



**Faculté de Sciences et Techniques de Marrakech
Département des Sciences de la terre**

**Licence es Sciences et Techniques
Eau et Environnement**

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

**Essais d'introduction de nouveaux matériaux
dans le système filtre imbriqué pour améliorer ses
performances en matière de traitement des eaux usées**

Réalisé par :

Mr. SAAID AIT JABLI & Mr. BADRE ACHAG

Soutenu : le 7 juin 2016

Devant le jury composé de :

Pr. BRAHIM IGMOUILLAN	<i>(FST de Marrakech), Encadrant</i>
Mr. ABDESSAMAD HEJJAJ	<i>(CNEREE de Marrakech), Encadrant & Examineur</i>
Pr. YAMINA BOURGEOINI	<i>(FST de Marrakech), Examineur</i>

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2015-2016

DEDICACES

A nos très chers parents,

Rien au monde ne pourrait compenser les sacrifices que vous avez consentis pour notre éducation et notre bien être, veuillez trouver dans ce travail le fruit de toutes vos peines et vos efforts.

A nos chers frères et sœurs,

Pour l'amour et le respect qui'ils ont toujours octroyés...

A nos enseignants & professeurs

Pour leur patience, dévouement et sacrifice.

A nos chers amis,

Pour leurs patiences et leurs soutiens qu'ils n'ont cessés d'apporter au cours de cette formation.

Avant propos

• Objectifs du stage :

- ✓ Caractérisation physicochimique et bactériologique des deux pilotes de filtre imbriqué.
- ✓ Etude de possibilité d'intégration de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué.
- ✓ Réalisation des essais préliminaires des matériaux en batch et en colonnes au Laboratoire du CNEREE.

• Résultats du stage :

- ✓ Acquis une expérience pédagogique de travail au laboratoire.
- ✓ Enrichir les connaissances sur des matériaux locaux par une étude bibliographique.
- ✓ Maîtrise des techniques d'analyses physico-chimiques et bactériologiques.
- ✓ Le système filtre imbriqué a un bon fonctionnement tant physico-chimique que bactériologique.

• Présentation du CNEREE :

Créé dans le cadre du plan quinquennal de développement économique et sociale 2000-2004 par le ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur, de la formation des cadres et de la recherche scientifique. Le centre national d'études et de recherches sur l'eau et l'énergie (CNEREE) s'inscrit dans le cadre de la politique générale de l'université Cadi Ayyad pour s'intégrer dans l'espace socio-économique de pays et de traduire une volonté d'accompagner les efforts de développement accomplis et de faire de l'université un instrument d'épanouissement technologique et socioéconomique.

• Missions et objectifs de CNEREE :

- ✓ Promouvoir la recherche dans le domaine de l'eau et des énergies renouvelables.
- ✓ Développer une expertise dans le domaine de l'eau et des énergies renouvelables.
- ✓ Entretenir une collaboration avec les organismes intervenants dans le domaine de l'eau et de l'énergie pour assurer un transfert efficace de la technologie.

REMERCIEMENTS

Ce n'est pas par coutume mais par reconnaissance que nous tenons à exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont aidés et Soutenus tout au long de notre travail.

Nous remercions notre encadrant **Mr. Brahim Igmoullan** professeur à la faculté des sciences et techniques de Marrakech, département des sciences de la terre pour son encadrement pédagogique très consistant ainsi que pour l'intérêt avec lequel il a suivi la progression de notre travail, pour ses conseils efficaces, ses judicieuses directives.

Nous exprimons une gratitude toute particulière à **Mme. Jamila Khalifa** notre tuteur au Centre Nationale d'études et de recherches sur l'Eau et l'Energie pour nous avoir donné l'opportunité de passer ce stage dans les meilleures conditions de professionnalisme, matérielles et morales, et pour ses directives et conduites dont elle nous avait épargnée à chaque fois qu'elle était sollicitée, et nous remercions également les membres du jury **Mr. Brahim Igmoullan** et **Mme Yamina Bourgeoini** professeurs à la faculté des sciences et techniques de Marrakech et **Mr. Abdessamad Hejjaj** notre encadrant au CNEREE de Marrakech pour avoir acceptés de juger notre travail, nous vous remercions infiniment.

