



TRAITEMENT DES EAUX GRISES PAR VERMIFIL- TRATION : ETUDE DES PERFORMANCES D'UN VERMIFILTRE

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

Présenté et soutenu publiquement le 24 Juin 2014 par

Sidesse Sonia YMELE SAAPI

Travaux dirigés par : **Dr Anderson ANDRIANISA**

Enseignant Chercheur

Dr Awa KOITA

Enseignante chercheur

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Yacouba KONATE

Membres et correcteurs : Dr Awa KOITA

M. Amadou HAMA

M. KOUAWA TADJOUWA

Promotion [2013/2014]

DEDICACE

*Je dédie ce mémoire de fin de formation
à mes Parents*

REMERCIEMENTS

Au Terme de ma formation, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes encadreurs : le Dr Anderson ANDRIANISA, le Dr Awa KOITA et Mr Amare ADGUNA- doctorant- qui n'ont ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail

Je tiens également à remercier,

- Mr Boukary SAWADOGO qui m'a beaucoup aidé dans la recherche de mon stage, et sans qui je n'aurais probablement pas eu ce stage
- Mr Pierre et Mahmat qui m'ont aidé durant le stage notamment dans la récupération des eaux grises au niveau des foyers et le prélèvement des températures dans les filtres.
- Tout le personnel des laboratoires de physico-chimie et de microbiologie, ainsi que tous mes Co stagiaires qui ont bien collaboré avec moi lors de mon stage
- Tout le personnel enseignant de 2iE pour la qualité de la formation que j'ai reçu
- Tous mes camarades de classe pour le bon cadre d'étude et de vie qu'ils m'ont donné pendant ces deux années de ma formation
- L'union Européenne pour m'avoir permise par son programme de bourse PIMASO, de pouvoir intégrer 2iE

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de ma famille,

- Mes parents Mr et Mme Etienne et Giselle SAAPI
- Mes frères et sœurs Charnelle, Viel et Laura SAAPI, pour leur soutien financier et moral quotidien qui n'a manqué à aucun moment

Et par-dessus tout je rends grâce à L'Eternel DIEU TOUT PUISSANT. Sans sa faveur, rien de tout ceci n'aurait été possible.

RESUME

Le système d'assainissement dans les zones urbaines pauvres d'Afrique est encore à l'état embryonnaire. Les solutions mises en place pour palier au problème d'assainissement dans ces zones ne sont pas en adéquation avec le contexte socioéconomique des populations. Le système d'assainissement de ces zones devrait répondre clairement et précisément aux attentes des populations. La vermifiltration développée tout au long de cette étude, est un système de traitement des eaux grises à l'aide des vers de terre, pas cher et facile d'utilisation qui pourra répondre aux besoins des populations vivant dans ces zones urbaines pauvres. Le système de vermifiltration est fait de matériaux filtrants et des vers de terre de l'espèce *Eudrilus eugeniae*. L'influence de certains facteurs sur le traitement a été étudiée. Ce sont notamment, la température, la composition du système de vermifiltration, la concentration des eaux grises en surfactants, la variation de la charge hydraulique. Les analyses conduites au laboratoire ont été basées sur la détermination des concentrations (dans l'eau grise provenant des ménages, et dans l'eau traitée) des paramètres de référence en matière de pollution des eaux grises. Les rendements épuratoires de l'ordre de 92,36% (DCO) ; 95,42% (MES) ; 85,16 % (NH_4^+) ; 86,6% (P_{total}) ; 73,72% (NO_3^-) ; 83,3% (NO_2^-) et 2Ulog (coliformes fécaux) en présence de plus de 135 mg/L de surfactants dans l'eau grise. En outre, les résultats ont montré que la hausse de la température et la baisse de la charge hydraulique ont un impact négatif sur l'efficacité du système de vermifiltration. Toutefois cette étude ne donne qu'une idée préliminaire sur l'utilisation des vers de terre, pour le traitement des eaux grises dans ce contexte. Des études plus poussées sont donc requises concernant certains éléments clés (la contribution de chaque couche de matériau filtrant dans le taux d'abattement global du vermifiltre, la densité des vers de terre dans le filtre) de ce système.

Mots clés : Eaux grises, Vermifiltration, *Eudrilus eugenia*, surfactants, zones urbaines pauvres.

ABSTRACT

The sanitation in poor urban areas in Africa is still in its embryonic state. The solutions implemented to overcome the problem of sanitation in these areas are not in line with the socio-economic situation of the people. The sewerage system in these areas should clearly and precisely meet the expectations of the population. The vermifiltration developed throughout this study, is a system of greywater treatment using earthworms, cheap and easy to use which can meet the needs of people living in poor urban areas. Vermifiltration system is made up of filter materials and local earthworms *Eudrilus eugeniae*. The influence of certain factors on treatment was studied. These are particularly, temperature, vermifiltration's system composition, the concentration of surfactants in greywater, the variation of the hydraulic loading rate. Analyzes conducted in the laboratory were based on the determination of the concentrations (in the greywater from households, and treated water) in references parameters indicating the greywater pollution. The purifying efficiency was about 92.36% (COD); 95.42% (MES); 85.16% (NH_4^+); 86.6% (P_{total}); 73.72% (NO_3^-); 83.3% (NO_2^-) and 2Ulog (faecal coliforms) in the presence of more than 135 mg / L of surfactants in the greywater. In addition, the results showed that the temperature rise has negatives impacts on the efficiency of the vermifiltration system as well as when the hydraulic loading rate decrease. However this work provides a preliminary idea of using earthworms in greywater treatment system in this context. Further studies are required on some key issues (such as the contribution of each layer of filter materials in the overall reduction rate of vermifiltre, earthworms stocking density) of this system.

Keywords: Greywater, Vermifiltration, *Eudrilus eugenia*, Surfactants, Poor urban areas

SIGLES ET ABBREVIATIONS

°C: Degré Celsius

DBO5: Demande Biochimique en Oxygène

DBS : Dodécyl benzène sulfonic

DBS₊ : Dodécyl benzène sulfonic + autres surfactants

DCO: Demande Chimique en Oxygène

E. coli : *Escherichia coli*

E.eugeniae : *Eudrilus eugeniae*

INSD : Institut national de la statistique et de la démographie

LAS : linear Alkyl benzene sulfonic

MES: Matières en suspension

NH₄⁺: Ammonium

NO₂⁻: Nitrites

NO₃⁻: Nitrates

pH: Potentiel d'hydrogène

Ptotal: Phosphore total

PVC: Polyvinylchloride

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

PNUD : Programme des nations unies pour le développement

WHO : World Health Organisation

STEP : Station d'épuration

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
SIGLES ET ABBREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
INTRODUCTION.....	1
I - SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I.1- Eaux grises	3
I.1.1- Définition	3
I.1.2- Caractéristiques	3
I.1.3- Impact des eaux grises sur l'environnement et la santé	5
I.2- Différentes techniques de traitement biologique des eaux usées.....	5
I.2.1- Lagunage naturel à microphytes	5
I.2.2- Filtration sur sable	7
I.2.3- Vermifiltration.....	7
II- MATERIEL ET METHODES	13
II.1- Description de la zone d'étude	13
II.2- Collecte des vers de terre et des eaux grises.....	14
II.2.1- Choix et collecte des vers	14
II.2.2- Collecte des eaux grises	14
II.3- Dispositif expérimental.....	15
II.4- Echantillonnage	18
II.5- Méthodes d'analyses.....	18
II.5.1- Paramètres mesurés in situ.....	18
II.5.2- Paramètres chimiques	18
II.5.3- Paramètres microbiologiques	20
II.6- Traitement et analyse des données	21
III- RESULTATS ET DISCUSSIONS	22
III.1- Caractérisation de l'eau grise	22
III.2- Variations et effets de la température au cours du traitement de l'eau grise.....	23

III.3- Evaluation de la performance des vermifiltres B2, B3 et B4 après 8 mois d'utilisation (Juin 2013 – Février 2014)	24
III.3.1- pH	24
III.3.2- MES	25
III.3.3- DCO	26
III.3.4- DBO ₅	27
III.3.5- Coliformes fécaux et <i>E. coli</i>	28
III.4- Influence de la composition du vermifiltre sur sa performance	29
III.5- Taux d'élimination des surfactants (DBS ₊) par lombrifiltration	30
III.6- Impact de la quantité de surfactants de l'eau grise sur l'efficacité de la lombrifiltration	31
III.6.1- MES, DCO	31
III.6.2- Composés azotés et P _{total}	32
III.6.3- Coliformes fécaux	33
III.7- Influence de la charge hydraulique sur la performance du filtre	34
CONCLUSION	37
PERSPECTIVES	38
Bibliographie	39
ANNEXES	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Valeurs moyennes et écarts des différents paramètres des eaux usées provenant de la lessive, la vaisselle et la douche (Yofe, 2009)	4
Tableau II : Paramètres d'alimentation des filtres S1...S5	17
Tableau III : Conditions de mesure à l'aide de HACH DR/2000	20
Tableau IV : Caractéristiques de l'eau grise utilisée pour l'étude	22
Tableau V : Concentrations résiduelles et Abattements pour les composés azotés et le P_{total} .	32
Tableau VI : Concentrations résiduelles et Abattements de S4 et S5 à charges hydrauliques différentes.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Ver adulte - <i>Eudrilus eugéniae</i>	8
Figure 2: Localisation du secteur 21 dans la commune de Ouagadougou	13
Figure 3 : vers de terre collectés : <i>E.eugeniae</i>	14
Figure 4 : Dispositif de prélèvement de l'eau grise	14
Figure 5 : Dispositif expérimental de lombrifiltration	15
Figure 6 : Composition des filtres B1, B2 et B3	15
Figure 7 : Matériaux constitutifs des vermifiltres B1, B2 et B3	16
Figure 8 : Composition des lombrifiltres S1, S2, S3, S4 et S5	17
Figure 9 : Variations de la température à l'intérieur des filtres	23
Figure 10 : Variations de la température ambiante	24
Figure 11 : Variations de pH	25
Figure 12 : Abattement MES	26
Figure 13: Abattement DCO	26
Figure 14 : Abattement DBO ₅	27
Figure 15 : Abattement coliformes fécaux	28
Figure 16 : Abattement <i>E. coli</i>	28
Figure 17 : Distribution des valeurs des paramètres de l'eau selon les filtres	29
Figure 18 : Rendements épuratoires DBS ₊	31
Figure 19 : Abattements de MES et DCO après ajout de DBS dans l'eau grise	31
Figure 20 : Abattement des composés azotés et P _{total} après ajout de DBS	33
Figure 21 : Abattement coliformes fécaux après ajout de DBS	34
Figure 22 : Abattements pour S4 et S5 à charges hydrauliques différentes	35
Figure 23 : Abattement DCO pour S4 et S5 à charge hydrauliques différentes	36

INTRODUCTION

Contexte et Problématique

Le taux d'accès à l'assainissement dans les zones urbaines pauvres africaines est très faible. La majorité des populations de ces zones rejettent directement leurs eaux usées dans la rue ou dans des espaces ouverts près des habitations, sans aucun traitement préalable. Dans les villes de la plupart des pays en voie de développement, par exemple, moins de 15% des eaux grises sont traitées avant le rejet (Mara, 2003). Par ailleurs, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) a signalé en 2000 qu'il existait des équipements de traitement des eaux résiduaires dans seulement 2 % de villes dans l'Afrique subsaharienne et que seuls 30 % de ces derniers fonctionnaient d'une manière satisfaisante. Le Burkina Faso n'est pas en marge de cette situation. Le taux d'accès à l'assainissement (eaux usées) y était de 10% en 2005 (MAHRH, 2006). En effet, la mise en place de réseaux de collecte et de stations de traitement dans ces zones est très difficile du fait de la condensation de la population. Les meilleures solutions restent les systèmes d'assainissement individuels ou tout au plus les systèmes semi-décentralisés. Plusieurs techniques ont été développées pour collecter et traiter l'eau grise provenant des ménages dans ces milieux, mais les populations ne tirent pas bénéfice de ces technologies soit par exécution inexacte ou alors par ignorance des conditions d'usage. Il est donc primordial de mettre sur pieds des techniques de traitements utiles aux populations des quartiers pauvres. C'est dans cet optique que le programme « *Stimulating local innovation on sanitation for the urban poor in Sub-Saharan Africa and South East Asia* » a été mis en place.

L'objectif du programme est de développer des technologies d'assainissement innovantes à moindres coûts, respectant les contraintes environnementales et facile à exploiter et entretenir en d'autres termes, répondant aux besoins des populations vivant dans les quartiers précaires. Ce programme va contribuer à l'amélioration des conditions d'hygiène des populations. La présente étude portant sur le traitement des eaux grises par vermifiltration en zone subsaharienne entre dans le cadre de la mise en œuvre de ce programme.

Le traitement biologique implique la transformation de la matière organique dissoute et particulaire en biomasse par organismes vivants avec production des gaz (Tomar et Suthar, 2011). Cette idée couplée du besoin de trouver des solutions peu coûteuses pour le traitement des eaux usées a donné naissance à la vermifiltration ou lombrifiltration évoqué pour la première

fois par le professeur Jose Toha à l'université de chile en 1992 (Wang et al, 2010). C'est une technologie qui nécessite des vers de terre et des matériaux filtrants.

Objectifs

L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'étude des performances du système de vermifiltration.

