement de la quantité de détergents utilisés (Morel et Diener, 2006). Des études menées ont montré des teneurs comprises entre 17 à 40 mg/l (Friedler, 2004). Mais la concentration maximale conseillée pour une eau d'irrigation sans risque est de 8mg/L (Hijikata et al., 2011).

b. Les paramètres microbiologiques

Les eaux grises peuvent poser un risque pour la santé humaine compte tenu de leur contamination par des agents pathogènes. A la place des germes pathogènes, on y recherche notamment les coliformes fécaux dont *Escherichia coli* et les entérocoques qui sont des indicateurs de

contamination fécale pour évaluer la performance des systèmes de traitement. La contamination fécale des eaux grises dépend de la répartition par âge des membres du ménage. On note une contamination notable dans les ménages où sont présents un bon nombre d'enfants et de bébés. On enregistre en moyenne des concentrations de coliformes variant de 10^3 à 10^6 UFC/100 ml (Morel et Diener, 2006). Les agents pathogènes se retrouvent dans les eaux grises à travers le lavage des mains après les toilettes, le lavage des bébés et des enfants après la défécation, le lavage de la layette, le changement ou lavage des couches (Ottoson et al., 2003, Morel et Diener, 2006). Certains germes microbiens se retrouvent dans les eaux grises dû au lavage de la viande crue ainsi que le lavage des légumes avant la cuisson (Ottoson et al., 2003 ; Morel et Diener, 2006). En Allemagne et en Malaisie, les teneurs enregistrées sont de 10^3 à 10^6 UFC/100 ml (Li et al., 2009), mais des concentrations élevées de 10^7 à 10^8 UFC/100 ml ont été trouvées dans les eaux grises de lessive et de douche en Jordanie et au Costa Rica (Al-Jayyousi, 2003; Dallas et al., 2004). Au Burkina Faso, les études réalisées ont donné des valeurs semblables à celles obtenues en Jordanie $1,3 \times 10^7$ à $3,2 \times 10^7$ UFC/100ml, $1,6 \times 10^7$ à $6,7 \times 10^9$ UFC/100ml, $4,6 \times 10^5$ à $2,4 \times 10^7$ UFC/100ml respectivement pour *Escherichia coli*, les coliformes fécaux et les entérocoques (Schenck, 2012). Nikiema(2012) après ces étude en zone rurale a trouvé dans les effluents, des concentrations bactériennes de $2,35 \cdot 10^7$ pour *E. coli* et $9,90 \times 10^7$ pour les coliformes fécaux. Dans la zone péri-urbaine de Kamboinsé toujours au Burkina Faso, Ouédraogo (2013) a rapporté des charges bactériennes variant de $1,41 \times 10^6$ à $3,42 \times 10^8$ UFC/100ml pour *Escherichia coli*, de $1,76 \times 10^7$ à $7,05 \times 10^9$ UFC/100ml pour les coliformes fécaux, et de $4,10 \times 10^5$ à $8,29 \times 10^6$ UFC/100ml pour les entérocoques dans les eaux grises.

III. Impacts sanitaire et environnemental des eaux grises

L'utilisation des eaux grises surtout dans les pays en développement n'est pas sans conséquence sur la nature et la santé humaine. Dans ces pays à faible et moyen revenus, les eaux grises sont déversées sans traitement dans les rues, dans les caniveaux de drainage, dans les rivières ou dans les étangs. Ces comportements conduisent à la contamination des eaux de surface, à la pollution de l'environnement et à l'augmentation des risques pour la santé, surtout les maladies hydriques comme la diarrhée et le paludisme (Eklund and Tegelberg, 2010). La décomposition de la matière organique contenue dans les eaux grises se fait par des microorganismes, ce qui engendre leur prolifération et aboutit à une anaérobiose du milieu environnant avec des nuisances olfactives (Murphy, 2006 ; Hamel, 2006). Lorsque les eaux grises contiennent une concentration importante des sels dissous tels que les ions sodium et chlorure, leur utilisation en irrigation provoque la détérioration des couches du sol, en particulier dans les régions arides avec des taux d'évaporation élevés (Morel and Diener, 2006). La salinité des eaux grises provoque également la destruction des

racines des cultures et empêche leur croissance (Abdul-Hameed et al., 2010). Les tensioactifs sur le sol entraînent une réduction de la remontée capillaire (Gross et al. 2005). De plus, une concentration élevée de l'azote et du phosphore dans les eaux grises peuvent provoquer la pollution et l'eutrophisation des eaux de surface conduisant à une prolifération des cyanobactéries et d'algues. Ces dernières produisent des toxines très dangereuses pour la santé humaine (OMS, 2012).

IV. Différents systèmes de traitement des eaux grises

Pour la mise en place d'une technique d'épuration, il y'a des critères à prendre en compte afin de faire un meilleur choix. Il faut d'abord évaluer la nature des eaux usées à traiter, évaluer le niveau de performance épuratoire en comparant les résultats d'analyse aux normes en vigueur, ensuite évaluer les contraintes naturelles du site et de l'environnement, les contraintes économiques. Différents systèmes sont mis en place pour le traitement des eaux grises parmi lesquels :

1. Les filtres plantés de roseaux

Les filtres plantés de roseaux sont soit à écoulement vertical (figure 1) soit horizontal (figure 2). L'alimentation des filtres plantés à écoulement vertical se fait par bâchée, ce qui favorise des traitements anaérobies. Ils ont besoin pour fonctionner, d'une zone non saturée. Le massif filtrant est rempli de sable ou de gravier à différente granulométrie (Office international de l'eau, 2004), avec à sa surface des végétaux aquatiques notamment les roseaux. La conception des filtres verticaux est particulièrement adaptée au traitement des eaux chargées en MES dont l'accumulation en surface évite un colmatage de l'intérieur du massif filtrant. Le niveau de performances épuratoires des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical sont satisfaisantes pour la DBO5 (98%), la DCO (95%) et les MES (98%) mais limitée pour les germes pathogènes avec un abattement de 1 à 2 u.log (Office International de l'eau, 2004).

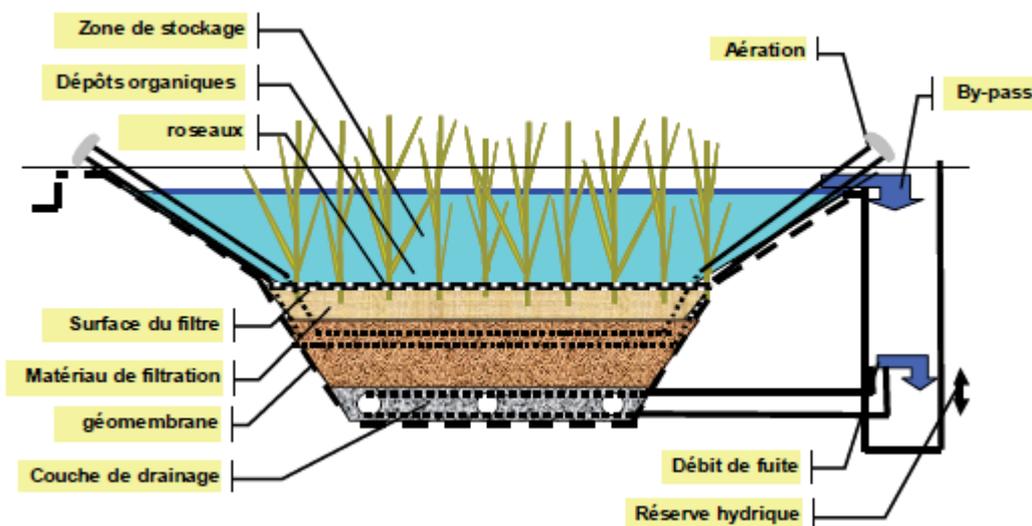


Figure 1:Schéma de principe du filtre planté à écoulement vertical

(Source :Molle et al. 2010)

Les filtres à écoulement horizontale (figure 2) sont constitués de bassins remplis de sable grossier ou de gravier fin de façon homogène. A cause de la charge organique moindre et d'une grande surface, les filtres à écoulement horizontal sont alimentés en continu. Contrairement au filtre à écoulement vertical, le filtre horizontal a un massif filtrant, entièrement saturé en eau. Le seul point commun est la présence de roseaux qui y sont également plantés (Office international de l'eau, 2004). Les filtres horizontaux sont applicables pour le traitement secondaire des eaux peu concentrées de petites collectivités ayant subi une décantation préalable, le traitement tertiaire après un traitement biologique classique ou après des filtres plantés à écoulement vertical et enfin, pour le traitement des eaux pluviales. Les performances épuratoires sont de 86% pour la DBO5, 37% pour les MES et 27% pour l'azote total et les phosphore total (Office international de l'eau, 2004).

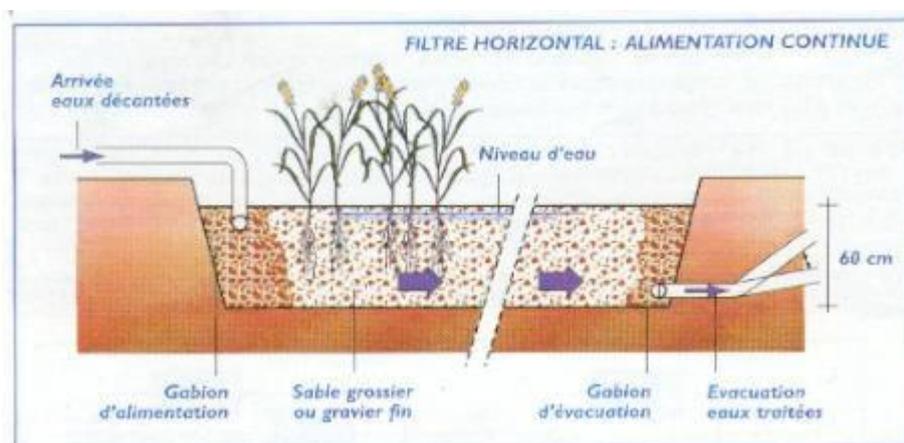


Figure 2 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal

(Source : CEMAGREF 1999)

2. Les filtres enterrés

Outre les filtres plantés, nous avons les filtres enterrés (figure 3) qui sont des systèmes de traitement biologique par culture bactérienne. Ils permettent l'épuration des eaux usées par filtration lente au travers d'un milieu granulaire fin (Office internationale de l'eau, 2004). D'après les études menées par le CEMAGREF (1999), les filtres enterrés sont applicables à des installations de capacité comprise entre 50 et 300 équivalents – habitants (EH). Dans de bonnes conditions de conception et d'exploitation, cette filière permet d'obtenir des rendements épuratoires très élevés (95 %) sur les matières organiques. L'élimination des pollutions azotées et phosphorées peut atteindre 70 %. L'aération du massif filtrant, indispensable à un bon fonctionnement, est assurée grâce aux principes de l'alimentation par bûchées avec de l'alternance de phases d'alimentation et de repos. Le fonctionnement de ce système comporte plusieurs étapes ; traitement primaire comprenant une ou plusieurs fosses septiques, suivis d'un prétraitement qui est soit à fonctionnement horizontale, soit à fonctionnement verticale. Contrairement aux filtres plantés, ce système n'intègre pas l'utilisation de végétaux aquatiques.