Nos chaleureux remerciements vont également à notre professeur **Mme.Yamina Bourgeoini** pour l'intérêt que vous nous donnez pendant ces années, pour vos conseils, vos aides et pour que vous êtes le responsable de notre formation.

Nos vifs remerciements s'adressent à **Mme. Laila Mandi** Directrice du Centre Nationale d'Etudes et de Recherches sur l'Eau et l'Energie et à l'ensemble du personnel de laboratoire du CNEREE le doctorant **Mr. Lahbib Iatrach** pour ses efforts à chercher des matériels de travail et ses orientations pédagogiques.

Nous devons une mention bien spéciale à tous les enseignants du département de la terre de la FSTG Marrakech.

Enfin, nous tenons à exprimer notre sincère et profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

A tous Merci

Résumé

Parmi les problèmes liés au développement de la population humaine, on peut citer les rejets directs des eaux usées dans le milieu naturel. Leur impact sur l'environnement est encore plus aggravé par la dégradation ou l'absence du réseau d'assainissement ainsi le manque d'entretien et de dispositifs inadéquats à l'évacuation.




C'est le cas auquel sont confrontées les agglomérations au voisinage de la ville de Marrakech. les rejets proviennent essentiellement des fuites, des réseaux d'égouts dont l'état physique est inadapté à la collecte et au transport des eaux usées jusqu'à la station d'épuration, ou bien du raccordement incomplet des habitations à l'égout ou l'inversement des branchements particuliers.

Les rejets dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable, peuvent engendrer un risque sérieux sur la qualité des eaux souterraines et sur la santé. Les voies d'assainissement constituent un maillon fondamental du cycle de l'eau puisqu'il met en relation le milieu récepteur et le milieu urbain à travers l'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées qui sont riche en : microorganismes, matière en suspension, substances nutritives et micropolluants organiques et minéraux.

Notre projet consiste à essayer de tester le système Japonais appelé « Filtre imbriqué » et essayer de l'adapter au Maroc par l'introduction de nouveaux matériaux locaux naturels et moins couteux. Ce système vise le traitement des eaux usées dans le milieu rural dans le but de leur réutilisation en agriculture et espaces verts.

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	1
Partie I : Analysebibliographique.....	2
I. Généralités sur les eaux usées.....	2
1. Définition des eaux usées.....	2
2. Composition des eaux usées.....	2
3. Le problème de déversement des eaux usées dans le milieu rural.....	3
4. La nécessité de l'épuration.....	3
II. Les techniques à faible cout de traitement des eaux usées.....	3
✚ Les differents types de techniques developpées par le <i>CNEREE de Marrakech</i>	3
Partie II : Le système « filtre imbriqué ».....	5
I. Renseignement sur la technique.....	5
1. Présentation de la technique.....	5
2. Composition du filtre imbriqué.....	5
II. Fonctionnement du système.....	7
1. Expérience marocaine.....	7
✚ Pilote installé dans le CNEREE de Marrakech.....	7
2. Dispositif expérimentale.....	8
✚ Pilote filtre imbriqué.....	8
III. Mécanisme de traitement des eaux usées par filtres imbriqués.....	9
1. Réduction de la matière organique.....	9
2. Réduction de l'azote.....	10
3. Réduction du phosphore.....	10
IV. Durée de vie des filtres imbriqués.....	11
Partie III : Introduction de nouveaux matériaux au système (MSL) (Multi-soil-Layering system).....	11
I. Généralités sur les matériaux.....	11
1. La pouzzolane.....	11