De façon spécifique, il s'agira de :

- Caractériser les eaux grises à traiter
- Evaluer les taux d'élimination de la pollution par les vers de terre locaux dans les conditions spécifiques au milieu d'étude (température)
- Evaluer l'impact des différentes composantes du système de vermifiltration sur l'efficacité du traitement des eaux grises
- Evaluer l'impact de certaines composantes des eaux grises sur le traitement (concentration en surfactants, charge hydraulique)

Hypothèses

- Les différentes composantes du système de vermifiltration ont un impact sur l'efficacité du traitement
- La présence de quantités élevées de surfactants dans les eaux grises peuvent impacter sur les performances du vermifiltre
- La charge hydraulique à l'entrée du filtre peut avoir une influence sur la qualité du traitement

I - SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1- Eaux grises

I.1.1- Définition

Les eaux usées sont généralement constituées d'eaux grises et d'eaux noires. Essentiellement, toutes les eaux domestiques à l'exception des eaux de toilettes sont des eaux grises. Ce sont des eaux provenant de : la lessive, la vaisselle, le bain, et la cuisine. Elles constituent 50-80% des eaux usées domestiques (Ukpong & Agunwamba, 2012). La quantité et la qualité des eaux usées domestiques dépendent des conditions de vie et de la disponibilité de l'eau douce. Elles doivent leur nom à leur apparence nuageuse et au fait qu'elles ne sont ni potables ni lourdement polluées. Eklund et Tegelberg (2010), dans leur étude sur un système à petite échelle de réutilisation des eaux usées de Ouagadougou et des zones rurales environnantes, ont déterminé une quantité de 10L d'eau grise rejetée par personne par jour. Ce qui signifie que pour une famille d'environ 7 personnes, la quantité d'eau grise rejetée sera de 70L/jour/famille

I.1.2- Caractéristiques

Les eaux grises se distinguent des eaux noires par leur quantité de contaminants physico chimiques et biologiques. Celle-ci étant plus élevée dans les eaux noires à cause des fèces (Ukpong & Agunwamba, 2012). Les caractéristiques des eaux grises d'un ménage varient notablement, selon le mode de vie des habitants et leurs choix en matière de produits pour la lessive, le bain, leurs habitudes alimentaires. Les paramètres physico-chimiques et microbiologiques sont généralement étudiés lors de la caractérisation des eaux grises. Les paramètres les plus utilisés sont :

- Le pH évalue la quantité des ions H^+ libres en solution
- la conductivité électrique qui évalue la concentration de matières en solution dans l'eau, traduit le degré de minéralisation de l'eau ;
- la demande biochimique en oxygène (DBO_5) qui permet d'estimer quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques présentes dans l'eau par les micro-organismes décomposeurs pendant une période de 5 jours ;
- la DCO qui représente la quantité d'oxygène consommée par une oxydation chimique de la matière organique dans les conditions données ;

- les composés azotés (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+) et phosphorés (phosphore total) sont des éléments nutritifs qui peuvent être nocifs à l'excès ;
- les matières en suspension (MES) représentent les particules fines organiques et minérales ;
- les paramètres microbiologiques sont le plus souvent représentés par les coliformes fécaux et les *E. coli* qui sont des indicateurs de contamination fécale.

Le tableau I suivant montre les caractéristiques des eaux usées à Ouagadougou et dans les zones rurales environnantes.

Tableau I: Valeurs moyennes et écarts des différents paramètres des eaux usées provenant de la lessive, la vaisselle et la douche (Yofe, 2009)

Sources	→			
Paramètres ↓		Douche	Vaisselle	Lessive
Ph		7.1 ± 0.9	6.0 ± 0.2	7.0 ± 0
Conductivité électrique EC (µS/cm)		0.7 ± 0.21 ¹	1.0 ± 0.51 ¹	2397 ± 994
DCO (mg/L)		2513 ± 723	2863 ± 1503	7538 ± 2139
DBO ₅ (mg/L)		2050 ± 636	2350 ± 1202	6025 ± 1747
MES (mg/L)		1450 ± 71	1850 ± 1485	2700 ± 707
Ammonium (mg/L)		13.6 ± 6.2	5.9 ± 1.2	44.6 ± 9.4
Phosphore total (mg/L)		24.3 ± 2.8	18.1 ± 9.3	24.6 ± 0.7
Coliformes fécaux (UFC/100mL)		52500 ± 1067	202500 ± 286378	530000 ± 339411
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)		375000 ± 530330	0	117500 ± 166170

¹ Les valeurs d'EC au niveau de la douche et de la vaisselle ont probablement été mesurées en mS/cm et devraient donc être 1000 fois plus élevées.

Au-delà des paramètres ci-dessus les eaux grises contiennent aussi des surfactants ou agents tensioactifs. Ils peuvent être anioniques, cationiques, amphotères ou non ioniques.

Les surfactants sont les principaux constituants des produits d'entretien ménager et de certains produits d'entretien du corps. Ils sont constitués d'une tête hydrophile et d'une queue hydrophobe. En abaissant la tension superficielle (ou tension interfaciale) entre deux liquides ou entre un liquide et un solide ils permettent à la solution de nettoyage de mouiller une surface (vaisselle, vêtements) plus rapidement. Ils permettent aussi d'émulsionner les taches d'huiles et de les garder suspendues de sorte qu'elles ne puissent pas à nouveau se fixer sur la surface.

Les plus couramment présents dans les détergents sont les surfactants anioniques linéaires LAS (Linear alkyl benzène sulfonate). Les concentrations de tensioactifs dans les eaux grises peuvent aller jusqu'à 60 mg/L (Shafran et al. 2005).

I.1.3- Impact des eaux grises sur l'environnement et la santé

Les eaux grises peuvent constituer de nos jours un véritable danger pour l'environnement et les êtres vivants lorsqu'elles ne sont pas traitées. Le rejet direct de ces eaux usées dans la nature (exemple, cours d'eau) peut entraîner une baisse des teneurs en oxygène dissous. Les surfactants contenus dans ces eaux peuvent aussi perturber le développement de certains organismes terrestres et aquatiques. Il a été reporté par Venhuis et Mehrvar en 2004 que, 0.02-1 mg/L de LAS peut endommager les branchies des poissons et causer un excès de sécrétion de mucus, et 40-60mg de LAS/kg de terre est toxique pour la reproduction et la croissance des invertébrés du sol et les vers de terre. En outre, l'utilisation d'eaux usées non traitées peut impacter négativement les activités agricoles. Une forte concentration en sels dissous (Na^+ , Cl^-) des eaux grises utilisées pour l'irrigation accroît la salinité du sol, provoquant ainsi la dégradation de la couche arable, surtout dans les zones arides ayant des taux d'évaporation élevés (Morel & Diener, 2006). Par ailleurs, les légumes irrigués avec de l'eau grise non ou mal traitée peuvent présenter des risques pour la santé publique (Morel & Diener, 2006). De plus, Les eaux sales stagnantes qui résultent du déversement des eaux grises dans les cours intérieures des propriétés et dans les rues constituent de véritables nurseries pour les moustiques et sont souvent à l'origine de maladies telles que le paludisme. Elles sont également la cause de la détérioration esthétique de l'environnement et des nuisances olfactives. En effet la matière organique dans les eaux grises stockées est décomposée par des microorganismes, augmentant ainsi leur croissance, ce qui conduit à une anaérobiose du milieu environnant avec le dégagement d'odeurs nauséabondes (Murphy, 2006 in Sangaré, 2011).

I.2- Différentes techniques de traitement biologique des eaux usées

Le lagunage, la filtration sur sable et la vermifiltration sont des systèmes de traitement des eaux grises, peu coûteux et qui nécessite peu ou pas d'énergie.

I.2.1- Lagunage naturel à microphytes

Dans un système de lagunage à microphytes l'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins

permet d'avoir une désinfection plus poussée. Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées "microphytes". Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique. En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau. Les différents types de bassin sont les suivants :

- **Le bassin anaérobie** : Le bassin anaérobie est une sorte de pré-digesteur exposé à l'air. Il est caractérisé par sa profondeur qui est généralement de 2-5 m, sa forte charge organique habituellement supérieur à 100 g DBO₅/m³/j, l'absence d'oxygène dissous, l'absence d'algues ou très peu (Mara, 2003). Son principal rôle est l'élimination de la DBO. Le temps de séjour est généralement court (compris entre 1 et 3 jours) (Mara, 2003).

- **Les bassins facultatifs** : Ils sont caractérisés par une phase aérobie et une phase anaérobie ; leur profondeur est généralement de 1-3 m ; leur charge organique moyenne (100-400 kg DBO₅/ha/j) (Mara et al, 1998 in Mara, 2003).

- **Les bassins de maturation** : Ce sont des bassins aérobies. Les bassins de maturation sont moins profonds (1-1,5m) et reçoivent les effluents prétraités. Leur rôle essentiel est l'élimination des microorganismes pathogènes représentés par les coliformes thermo tolérants, pris comme principaux indicateurs. Ils permettent d'achever l'épuration avant le rejet ou la réutilisation des effluents traités.

Le lagunage à microphytes a l'avantage de la facilité d'adaptation et d'exploitation mais il présente aussi plusieurs limites tels que :

- la prolifération des moustiques ;
- la formation des odeurs ;
- une forte emprise sur le sol ;
- nécessité de la présence d'un réseau.

I.2.2- Filtration sur sable

Le principe de la filtration sur sable est de faire percoler de l'eau à travers un massif de sable. Pour schématiser, les grains de sable forment une couche qui est traversée par l'eau et va arrêter par simple effet de tamisage les particules les plus grosses que les intervalles entre les grains. Les particules plus petites seront également retenues par effet de paroi sur la surface des grains lorsqu'au fur et à mesure du cheminement dans le filtre elles touchent un grain. Le pouvoir d'arrêt du filtre est d'autant plus grand que le diamètre des grains est faible et que le temps de séjour des particules est plus long. En fonction de la vitesse d'écoulement de l'eau à travers le massif de sable, on distingue la filtration rapide et la filtration lente (Eklund & Tegelberg, 2010). Le matériel filtrant dans les filtres à sable lents est constitué de grains dont la taille est comprise entre 0,15 et 0,35 mm et est utilisé pour le traitement secondaire en réduisant les concentrations d'agents pathogènes. Tandis que la taille des grains dans les filtres à sable rapides varie de 0,4 à 12,0 mm et ils sont utilisés pour le traitement primaire (Rowe & Abdel-Magid, 1995).

Les filtres à sables favorisent le développement d'une activité biologique qui dégrade les matières organiques. Quel que soit le type de filtre à sable, l'efficacité de filtration du système diminue avec le temps en raison de l'accumulation des particules dans l'espace vide (colmatage progressif) et la croissance du biofilm autour des grains (Rowe & Abdel-Magid, 1995). En raison du colmatage, l'eau doit être appliquée avec une pression croissante pour conserver le taux de filtration initial. Si l'augmentation de pression ne peut pas être accomplie, la vitesse de filtration est réduite et le système doit être nettoyé. (Eklund & Tegelberg, 2010).

Malgré que le filtre à sable permette d'avoir de bons rendements épuratoires, le risque de colmatage est très élevé.

Dans le souci d'éviter les risques (colmatage, de création d'odeurs de prolifération de moustiques) et d'utiliser moins d'espace, tout en mettant en place un système de traitement pas cher et efficace, la vermifiltration peut être utilisée.

I.2.3- Vermifiltration

I.2.3.1- Définition

La vermifiltration, aussi connue sous le nom de lombrifiltration, est une méthode relativement nouvelle d'élimination de la matière organique à l'aide des vers de terre (Aguilera, 2003). C'est une extension du vermicompostage¹. La vermifiltration selon Revaka (2009), est une

¹ Transformation des déchets organiques par les vers de terre

technique de traitement des eaux grises qui consiste à utiliser des vers de terre sur un support organique arrosé par un liquide chargé de matières organiques afin de favoriser la digestion de ces dernières, tout en associant, de manière simple, une indication biologique de la stabilité du milieu et du bon déroulement du procédé d'épuration. La vermifiltration est aussi une méthode de traitement des eaux grises qui combine les procédés classiques de filtration avec les techniques de vermicompostage.

I.2.3.2- Biologie et Ecologie des vers de terre

- **Anatomie et description**

Les vers de terre sont des êtres longs, étroits, cylindriques, bilatéralement symétriques. Certains lombrics d'Amérique centrale et du Sud peuvent atteindre les 3 mètres. Ce sont des organismes segmentés sans os. Leur corps est brun foncé, luisant, et couvert de cuticule (couche externe qui recouvre et protège les organes de certains animaux) délicate. Ils pèsent plus de 1,400-1,500 mg après 8-10 semaines. En moyenne, 2 000 vers adultes pèsent 1 kg (Sinha et al, 2008). Habituellement, la durée de vie d'un ver de terre est d'environ 3-7 ans selon l'espèce et la situation écologique. Les vers de terre possèdent des millions de fixateurs d'azote et de « décomposeurs de microbes » dans leur intestin. Ils ont des « chémorécepteurs² » qui aident à la recherche de nourriture. Leur corps est fait de protéines à 65% (avec 70-80% de lysine riche en protéines de haute qualité sur la base du poids sec), de matières grasses à 14%, d'hydrates de carbone à 14%, et de cendres 3%. La figure ci-dessous présente l'anatomie d'un ver de terre.



Source : Nerr0328.png
1,600 X 1,064

Figure 1 : Ver adulte - *Eudrilus eugeniae*

² Cellules nerveuses capables de détecter des substances chimiques et de relayer cette information vers le système nerveux central

- **Reproduction**

Les vers de terre sont des organismes hermaphrodites incomplets et se multiplient très rapidement. Après l'accouplement chaque ver de terre éjecte un cocon dans lequel les spermatozoïdes entrent pour féconder les œufs. Jusqu'à 3 cocons par ver par semaine sont produits. De chaque cocon 10-12 minuscules vers émergent. Des études indiquent que leur nombre double au moins tous les 60-70 jours. Si les conditions d'humidité, de température et d'alimentation sont optimales, les vers peuvent se multiplier par 2^8 , soit 256 vers tous les 6 mois à partir d'un seul individu. Un ver adulte mature peut atteindre la capacité de reproduction 8-12 semaines après l'éclosion du cocon. Selon une étude menée en 1988 par Reinecke et Viljoen sur *Eudrilus Eugeniae*, le taux d'éclosion des cocons produits par des vers de moins de 60 jours est très faible, il est de plus en plus grand au fur et à mesure que les vers croissent. Ils continuent de croître tout au long de leur vie.

- **Ecologie des vers**

Les vers de terre sont des animaux fousseurs. Leur distribution dans le sol dépend de facteurs comme l'humidité du sol, la disponibilité de la matière organique, et le pH du sol. Ils se trouvent dans divers habitats spécialement ceux qui sont sombres et humides et sont généralement absents ou rares dans les sols à texture très grossière et forte teneur en argile ou les sols avec un $\text{pH} < 4$ (Gunathilagraj, 1996 in Sinha et al, 2008). Du fait de leur respiration cutanée (les vers ne possèdent pas de poumons), leur corps doit rester humide pour permettre la respiration et éviter la déshydratation. Une bonne ventilation au milieu du sol est aussi nécessaire. Ils peuvent tolérer une gamme de température comprise entre 5 et 29°C. Une température de 20-25°C et une humidité de 60-75% sont optimales pour un bon développement des vers de terre (Hand, 1988 in Sinha et al, 2008). *E.eugeniae* peut supporter des températures allant jusqu'à 40°C, d'où l'intérêt de leur utilisation dans notre étude (Amare et al, Unpublished data).

I.2.3.3- Composition du système de lombrification

Le système de filtration est généralement délimité en 3 couches qui sont, du haut vers le bas :

Une couche active dans laquelle vivent les vers de terre. Elle peut être constituée de terre noire, de sciure de bois, de gazon, de copeau de bois, de tourbe, coque de graine de coton, paille, et d'excréments d'animaux (volaille, vache, porc, mouton)

Une couche intermédiaire ou **couche de drainage** constituée de sable fins à grossiers, de graviers fins, et même de sciure de bois

Une couche de support tout au fond, qui est le plus souvent constituée de graviers grossiers.