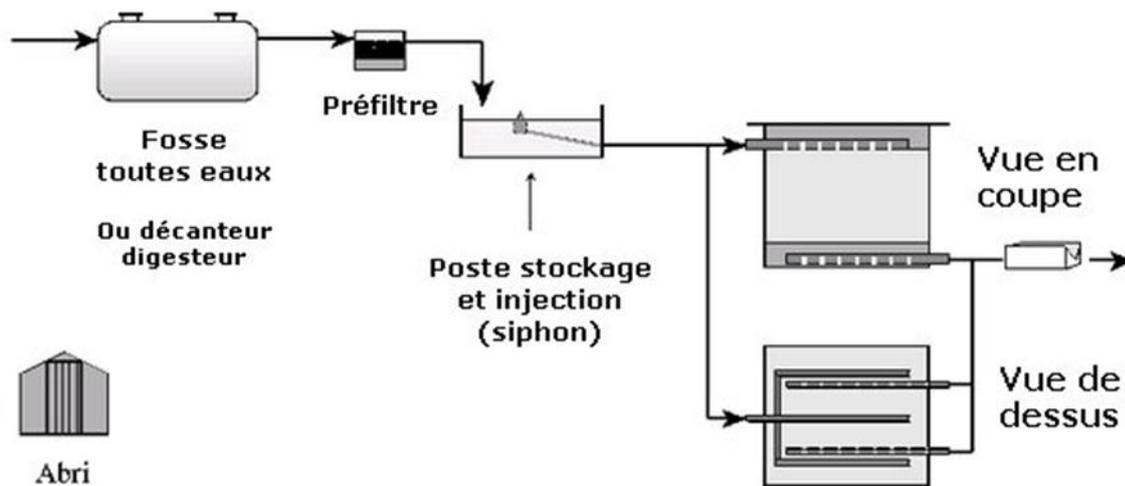


Figure 3 : Schéma de principe d'une station par filtres enterrés.

(Source CEMAGREF 1999)

3. Le système d'épuration par épandage

Le système d'épuration par épandage peut être souterrain ou superficiel et n'utilise pas de végétaux. L'épandage souterrain est applicable pour des capacités inférieures ou égales à 300 EH. Le niveau de performance épuratoire est plus élevé que celui des cultures fixes (Office international de l'eau, 2004). Quant à l'épandage superficiel, il est mis en place pour des capacités inférieures à 250 EH (Office international de l'eau, 2004). Les performances de traitement sont identiques à celles d'un épandage souterrain. Comme pour la technique d'épandage souterrain, l'épuration des eaux est

réalisée par le sol en place ; la seule différence majeure est la distribution des effluents à l'air libre dans des billons.

4. Système par filtration-percolation et dénitrification

Au Maroc, une autre technique de traitement des eaux usées domestiques est appliquée et jugée très satisfaisante. Il s'agit d'un système de traitement par filtration-percolation et dénitrification en milieu semi-aride. Les eaux issues de ce traitement respectent les normes requises par l'OMS et sont réutilisables en irrigation. Les effluents traités donnent une teneur en DCO de 8mg/l et de 25mg/l en DBO (Office international de l'eau, 2004).

5. Système de traitement par "bac incliné"

Le système de "bac incliné" peut utiliser deux à plusieurs bacs en série. L'eau à traiter coule de façon gravitaire dans les bacs. Cependant la disposition en série des bacs entraîne une circulation verticale de l'eau à traiter d'un bac à un autre. Ce système a été appliqué au Japon pour le traitement des eaux grises destinées à l'irrigation (Itayama et al., 2006). Les eaux coulent de façon gravitaire dû à la pente d'inclinaison des bacs de (1/20) et les matériaux utilisés sont fins ou grossiers. C'est un système qui permet l'utilisation d'une large gamme de matériaux filtrants. Au Japon, les rendements obtenus au laboratoire sont de 94 à 97% pour la DCO, 88 à 89% pour la DBO et 90% pour les tensioactif (Ushijima et al., 2013). Le système présente un risque élevé de colmatage surtout lorsque le matériau filtrant est à granulométrie fine.

Les valeurs en sortie de tous ces systèmes sont comparées à des valeurs limites pour éviter tout impact négatif sur le milieu récepteur.

V. Normes de réutilisation des eaux grises en irrigation

Les eaux usées doivent avoir une certaine qualité permettant leur réutilisation en agriculture. Les traitements apportés aux eaux grises brutes devraient permettre d'obtenir cette qualité requise pour éviter et limiter tout impact sur la santé et sur l'environnement. Les résultats d'analyse des eaux grises sont confrontés aux normes afin d'apprécier leur potentiel réutilisation en agriculture. Le tableau 1 présente les valeurs limites de réutilisation des eaux grises en irrigation, proposées par plusieurs études.

Tableau 1 : Normes de réutilisation des eaux grises en irrigation

Paramètres	Unités	Valeurs	
		limites	Sources
pH		6,5-8	WHO (2006)
Température	°C	<35	S.E.E.E(2007)
Conductivité	µS/cm	<3000	WHO (2006)
MES	mg/l	<450	WHO (2006)
DCO	mg/l	500	Al-Hamaiedeh (2010)
DBO	mg/l	110-400	WHO (2006)
Na ⁺	mg/l	69	S.E.E.E(2007)
Ca ²⁺	mg/l	<200	Khodapanah et al, (2009)
Mg ²⁺	mg/l	<200	Khodapanah et al., (2009)
SAR		3-9	WHO (2006)
Cl ⁻	mg/l	<350	S.E.E.E(2007)
Azote Total	mg/l	5-30	WHO (2006)
NH ⁴⁺	mg/l	5-30	WHO (2006)
Surfactant	mg/l	8	Hijikata et al. (2011)
<i>E. coli</i>	UFC/100ml	10 ³ -10 ⁵	WHO (2006)

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

1) Présentation du site expérimental

L'étude s'est déroulée à la station de traitement et d'épuration des eaux usées (STEP) de 2iE Ouagadougou (1°28 à 1°36 de longitude ouest et 12°20 à 12°26 de latitude nord) (Figure 4). Les eaux grises sont collectées dans le quartier Zogona de la ville de Ouagadougou à proximité du 2iE. Le climat est de type soudano-sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 700 mm ; l'évapotranspiration est évaluée à 2000 mm/an. La ville de Ouagadougou connaît deux saisons : une saison des pluies et une saison sèche. Les mois les plus pluvieux sont juillet, août et septembre, avec les quantités maximales de 224 mm en Août (Pöyry, 2010). L'évaporation est plus élevée entre avril et juillet (3000 mm/an) (Pöyry, 2010). Les températures se situent entre 17 et 42°C.

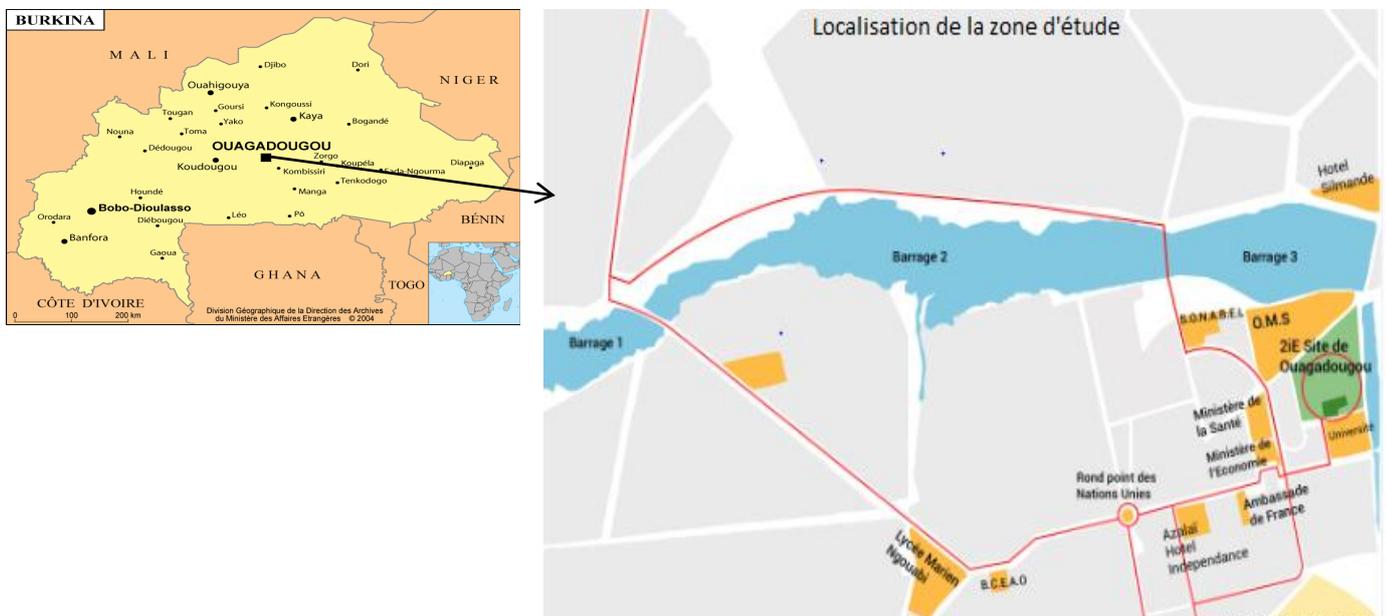


Figure 4 : Localisation de la zone d'étude.

(Source : Division géographique de la direction des affaires étrangères Burkina Faso).

2) Description des unités pilotes

Au total, quatre unités pilotes différentes les unes des autres, ont été utilisées dans cette étude (Figure 5). Chaque unité pilote est constituée de trois (3) composantes qui sont (Figure 6) :

(i) Un fût de collecte qui reçoit les eaux grises brutes provenant directement des familles. Le fût est muni d'un filet pour le prétraitement. Ce filet retient donc les matières grossières comme les particules de nourriture, les épluchures et parfois même des sachets plastiques. Le fût est rempli de granite de diamètre compris entre 1 et 6 mm à une hauteur de 35 cm.

(ii) Un bac supérieur d'une longueur de 1 m rempli également de granite de granulométrie variant entre 1 et 6 mm à une hauteur 15 cm. Ce bac est incliné d'une pente de 2% ; ce qui permet l'écoulement gravitaire des eaux à traiter.

(iii) Et un bac inférieur de longueur 2 ou 4 m, construit en ciment et rempli de granite à 15 cm de haut, incliné également à 2% permettant l'écoulement gravitaire de l'eau.

La différence entre les quatre dispositifs réside au niveau des bacs inférieurs et porte sur la longueur et la largeur ; une autre différence existant entre les pilotes se situe au niveau de la taille du matériau granitique.



Figure 5 : Vue d'ensemble des quatre pilotes.



Figure 6 : Schéma montrant les différents composants des pilotes

Le tableau 2 montre les particularités qui existent entre les quatre pilotes. Les pilotes diffèrent les uns des autres par la longueur et la largeur de leur bac inférieur et aussi par la taille du matériau granitique dans ces bacs inférieurs.