2. Feuilles d'Eucalyptus.....	14
3. Le filasse.....	15
4. Les éponges.....	15
5. Les coquilles d'Escargot.....	16
II. Tests des matériaux utilisées.....	17
1. Tests en batch des matériaux.....	17
1.1. Matériels et méthodes.....	17
2. Tests en colonnes des matériaux.....	18
2.1. Matériels et méthodes.....	18
Partie IV : Paramètres étudiés et leurs techniques d'analyses.....	19
I. les eaux usées et traitées.....	19
1. Prélèvement des échantillons d'eau usée.....	19
2. Transport des échantillons d'eau usée.....	19
II. Analyses physico-chimiques.....	20
 Paramètres physique.....	20
• PH.....	20
• Température.....	20
• Conductivité électrique (CE)/TDS/Salinité.....	21
• Matière en suspension (MES).....	21
 Paramètres organiques.....	21
• DCO.....	21
• DBO5.....	22
• Azote total kjeldahl :NTK.....	23
 Paramètres chimiques.....	24
• Nitrite (NO ₂ -).....	24
• Nitrate (NO ₃).....	25
• Amomonium (NH ₄ ⁺).....	25

• Phosphore total (PT).....	26
III. Analyses microbiologiques.....	27
• Milieux de cultures.....	27
• Ensemencement des bactéries.....	29
• Lecture et dénombrement des bactéries.....	30
a. Dénombrement d'Escherichia coli.....	30
b. Dénombrement de Streptococcus fécaux.....	30
Partie V : Résultats et discussions des analyses effectués.....	32
I. Résultats et discussions des analyses physico-chimique.....	32
II. Résultats et discussions des analyses bactériologiques.....	37
Conclusion.....	39
Perspective.....	40
References bibliographiques.....	41
Annexe.....	42

Liste des figures et des tableaux

Figures

Figure 1: Structure basique d'un système de filtres imbriqués (Chen et al., 2007 a).	<u>7</u>
Figure 2: Description détaillée du pilote filtres imbriqués installé au CNEREE.	<u>9</u>
Figure 3 : Schéma des mécanismes de traitement dans le système "filtre imbriqué".	<u>11</u>
Figure 4 : Dispositif expérimentale de la fosse septique ou fosse toute eau.	<u>14</u>
Figure 5 :Matériels et produit des tests en batch.	<u>18</u>
Figure 6 : Tests en colonnes des matériaux utilisées dans le système MSL	<u>19</u>
Figure 7 :Les valeurs du PH des eaux usées traitées enregistrées à chaque période de traitement	<u>33</u>
Figure 8 : variations de la température des eaux usées brutes et traitées par MSL par chaque matériau	<u>34</u>
Figure 9 : Les valeurs de la DCO des eaux usées traitées par système MSL.	<u>35</u>
Figure 10 : Les valeurs de la DBO5 des eaux usées traitées par système MSL.	<u>35</u>
Figure 11 : Les valeurs de nitrite (NO ₂) des eaux usées traitées par système MSL.	<u>36</u>
Figure 12 : Les valeurs de phosphore total (PT) des eaux usées traitées par système MSL.	<u>37</u>
Figure 13 : Résultats de suivi des microorganismes D'E.coli et strepto.fécaux dans les EUT par MSL.	<u>38</u>
Figure 14 : Résultats de suivi des microorganismes d'E.coli et strepto.fécaux des EUT* coefficient de dilution	<u>38</u>
Figure 15 : log (nombre d'E.coli/nombre de strepto.fécaux)entre l'entrée et la sortie du système MSL.	<u>39</u>
Figure 16 : Résultats de suivi de colonies d'E.coli et Strepto.fécaux *coefficient de dilution.	<u>39</u>
Figure 17 : suivi de réduction des colonies d'E.coli et Streptococcus fécaux Unité log= log (E.coli/ Streptococcus fécaux)	<u>40</u>