L'eau percole à travers les différentes couches et est récupérée à la sortie du système.

I.2.3.4- Rôle d'*E.eugeniae* dans le système de vermifiltration

Les vers de terre sont des mangeurs et des décomposeurs de déchets polyvalents. Leur action dans le système de vermifiltration s'articule autour des points suivants :

-- Ils accélèrent la croissance des bactéries aérobies qui jouent un rôle essentiel dans le traitement des eaux grises, en améliorant l'aération du système de vermifiltration (Kharwade & Khedikar, 2011). Le processus de vermifiltration combine donc l'activité des vers et des micro-organismes. Les vers de terre accueillent des millions de microbes biodégradeurs dans leur intestin. Edward et Fletcher, dans des études menées en 1988, ont montré que le nombre de bactéries contenues dans la matière ingérée par les vers augmentait jusqu'à 1000 fois en passant par leur tube digestif.

-- Les matières dissoutes et en suspension sont piégées par adsorption, et stabilisées par des processus de biodégradation complexes sous l'action des vers de terre et des microbes aérobies.

-- La matière ingérée est finement broyée (à l'aide de pierres dans leur gésier musculaire) en petites particules d'une taille de 2 à 4 microns et dégradée sous l'action des enzymes (protéases, les lipases, les amylases, les cellulases et les chitinases) qui provoquent la conversion biochimique rapide de la cellulose et des matériaux protéiques en déchets organiques. Zhao et al. ont montré en 2010 que les vers de terre étaient capables de dissoudre la matière organique non dissoute et ensuite de digérer les particules de boues jusqu'à des tailles très fines afin de permettre une dégradation plus facile de la matière par les micro-organismes.

-- Le processus final dans la vermifiltration est l'humification, au cours de laquelle les grosses particules organiques sont converties en un complexe colloïdal amorphe contenant des matières " phénoliques ". Seulement environ un quart de la matière organique est transformée en humus.

I.2.3.5- Paramètres influençant la performance d'un vermifiltre

Plusieurs paramètres peuvent influencer la performance d'un système de lombrifiltration :

- **La présence du chlorure de sodium NaCl dans l'eau**

Selon Hughes et al. (2009), la présence de concentrations élevées en sel inhibe la croissance des vers de terre, ce qui réduit de manière significative l'efficacité du filtre, même si les vers peuvent avoir une capacité de détoxifier le NaCl. Les plus sensibles sont les juvéniles qui succombent même à des concentrations modérées, s'ils y sont exposés pendant une longue période (Hughes et al, 2009).

- **La charge hydraulique**

Elle se définit comme étant le volume d'eau usée apporté au vermifiltre par unité de surface de vermifiltre (partie habitée par les vers) et par unité de temps. Elle est exprimée en $\text{m}^3/\text{jour}/\text{m}^2$ du vermifiltre. Selon Sinha et al. (2007), elle dépend du nombre de vers adultes vivants par unité de surface du vermifiltre. La taille et la santé des vers sont aussi des facteurs essentiels pour la détermination de la charge hydraulique. Il a été noté que l'augmentation de la charge hydraulique conduit à une réduction du temps de rétention hydraulique et ainsi à une diminution de l'efficacité du traitement et à la réduction du nombre de vers de terre adultes (Xing et al, 2010). La charge hydraulique est souvent comprise entre $1 \text{ m}^3/\text{jour}/\text{m}^2$ et $4 \text{ m}^3/\text{jour}/\text{m}^2$ selon la taille du filtre et la température ambiante.

- **Le temps de rétention hydraulique**

C'est le temps mis par les eaux usées pour s'écouler à travers le profil du milieu dans lequel habitent les vers de terre. Il est tout à fait essentiel que les eaux usées restent dans le système de vermifiltration et en contact avec les vers pendant une certaine période. Ce contact permet aux vers de récupérer la matière organique présente dans les eaux et de la transformer (Sinha et al, 2008).

- **La composition du système de filtration**

La composition du système de filtration et les différentes proportions de chaque matériau sont le noyau de la technologie de vermifiltration. Il joue un rôle extraordinaire dans le système, les changements de l'environnement exotique ont un impact crucial sur le fonctionnement des lombrics, notamment sur leur métabolisme respiratoire, puisqu'ils respirent par la peau (Xing et al, 2010). Plusieurs types de matériaux ont été choisis comme matériau de filtration, les

déchets organiques domestiques (Taylor et al ,2003) ; le copeau de bois, écorce, tourbe, paille (Li et al, 2008) ; du gravier et du sable (Sinha et al, 2008). La performance globale d'un vermifiltre peut être influencée par l'utilisation de l'un ou l'autre type de matériau.

- **L'espèce de ver de terre**

De longues recherches sur la vermiculture ont indiqué que le ver tigre (*Eisenia fetida*), le ver tigre rouge (*E. andrei*), le ver indien bleu (*Perionyx excavatus*), le'' Night Crawler african'' (*Eudrilus eugeniae*) et le ver rouge (*Lumbricus rubellus*) sont les plus utilisées dans les systèmes de vermitraitement de divers déchets organiques solides et liquides (Graff ,1981). Les capacités épuratoires d'un système peuvent être influencées par le choix de l'espèce (Xing et al, 2005 ; Li et al, 2009). Durant son cycle de vie *Eudrilus eugeniae* croit plus rapidement que les autres espèces. Son addition à un système de filtration augmente le taux d'abattement de DBO₅, COD, et MES respectivement de 72-80% à 85- 93% ; 52% -60% à 74% - 80% ; et 60% - 70% à 70% - 80%, pendant 2 à 3 heures de temps de rétention (Kharwade & Khedikar, 2011).

II- MATERIEL ET METHODES

II.1- Description de la zone d'étude

Cette étude se déroule à la STEP de 2iE, au campus de Ouagadougou, dans un endroit à cet effet. Le campus de 2iE est situé dans le quartier de Zogona, au secteur 21 de Ouagadougou. La ville d'Ouagadougou se trouve à une altitude d'environ 300m. La précipitation moyenne annuelle y est d'environ 740mm (INSD, 2006). Il y règne un climat tropical (à deux saisons), une longue saison sèche qui va de novembre à juin et une courte saison de pluie qui va de juillet à octobre. Le mois d'avril est le mois le plus chaud avec des températures allant à plus de 40°C tandis que les mois de décembre et janvier sont les plus froids avec des températures allant jusqu'à 16°C dans la nuit (INSD, 2006). La figure 2 présente le découpage administratif de la commune de Ouagadougou, ainsi que la localisation du secteur 21 où se trouve le pilot expérimental.

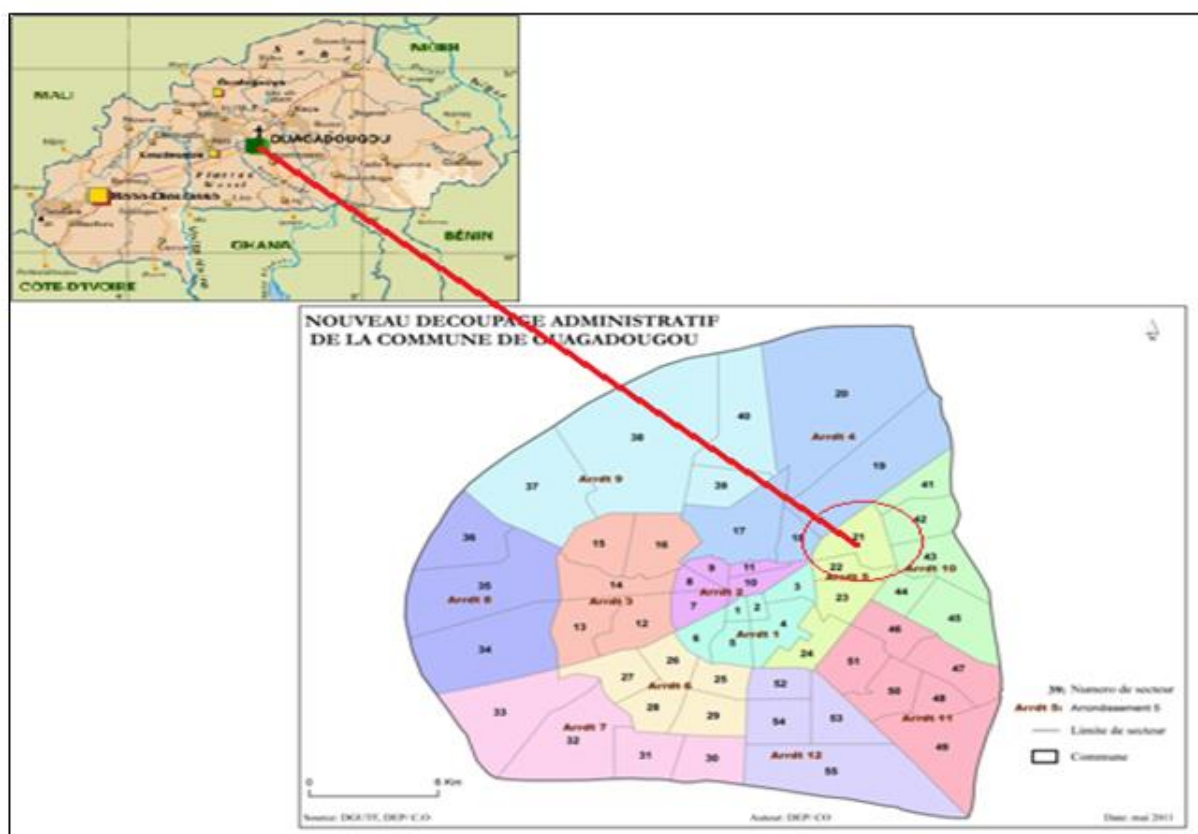


Figure 2: Localisation du secteur 21 dans la commune de Ouagadougou

II.2- Collecte des vers de terre et des eaux grises

II.2.1- Choix et collecte des vers

L'espèce choisie dans notre étude est '*Eudrilus Eugeniae*, encore appelée *African Night Crawler*. C'est une espèce qui est largement répartie en Afrique (Neuhauser et al, 1979). Des individus de différentes tailles et différents âges d'*Eudrilus eugeniae* ont été collectés au niveau de la zone humide près du barrage de Tanghin à Ouagadougou, et ont été cultivés dans un endroit humide avec une bonne protection contre les prédateurs (fourmis, crapauds, margouillat). La première étape dans la vermiculture consiste à sélectionner les matières premières adéquates pour les vers de terre, et dans une seconde étape leur apporter de l'eau tous les jours. Les vers collectés sont présentés sur la figure 3.

II.2.2- Collecte des eaux grises

Les eaux grises ont été recueillies dans une barrique de 60 litres placée pendant 24 heures au niveau des ménages près du campus de 2iE. Elles sont ensuite transportées sur le site expérimental, puis mixées avant d'être prélevées pour l'alimentation des vermifiltres et les analyses. La figure 4 montre le dispositif de prélèvement des eaux grises.



Figure 4 : Dispositif de prélèvement de l'eau grise



Figure 3 : vers de terre collectés : *E.eugeniae*

II.3- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué par colonne cylindrique en PVC de 200 mm diamètre intérieur, et d'environ 80cm de hauteur dans laquelle sont disposés des couches des matériaux.

La couche de support est constituée de matériaux de filtration traditionnels (graviers, sable) La couche active est constituée d'un matériau moins conventionnel (sciure de bois) et de vers de terre. La colonne est munie d'un tuyau qui permet de collecter l'effluent traité à la sortie du système dans un bidon. La figure 5 ci-contre nous montre le dispositif expérimental.



Figure 5 : Dispositif expérimental de vermifiltration

Deux séries de vermifiltres ont été considérées selon les objectifs à atteindre :

Dispositif expérimental 1 :

Pour la première série déjà installée, il s'agissait d'évaluer la performance d'un vermifiltre après 8 mois d'utilisation et de déterminer l'influence de la composition du milieu sur la performance du vermifiltre. La configuration des filtres est présentée dans la figure 6 ci-dessous.

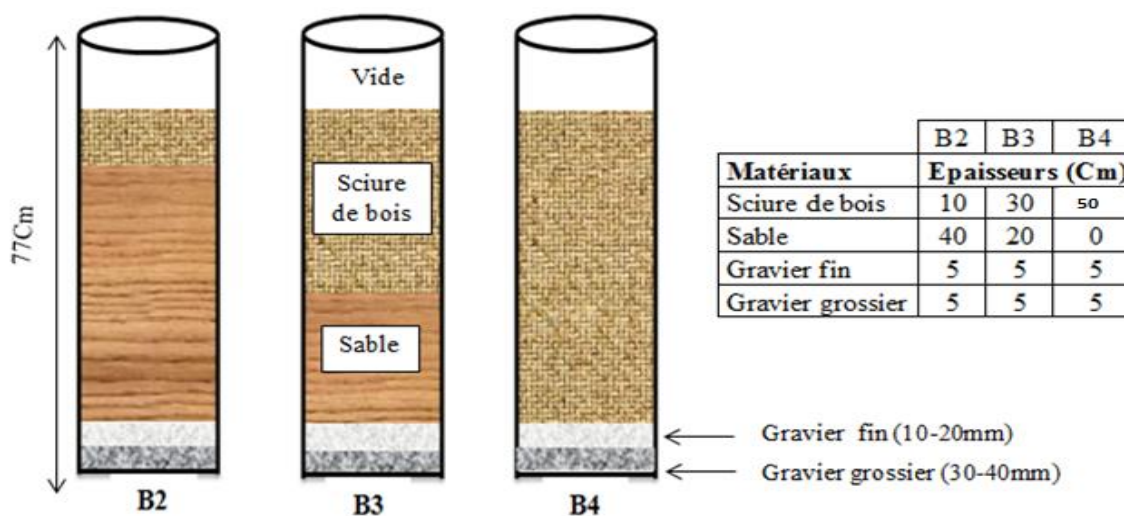


Figure 6 : Composition des filtres B2, B3 et B4

En ce qui concerne l'alimentation des vermifiltres, une quantité de 0,5 litre d'eau grise collectée est versée dans les filtres B2, B3, et B4 toutes les 3 heures de 8h à 17h. Il est crucial que l'eau grise soit répartie régulièrement sur la surface du filtre. Une distribution irrégulière entraîne l'apparition de zones saturées en profondeur. L'eau grise qui traverse le massif filtrant est ensuite recueillie à la sortie de chaque filtre 3 heures après l'alimentation et le volume d'eau épurée est alors déterminé. La figure 7 présente les différents matériaux composites du système de filtration.