Tableau 2 : Différences entre les pilotes

Bac inférieur	Longueur (m)	Largeur (cm)	Taille du matériau granitique (mm)
Pilote 1	4	20	1-2
Pilote 2	2	30	1-2
Pilote 3	2	20	1-4
Pilote 4	2	30	1-4

3) Collecte des eaux grises et alimentation des pilotes

Les eaux grises sont collectées dans des familles situées dans le quartier Zogona de Ouagadougou, à proximité du site expérimental. Cinq (5) familles ont été contactées afin d'avoir le maximum d'eaux grises. Les fûts de 100 l sont déposés dans les familles les soirs (entre 15h et 18 h). La collecte se fait les matins à 7 h pour éviter que les eaux n'atteignent 24 h de stockage avant l'analyse de certains paramètres. A l'aide des bidons de 20 à 30 l, les eaux grises recueillies sont transportées sur le site expérimental pour l'alimentation des pilotes. Les pilotes sont alimentés par bâchée en raison de trois alimentations par jour dont 20 l par alimentation. Au total, 60 l d'eaux grises sont utilisés par jour et par pilote. Les prélèvements ont lieu à la deuxième alimentation.

4) Echantillonnage et mesure des paramètres *in situ*

L'échantillonnage a été réalisé pendant deux mois (Juillet, Août). Les paramètres sont déterminés à partir de deux prélèvements hebdomadaires les semaines du mois de Juillet et un prélèvement hebdomadaire pour le mois d'Août. Les prélèvements sont faits avec des flacons en polyéthylène de 1l pour les analyses physico-chimiques et des flacons en verre de 500 ml préalablement stérilisés pour les analyses bactériologiques. Les prélèvements sont effectués à l'entrée et à la sortie de chaque pilote, avec des prélèvements intermédiaires à la sortie des fûts de collecte. Un second prélèvement intermédiaire a lieu à la sortie du premier bac inférieur du pilote 1. Les échantillons prélevés sont mis dans une glacière munie d'accumulateurs de froid puis transportés au laboratoire où ils sont conservés au réfrigérateur pour les différentes analyses.

Le pH, la température, l'oxygène dissous et la conductivité sont déterminés *in situ* à l'aide de deux multi-paramètres WTW 340i et Multiline P3 pH/Oxi-SET.

5) Paramètres physico-chimiques

La demande biochimique en oxygène (DBO5) est déterminée par la méthode respirométrique à l'aide du système OxiTop dans une enceinte thermostatée à 20°C à l'obscurité.

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est déterminée par la méthode de digestion en milieu acide et en présence de dichromate de potassium à la température 150°C pendant 2 h. La lecture se fait avec le spectromètre HACH DR 2000 à 620 nm.

Pour la détermination des Matières En Suspension (MES), l'eau à analyser est filtrée sur une membrane microfibre de verre Whatman et la masse de produit retenu est évaluée par pesée différentielle après passage à l'étuve à 105°C pendant 1 h. Le calcul de la concentration de MES a été fait selon la formule suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = [(M2-M1)/V] * 1000$$

Avec M1 : Masse de la membrane avant filtration en mg

M2: Masse de la membrane après filtration et séchage en mg

V : Volume de l'eau utilisé en ml

6) Paramètres microbiologiques

Les microorganismes indicateurs de contamination fécale ont été recherchés. Il s'agit des coliformes fécaux dont *Escherichia coli* et des entérocoques. Les coliformes fécaux et *E. coli* sont recherchés sur milieu Chromocult Coliforme Agar et les entérocoques sur milieu Slanetz et Bartley. Les échantillons ont été convenablement dilués etensemencés en raison de 2 boîtes de Pétri par dilution. Les boîtes sont incubées à 37°C pendant 48 h pour les entérocoques et à 44,5°C pendant 24 h pour les coliformes fécaux et *E. coli*. Les charges bactériennes pour 100 ml sont estimées à partir de la formule suivante :

$$N = [(n_1+n_2)/2 (v*d)] * 100$$

N : nombre de bactéries pour 100 ml d'échantillon (UFC/100 ml)

n₁ : nombre de colonies caractéristiques comptées sur la boîte de Pétri 1

n₂ : nombre de colonies caractéristiques comptées sur la boîte de Pétri 2

d : taux de dilution de l'échantillonensemencé

v : volume d'essai (ml)

Le rendement épuratoire (abattement) a été déterminé comme suit :

$$\text{Abattement (u.log)} = \log_{10} (N_i) - \log_{10} (N_e)$$

Avec N_i = nombre de bactéries pour 100 ml de l'influent

N_e = nombre de bactéries pour 100 ml de l'effluent

7) Traitement des données

Les résultats ont été traités avec les logiciels Excel et R (version 3.0.1). La comparaison des performances des pilotes a été réalisée en utilisant le test ANOVA suivi d'un test de Tukey.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I) RESULTATS

Evaluation du pouvoir épuratoire

1) Abattement des indicateurs bactériens de contamination fécale

a) Coliformes fécaux

La figure 7 présente l'abattement des coliformes fécaux dans chacun des quatre (4) dispositifs ; le plus faible taux a été obtenu dans le pilote 3 et le taux le plus élevé est observé dans le pilote 1. Les pilotes 1, 2 et 4 ont connu des abattements supérieurs à 2 u.log excepté le pilote 3 qui enregistre un abattement moyen inférieur à 2 u.log.

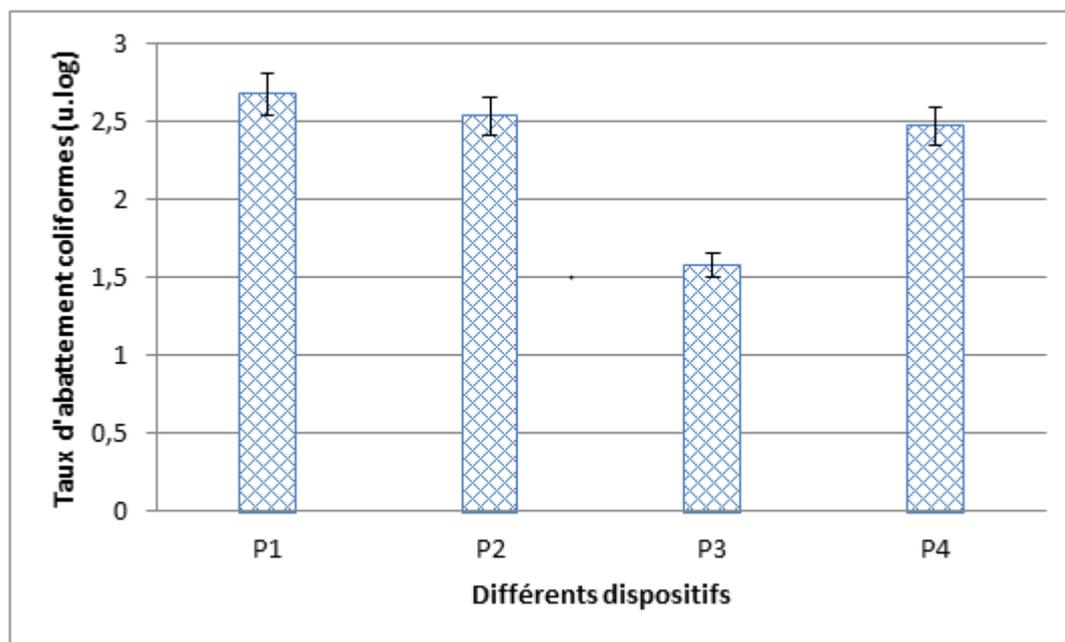


Figure 7 : Abattement des coliformes fécaux dans les différents dispositifs

b) *E. coli*

La figure 8 nous montre l'abattement de *E. coli* ; nous enregistrons un fort taux dans le dispositif 1 et le plus faible taux dans le dispositif 3. Chacun des quatre dispositifs a donné des abattements moyens supérieurs à 2 u.log.

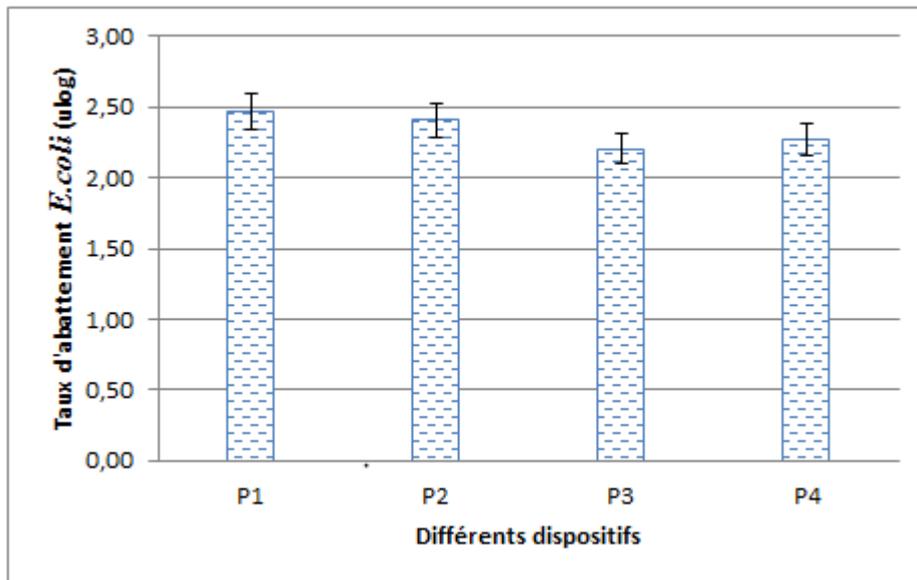


Figure 8 : Abatement de *E. coli* dans les quatre pilotes

c) Entérocoques

La figure 9 présente l'abattement des entérocoques dans chaque pilote. Nous notons également le taux le plus élevé dans le pilote 1 et le plus faible taux dans le pilote 3. Comme enregistré précédemment au niveau des coliformes, seul le dispositif 3 présente un abattement moyen des entérocoques inférieur à 2 u.log.

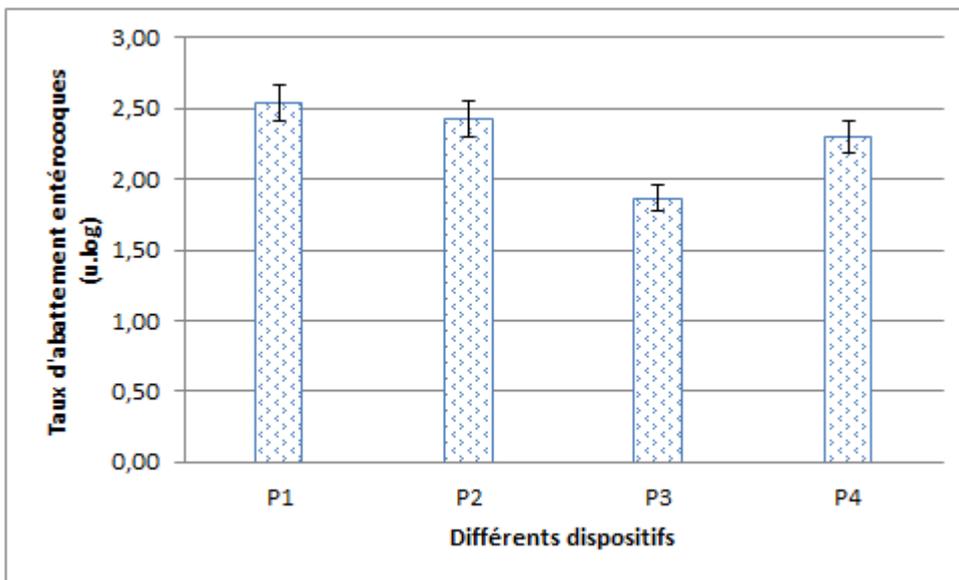


Figure 9 : Abatement des entérocoques

Les eaux grises brutes collectées sont très chargées (Tableau 3 et 4). Nous avons noté durant le traitement que les charges les plus élevées dans l'eau grise brute ont été observées au niveau des coliformes fécaux avec une valeur maximale de $2,76 \times 10^{11}$ UFC/100ml. La plus faible charge a été enregistrée chez les entérocoques avec une charge minimale de 8×10^8 UFC/100ml. Les charges enregistrées chez *E. coli* varient de $9,9 \times 10^9$ à $1,10 \times 10^{11}$ UFC/100 ml pour les eaux grises brutes.