Tableaux

Tableau 1 : Analyses chimiques de la pouzzolane naturelle.	<u>13</u>
Tableau 2 : Résultats de suivi du PH des eaux usées traitées par système MSL.	<u>33</u>
Tableau 3 : Résultats de suivi de la température des eaux usées traitées par système MSL.	<u>34</u>
Tableau 4 : Résultats de suivi de la DCO des eaux usées traitées par le système MSL.	<u>35</u>
Tableau 5 : Résultats de suivi de la DBO5 des eaux usées traitées par le système MSL.	<u>35</u>
Tableau 6 : Résultats de suivi de de nitrite (NO ₂) des eaux usées traitées par le système MSL.	<u>36</u>
Tableau 7 : Résultats de suivi du phosphore total (PT) des eaux usées traitées par le système MSL.	<u>37</u>
Tableau 8 : les nombres de colonies d'E.coli et strepto.fécaux dans les eaux usées traitées par MSL.	<u>38</u>
Tableau 9 : les nombres de colonies d'E.coli et strepto.fécaux dans les eaux usées traitées *coefficient de dilution.	<u>38</u>
Tableau 10 : log (nombre d'E.coli/nombre de strepto.fécaux)entre l'entrée et la sortie du système MSL.	<u>39</u>
Tableau 11 : nombre de colonies d'E.coli et Strepto.fécaux des eaux usées traitées entre l'entrée et la sortie du MSL.	<u>39</u>
Tableau 12 : unité log(E.coli / strepto.fécaux) des eaux usées traitées par système MSL entre l'entrée et la sortie.	<u>40</u>
Tableau annexe : les normes des paramètres physico-chimiques des eaux usées traitées destinées à l'irrigation selon les normes marocaines	<u>46</u>

Liste des abréviations

CNEREE : Centre Nationale d'Etudes et de Recherches sur l'Eau et l'Energie.

% (p/V) : (pourcentage de poids volumique) Pourcentage poids / volume

% (v/V) : La quantité en volume v d'une substance par le pourcentage d'une substance d'un mélange V.

µS/cm : micro siemens / centimètre

ATK/NTK : Azote Kjeldahl totale

CMS : Couche de mélange du sol

COI : Conseil Oléicole International

CP : Couche perméable à l'eau

CPG : Chromatographie en phase gazeux

DBO₅ : Demande biologique en oxygène en cinq jours

DCO : Demande chimique en oxygène

HLR : Systems use higher hydraulic load rates

HPLC : Chromatographie liquide à haut pression

MES : *Matière en suspension*

mmol : Millimol

mS/cm : Milli siemens / centimètre

MSL : multi-soil-layering system

N : Azote

OMWW : Olive mill wastewater

P : Phosphore

PT : Phosphore total

TN : Azote total

UV : Ultra violet

Liste des symboles

AgCl : Chlorure d'argent .

Ag₂CrO₂ :Chromate d'argent .

BaCl₂ :Chlorure de barium

Ca²⁺ :Calcium

Cl⁻ :Chlore .

CO₃²⁻ :Chromate .

CrO₄²⁻ : Ion chromate .

Ha : Hectare.

HCO₃⁻ : Bicarbonate.

H₂SO₄ : Acide sulfurique .

g/l : Gramme par litre .

K₂Cr₂O₈ :Dichromate de potassium .

K₂S₂O₈ : Persulfate de potassium .

Méq/l : milliéquivalent par litre .

Mg²⁺ : Magnesium .

ml : Millilitre .

Na²⁺ : Sodium .

NO₂⁻ : Nitrite.

NO₃⁻ : Nitrate .

P : Phosphate .

SO₄²⁻ : Sulfate .

INTRODUCTION

Le milieu rural connaît actuellement de nombreux problèmes liés à l'environnement causés par la mauvaise gestion de l'eau l'accumulation de déchets ménagers, dans des dépotoirs sauvages non contrôlés et la stagnation des eaux usées. Cette situation est due essentiellement à la croissance démographique non maîtrisée et l'activité anthropique de plus en plus ague. La ressource en eau subit donc une pression de plus en plus accrue notamment par une surexploitation des nappes souterraines et la dégradation des eaux de surfaces au niveau des lacs et des rivières.

Les volumes annuels des rejets des eaux usées ont fortement augmenté au cours des trois dernières décennies. Ils sont passés de 48 millions à 600 millions de m³ entre 1960 et 2005, et ils continuent la progression vers 700 millions m³ en 2010, pour atteindre 900 millions de m³ à l'horizon de 2030 selon le rapport de la Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 2011.