Figure 7 : Matériaux constitutifs des vermifiltres B2, B3 et B4

Dispositif expérimental 2

La seconde série de vermifiltre selon les objectifs suivants :

- Evaluer l'influence de la concentration de l'eau grise en LAS (**dodécylbenzene sulfonic**) sur le fonctionnement du vermifiltre
- Evaluer l'influence de la charge hydraulique sur sa performance
- Déterminer le taux d'élimination du DBS par la vermifiltration

A cet effet 5 filtres de composition identiques ont été montés en début du mois de mai 2014. Il s'agit de S1, S2, S3, S4 et S5. La figure 8 montre la configuration des filtres.

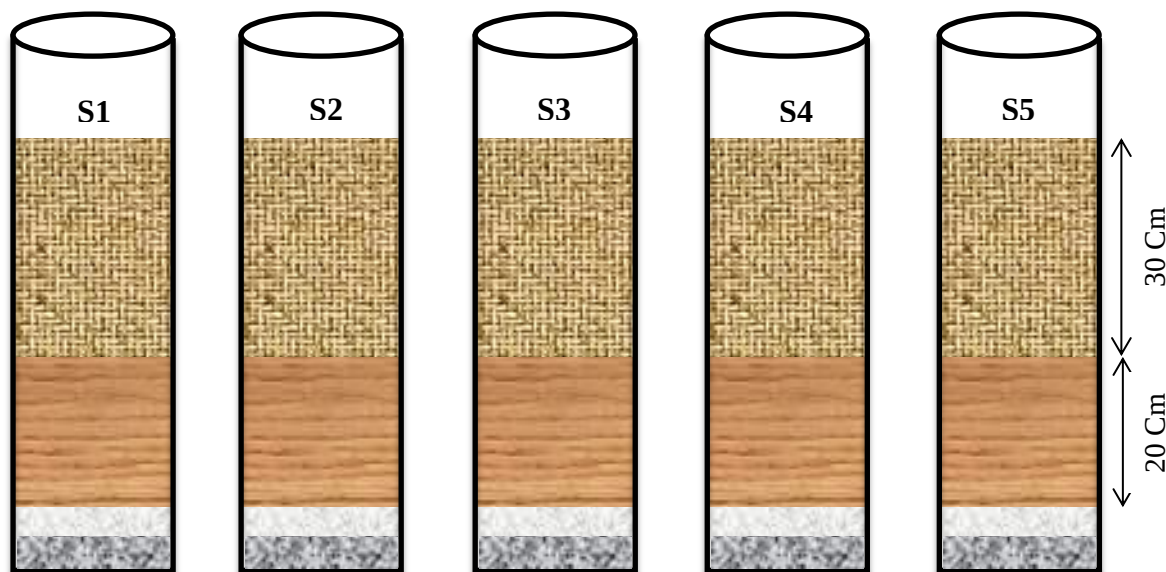


Figure 8 : Composition des lombrifiltres S1, S2, S3, S4 et S5

Les filtres S1 à S5 sont alimentés 3 fois par jour à des intervalles de temps de 4 heures, entre 8h et 16h. S4 constitue le filtre de contrôle, il reçoit 1 L d'eau grise à chaque alimentation. Quant aux filtres S1 S2 et S3, ils reçoivent 1l litre d'eau grise chacun, mais avec respectivement 15, 45, et 135mg de DBS. S5 reçoit 0.5L d'eau grise à chaque alimentation. Le récapitulatif du processus d'alimentation des filtres S1 à S5 est donné dans le tableau suivant :

Tableau II : Paramètres d'alimentation des filtres S1...S5

	S1	S2	S3	S4	S5
Quantité d'eau (L)	1	1	1	1	0,5
concentration DBS en mg/L	15 + [EG]	45+ [EG]	135+ [EG]	[EG]	[EG]

[EG] : concentration de l'eau grise en surfactants

Suivi du dispositif

La température à l'intérieur du filtre, la température ambiante, et la température de l'eau grise sont mesurés avant chaque alimentation. Le volume d'eau épuré à la sortie du filtre est aussi évalué avant une nouvelle alimentation. Une photo de construction des filtres est présentée en annexe 4.

II.4- Echantillonnage

Les prélèvements se font une fois par semaine à la sortie de chaque filtre. L'eau grise est aussi prélevée le même jour pour permettre l'évaluation des capacités épuratoires de chaque filtre. Les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre borosilicaté et en polyéthylène pour les analyses microbiologiques et physico-chimiques respectivement. Les échantillons prélevés sont ensuite stockés à 4°C en attendant les analyses au laboratoire.

II.5- Méthodes d'analyses

Les eaux grises brutes provenant des ménages et les eaux traitées recueillies à la sortie des filtres ont été analysées pour étudier les différents paramètres physiques chimiques et microbiologiques.

II.5.1- Paramètres mesurés in situ

- **Potentiel Hydrogène (pH)**

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. La méthode potentiométrique est utilisée pour déterminer le pH à l'aide d'un pH mètre portable (WTW 3310).

- **Conductivité**

La conductivité a été mesurée par un conductimètre de type 3310 SET 1. La technique consiste à immerger l'électrode dans l'échantillon d'eau à analyser, puis procéder à la lecture de la valeur en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- **Température**

La température ambiante et à l'intérieur des vermifiltres a été mesurée in situ 3- 4 fois par jour de lundi à vendredi à l'aide d'un thermomètre digital (HI93522). La mesure se fait avant l'approvisionnement des filtres en eau grise. La technique consiste à immerger l'électrode dans les différents filtres et les échantillons à analyser. Puis on procède à la lecture de la valeur après stabilisation.

II.5.2- Paramètres chimiques

- **DBO₅**

La DBO a été déterminée en utilisant un DBO mètre (WTP Oxitop). Le principe est basé sur la méthode de respirométrie. La quantité appropriée de chaque échantillon est introduite dans l'Oxitop en assurant l'étanchéité, et mis en incubation dans un incubateur de DBO (B83650) à

20°C pendant 5 jours. La différence entre la valeur initiale et finale de l'oxygène dissous constitue le DBO de l'échantillon. La mémoire des valeurs de mesure intégrée enregistre automatiquement une valeur DBO toutes les 24 heures. Elle s'exprime en mg de dioxygène par litre d'eau (mg/L).

- **DCO**

La mesure de la DCO se fait à l'aide du spectrophotomètre de lecture directe HACH DR/2000 à une longueur d'onde de 620 nm. Le principe est basé sur la méthode de digestion en milieu acide. Des flacons de DCO avec 0-1500ppm ont été utilisés. L'échantillon est chauffé avec de l'acide sulfurique ($\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$) et un agent oxydant fort qui est le dichromate de potassium (0,02 N), pendant 2 heures à 120°C dans un minéraliseur DCO (réacteur WTW, 24 tubes de 16mm). Les composés organiques oxydables réagissent avec dichromate qui est réduit en ions chrome (Cr^{3+}), et la quantité de Cr^{3+} produite est déterminée. Elle s'exprime en mg de dioxygène par litre d'eau.

- **MES**

Le principe est basé sur la détermination de la masse de la matière en suspension dans l'échantillon. La quantité de matières en suspension est déterminée en filtrant un volume spécifique d'échantillon à travers une membrane GFC préalablement pesée. La membrane et la masse de solides retenus sont séchées à 100°C pendant une heure et ensuite pesées à l'aide d'une balance (B5381). La quantité de matières en suspension totale est alors égale à :

$$\text{MES} = (\text{M}_F - \text{M}_I) * 1000 / V_S$$

MES : quantité de matières en suspension en mg/L,

M_F : masse finale de la membrane + les matières en suspension en g,

M_I : masse initiale de la membrane en g,

V_S : volume d'échantillon utilisé en L

- **Composés azotés (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+) et phosphorés (P_{total})**

La concentration en ces éléments est déterminée à l'aide du spectrophotomètre de lecture directe HACH DR/2000 dans les conditions consignées dans le tableau III suivant :

Tableau III : Conditions de mesure à l'aide de HACH DR/2000

Paramètres	Réactifs utilisés	Nom de la méthode	Numéro de la méthode
NO ₂ ⁻	Nitriver 3	Méthode de diazotation	361
NO ₃ ⁻	Nitraver 5	Méthode de réduction au cadmium	355
NH ₄ ⁺	Réactif Nessler	Méthode Nessler	380
Ptotal	Molybdovanadate	Méthode de digestion au persulfate de potassium	481

- **Surfactants**

La méthode est basée sur la complexation des agents de surface anioniques et le bleu de méthylène (colorant cationique). Les sels bleus obtenus sont alors extraits au chloroforme et quantifiés à l'aide d'un spectrophotomètre à 605 nm.

II.5.3- Paramètres microbiologiques

- **Coliformes fécaux, et *E. coli***

Ils ont été utilisés comme bactéries indicatrices pour l'évaluation de la pollution microbiologique. **Chromocult Coliform Agar ES** a été utilisé comme milieu sélectif de culture. L'échantillon est ensemencé à la surface de la gélose par étalement. L'incubation s'est déroulée pendant 24h dans l'enceinte d'un incubateur Memmert de 44 °C. Le nombre de colonies de coliformes fécaux et d'*E. coli* est déterminé après incubation en se basant sur leurs couleurs (rose pour les coliformes fécaux et bleu pour les *E. coli*).

Le nombre de colonies pour 100mL de l'échantillon est obtenu par la relation suivante :

$$N \text{ (UFC/100 mL)} = \frac{n}{d \times v} \times 100$$

N : nombre de bactéries recherché pour 100 mL d'échantillon

n : nombre de colonies caractéristiques comptées sur la boîte de Pétri

d : taux de dilution de l'échantillon ensemencé

v : volume d'essai (mL)

II.6- Traitement et analyse des données

Les données obtenues sont analysées en utilisant Excel 2010. Les différents rendements épuratoires des paramètres ont été déterminés par les formules suivantes :

- Calcul du rendement épuratoire (paramètres chimiques) :

$$R(\%) = \frac{[EG] - [Filtre]}{[EG]} * 100$$

R = rendement épuratoire ou Abattement, [EG] = concentration dans l'eau grise

[Filtre] = concentration dans l'eau à la sortie du filtre

- Calcul de l'abattement (paramètres microbiologiques)

$$Ulog = -Log_{10} \left[1 - \frac{Rendement (\%)}{100} \right]$$

Le logiciel de statistique R 3.0.1 a aussi été utilisé et les performances épuratoires des filtres sont comparées en utilisant un test de Kruskal wallis.

III- RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1- Caractérisation de l'eau grise

La caractérisation physique, chimique et microbiologique de l'eau grise utilisée pour alimenter les filtres donne les résultats suivants (tableau IV) :

Tableau IV : Caractéristiques de l'eau grise utilisée pour l'étude

Paramètres	Valeurs	Coefficient de variance
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2501 ± 851	34%
pH	$6,8 \pm 0,75$	11%
MES (mg/L)	2120 ± 1178	56%
DBO (mg/L)	916 ± 54	6%
DCO (mg/L)	5581 ± 2120	38%
Nitrites (mg/L)	84 ± 43	51%
Nitrates (mg/L)	$37,2 \pm 21,1$	57%
Phosphore Total (mg/L)	35 ± 26	74%
Ammonium (mg/L)	$30,6 \pm 12,9$	42%
<i>E. coli</i> (FC/100mL)	126857 ± 181967	143%
CF (FC/100mL)	2987143 ± 4231165	142%
Surfactants (mg/L)	$1,3 \pm 0,6$	46%

Comme illustré dans le tableau ci-dessus, la qualité de l'eau grise est très variable. Cette variation se voit à travers les écarts types très élevées. Elle est probablement due à la diversité des activités ménagères au fil du temps. En effet lors des travaux effectués en 2009 par Yofé, sur la caractérisation des eaux grises en fonction de leurs sources : la lessive, la vaisselle et la douche, ont montré des concentrations très variables non seulement d'une source à l'autre, mais aussi pour la même source (voir tableau I). De même, la caractérisation effectuée par Maiga et al. (2014) dans une zone rurale du Burkina Faso, semble aller dans le même sens. Si on considère par exemple la DCO et la DBO₅ on a les résultats suivants : DCO (1240 ± 966 ; 3410 ± 2070 ; 6497 ± 2600 mg/L) et DBO₅ (533 ± 429 ; 886 ± 402 ; 2743 ± 1340 mg/L), respectivement pour la douche, la vaisselle et la lessive. Cependant, une réduction importante des différentes concentrations a été observée avec le passage de l'eau grise dans les différents

filtres B2, B3 et B4 (sans causer la mort des vers) montrant que les vers de terre peuvent résister à des fluctuations de la charge organique, et microbiologique entrante.

III.2- Variations et effets de la température au cours du traitement de l'eau grise

Les courbes de variation de la température en fonction du temps sont représentées sur les figures 9 (variation de la température à l'intérieur des filtres) et 10 (variation de la température ambiante). La température est un élément très déterminant dans le traitement de l'eau grise par vermifiltration parce que les vers de terre ne résistent pas à des températures élevées. Les températures ambiantes et à l'intérieur des filtres vont jusqu'à plus de 40°C pendant le mois d'Avril. En début Avril le suivi des filtres B2, B3 et B4 a été arrêté, après avoir constaté la mort des vers dans l'ensemble des filtres. Ces observations semblent être corrélées avec la hausse de température dans les filtres. En mi-avril un autre dispositif expérimental utilisant des matériaux différents a été mis en place, et après une semaine d'adaptation les vers ont commencé à mourir progressivement jusqu'à disparition totale. Cette disparition des vers aussi est probablement due au pic de température (allant jusqu'à plus de 40°C) dans ces filtres. Cependant dans le dernier dispositif expérimental installé en début Mai, il n'y a presque pas eu de diminution du nombre de vers, ceci est vraisemblablement dû à la baisse observée des températures. Par ailleurs, la présence de cocons a été observée dans les filtres durant le mois de février, où la température était moins élevée comparée à celles mesurées en Avril. Les vers collectés au niveau local peuvent donc se reproduire à des températures allant jusqu'à plus de 30°C. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Reinecke et Viljoen, (1988) sur *Eudrilus eugeniae* selon lesquels elle peut supporter des températures d'environ 30°C. La hausse de température a donc un impact négatif sur la survie des vers dans les systèmes de vermifiltration et par conséquent sur l'efficacité du filtre.