Les charges obtenues à la sortie des dispositifs de traitement ont permis d'évaluer le plus fort taux d'abattements à 2,93 u.log pour les coliformes fécaux précisément au niveau du pilote 1 et le plus faible taux au niveau du pilote 3 (1,58 u.log).

Tableau 3: Valeurs moyennes des coliformes fécaux, *E. coli* et entérocoques (UFC/100ml) dans le pilote 1 et 2.

Echantillons	Pilote 1		Pilote 2	
	Brute	Effluent	Brute	Effluent
Coliformes	2,23.10 ¹¹	5,42.10 ⁸	2,21.10 ¹¹	7,41.10 ⁸
<i>E.coli</i>	9,45.10 ¹⁰	3,39.10 ⁸	9,70.10 ¹⁰	3,75.10 ⁸
Entérocoques	1,31.10 ⁸	3,77.10 ⁵	1,32.10 ⁸	5,28.10 ⁵

Tableau 4: Valeurs moyennes des coliformes fécaux, *E. coli* et entérocoques (UFC/100ml) dans le pilote 3 et 4.

Echantillons	Pilote 3		Pilote 4	
	Brute	Effluent	Brute	Effluent
Coliformes	2,20.10 ¹¹	6,72.10 ⁹	2,22.10 ¹¹	8,64.10 ⁸
<i>E.coli</i>	9,60.10 ¹⁰	5,99.10 ⁸	9,45.10 ¹⁰	5,04.10 ⁸
Entérocoques	1,36.10 ⁸	1,83.10 ⁶	1,29.10 ⁸	6,53.10 ⁵

2) Rendement épuratoire pour la pollution organique

A la fin du traitement, une diminution des principaux paramètres organiques a été constatée à la sortie de chacun des quatre dispositifs.

- DCO

Des performances épuratoires de 67,6 %, 44,31%, 26,2% et 29% respectivement pour le pilote 1, 2, 3, 4 sont présentés dans la figure 10. Le dispositif 1 enregistre un rendement épuratoire supérieur à 60%. Les trois autres dispositifs (2, 3 et 4) ont donné des abattements inférieurs à 50%.

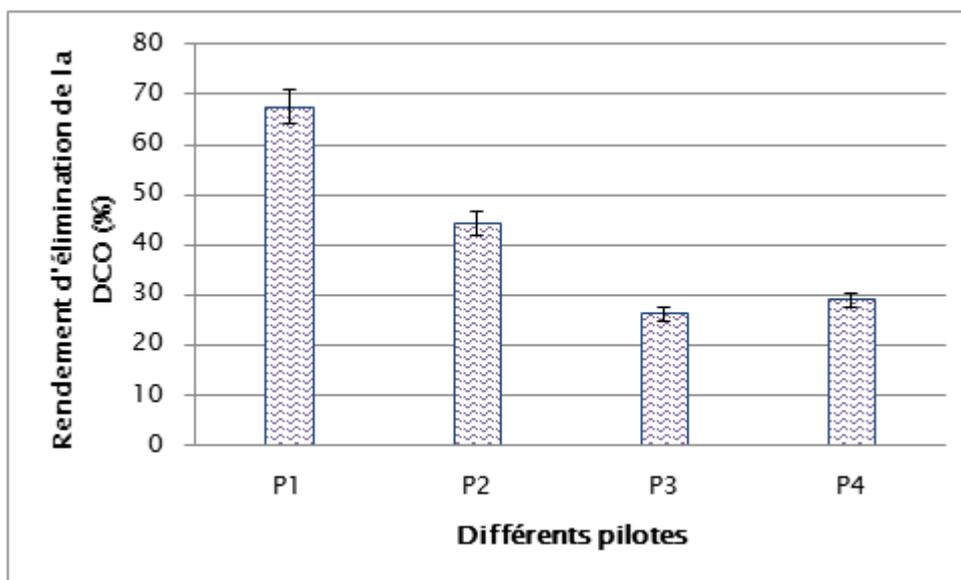


Figure 10 : Rendement d'élimination de la DCO

- **DBO5**

Des rendements élevés ont été enregistrés pour la DBO5 au niveau de tous les pilotes avec le meilleur rendement au niveau du pilote 1. En effet, les rendements d'élimination de la DBO5 sont respectivement de 95,56%, 82,27%, 62,65%, et 68,98% pour le pilote 1, 2, 3 et 4 (Figure 11).

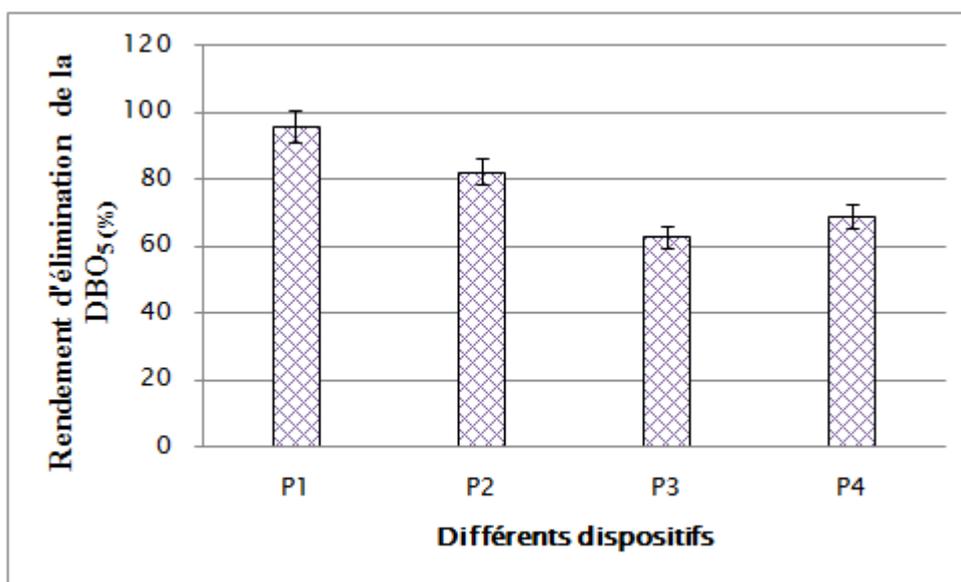


Figure 11 : Rendement d'élimination de la DBO5

- **MES**

La figure 12 présente le rendement d'élimination des MES à la sortie des différents pilotes. Seul le pilote 3 a un rendement moyen inférieur à 60%. De bons rendements sont enregistrés dans les trois autres dispositifs.

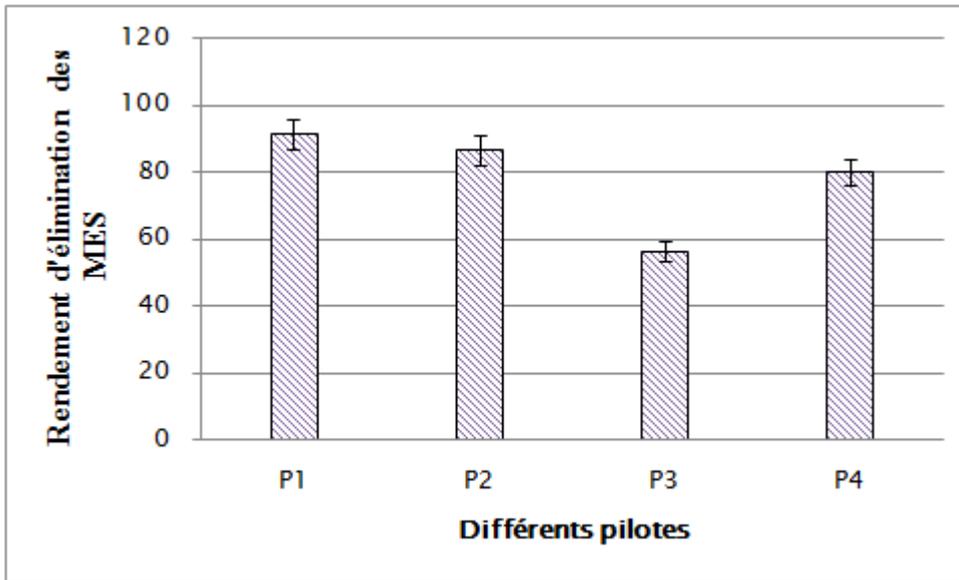


Figure 12 : Rendement d'élimination MES

3) Les paramètres mesurés *in situ*

Les valeurs moyennes des paramètres mesurés *in situ* sont représentées dans le tableau 5. Le pH minimum des eaux grises brutes est de 6,19 avec un maximum de 7,45. Les eaux grises traitées ont leur pH variant entre 7 et 8. Le pH 8 est surtout observé à la sortie du pilote 1.

Les températures des eaux brutes ont varié entre 23 et 32 °C et celles des eaux traitées, entre 24 et 35 °C. La conductivité minimale dans l'effluent est de 772 µS/cm et la maximale enregistrée au cours de cette étude est de 2230 µS/cm.

Tableau 5: Valeurs moyenne des paramètres *in situ*

		Pilote 1	Pilote 2	Pilote 3	Pilote 4
Echantillons	Eau brute	effluent	effluent	Effluent	effluent
pH	6,76	8,53	7,54	7,07	7,18
Température (°C)	27,6	29	31,23	30,85	31,41
Conductivité (µS/cm)	2401,66	772	2210	2230	1998,57

4) Résultats de l'analyse statistique

En utilisant les concentrations résiduelles et en entrée, l'analyse statistique a donné une valeur de P de l'ANOVA égale à $2,2 \cdot 10^{-16}$ pour la comparaison des pilotes sur l'abattement des germes bactériens (coliformes fécaux, *E.coli* et entérocoques), pour une valeur de alpha égale à 0,05. Les valeurs de Tukey enregistrées après le test statistique sont toutes supérieures à alpha lorsque nous comparons les pilotes entre eux. Seule la comparaison des effluents issus des pilotes avec les eaux grises brutes donne une valeur de Tukey inférieure à alpha.