La préoccupation essentielle quant à la réutilisation des eaux usées a toujours été la santé humaine et le déficit des ressources en eau qu'elle peut combler. Le Centre national d'études et de recherche sur l'eau et l'énergie (CNEREE) de l'Université Cadi Ayyad à Marrakech dans ce sens a développé des technologies innovantes et de moindre coût "*Low cost technologies*" Parmi ces techniques "le système filtre imbriqué" (*Multi - Soil - Layering "MSL" system*) est importé du Japon où elle a été développée par *Wakatsuki* en 1990. Cette nouvelle technologie basée sur l'infiltration percolation utilisant le sol comme moyen épurateur est particulièrement adaptée aux milieux ruraux..

La technique des filtres imbriqués est testée au Maroc par Mr. Lahbib Latrach actuellement doctorant au CNEREE. Le constat actuel est que cette technique nécessite un développement

L'objectif de notre projet de fin d'étude, est d'innover le pilote filtre imbriqué, et d'introduire de nouveaux matériaux permettant l'amélioration de ses performances bactériologique et physico-chimique dans une perspective de développement durable.

Partie I : Analyse bibliographique

I- Généralités sur les eaux usées :

1. Définition des eaux usées :

Les eaux usées résultent de la dégradation physico-chimique ou bactériologique des eaux de consommation de bonne qualité, du fait des activités humaines (Richard, 1996). Elles sont souvent chargées en matières minérale ou organique sous forme dissoutes ou en suspension, provenant essentiellement de l'activité humaine. (Chocat, 1997, Bouziani, 2000).

Les eaux usées sont généralement évacuées par un réseau d'assainissement liquide et suite au changement de leurs propriétés naturelles (Bliefert, 2001), offensives et pathogènes. Elles peuvent être à l'origine de graves problèmes de santé publique (Becis, Belouidiane, 2005).

2. Composition des eaux usées :

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine industrielle, urbaine ou domestique. Ce qui diversifie la nature de ces composés.

La composition des eaux usées peut être classée en quatre groupes :

- **Les micro-organismes :** excédés avec les matières fécales, cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être aussi classé en 3 grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries et les parasites (Baumont et al., 2004).
- **Les matières en suspension :** D'où la plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par ces MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur (Faby et Braissaud, 1997).
- **Les substances nutritives :** l'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments indispensables à la vie des végétaux se trouvent en quantités appréciables.
- **Les micropolluants minéraux ou organiques : (Baumont et al., 2004)**
Notre étude concerne généralement les eaux usées d'origine domestique en général les eaux usées rurales, alors ils sont très chargés en micropolluants (solides totaux entre 350 mg/l et 1200 mg/l) ; (solides dissous entre 250 mg/l et 850 mg/l) ; (Graisses entre 50 mg/l et 150 mg/l...).

3. Le problème de déversement des eaux usées dans le milieu rural :

Le rejet direct des eaux usées dans le milieu rural perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à faire disparaître toute forme de vie. Il est donc primordial d'éliminer le maximum des polluants de l'eau usée avant de la rejeter dans le milieu environnant afin de minimiser leur impact néfaste (Chellé et al., 2005).

4. La nécessité de l'épuration :

Le choix du système d'épuration et ses caractéristiques et le degré de traitement doivent être d'une qualité telle que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une incompatibilité avec les exigences d'hygiène et de la salubrité publique et avec les exigences des diverses utilisations ou activités (Xanthoulis, 1993).

II. Les techniques à faible coût de traitement des eaux usées :

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable afin qu'ils n'encourent aucun risque sur la santé humaine et l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux usées le plus approprié est celui qui fournit avec certitude des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique à bas prix et à des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

✚ Les différents types de techniques développées par le CNEREE de Marrakech :

Le traitement des eaux usées en milieu rural nécessite des projets à faible coût pour une meilleure épuration avec des matériaux naturels peu onéreux.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

Dans le cadre de son plan d'action pour la gestion intégrée des ressources en eau dans la région de Marrakech-Safi, le CNEREE a procédé au tri à la source des eaux usées des établissements publics et leur traitement par des technologies appropriées en vue de leur réutilisation. Il a ainsi développé des technologies innovantes «Low cost» adaptées au traitement des eaux usées domestiques..