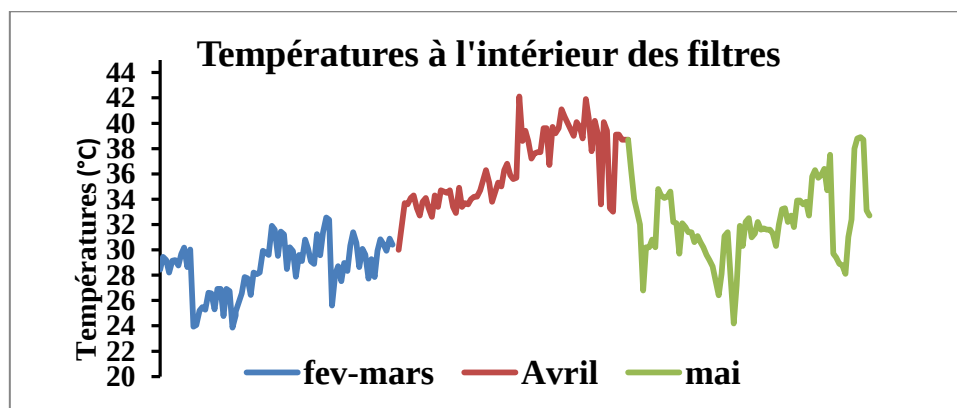


Figure 9 : Variations de la température à l'intérieur des filtres

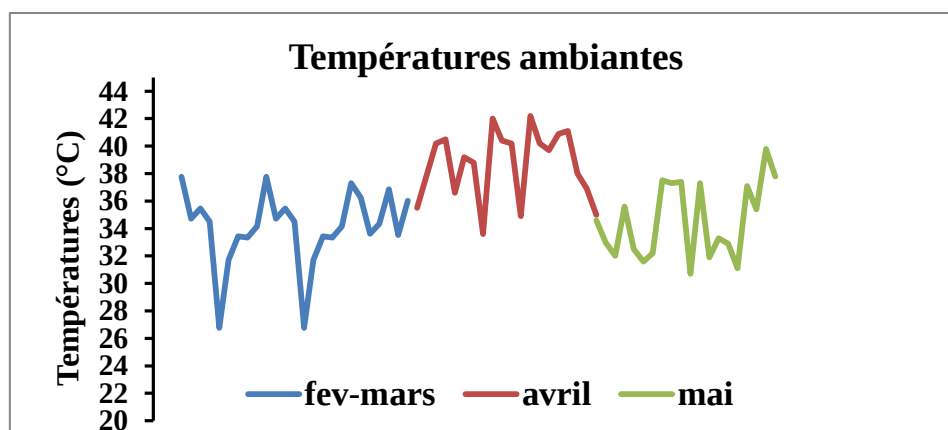


Figure 10 : Variations de la température ambiante

III.3- Evaluation de la performance des vermifiltres B2, B3 et B4 après 8 mois d'utilisation (Juin 2013 – Février 2014)

Les paramètres mesurés dans les eaux grises et dans les effluents de chaque filtre. Les abattements ont été déterminés, et les résultats ont été comparés à ceux obtenus lors des analyses en début de vie des filtres (les 6 premières semaines de vie des filtres) par Amare et al, (*Unpublished data*).

III.3.1- pH

La figure 11 nous montre les variations du pH en fonction des jours d'analyse. Le pH est un paramètre important de l'eau. La plupart des bactéries préfèrent des pH neutres ou légèrement alcalins compris entre 6,5 et 8,5 (Mara, 2004 in Maiga et al, 2014). Le pH de l'eau traitée à la sortie des trois filtres est supérieur à celui de l'eau grise. La valeur moyenne de pH de l'eau grise est de 6,8 tandis que celle de l'eau traitée est de 8,2. Le pH de l'eau dépend essentiellement d'une variété de facteurs chimiques, les gaz dissous par exemple, les acides organiques, les fractions humiques et les sels inorganiques (Tomar & Suthar, 2011). Cette augmentation de pH est probablement due à la réduction des ions NH_4^+ contenus dans l'eau grise. Cela peut aussi s'expliquer par le passage de l'eau à travers les différentes couches du système de lombrifiltration. Des résultats similaires ont été observés dans d'autres études sur la lombrifiltration. Notamment celles de Tomar et al. (2011) ; Kharwade & Khedikar (2011) ; Ghatnekar et al. (2010) avec des valeurs de pH passant respectivement de 7.61 à 8.15 ; 6.6 à 7.4 ; 6.26 à 7.05 après traitement. Le pH des eaux d'irrigation doit être compris entre 6,5 et 8,5 (WHO, 2006). Relativement au pH, l'eau traitée par vermifiltration peut être utilisée en agriculture. Par ailleurs les valeurs de pH dans les eaux traitées sont très peu variables, elles vont de 8,01

à 8,59. Par contre, pour les eaux grises brutes, le pH très variable est compris entre 6,5 et 7,8. Le vermifiltre semble donc stabiliser le pH de l'eau comme au début du traitement (le pH de l'eau traité variait de 8 à 8,5 et celui de l'eau grise de 6,5 à 7,5)

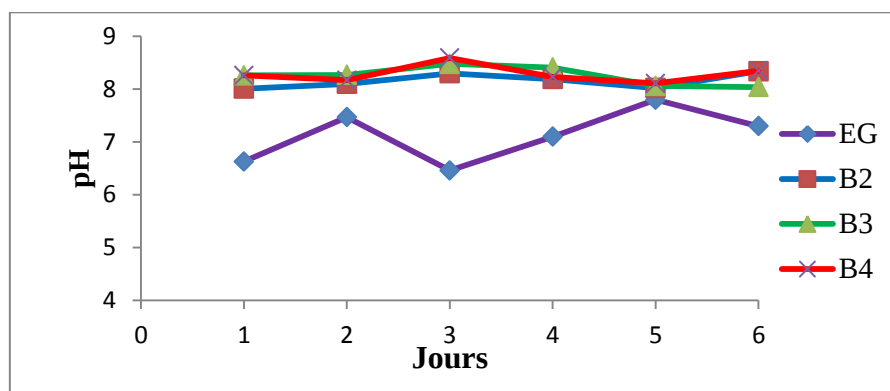


Figure 11 : Variations de pH

III.3.2- MES

La Figure 12 représente les abattements de MES en fonction des jours. La quantité de MES a observé une réduction très nette au cours du traitement. La valeur moyenne de MES de 2120 mg/L dans l'eau grise est passée respectivement à 96 mg/L l'effluent de B2, 57 mg/L pour B3 et 57 mg/L pour B4, avec des abattements moyens respectifs de 94,94 ; 97,55 et 97,35%. Le taux d'abattement le plus élevé en MES est de 99,01% et le taux le plus bas de 86,73%. Les valeurs de 97-98% obtenues par Xing et al (2005), dans le cadre de la même étude, sont presque pareilles. Les analyses effectuées en début d'utilisation des filtres ont donné sensiblement les mêmes résultats, avec un taux d'abattement moyen de 96,60%. Ces résultats montrent alors clairement qu'après 8 mois d'utilisation, le vermifiltre a la même capacité d'éliminer la fraction solide de l'eau grise. Les vers consomment donc progressivement les matières solides retenues par le système de filtration et empêchent ainsi la formation des boues et le colmatage (Zhao et al, 2010).

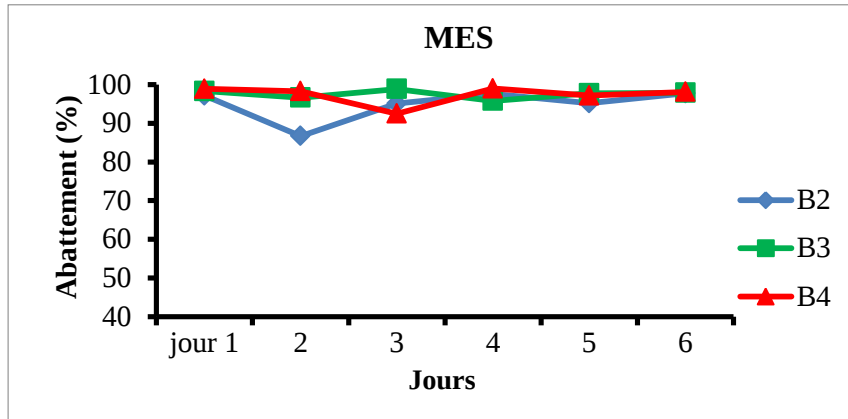


Figure 12 : Abattement MES

III.3.3- DCO

La figure 13 illustre les rendements épuratoires en fonction des jours. La valeur de la DCO des effluents à la sortie des filtres est nettement moins élevée que celle de l'eau brute. La valeur moyenne initiale de DCO de 5581 mg/L a été réduite à 687mg/l dans le filtre B2, 507mg/L dans le filtre B3 et 939 mg/L dans le filtre B4. Les valeurs des abattements sont comprises entre 73,51% et 94,9%. Les rendements épuratoires moyens sont de 84.92, 88.87 et 81% respectivement pour B2, B3 et B4. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux obtenus par Xing et al. (2009) et Li et al. (2009) qui sont respectivement de 60,8 – 93,5% avec une moyenne de 83,5 et de 80.3- 86,8%.

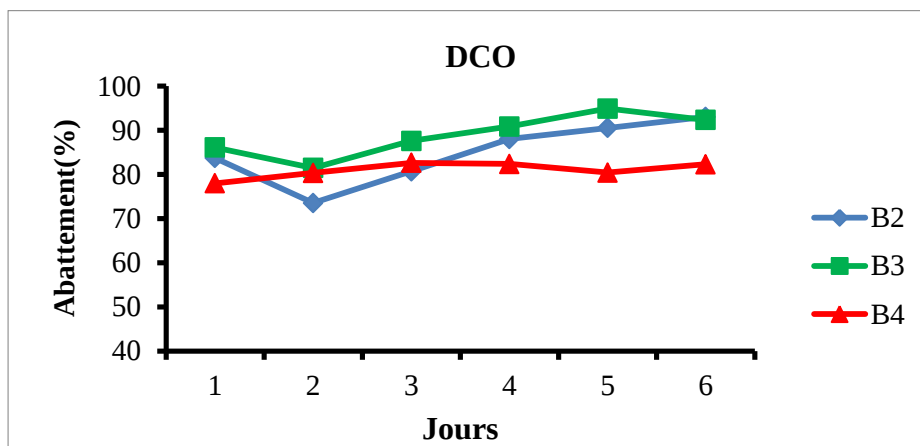


Figure 13: Abattement DCO

Le taux d'abattement maximum est supérieur à celui obtenu par Kharwade et Khedikar (2011), qui est de 80%, avec la même espèce de vers. La DCO est un indicateur important de la charge organique des eaux grises. Les résultats d'abattement de la DCO obtenus lors des analyses, sur un système de filtration sans les vers de terre, au début du traitement ont été

nettement inférieurs. (40%). La présence de vers semble donc avoir un impact positif sur les performances des systèmes de filtration en travaillant en symbiose avec les microorganismes aérobies pour accélérer la décomposition de la matière organique. Les vers sécrètent des enzymes qui aident dans la dégradation de plusieurs autres produits chimiques qui ne peuvent pas être décomposés par les microorganismes (Kharwade & Khedikar ,2011). La DCO était un peu moins bien éliminée en début de vie des filtres, les taux de réduction variaient de 70,48% à 76,82%.

III.3.4- DBO₅

Les taux d'abattement en fonction des jours d'analyse sont représentés par la figure 14. La valeur moyenne de DBO₅ de l'eau grise de 916 mg/L a été réduite de 80,6% ; 72,54% et 75,11% respectivement dans B2, B3, et B4, les valeurs moyennes de DBO₅ à la sortie des filtres sont donc de 180, 256 et 250mg/L. La DBO₅ mesure la quantité de matière organique biodégradable contenue dans une eau. Cette matière organique biodégradable est évaluée par l'intermédiaire de l'oxygène consommé par les micro-organismes impliqués dans les mécanismes d'épuration naturelle. Dans l'ensemble des filtres les abattements vont de 40 à 94,9%. Les taux d'abattement ponctuels très bas, de 40 et 50% peuvent être dus à des contaminations extérieures lors du prélèvement des échantillons d'eau à analyser ou à un problème de dysfonctionnement temporaire du vermifiltre. Li et al. (2009) et Kharwade et Khedikar (2011) ont obtenus des résultats plus satisfaisants : 85,8-91,4% et 85-93% respectivement. De même, la réduction était beaucoup plus satisfaisante au début du traitement (96,53%). Il se pourrait que, le temps ait eu un effet négatif sur l'abattement de la DBO₅.

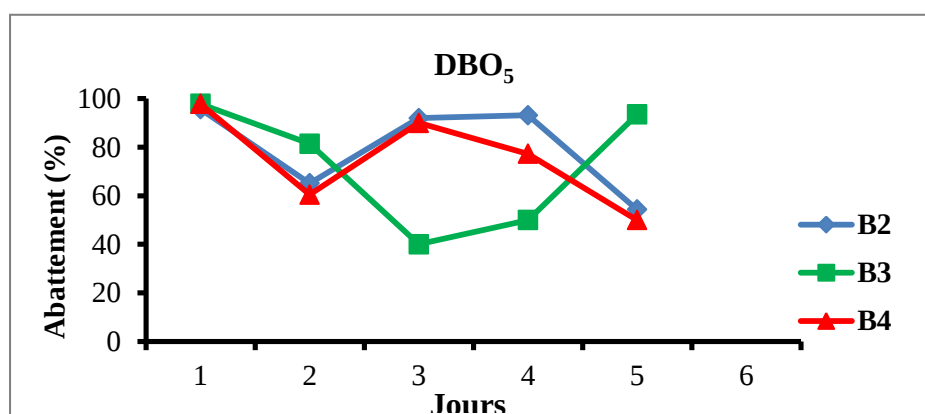


Figure 14 : Abattement DBO₅

III.3.5- Coliformes fécaux et *E. coli*

Les figures 15 et 16 illustrent la variation des abattements respectifs en fonction des jours. Le nombre moyen de colonies de coliformes fécaux de l'eau grise brute est de 2987143 UFC /100mL et le nombre moyen pour *E. Coli* est de 126857 UFC/100mL. Ce nombre est passé à 17038, 72574, 12520 UFC /100mL pour les coliformes fécaux et 368, 1852, 1046 ufc /100mL pour les *E. coli* respectivement à la sortie de B2, B3 et B4. Les figures ci-dessous illustrent les taux d'abattements respectifs. Le taux d'abattement moyen des coliformes fécaux est de 94,86 ; 97,23; 96,19% (1.3 ; 1.6 ; 1.4 Ulog) et celui des *E. coli* est de 97,81 ; 98,07 ; 96,05% (1.7 ; 1.7 ; 1.4 Ulog) respectivement pour B2, B3 et B4. Malgré la réduction du nombre de colonies des bactéries étudiées, aucun abattement moyen n'atteint 2 Ulog (99%). Le traitement était beaucoup plus efficace au début avec des abattements moyens de 3Ulog.