Pour ce qui concerne la comparaison des pilotes sur l'élimination de la pollution organique, les tests statistiques ont donné une valeur de P de l'ANOVA égale à $1,63 \cdot 10^{-5}$ pour la DBO, $3,634 \cdot 10^{-4}$ pour la DCO et $1,246 \cdot 10^{-4}$ pour les MES montrant qu'il y'a au moins une différence significative entre les valeurs en sortie des différents pilotes et les valeurs en entrée. La comparaison des valeurs enregistrées dans les effluents des différents pilotes donne des valeurs de Tukey supérieures au seuil alpha. Les tests statistiques réalisés sur l'abattement en coliformes fécaux montrent qu'il y a une différence significative entre l'eau brute et les effluents au niveau des 4 pilotes (Figure 13). S'agissant de la différence entre les pilotes, les tests ne donnent pas une différence significative (Figure 13). Ici, nous constatons que les valeurs minimales et les médianes des quatre pilotes sont pratiquement les mêmes. Seule la valeur maximale du pilote 3 dépasse légèrement celle des trois autres pilotes.

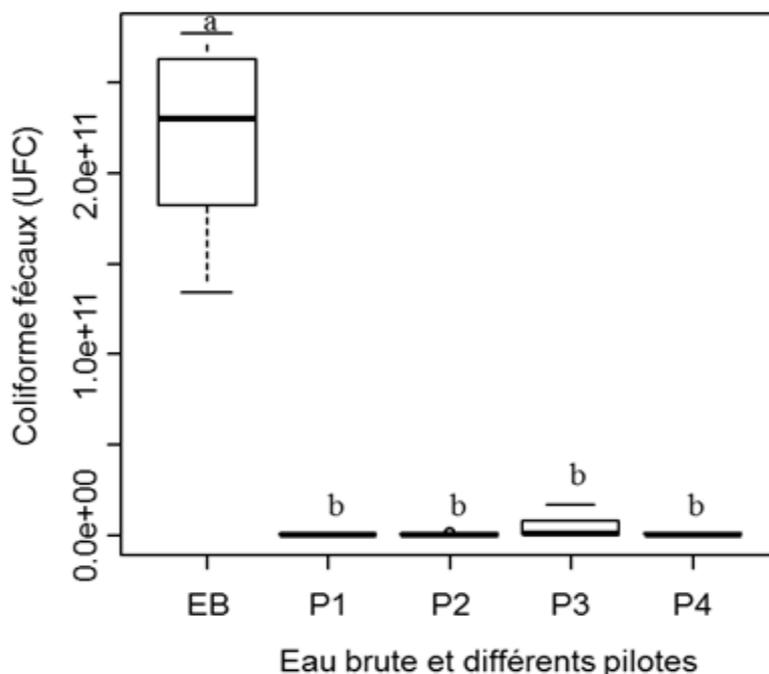


Figure 13 : Comparaison des pilotes sur l’abattement en coliformes fécaux

EB = Eaux brutes. P = pilote. Les lettres différentes montrent qu’il y a une différence significative. Les mêmes résultats sont obtenus pour *E.coli*. Les résultats des tests statistiques montrent que la différence n’est pas significative entre les quatre pilotes (Figure 14).

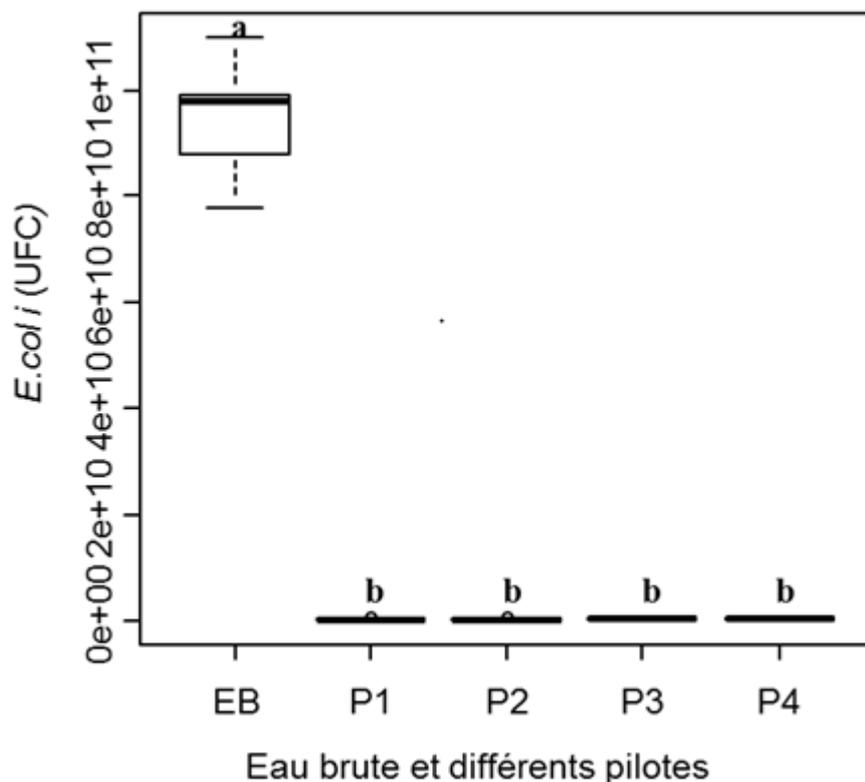


Figure 14 : Comparaison des pilotes sur l’abattement en *E. coli*

EB = Eaux brutes. P = pilote. Les lettres différentes montrent qu’il y a une différence significative.

Tout comme au niveau de l'abattement des coliformes fécaux et des *E. coli*, les résultats de l'analyse statistique n'ont pas donné de différence significative entre les quatre pilotes. La figure 15 présente les résultats de test statistique sur la comparaison de l'élimination des entérocoques entre les pilotes.

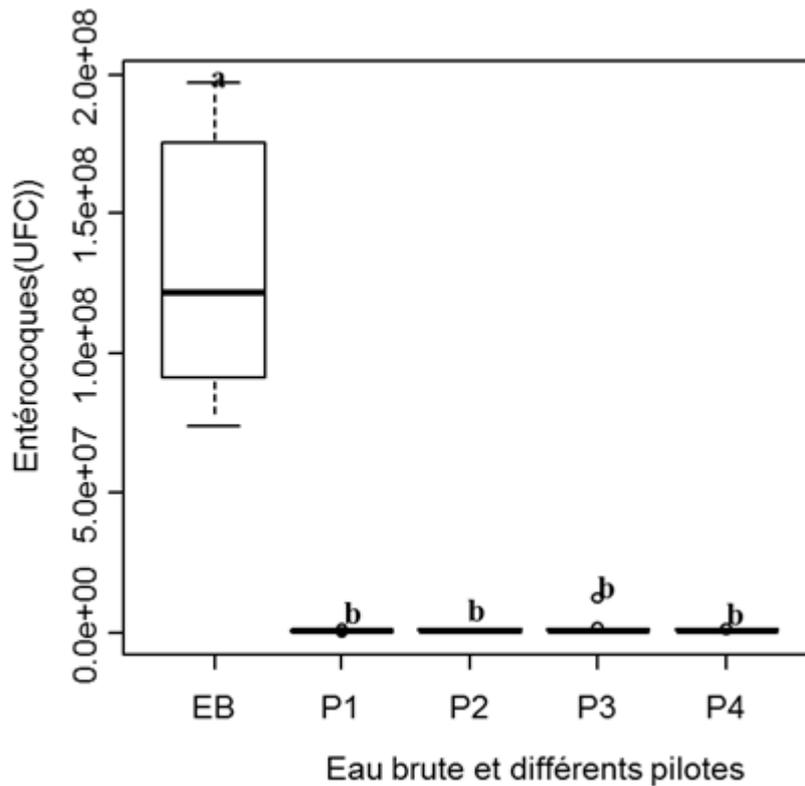


Figure 15 : Comparaison des pilotes sur l'abattement en entérocoques

EB = Eaux brutes. P = pilote. Les lettres différentes montrent qu'il y a une différence significative.

Quant à l'élimination des matières en suspension, nous constatons une différence nette également entre l'eau brute et l'eau traitée à la sortie des quatre pilotes. Nous remarquons aussi que la différence entre les valeurs minimales des quatre pilotes n'est pas marquée, de même qu'au niveau des médianes. Seul le pilote 3 présente une valeur maximale supérieure aux trois autres pilotes. Mais l'analyse statistique nous indique que la différence n'est pas significative (Figure 16)

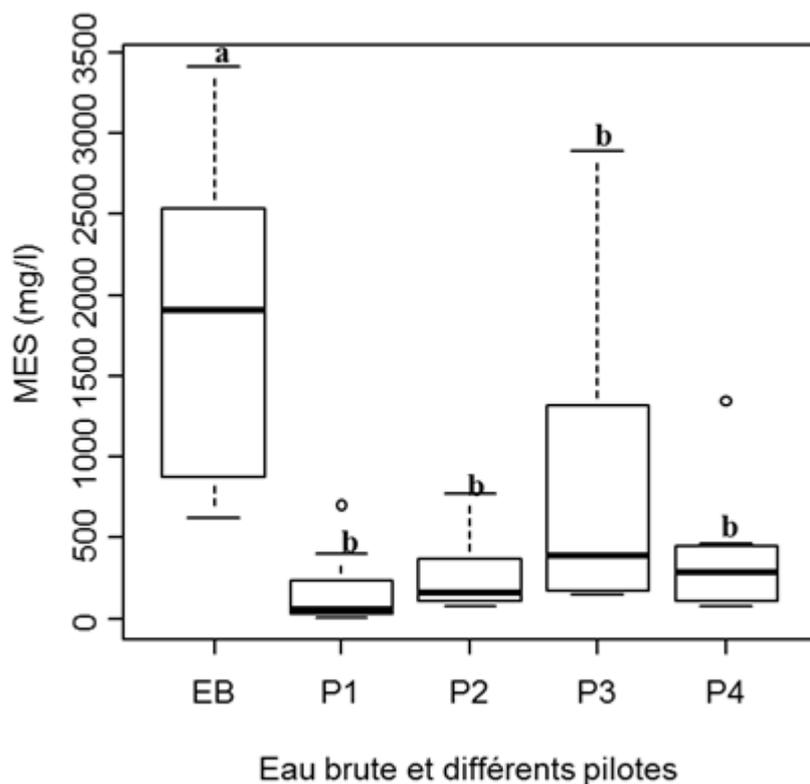


Figure 16 : Comparaison des pilotes sur l'élimination des MES

EB = Eaux brutes. P = pilote. Les lettres différentes montrent qu'il y a une différence significative.

La figure 17 présente les résultats des tests statistiques sur l'élimination de la DCO. Ces résultats montrent que les valeurs maximales des quatre pilotes sont presque égales. La plus petite valeur du pilote 2 équivaut presque à celle du pilote 1. Le pilote 3 présente une valeur minimale supérieure à celle des trois autres pilotes. Les médianes sont également différentes mais la médiane du pilote 3 et celle du pilote 4 sont sensiblement égales. Les résultats de l'analyse statistique montrent que la différence entre les pilotes n'est pas significative sauf pour le cas des pilotes 1 et 3 et les effluents issus des pilotes 1 et 2 en comparaison avec la DCO des eaux brutes.