Le premier projet fut la conception d'un «filtre planté à écoulement horizontal» sous une surface de la terre pour la dépollution des eaux émanants des lavabos collectifs de l'école primaire publique «Tayeb Elmarini», de Marrakech. Le « filtre planté à écoulement horizontal » est actuellement fonctionnelle et produit des eaux grises traitées physico-chimiquement et bactériologiquement.

Le deuxième projet appelé «Filtre imbriqué» (Multi-Soil-Layering «MSL» system) destiné au traitement des eaux usées domestiques a été mis en place au village «Talat Merghen» relevant de la commune Aghouatim (province d'El Haouz). Ce projet fait l'objet des travaux de recherche dans le cadre de thèse de doctorat pour améliorer ses performances de traitement physico-chimique et bactériologique.

Une autres technique adaptée au Maroc à faible cout pour le traitement des eaux usées rurales c'est le « lagunage naturel ». Elle comprend trois types de bassins : un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation. et qui traite les eaux usées en se basant sur les bactéries, la photosynthèse et le pouvoir germicide de la lumière et de certains algues. Le bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique. Ce type de bassin pose parfois des problèmes d'odeurs notamment à cause de la formation des composés soufrés. Le bassin facultatif permet le développement des algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matière organique. En fin, le bassin de maturation va permettre l'élimination des pathogènes sous l'action conjuguée des ultra-violets et du pouvoir germicide de certains algues (cauchi et al., 1996).

Partie II : Le système « filtre imbriqué »

« MSL » : Multi – Soil – Layering System

I. Renseignement sur la technique :

1. Présentation de la technique :

L'épuration des eaux usées par les milieux poreux dépend essentiellement des caractéristiques du milieu (structure, texture et porosité, coexistence des conditions d'aérobiose – anaérobiose, abondance en microorganismes...) (Chen et al 2007). Cependant le problème majeur des systèmes poreux comme « le filtre imbriqué » est le colmatage rapide.

La technique des filters imbriqués est une nouvelle technologie à faible cout développée au Japon par Wakatsuki en 1990. Elle a ensuite été améliorée, structurée et ajustée de façon à avoir une durée de fonctionnement beaucoup plus longue que le sol naturel (Yi -dong et al., 2013) et les filtres à sables standards (Chen et al., 2008).

Exemples des domaines d'utilisation du système filtre imbriqué :

- traitement des eaux usées des petites collectivités, ou
- traitement des eaux des rivières polluées (Masunaga et al. 2003),
- les eaux usées d'élevage (Chen et al., 2007),
- les eaux usées des exploitations laitières (Pattnaik et al., 2007)
- et les lixiviats (Yidong et al., 2012).

La technique de traitement des eaux usées par filtres imbriqués est un traitement aérobic secondaire. Son mode de fonctionnement est basé sur l'infiltration percolation en utilisant le sol comme moyen épurateur. L'adsorption, l'infiltration et la biodégradation sont les processus majeurs qui se déroulent dans le filtre.

2. Composition du filtre imbriqué :

Le système de traitement des eaux usées par filtres imbriqués est un procédé d'épuration aérobic composé de couches perméables à l'eau et des couches de mélange du sol qui sont arrangés en briques peu perméables (figure 1) :

- Couche perméable à l'eau (CP): Constituée de gravier, ponce, perlite ou de zéolite avec un diamètre fin et uniforme que possible de 1-5 mm, de manière à améliorer la distribution de l'eau et réduire le risque de colmatage.
- Couche de mélange du sol (CMS): Constituée par:
 - Le sol local.
 - Le Charbon de bois
 - Le Sciure de bois: Signalée comme étant un adsorbant efficace, car elle contient une concentration élevée de la cellulose, qui adsorbe de manière irréversible les substances polluantes contenues dans les eaux usées (McKay et al., 1987). En outre, elle pourrait aussi fonctionner comme une source de carbone pour les micro-organismes (Sato et al., 2005 a).
 - Le fer: Ajouté aux filtres imbriqués s'oxyde progressivement en fer ferreux ou ferrique en fonction du temps. L'addition de fer pourrait augmenter considérablement l'efficacité d'adsorption du phosphore PO_4^{3-} (Chen et al., 2007 a).