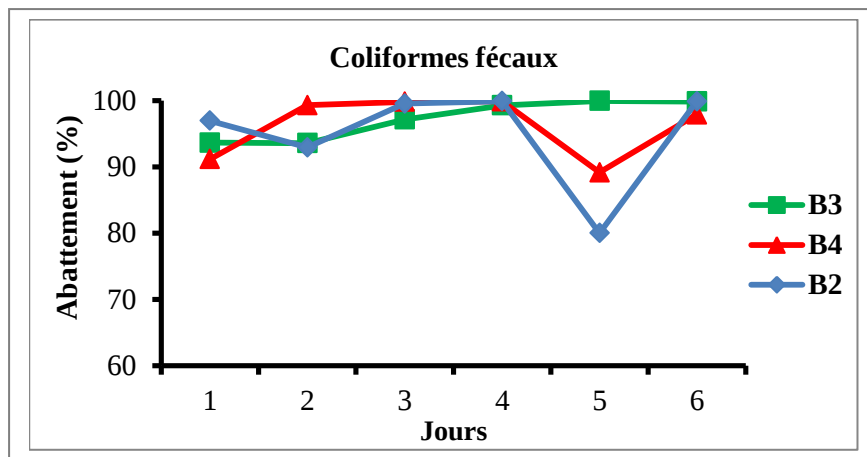


Figure 15 : Abattement coliformes fécaux

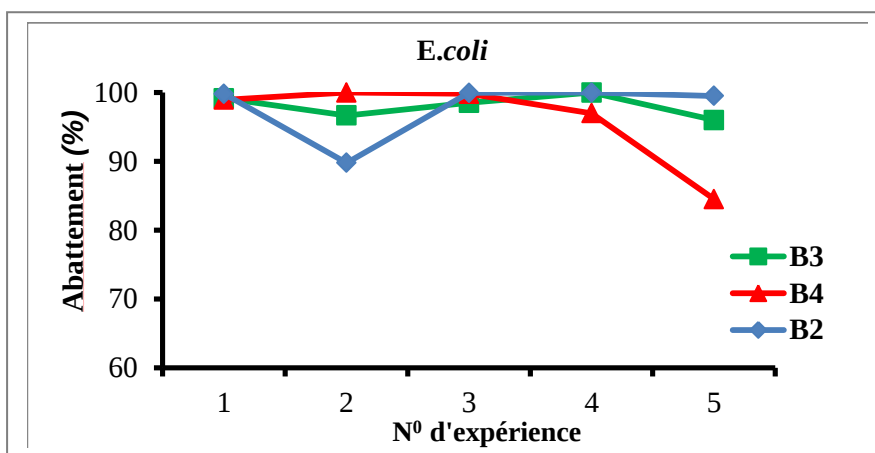


Figure 16 : Abattement *E. coli*.

La durée d'utilisation des vermifiltres n'a pas eu le même effet sur les taux d'abattement des différents paramètres. Elle semble ne pas affecter l'abattement de MES, et augmenter l'abattement de la DCO, mais concernant la DBO et les coliformes fécaux, le temps semble avoir un effet négatif sur le traitement. Il est donc difficile de relier la durée d'utilisation du système de vermifiltration à la baisse ou à l'accroissement du taux d'abattement de la pollution de l'eau.

III.4- Influence de la composition du vermifiltre sur sa performance

Les résultats obtenus sont sur la figure 17. Elle représente les taux d'abattement en fonction des filtres. La distribution des valeurs des différents paramètres a été étudiée et la comparaison s'est faite grâce à la juxtaposition sur le même graphique des trois box plots définies par les filtres B2, B3 et B4. Pour tous les paramètres analysés dans les eaux traitées, pour l'ensemble des trois filtres B1, B2 et B3, il n'y a pas de valeur atypique à un filtre donné, les valeurs se trouvent dans un même intervalle en fonction des paramètres.

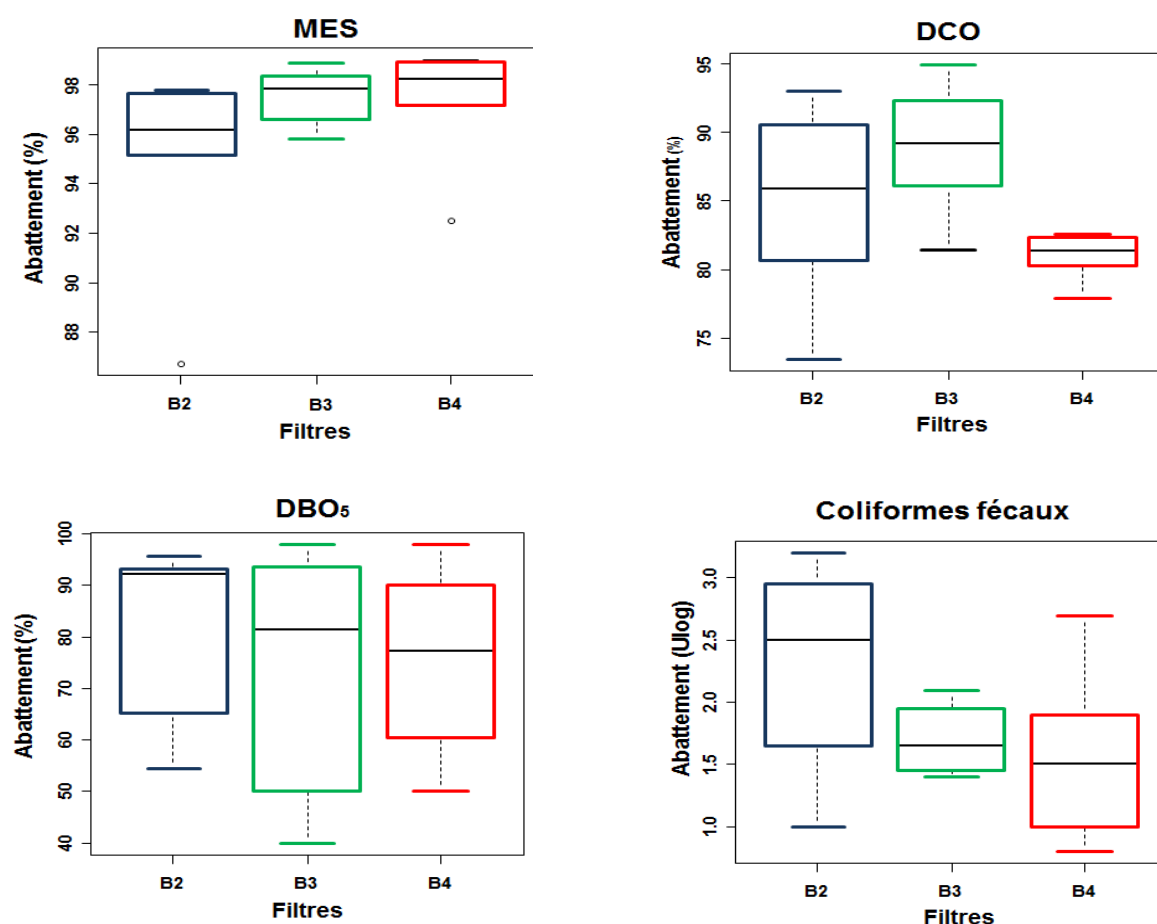


Figure 17 : Distribution des valeurs des paramètres de l'eau selon les filtres

Pour chaque paramètre la *p value* obtenu (test de Kruskal Wallis) est supérieur à 0,05 (annexe 2) ce qui confirme l'absence de différence significative entre les performances des 3 filtres. La composition du vermifiltre semble ne pas avoir d'impact significatif sur sa performance. Ce résultat peut s'expliquer par la présence du même nombre de vers de terre au niveau des 3 filtres. Les vers joueraient donc un rôle essentiel dans nos systèmes de filtration. Cependant au regard des courbes d'évolution des abattements, les courbes représentant le filtre B3 semblent être les plus stables dans le temps, pour la plupart des paramètres. Les abattements sont donc plus ou moins constants dans ce filtre. La configuration et la composition des couches de matériaux dans ce filtre seraient donc les mieux adaptées pour les études ultérieures.

Pendant le mois d'avril, une étude parallèle du même type a été abordée en comparant la composition du filtre B3 avec d'autres types de matériaux à la place de la sciure de bois, tels que : la bouse de vache, les excréments de porc et les excréments de mouton. Les résultats n'ont pas pu être obtenus à cause de la mort précipitée des vers dans tous les filtres. La disparition des vers a été attribuée à la hausse de la température, parce que même les vers de la première série ont succombé à la même période. L'étude pourra être réalisée pendant une autre saison pour confirmer cette hypothèse.

III.5- Taux d'élimination des surfactants (DBS₊) par lombrifiltration

Les rendements épuratoires des surfactants aux cours du traitement sont représentés par la figure 18. Les rendements épuratoires moyens pour chaque filtre, ce qui concerne les surfactants sont compris entre 95,33 et 97,23%. Il est de 97,24 pour S1 ; 99,66 pour S2 ; 99,32 pour S3 et 95,33 pour S4. Les concentrations moyennes en DBS₊ de 16,02 ; 45,92 ; 135,86 et 1,19 mg/L ont été réduites à 0,45 ; 0,16 ; 0,17 et 0,04 mg/L respectivement dans les filtres S1, S2, S3 et S4. La vermifiltration est donc très efficace dans l'élimination des surfactants dans les eaux grises. La concentration résiduelle en surfactants, de l'eau à la sortie de S1 est plus élevée que celles de S2 et S3 bien que la concentration en l'entrée soit moindre par rapport à celles des deux autres. L'explication pourrait être que certains vers sont morts dans le filtre S1.

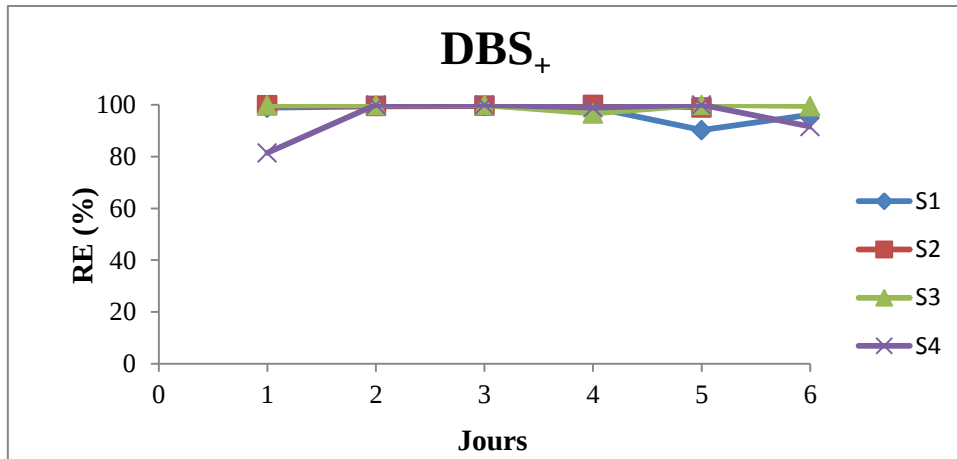


Figure 18 : Rendements épuratoires DBS₊

III.6- Impact de la quantité de surfactants de l'eau grise sur l'efficacité de la lombrifiltration

III.6.1- MES, DCO

La figure 19 montre les abattements en fonction des filtres. S'agissant de MES, les concentrations résiduelles de l'eau traitée sont de 77 ; 35 ; 42 et 36 mg/L et les rendements épuratoires moyens sont de : 89,96 ; 94,22 ; 95,42 et 96,18% respectivement pour S1 S2 S3 et S4. Et en ce qui concerne la DCO, les concentrations sont de 512, 302, 349, et 287 mg/L et les abattements respectifs sont de 85,65 ; 92,46 ; 92,36 et 93,06 % de S1 à S4. Les résultats complets des analyses sont en annexe 3 .

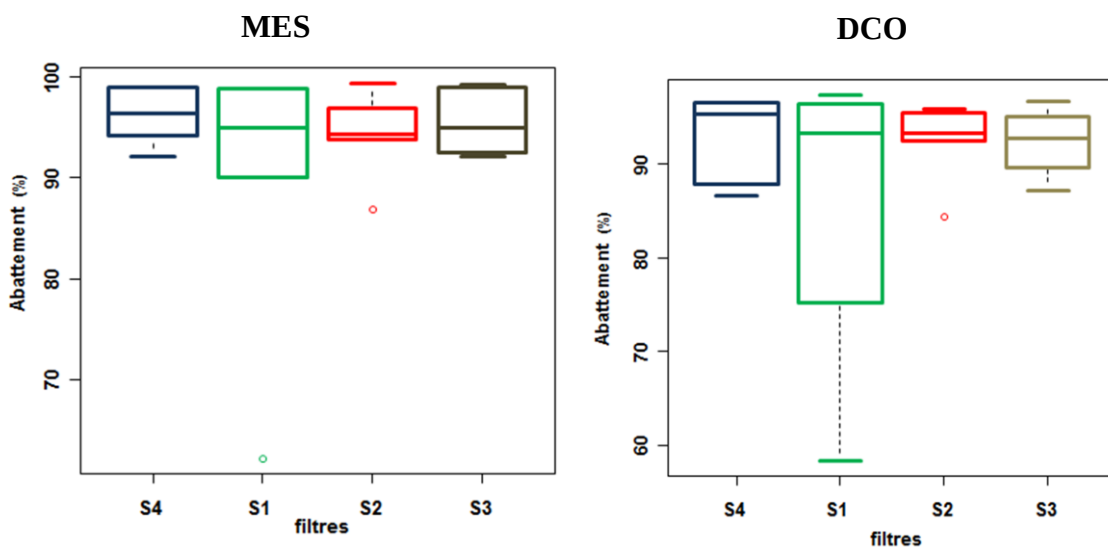


Figure 19 : Abattements de MES et DCO après ajout de DBS dans l'eau grise

Selon la figure, les valeurs des rendements épuratoires de DCO et de MES sont compris dans un même intervalle pour les 4 filtres. Le filtre 4 (filtres de contrôle) ne présente pas de différence par rapport aux autres filtres, et les 3 autres filtres ne présentent pas non plus de valeurs atypique l'un par rapport aux autres. De plus d'après le test de Kruskal Wallis effectué pour ces deux paramètres, MES et DCO, valeurs de p respectives de 0,80 et 0,88 toutes deux largement supérieures à 0,05. Il n'y a donc pas de différence significative entre les différents abattements. La concentration de l'eau grise en surfactants n'a pas d'impact sur l'élimination de la DCO et de MES.