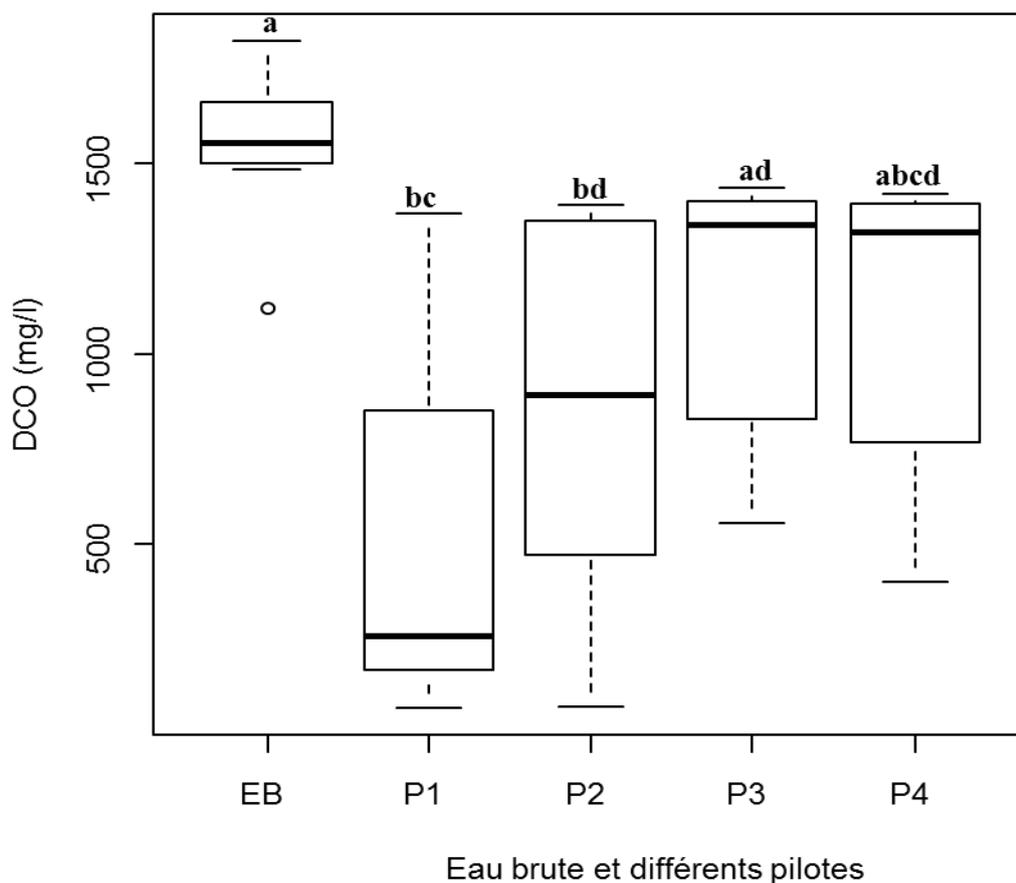


Figure 17 : Comparaison des pilotes sur l'élimination de la DCO

EB = Eaux brutes. P = pilote. Les lettres différentes montrent qu'il y a une différence significative.

La figure 18 présente les résultats des tests statistiques comparant les quatre pilotes sur leur performance d'élimination de la DBO5. Nous constatons des écarts au niveau des valeurs maximales et minimales des quatre pilotes, de même que les médianes. Mais malgré ces écarts, l'analyse statistique montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les pilotes.

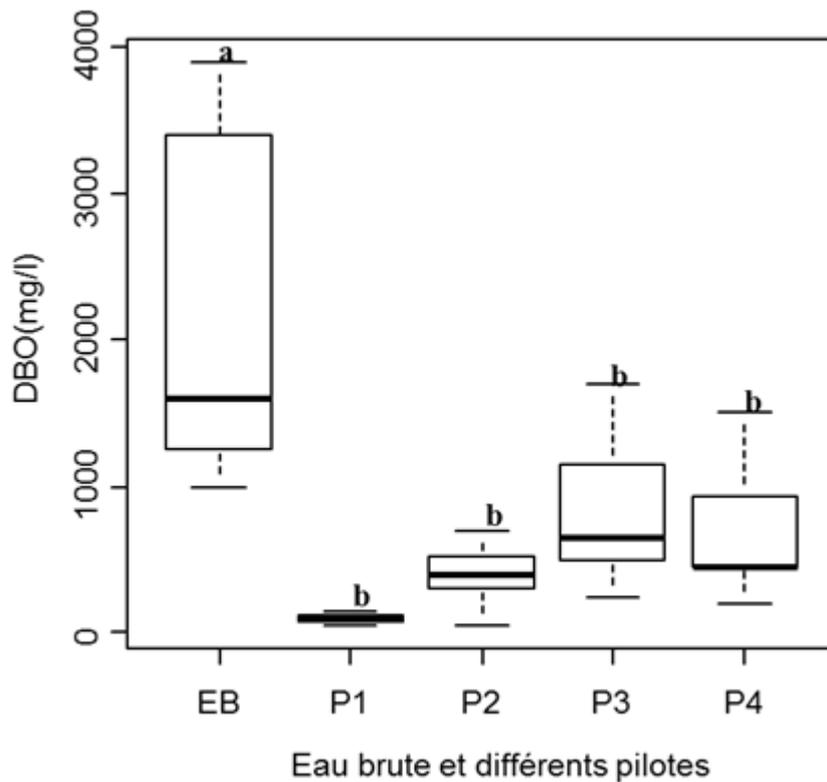


Figure 18 : Comparaison des pilotes sur le rendement l'élimination de laDBO5

EB = Eaux brutes. P = pilote. Les lettres différentes montrent qu'il y a une différence significative.

II. Discussion

1. Comparaison des résultats avec les pilotes des études réalisés en milieu rural (Nikiema, 2012) et peri-urbain (Ouédraogo, 2013).

Lorsque nous comparons les résultats de nos quatre pilotes (après modifications) aux anciens pilotes dont les performances ont été étudiées antérieurement, nous remarquons une amélioration des performances épuratoires. En effet en 2012, les moyennes des abattements bactériens rapportées par Nikiema (2012) sont de 2,03 u.log, 1,66 u.log et 0,90 u.log respectivement pour *E. coli*, les coliformes fécaux et les entérocoques. La moyenne des rendements d'élimination de la pollution organique sont de 73% pour les matières en suspension, 54% et 80% respectivement la DCO et la DBO. Nous pouvons dire qu'il y a eu une amélioration des performances épuratoires car les résultats de nos études sont supérieurs à ceux de Nikiema (2012). Entre Mars et Avril 2013, une étude menée par Ouédraogo (2013) en milieu péri-urbain a donné des abattements bactériens de l'ordre de 0,77 à 1,9 u.log, 0,56 à 1,25 u.log et 0,54 à 1,03 u.log respectivement pour *E. coli*, les coliformes fécaux et les entérocoques. Quant à l'élimination de la pollution organique, les abattements obtenus sont de 52 à 80%, 43 à 76%, et 66 à 81% respectivement pour la DCO, la DBO et de les MES. En comparant ces résultats avec les résultats de nos études nous constatons une

amélioration des performances épuratoires. Cette amélioration des performances épuratoires serait le résultat de deux facteurs. Tout d'abord l'utilisation de matériaux granitiques plus fins comparativement aux études antérieures: (1-6mm) pour les fûts de collecte et les bacs supérieurs et (1-4mm et 1-2mm) pour les bacs inférieurs contre 1- 9mm (Nikiema, 2012) et 1-9 mm pour le fût de collecte, 1-6 mm pour le bac supérieur et 1-4 mm pour le bac inférieur (Ouédraogo, 2013). Le deuxième facteur serait la modification apportée sur la largeur et la longueur des bacs inférieurs des dispositifs de traitement pour notre étude. Cette modification a joué un rôle considérable dans l'amélioration des performances épuratoires. En effet, le pilote 1 dont la longueur du bac inférieur est deux fois supérieure à celle des trois autres pilotes a enregistré les plus forts abattements bactériens et de rendement épuratoire de la DCO, de la DBO et des MES. De même, le pilote 2 a permis d'obtenir de bons rendements très proches de ceux obtenus au niveau du pilote 1, ceci serait l'effet de la largeur du bac inférieur du pilote 2 qui est supérieur à celle du pilote 1. Les abattements enregistrés au niveau du pilote 3 confirment l'impact de la largeur et de la longueur, puisque c'est à la sortie de ce pilote que nous avons enregistré les plus faibles abattements bactériens et les plus faibles rendements d'élimination de la pollution organique. Toute chose qui montre que la longueur et la largeur ont un effet positif sur l'amélioration des abattements bactériens et de l'élimination de la pollution organique.

2. Comparaisons des performances des différentes unités pilotes

Les paramètres étudiés pour l'évaluation des abattements de la pollution organique et bactérienne ont été les MES, la DCO, la DBO5, les coliformes fécaux, *E. coli* et les entérocoques. De cette étude, nous notons que le pilote 1 enregistre le plus fort abattement et le pilote 3 le plus faible abattement, aussi bien pour les pollutions organiques que pour les pollutions bactériennes.

En comparant les pilotes 1 et 2, statistiquement il ressort que la différence n'est pas significative au niveau des abattements bactériens. En effet, la comparaison statistique entre les concentrations bactériennes dans les effluents des différents pilotes et les eaux brutes donne une valeur de P de l'ANOVA ($2,2 \cdot 10^{-16}$) inférieur au seuil alpha (0,05) ce qui signifie qu'il existe au moins une différence significative. Mais cette différence significative n'existe pas entre les deux pilotes qui ont une valeur de Tukey supérieur au seuil alpha. En outre, il a été enregistré en moyenne à la sortie du pilote 1 des abattements de 2,67 u.log, 2,47 u.log, 2,54 u.log respectivement pour les coliformes fécaux, *E. coli* et les entérocoques contre 2,53 u.log 2,42 u.log 2,43 u.log respectivement pour les coliformes fécaux, *E. coli* et les entérocoques à la sortie du pilote 2. Quant à l'élimination de la pollution organique, nous constatons que le rendement épuratoire du pilote 1 est plus élevé que le rendement épuratoire du pilote 2. Ces rendements épuratoires sont de 67,6%, 95,56%, 91,37%

respectivement pour la DCO, la DBO5 et les MES à la sortie du pilote 1 et de 44,31%, 82,27%, 86,52% respectivement pour la DCO, la DBO5 et les MES à la sortie du pilote 2. Cette différence pourrait être liée à la longueur du bac inférieur du pilote 1 qui est deux (2) fois supérieure à celle du bac inférieur de l'unité pilote 2. Sauf pour les pilotes 1 et 3 concernant la DCO, cette différence n'est pas significative. Le bac inférieur du dispositif 2 étant plus large que celui du dispositif 1 et ayant été rempli de même taille de matériau (granite 1-2mm) fait que l'abattement à la sortie du dispositif 2 est très proche de celui du pilote 1. En outre les pilotes 1 et 2 sont les deux dispositifs de traitement où il a été constaté un début de colmatage le 33^{ème} jour et 47^{ème} jour de l'expérience respectivement pour le pilote 1 et le pilote 2. Ce colmatage a été matérialisé par une submersion d'eau au niveau du premier bac inférieur du pilote 1 avec l'écoulement d'eau ralenti (1 litre d'eau collecté en 1h 29 mn contre 1 litre d'eau collecté en 48 mn en situation normale). Pour ce qui concerne le pilote 2 le colmatage a été matérialisé par un écoulement ralenti de l'eau au niveau du bac inférieur. Le temps mis pour avoir la première goutte d'eau tombée à la sortie du bac inférieur était de 1h 24 mn. Il nous a fallu donc 1h37mn pour remplir le flacon de 1litre, contre 55mn en situation normale. Néanmoins après 72h le pilote a retrouvé son débit normal d'écoulement. La concentration élevée de la charge organique polluante principalement des matières en suspension serait à l'origine du colmatage des filtres et peut diminuer leur performance selon les travaux de Morel et Diener (2006). Ce phénomène est dû au fait que les microorganismes n'arrivent plus à dégrader la concentration excessive de ces MES contenues dans le filtre, causant la fermeture des pores et entraînant le colmatage du massif filtrant (Morel et Diener, 2006). Quelques années auparavant Djédji (1991), a observé également que l'accumulation des particules en suspension entraînait la réduction de la porosité du système filtrant. Ce phénomène augmente avec la quantité d'eau écoulée.

Concernant les pollutions organiques et bactériennes résiduelles des effluents, le dispositif 1 a enregistré les concentrations les plus faibles et le pilote 3 a présenté les concentrations les plus élevées. Malgré cela, les tests statistiques révèlent qu'il n'y a pas de différence significative entre les 2 pilotes sauf pour la DCO. En considérant les rendements d'éliminations de la pollution organique, nous avons enregistré pour le pilote 1, 67,6 %, 95,56%91,37%, respectivement pour la DCO, la DBO5 et les MES contre seulement 26,2%, 62,65%, 56,29% respectivement pour la DCO, la DBO et les MES au niveau du dispositif 3. Nous remarquons que les rendements épuratoires du dispositif 1 sont presque le double des rendements obtenus au niveau du dispositif 3. Cela serait dû à la longueur du bac inférieur du pilote 1 qui est également deux fois supérieure à celle du pilote 3. Aussi la faible granulométrie du matériau granitique (1-2mm) du bac inférieur du pilote 1 permet-elle un meilleur abattement en comparaison avec le pilote 3 dont le bac inférieur contient du granite 1-4mm. Cependant, malgré les écarts marqués entre les pilotes 1 et 3, les résultats statistiques nous

montrent que cette différence n'est pas significative sauf pour la DCO. C'est également au niveau du pilote 3 que nous avons enregistré un débit d'écoulement de l'eau le plus rapide à la sortie du bac inférieur. Il suffit seulement de 21 minutes à 23 minutes pour remplir le flacon de 1 litre. Ce temps de séjour très court peut être un facteur limitant qui empêche le massif filtrant de retenir correctement les polluants organiques de même que les germes pathogènes. Ce qui pourrait expliquer les faibles abattements obtenus au niveau de ce dispositif de traitement.

En comparant le pilote 2 et le pilote 4 nous avons enregistré un plus fort abattement au niveau du pilote 2 bien que leurs bacs inférieurs aient la même largeur et la même longueur. Les taux d'abattements des germes pathogènes du dispositif 4 sont respectivement de 2,46 u.log, 2,28 u.log et 2,30 u.log pour les coliformes, *E.coli* et les entérocoques contre 2,53 u.log, 2,42 u.log et 2,43 u.log pour les coliformes, *E.coli*, et entérocoques respectivement au niveau du pilote 2. Quant aux rendements épuratoires de la pollution organique, ils sont respectivement de 29%, 68,98% et 79,98% pour la DCO, DBO5 et les MES au niveau du pilote 4 contre 44,31%, 82,27%, 86,52% respectivement pour la DCO, la DBO5 et les MES pour le pilote 2. Les tests statistiques réalisés pour appuyer cette comparaison montrent que cette différence n'est pas significative. Les abattements élevés au niveau du pilote 2 pourraient être dus à la taille de la granulométrie du bac inférieur du pilote 2 (granite 1-2mm) qui donne de meilleurs résultats d'abattement par rapport au pilote 4 dont le massif filtrant du bac inférieur est remplis du granite 1-4mm. Les études menées par Ouédraogo (2013) confirment cette affirmation. Il a obtenu des abattements bactériens qui sont de 0,77 à 1,9 u.log, 0,56 à 1,25 u.log et 0,54 à 1,03 u.log respectivement pour *E. coli*, les coliformes fécaux et les entérocoques avec du granite 1-4mm comme massif filtrant dans le bac inférieur. Ces abattements sont inférieurs à ceux que nous avons obtenus avec la granulométrie 1-2 mm. Nous avons néanmoins remarqué que les résultats de Ouédraogo sont également inférieurs à ceux que nous avons obtenus avec des matériaux de même taille granitique (1-4mm). Ceci est dû certainement aux modifications apportées sur la largeur et la pente du bac inférieur pour la réalisation de notre étude.

3. Qualité des eaux traités et impacts éventuels

Les concentrations des coliformes fécaux et *E. coli* enregistrées dans les effluents indiquent que la qualité de l'eau ne respecte pas les normes de réutilisation en agriculture (OMS, 2006). Cela peut avoir un impact négatif sur la santé humaine. Ces concentrations élevées pourraient s'expliquer d'abord par le fait que les eaux brutes étaient très chargées. Les concentrations maximales des eaux brutes enregistrées sont respectivement de $2,76 \times 10^{11}$ UFC/100ml, $1,10 \times 10^{11}$ UFC/100ml et $1,97 \times 10^8$ UFC/100ml pour les coliformes fécaux, *E. coli* et les entérocoques. Nous avons néanmoins obtenus des abattements bactériens supérieurs à 2 u.log pour les pilotes 1, 2, et 4. Ces abattements

sont supérieurs aux résultats des travaux des études antérieures et permettraient d'améliorer la qualité des eaux traitées en milieu rural. En effet, l'étude menée par Sangaré (2011) en zone rurale a montré que les concentrations bactériennes dans les eaux grises non traitées sont de l'ordre de 10^8 UFC/100 ml pour les coliformes fécaux et *E. coli* et de 10^5 UFC/100 ml pour les entérocoques. Les travaux réalisés par Nikiema (2012) en zone rurale ont donné des concentrations qui sont de $2,35.10^7$ pour *E. coli* et de $9,90.10^7$ pour les coliformes fécaux dans les eaux grises non traitées. Si nous tenons compte des taux d'abattelements enregistrés et des concentrations rapportées en zone rurale, nous espérons avoir dans les effluents des concentrations maximales de l'ordre de 10^5 pour les coliformes fécaux et *E. coli* et de 10^4 pour les entérocoques lorsque nous utilisons les mêmes dispositifs de traitement dans les villages. Ces concentrations que nous espérons obtenir dans les villages devraient être conformes à la norme OMS (2006) de réutilisation des eaux grises en irrigation restrictive. Il faudrait donc pour les pilotes situés dans les familles, augmenter la largeur et/ou la longueur du bac inférieur et maintenir le matériau granitique à 1-2mm pour les bacs inférieurs.

Les valeurs de la DCO obtenues à la sortie de chaque pilote sont de 500,75 mg/l ; 860,87 mg/l ; 1140,87 mg/l et 1097,62 mg/l respectivement pour P1, P2, P3 et P4. Et celle enregistrée au niveau de la DBO5 sont de 100 mg/l ; 400 mg/l ; 842,85 mg/l ; 700 mg/l respectivement pour P1, P2, P3 et P4. Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par Lina et al. (2008). Mais les teneurs de la DCO et de la DBO5 au niveau du pilote 1 avoisinent celle trouvées par Eklund et Tegelberg, (2010). Ils ont constaté des valeurs des eaux grises traitées des douches de 600mg/l pour la DCO et 200mg/l pour la DBO5. Toutefois, nous avons noté que la concentration de la DCO en sortie du pilote 1 est conforme à la valeur guide de réutilisation des eaux grise en agriculture (500 mg/l) proposée par Al-Hamaiedeh (2010). De même, les teneurs de la DBO5 en sortie du dispositif 1 et en sortie du dispositif 2 concordent avec les valeurs limites recommandées par l'OMS (2006) (110-400mg/l) en matière de réutilisation des eaux grises en irrigation.

Le rapport DCO/DBO5 est un bon indicateur du caractère biodégradable des eaux grises et se situent entre 2,9 et 3,6 (Al-Jayyousi, 2003; Jefferson et al., 2004; Li et al., 2009).

On note que les effluents obtenus au niveau des pilotes 2, 3 et 4 sont biodégradables avec des rapports DCO/DBO5 des effluents respectivement 2,15, 1,35 et 1,56. Ces ratios sont proches de ceux obtenus par Prathapar et al. (2006). Ils ont enregistré un rapport DCO/DBO5 de 1,28 dans les eaux grises de la lessive ce qui indique une très bonne biodégradabilité. Le ratio enregistré à la sortie du pilote 1 est de 5, une valeur supérieure à 3,6. Les matières en suspension dans les effluents ont leur valeur moyenne se situant entre 151,11 et 765,55 mg/l. Quand nous comparons ces valeurs avec les normes de la réutilisation des eaux grises pour l'irrigation (< 400 mg/l) recommandées par l'OMS, (2006), nous remarquons que seul le dispositif 3 a une valeur supérieure qui est de

765,55mg/l. Les pilotes 1, 2 et 4 respectent les valeurs limites de réutilisation des eaux grises en irrigation en ce qui concerne les MES. Les concentrations enregistrées au niveau du dispositif 3 montrent que les eaux grises en sortie de ce dispositif peuvent impacter de façon négative le sol et les cultures. En effet, Department of Water Affairs and Forestry (1996) a souligné que les concentrations en MES supérieures à la norme requise, peuvent engorger le sol et provoquer une infiltration difficile de l'eau, ce qui est nuisible pour les cultures. Les analyses ont montré aussi que les valeurs moyennes du pH se situent dans la plage de valeurs normales recommandées par l'OMS (2006) et celles recommandées par le S.E.E.E, (2007) Seul le dispositif 1 enregistre une valeur moyenne (8,53) légèrement supérieure à la norme. Dépasser ce seuil, le pH provoquerait un déséquilibre de la balance nutritionnelle des plantes (Ayers and Westcott, 1994).

Pour la conductivité électrique, les valeurs moyennes trouvées dans les quatre dispositifs respectent la plage recommandée par l'OMS,(2006). Toute conductivité au-dessus de ce seuil conduit à une salinisation du sol (OMS, 2006), et rend difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les plantes (Couture, 2003).