III.6.2- Composés azotés et P_{total}

L'azote et le phosphore sont des éléments importants pour la croissance des plantes, mais à des concentrations excessives ils peuvent être nocifs pour les plantes. Selon Maiga et al. (2014), les concentrations élevées en azote dans les eaux grises utilisées en irrigation peuvent retarder la maturité de la plante et même diminuer la qualité et la quantité de la production. La figure 20 présente les abattements selon les filtres. Les valeurs moyennes des concentrations dans l'eau grise sont de 76,7 ; 32,50 ; 39,47 et 27,57 mg/L respectivement pour les nitrites, nitrates, ammonium, et phosphore total. Les concentrations moyennes (en mg/L) à la sortie des filtres et les rendements épuratoires moyens en (%) pour chaque filtre et pour chaque paramètre sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau V : Concentrations résiduelles et Abattements pour les composés azotés et le P_{total}

	Concentrations				Abattements			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
NO_2^-	6	7,9	11,7	10,8	84	89	83,3	67,2
NO_3^-	5	5,58	6,42	6	76,03	74,1	73,72	74,64
NH_4^+	12,89	5,29	5,3	5,47	70,22	84,86	85,16	83,77
P_{total}	1,4	2,28	2,38	2,27	88,67	83	86,6	86,5

Les box plots ci-dessous indiquent que pour trois de ces quatre paramètres, aucun filtre n'a de valeur atypique (valeur qui sort de la gamme des valeurs des autres filtres). Les valeurs de p sont de 0,72 ; 0,92 ; 0,83 et 0,93 respectivement pour NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ et P_{total} . Concernant le NH_4^+ le filtre S1 semble présenter une anomalie. Toutes les valeurs du premier quartile sont très inférieures aux valeurs des autres filtres (les valeurs des premiers quartiles des autres filtres sont supérieures à la médiane de S1). La moyenne de concentration résiduelle est aussi

très élevée par rapport à celle des autres filtres. Cependant cette différence ne traduit pas un impact des surfactants, car les concentrations en surfactants à l'entrée de S2 et S3 sont supérieures à celle de S1. Cette anomalie au niveau de S1 résulte donc d'un dysfonctionnement non lié aux surfactants. On peut donc dire que les surfactants n'ont pas d'effet non plus sur l'élimination des composés azotés et du phosphore total par le vermifiltre.

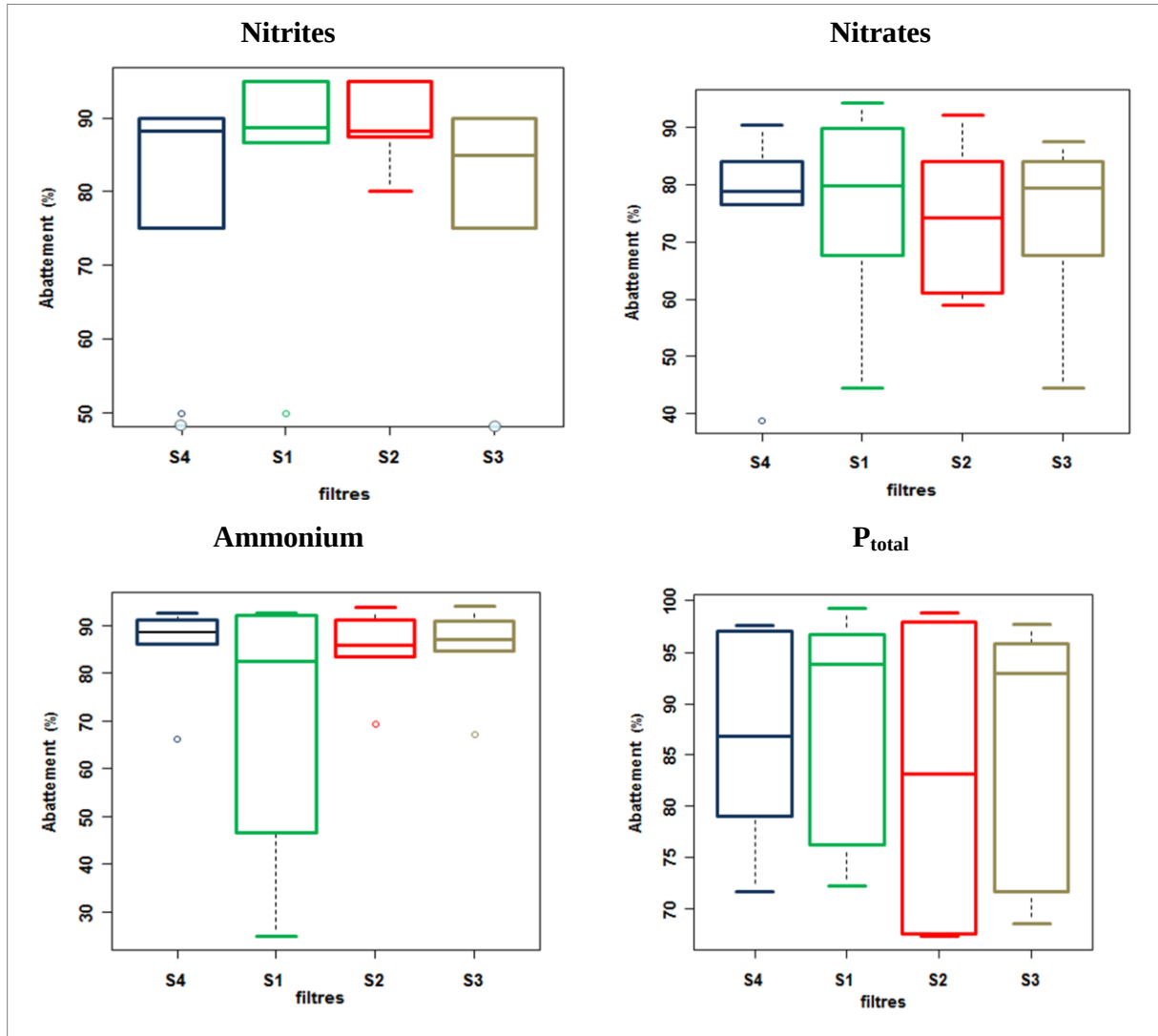


Figure 20 : Abattement des composés azotés et P_{total} après ajout de DBS

III.6.3- Coliformes fécaux

La figure 21 exprime le taux d'abattement des coliformes fécaux en fonction des différents filtres. L'élimination des coliformes fécaux semble également ne pas être influencée par la concentration en surfactants de l'eau grise. Les abattements moyens des coliformes fécaux sont de 2,1 ; 2,4 ; 1,8 et 2 respectivement pour S1, S2, S3 et S4. La valeur de $p > 0,05$ indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents abattements.

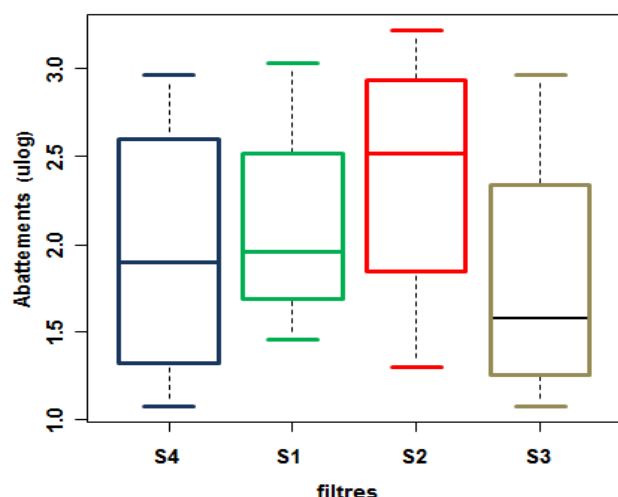


Figure 21 : Abattement coliformes fécaux après ajout de DBS

III.7- Influence de la charge hydraulique sur la performance du filtre

Les valeurs moyennes des différents paramètres concentrations résiduelles et abattements sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau VI : Concentrations résiduelles et Abattements de S4 et S5 à charges hydrauliques différentes

	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ptotal	DCO	MES
	Concentrations (mg/L)					
S4	10,8	6	5,47	2,27	287	36
S5	17,5	8,42	5,91	2,87	333	13
	Abattements (%)					
S4	80,3	74,64	85,55	86,5	93,06	96,18
S5	67,2	62,92	83,77	80,67	91,89	98,38

Le tableau ci-dessus nous montre que, excepté pour les MES, pour tous les autres paramètres, les valeurs des concentrations résiduelles sont plus élevées pour le filtre S5 et donc les abattements sont plus élevés en S4. Cela peut traduire une influence de la charge hydraulique sur le traitement. Les figures 22 et 23 confirment cette hypothèse. Elle représente l'abattement des différents paramètres en fonction des filtres à différentes charges hydrauliques. En effet, bien que les valeurs de p soient toutes supérieures à 0.05, (annexe 2) n'indiquant alors aucune différence significative, on peut remarquer que sur la figure 19 les valeurs maximales de tous les abattements correspondent au filtre S4 et toutes les valeurs minimales au filtre S5 de plus les valeurs de S5 sont très dispersées par rapport à celles de S4.

Cela confirme donc que le traitement des eaux grises par vermifiltration dépend de la charge hydraulique à l'entrée du lombrifiltre. La même observation a été mentionnée dans l'étude effectuée par Li et al. (2009). Dans le cas présent la baisse de la charge hydraulique a un impact négatif sur le traitement. Elle baisse le taux d'abattement de la pollution de l'eau de l'ordre de 2 à 16%.

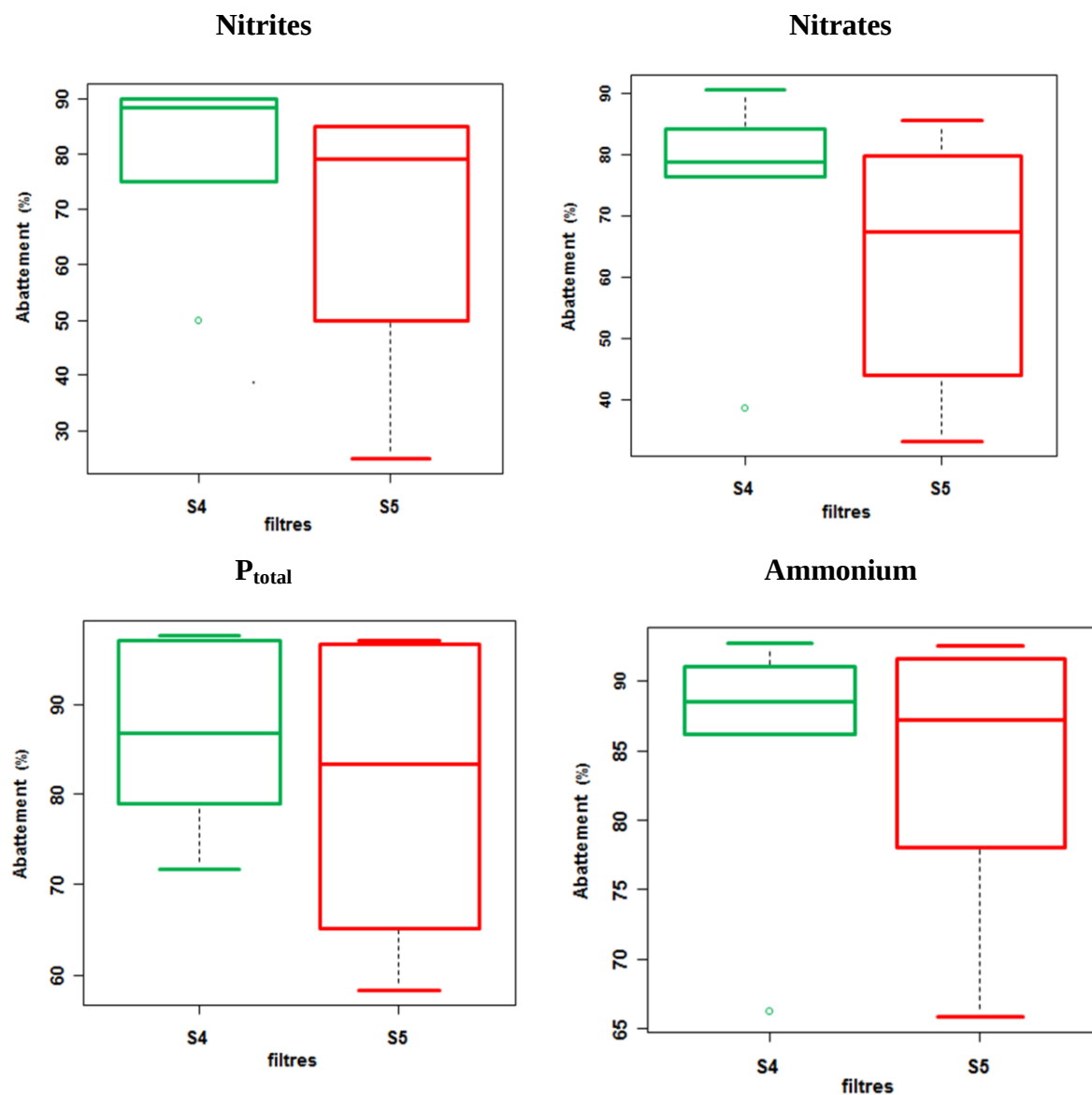


Figure 22 : Abattements pour S4 et S5 à charges hydrauliques différentes

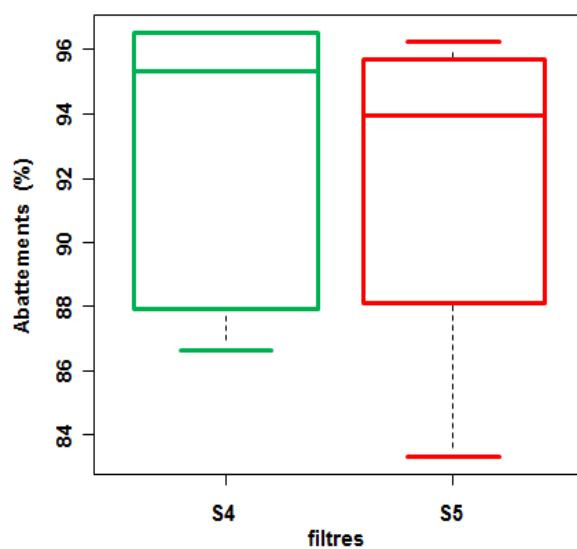


Figure 23 : Abattement DCO pour S4 et S5 à charge hydrauliques différentes

CONCLUSION

Le présent travail a permis de faire une étude de l'efficacité d'un système de vermifiltration dans le traitement des eaux grises dans différentes conditions extérieures et intérieures au système. L'étude a porté sur L'espèce locale de ver de terre *Eudrilus eugeniae* et les eaux grises de ménages situés à proximité du site expérimental ont été utilisées.