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion

La présente étude a permis d'évaluer les performances des différentes unités pilotes suite aux modifications portant sur la longueur ou la largeur du bac inférieur. Au terme de cette étude, nous avons noté des abattements bactériens supérieurs à 2 u.log avec un maximum de 2,93 u.log. Ces abattements, supérieurs à ceux obtenus pendant les études antérieures utilisant les premières versions des pilotes indiquent qu'il y'a eu une amélioration de l'élimination des germes bactériens. Le taux le plus élevé a été enregistré à la sortie du pilote1 suivi des pilotes 2, 4 et 3. Un ordre qui nous permet de conclure que la longueur et la largeur ont un effet sur l'élimination des germes bactériens. Nous avons néanmoins des concentrations en germes pathogènes supérieurs à la norme requise pour l'irrigation compte tenu des fortes concentrations bactériennes des eaux utilisées pour le traitement. Quant à la pollution organique et particulaire, les rendements obtenus dans les eaux grises traitées restent acceptables pour l'ensemble des pilotes. Nous avons enregistré également le rendement d'élimination le plus élevé à la sortie du pilote 1 tout comme pour les abattements bactériens. Les résultats d'élimination de la pollution organique indiquent que les eaux grises traitées sont réutilisables en agriculture. Les résultats des paramètres mesurés *in situ* (pH température, conductivité) sont également concluants pour une réutilisation de nos effluents en irrigation. Mais pour mieux interpréter l'effet de la conductivité électrique, la valeur du ratio d'absorption du sodium (SAR) est nécessaire. Les tests statistiques réalisés en vue de mieux comparer les pilotes montrent que le traitement a un effet significatif sur l'abattement des différents paramètres. En outre, la comparaison des pilotes a révélé qu'en dehors des pilotes 1 et 3 pour la DCO, il n'y a pas de différences significatives entre les valeurs résiduelles des effluents. Ces tests statistiques nous ont permis de déduire que la longueur et la largeur des bacs inférieurs ont un effet positif sur l'élimination de la pollution organique, même si cela n'est pas le cas pour l'élimination des germes pathogènes. En outre, le système de "bac incliné" est un bon moyen qui s'offre aux populations pour résoudre le problème d'eau et d'assainissement dans notre pays.

Vue cette opportunité, plusieurs recommandations ont été proposées pour une amélioration du système de traitement, une meilleur utilisation par les populations et surtout éviter le risque de contamination des maladies hydriques par les germes pathogènes.

Ces recommandations visent surtout l'entretien et la protection des pilotes pour éviter de nouvelles contaminations bactériennes au sein même de ses pilotes et qui pourraient réduire les abattements.

Les recommandations sont les suivantes :

- ✚ Mettre en place un filet sur le bac supérieur et le bac inférieur pour éviter les fèces des lézards qui pourraient diminuer l'abattement bactérien du système.
- ✚ Construire des bacs inférieurs plus large et plus long pour augmenter l'abattement.

- ✚ Mettre en place un système de répartition de l'eau à l'entrée du bac supérieur pour permettre une répartition uniforme des eaux sur toute la surface du massif filtrant.
- ✚ Mener l'expérience dans une zone rurale pour mieux évaluer les performances de ces nouveaux pilotes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdul Hameed M. J. A., Mukheled A., Abass J.K., Athmar A. M., (2010). Evaluation of Treated Municipal Wastewater Quality for Irrigation. *Journal of Environmental Protection*, 1: 216-225.

Adoum.A. (2011). Caractérisation quantitative et qualitative des eaux grises en zone péri urbaine au Burkina Faso: Cas du village de Kamboinsé. Mémoire de Master en WASH Humanitaire, 2IE, 30p.

Al-Jayyousi O. R. (2003). Greywater Reuse: Towards Sustainable Water Management, *Desalination*. 156:181–192P.

Al-Shammiri M., Al-Saffar A., Bohamad S. and Ahmed M. (2005) Waste Water Quality and Reuse in Irrigation in Kuwait Using Microfiltration Technology in Treatment. *Desalination*, 185 (1-3): 213-225.

Ayers R. & Westcott D. (1994): Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper, 29 Review 1, Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

Belda P., Avarez S., Guillet B., Wang S.: *Ebizguides Burkina Faso*

Blumenthal U.J., Peasey A., Ruiz-Palacios G. & Mara D.D. (2000) Guidelines for Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture: Recommended Revisions Based on New Research Evidence. WELL Study, Task No. 68 Part I. 67p.

Couture I., (2003). analyse d'eau pour fin d'irrigation, 8P.

Crites R., Tchobanoglous G., (1998). Small and decentralized wastewater management systems. *Water Resources and Environmental Engineering*. WCB/McGraw-Hill, Boston, 1084.

Dallas S., Scheffe B. and Ho G. (2004) Reedbeds for greywater treatment -Case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America. *Ecological Engineering*, 23(1): 55-61

Del Porto D. and Steinfeld C. (1999) The composting toilet system book, 1. The Center for Ecological Pollution Prevention, Concord, 234 pp.

Department of Water Affairs and Forestry (1996). South African Water, Quality Guidelines (second edition). Vol. 4: Agricultural Use: Irrigation. Pretoria, South Africa.

Drechsel P., SCOTTC. A., Liqa R. S, Redwood M. et Bahri A. Irrigation avec des eaux usées et la santé. Evaluer et atténuer les risques dans les pays à faible revenu.

Eklund L.O., Tegelberg C. (2010). Small-scale Systems for Greywater Reuse and disposal A case study in ouagadougou. Department of Energy and technology, Swedish University of agricultural sciences, 136p

- FAO (1985) Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage paper 29 Rev. 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 174 pp.
- Friedler E. (2004). Quality of individual domestic greywater streams and its implication for onsite treatment and reuse possibilities. *Environmental Technology*, 25(9): 997-1008
- Gross A., Azulai N., Oron G., Ronen Z., Arnold M. and Nejidat A. (2005) Environmental impact and health risks associated with greywater irrigation: case study. *Water Science Technology*, 52(8):161-169
- Hamel S. (2006) Investigation of soils' properties in relation to grey water management in South Africa. Master of Science, Cranfield University Silsoe, Institute of Water and Environment, MSc Water Management, 66p.
- IKIO I. P., (2011) .Faisabilité du traitement des eaux grises en milieu rural : cas de Kolongodjessé. Mémoire de Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE, Burkina Faso, 31p
- Jefferson B., Palmer A., Jeffrey P., Stuetz R. and Judd S. (2004). Grey water characterization and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, 50(2):157-164P
- Kango I., (2010). Design of the slanted soil graywater treatment system for arid zones in developing countries. Master of Engineering thesis, Hokkaido University, Japan, 37p.
- Khodapanah L., Sulaiman W. N. A., Khodapanah D. N. (2009). Groundwater Quality Assessment for Different Purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran. *European Journal of Scientific Research*, 36 (4): 543-553.
- Klee O. (1998): *Wasseruntersuchen*. 3.Aufl., Quelle & Meyer, Wiesbaden, Germany.
- Klingel F et al (2002): *Gestion des boues de vidange dans les pays en développement* 63p.
- Kulabako N. R., Sonko N. K. M. and Kinobe J. (2011). Greywater characteristics and reuse in tower gardens in peri-urban areas experiences of Kawaala, Kampala, Uganda, the open environmental engineering journal: *environmental engineering journal*
- Li F., Wichmann K. and Otterpohl R. (2009) Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses, *Science of the Total Environment*, 407: 3439-3449.
- Lina A. G., Zeeman G., Van Lier J. and Fayyed M. (2008) Quantitative and qualitative characteristics of greywater for reuse requirement and treatment alternatives: the case of Jordan. *Water Science and Technology*, 58 (7): 1385-1396

- Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH). (2006). Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement à l'horizon 2015 (PN-AEPA 2015), 55p
- Morel A., Diener S. (2006). Grey water management in low and middle-income countries, Water and sanitation in developing countries (sandec). Eawag: Swissfederal institue of aquatic science and technologie, 107p
- Montginoul M. (2002) Consommation d'eau dans les ménages en France: état des lieux. CEMAGREF, ENGEES, Fance, 41p
- Mungai G. (2008). Impacts of Long-term Greywater Disposal on Soil Properties and Reuse in Urban Agriculture in an Informal Settlement: A Case Study of Waruku, Nairobi.
- Murphy K. O'H. (2006) A Scoping Study to Evaluate the Fitness-for-use of Greywater in Urban and Peri-Urban Agriculture. Pretoria: Water Research Commission Report No. 1479/1/06. 1-77005-471-5, 120p.
- Nikiéma B. (2012). Etude pilote du traitement des eaux grises pour petites communautés en milieu rural : cas du village de Kologodjessé, Mémoire de Master en Eau et Assainissement, 2iE, Burkina Faso, 54p.
- Ouédraogo N. (2013) Contribution à l'optimisation des performances épuratoires d'un dispositif de traitement des eaux grises par « Bac incliné » en milieu péri-urbain : cas de Kamboinsé. Mémoire de Master en Eau et Assainissement, 2iE, Burkina Faso, 51p.
- Office international de l'eau (2004). Développer des compétences pour mieux gérer l'eau. 170p
- OMS. (2012). Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, volume II.
- Ottoson J. and Stenstrom T.A. (2003) Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. Water Research, 37(3): 645-655.
- Prathapar S.A., Ahmed M., AL Adawi S., AL Sidairi S. (2006). Design, construction and evaluation of an ablution water treatment unit in oman: a case study. International journal of Environmentalstudis, 63 (3):283-292P.
- Rose, J.B., Sun, G-S., Gerba, C.P., Sinclair, N.A. (1991). Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources. Water Research, 25 (1), 37-42.

Salukazana L., Jackson S., Rodda N., Smith M., Gounden T. and McLeod N. (2006). Re-use of grey water for agricultural irrigation. Paper presented at the Third international conference on ecological sanitation.

Sana N. (2009) Characterisation of Greywater from peri-urban areas in Nakuru, Kenya. Master Thesis, 80p.

Sangaré D. (2011). Faisabilité du traitement et de réutilisation des eaux grises en milieu rural : cas de Barkoundouba (Ziniaré, Burkina Faso). Mémoire de Master en Génie Sanitaire, 2iE, Burkina Faso, 43p.

Secrétaire d'Etat auprès du Ministère de l'Energie des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement (S.E.E.E), (2007). *Norme de qualité des eaux destinées à l'irrigation*.

Schenk A. (2012). Etude d'un système de traitement des eaux grises en milieu péri-urbain : Cas du village de Kamboinsé, mémoire 2iE Burkina Faso.

Stratégie nationale d'accélération pour l'atteinte des OMD (2011). 96p

Tal T., Sathasivan A., Krishna KC., (2011). Effect of Different Disinfectants on Grey Water Quality during Storage. *Journal of Water Sustainability*; 1(1):127–137.

Ushijima K., Ito K., Funamiz N. (2013). Greywater treatment by slanted soil system, *Ecological Engineering*, 62:1-7.

WHO.(2006) Overview of greywater management Health considerations, World Health organization Regional office for the eastern mediterranean, Amman, Jordan. : centre for Environnement Health activities.

WHO. (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Vol. 4: Excreta and greywater use in agriculture. 203p

ANNEXE



Cette figure montre la présence de lézard sur les pilotes.



Cette figure montre les quantités énormes de résidus de nourriture retenus par le filet et indiquant combien les eaux grises brutes collectés dans les familles sont chargées.



Cette figure montre les eaux grises à la sortie des quatre dispositifs. De la droite vers la gauche le brute, les eaux grises obtenues à la sortie du premier bac inférieur du pilote1, du deuxième bac inférieur du pilote 1, du bac inférieur du pilote 2, du bac inférieur du pilote 3 et du bac inférieur du pilote 4.