Il ressort que les rendements épuratoires du système de vermifiltration en ce qui concerne la pollution chimique et microbiologique sont très satisfaisants même après plusieurs mois de fonctionnement. La présence des vers de terre dans le système est très déterminante car les différentes modifications des autres matériaux filtrants n'ont pas d'effet significatif sur le taux de réduction de la pollution des eaux grises. L'augmentation des concentrations en surfactants dans les eaux grises semble ne pas avoir d'influence sur le bon fonctionnement du vermifiltre. Les abattements étant du même ordre avec ou sans concentrations élevées en surfactants.

L'un des facteurs essentiels dans le traitement par vermifiltration est la température. Les vers ont succombé plus d'une fois à des températures atteignant 40°C mais ils se sont bien adaptés à des températures moindres de l'ordre de 30°C. La charge hydraulique est l'autre facteur relevé lors de l'étude qui a un impact sur les performances du vermifiltre. La baisse de la quantité d'eau apportée dans le vermifiltre baisse le taux d'abattement de certains paramètres indicateurs de pollution de l'ordre de 2 à 16%.

Cette étude souligne que plusieurs facteurs pourraient jouer un rôle important dans le processus de traitement de l'eau. Il serait judicieux de mener des études plus poussées dans le domaine de la vermifiltration, afin de déterminer les conditions optimales de fonctionnement du système.

PERSPECTIVES

Afin d'arriver à déterminer les conditions optimales de fonctionnement du système de vermifiltration, les études suivantes pourront être menées:

- Développer en parallèle un système à température contrôlée et un autre à température in situ afin de confirmer l'impact de la température ;
- Faire le décompte des vers au début et à la fin de chaque cycle de traitement pour pouvoir étudier leur croissance au sein du système ;
- Faire un système avec des tuyaux de sortie de l'eau traitée au niveau de chaque couche, permettra d'évaluer la participation de chaque couche de matériel filtrant à l'abattement ;
- Reprendre l'étude sur la bouse de vache, les excréments de porc, de mouton pendant une saison favorable au vers de terre pour évaluer leur impact sur le système ;
- Evaluer l'influence des concentrations en NaCl sur l'efficacité du traitement.

Bibliographie

- Aguilera, M.L (2003):** Purification of wastewater by vermifiltration. *These de PhD*, université de Montpellier 2, France, 188p.
- Edwards, C.A. & Fletcher, K.E.(1988):** Interaction between earthworms and micro-organisms in organic matter break down. *Agriculture Ecosystems Env*, Vol. 24, pp. 235-247.
- Eklund, O.C. & Tegelberg, L. (2010):** Small-scale Systems for Greywater Reuse and Disposal A Case Study in Ouagadougou. Department of Energy and Technology, Swedish University of Agricultural sciences, Box 7070, SE -750 07, Uppsala, Sweden, 136p.
- Ghatnekar,S.D., Kavian,M.F. , Sharma, S.M., Ghatnekar, S.S., Ghatnekar, S.G. & Ghatnekar,A.V.(2010):** Application of vermi-filter-based Effluent Traitement Plant (Pilot scale) for Biomanagment of Liquids Effluents from the Gelatine Industry. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, Vol. 4, N°1, pp. 83-88.
- Graff, O. (1981):** Preliminary experiment of vermicomposting of different waste materials using *Eudrilus eugeniae* Kingberg, In: M. Appelhof (ed.) Proc. of the workshop on 'Role of Earthworms in the Stabilization of Organic Residues. *Malanazoo Pub.* Michigan,USA, pp.179-191. Et al
- Hughes, R. J., Nair, J. & Ho, G. (2009):** The risk of sodium toxicity from bed accumulation to key species in the vermifiltration wastewater treatment process. *Biological Technology*, Vol. 100, N° 16, pp. 3815 - 3819.
- INSD (Institut National de la Statistique et de la Démographie) (2006) :** Statistiques de l'environnement, Available online: <http://www.insd.bf/fr/W>
- Kharwade, A. M. & Khedikar, I.P. (2011):** laboratory scale studies on domestic grey water through vermifilter and non-vermifilter. *Journal of Engineering Research and Studies*, Vol. 2, No.4, pp. 35-39.
- Li, Y. S., Robin, P., Cluzeau, D., Bouche, M., Qiu, J. P., Laplanche, A., Hassouna, M., Morand, P., Dappelo, C. & Callarec, J. (2008):** Vermifiltration as a stage in reuse of swine wastewater: monitoring methodology on an experimental farm. *Ecol. Eng*, Vol.32, N°4, pp. 301–309.
- Li, Y.S., Xiao, Y.Q., Qui, J.P., Dai, Y.Q. & Robin, P. (2009):** Continuous village sewage treatment by vermifiltration and activated sludge process. *Water Science & Technology*, Vol. 60, N° 11, pp. 3001- 3010.
- MAHRH (2006).** Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement à l'horizon 2015 (PN-AEPA 2015), 55p.
- Maiga, Y., Moyenga, D., Ushijima, K., Sou, M. & Maiga, A.H. (2014):** Greywater characteristics in rural areas of the sahelian region for reuse purposes: the case of Burkina Faso. *Revue des Sciences de l'Eau*, Vol. 27, N°1 pp. 39-54.

- Mara, D.D. (2003):** Wastewater treatment in developing countries. *Earthscan UK*, 293 p.
- Morel, A. & Diener, S. (2006):** Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland, 96p.
- Neuhauser, E.F., Kaplan, D.L. & Hartenstein, R. (1979):** Life history of the earthworm *Eudrilus eugéniae*. *Rev.Ecol.Soil*, Vol. 16, pp. 525-534.
- PNUD (2000):** International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater Management. Osaka.
- Reinecke, A. J. & Viljoen, S. A. (1988):** Reproduction of the African earthworm, *Eudrilus eugéniae* (Oligochaeta) - cocoons. *Biology and fertility of soils*, Vol.7, N°1, pp. 23-27.
- Revaka, A. M. (2009) :** Traitement des effluents d'élevage par l'utilisation de la lombrifiltration complétée d'un lagunage par une zone humide artificielle. *Mémoire de fin d'études*, AgroParisTech ENGREF / UMR ECOBIO 6553 / Institut national de recherche agronomique de Rennes, 132 p.
- Rowe, D.R. & Abdel-Magid I.M. (1995):** Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse. Boca Raton, USA, *Lewis Publishers*, Inc. 550p.
- Sangaré, D. (2011):** Faisabilité du traitement et de réutilisation des eaux grises en milieu rural : cas de Barkoundouba (Ziniaré, Burkina Faso). *Mémoire pour l'obtention du master spécialisé en génie sanitaire et environnement*. Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE), 48p.
- Shafran, A.W., Gross, Z., Ronen, Z., Weisbrod, N. & Adar, E. (2005):** Effects of Surfactants Originating from Reuse of Greywater on Capillary Rise in the Soil. *Water Science and Technology*, Vol. 52, N° 10-11, pp. 157-166.
- Sinha, R.K., Bharambe, G. & Bapat, P.D. (2007):** Removal of high bod & cod loadings of primary liquid waste products from dairy industry by vermi-filtration technology using earthworms. *Indian Journal of Environmental Protection (IJEP)*, Vol. 27, No.6, pp. 486-501.
- Sinha, R.K., Bharambe, G. & Chaudhari, U. (2008):** Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *Springer Science+Business Media, LLC*, 12p..
- Taylor, M., Clarke, W. P. & Greenfield, P.F. (2003):** The treatment of domestic wastewater using small-scale vermicompost filter beds. *Ecol. Eng*, Vol.21, N° (2-3), pp. 197-203.
- Tomar, P. & Suthar, S. (2011):** Urban wastewater treatment using vermibiofiltration system. Desalination. *ELSEVIER*, Vol. 28, No.2, pp. 95-103.

- Ukpong, E.C. & Agunwamba, J.C. (2012):** Grey Water Reuse for irrigation. *International Journal of Applied Sciences and technology*, Vol. 2, No.8, pp. 97-113
- Wang, S., Yang, J., Lou, S. & Yang, J. (2010):** Wastewater treatment performance of a vermifilter enhancement by a converter sla-coal cinder filter. *Ecological Engineering*, Vol.36, pp. 489-494.
- WHO (2006):** Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Vol. 4: Excreta and greywater use in agriculture. *WHO Press*, Geneva, Switzerland.
- Xing, M., Li, X. & Yang, J. (2010):** Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 44, N° 9, pp. 7513-7520.
- Xing, M., Yang, J. & Lu, Z. (2005):** Microorganism-earthworm integrated biological treatment process – a sewage treatment option for rural settlements. *ICID 21st European Regional Conference, 15-19 May 2005*, Frankfurt.
- Yofe, J-M. (2009) :** Eaux grises, Caractérisation. CREPA. Report.
- Zhao, L., Wang, Y., Yang, J., Xing, M., Li, X., Yi, D. & Deng, D. (2010):** Earthworm-microorganism interactions: A strategy to stabilize domestic wastewater sludge. *Water Research*, Vol. 44, pp. 2572 – 2582.

ANNEXES

Annexe1: Abattements dispositif expérimental 1

Filtres	MES	DCO	DBO	<i>E.coli</i>	FC
B2	97,17	83,71	95,65	2,7	1,5
B3	98,34	86,11	97,82	2,1	1,2
B4	98,94	77,96	97,82	1,9	1
B2	86,73	73,51	65,12	1	1,2
B3	96,63	81,47	81,39	1,5	1,2
B4	98,32	80,33	60,46		2,1
B2	95,13	80,7	92		2,3
B3	98,88	87,57	40		1,5
B4	92,5	82,6	90		2,7
B2	97,66	88,02	93,18	3,2	3
B3	95,82	90,83	50	1,8	2,1
B4	99,01	82,38	77,27	2,7	2,9
B2	95,18	90,53	54,35		0,7
B3	97,75	94,9	93,47		3,2
B4	97,2	80,41	50	1,5	1
B2	97,78	93,02		2,3	2,9
B3	97,89	92,32		1,4	2,8
B4	98,15	82,3		0,8	1,8

Annexe 2 : p- value, test de Kruskal Wallis

	MES	DCO	Nitrates	Nitrites	Ptotal	Ammonium	E coli	Fc
S4-S5	0,2002	0,4233	0,4233	0,105	0,4704	0,631		
S1-S4	0,8002	0,8857	0,7213	0,9273	0,9314	0,8361	0,6217	0,6678
	MES	DCO	DBO	<i>E coli</i>	Fc			
B2- B4	0,109	0,05	0,9262	0,8865	0,3675			

Annexe 3 : Résultats d'analyses dispositif expérimental 2

Résultats D'analyses							Abattements(%)				
	EG	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S5
MES (mg/L)	2815		30	30	30	15	98,93		98,93	98,93	99,47
	590	7	37	33	20	7	98,81	93,73	94,41	96,61	98,81
	1190	97	37	90	70	14	91,85	96,89	92,44	94,12	98,82
	344	130	45	27	27	17	62,21	86,92	92,15	92,15	95,06
	3700	74	24	30	34	10	98	99,35	99,19	99,08	99,73
	1728	77	35	42	36	13	89,96	94,22	95,42	96,18	98,38
DCO (mg/L)	7020		184	231	243	263	97,38		96,71	96,54	96,25
	7080	401	315	468	245	383	94,34	95,55	93,39	96,54	94,59
	3720	290	235	295	195	248	92,20	93,68	92,07	94,76	93,33
	1500	624	108	155	200	250	58,40	92,80	89,67	86,67	83,33
	9860	354	409	483	403	423	96,41	95,85	95,10	95,91	95,71
	3600	893	561	461	434	428	75,19	84,42	87,19	87,94	88,11
	5463	512	302	349	287	333	85,65	92,46	92,36	93,06	91,89
Nitrites (mg/L)	150		20	30	20	25	86,67		80,00	86,67	83,33
	40	5	5	10	10	10	87,5	87,5	75	75	75
	50	5	10	5	5	25	90	80	90	90	50
	20	10	2,5	5	10	15	50	87,5	75	50	25
	100	5	5	10	10	15	95	95	90	90	85
	100	5	5	10	10	15	95	95	90	90	85
	76,7	6,0	7,9	11,7	10,8	17,5	84,0	89,0	83,3	80,3	67,2

Traitement des eaux grises par vermifiltration : Etude des performances du vermifiltre

Résultats d'analyses							Abattements(%)				
	EG	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S4	S5
Nitrates (mg/L)	69		7	11	6,5	10	89,86		84,06	90,58	85,51
	17	5,5	7	5,5	4	9,5	67,65	58,82	67,65	76,47	44,12
	19	3	3	4	3	8,5	84,21	84,21	78,95	84,21	55,26
	9	5	3,5	5	5,5	6	44,44	61,11	44,44	38,89	33,33
	44	2,5	3,5	5,5	8,5	9	94,32	92,05	87,50	80,68	79,55
	37	9	9,5	7,5	8,5	7,5	75,68	74,32	79,73	77,03	79,73
	32,50	5,00	5,58	6,42	6,00	8,42	76,03	74,10	73,72	74,64	62,92
Ptotal (mg/L)	21,6		0,7	0,9	1,5	1,2	96,76		95,83	93,06	94,44
	23	1,5	7,5	6,5	6,5	8	93,48	67,39	71,74	71,74	65,22
	23,6	1,4	0,5	1,4	0,7	0,7	94,07	97,88	94,07	97,03	97,03
	3,6	1	0,6	0,3	0,7	1,5	72,22	83,33	91,67	80,56	58,33
	83	0,6	1	1,9	2	2,8	99,28	98,80	97,71	97,59	96,63
	10,5	2,5	3,4	3,3	2,2	2,9	76,19	67,62	68,57	79,05	72,38
	27,55	1,40	2,28	2,38	2,27	2,85	88,67	83,00	86,60	86,50	80,67
Ammonium (mg/L)	30,57		4,06	4,71	4,06	6,71	86,71		84,60	86,71	78,06
	35,48	2,58	3,16	3,23	3,16	2,64	92,73	91,09	90,91	91,09	92,55
	29,41	2,32	4,90	3,87	2,13	3,16	92,11	83,33	86,84	92,76	89,25
	34,96	18,71	10,71	11,48	11,80	11,93	46,49	69,37	67,16	66,24	65,87
	73,21	15,93	4,45	4,32	7,10	6,13	78,24	93,92	94,10	90,31	91,63
	33,22	24,90	4,45	4,19	4,58	4,90	25,05	86,60	87,38	86,21	85,24
	39,47	12,89	5,29	5,30	5,47	5,91	70,22	84,86	85,16	85,55	83,77
E. coli UFC/100mL	40000		1000	0	3000	0	1,6		4	1,1	
	230000	3000	12000	31000	16000		1,9	1,3	0,9	1,2	
	700000	38000	3000	2100	10000	5500	1,3	2,4	2,5	1,8	
	323333	20500	5333	11033	9667	2750	1,6	1,8	2,5	1,4	

Annexe 3 : Photo de construction des filtres