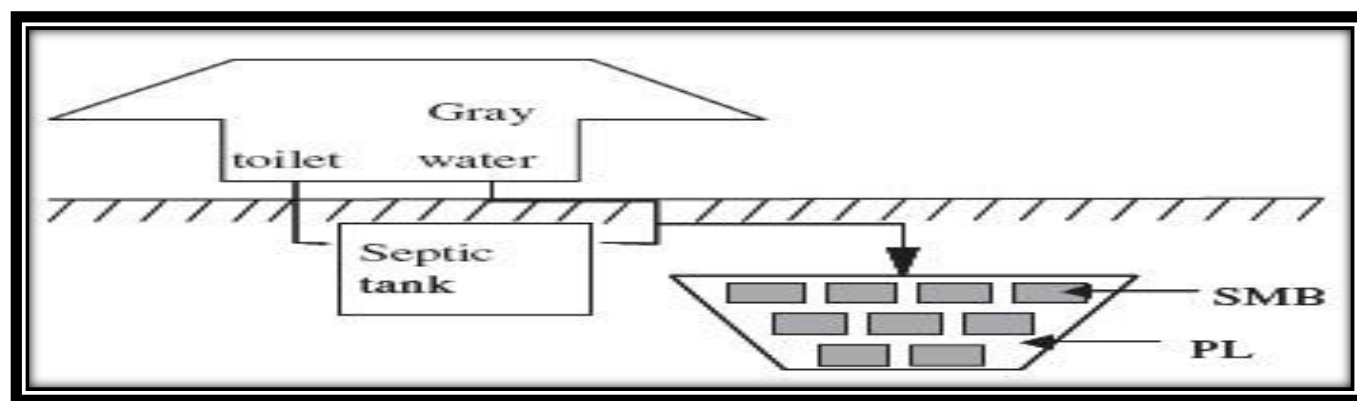


Figure 1: Structure basique d'un système de filtres imbriqués (Chen et al., 2007 a).

II . Fonctionnement du système :

1- Expérience marocaine :

➤ Pilote installé dans le CNEREE de Marrakech (Iatrach et al, 2014b):

Le but de cette expérience est d'étudier la faisabilité de l'utilisation de la méthode filtre imbriqué pour le traitement des eaux usées en utilisant des matériaux locaux et d'examiner la performance de ce système pour éliminer la matière organique, de nutriments et de pathogènes sous les conditions climatiques régnants au Maroc.

Le système filtres imbriquées se compose de couches perméables en alternance avec des couches de mélange de sol arrangées en briques (figure 2):

- ✚ Les couches perméables à l'eau sont constituées de gravier de 3-5 mm.
- ✚ Les couches remplies d'un mélange de sol: 70 % du sol, 10 % du charbon de bois, 10 % sciure de bois et 10 % de fer (Chen et al, 2007 b).

Les briques sont posées horizontalement sur 5 étages et couvertes par une couche de gravier d'une épaisseur de 3 à 5mm. Ces couches en gravier constituent des zones perméables permettant d'atténuer les risques de colmatage en retenant une grande partie des matières en suspension en surface.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

La partie inférieure du filtre imbriqué comporte un système de drainage formé par une couche de gravier grossier des 3 à 5 cm de diamètres.

Un tube PVC de 30 mm de diamètres assure l'écoulement débouchant à l'extérieur pour recueillir les margines traitées. Le tuyau d'aération est installé entre la deuxième et la troisième couche de mélange du sol afin d'assurer une diffusion uniforme de l'air dans le pilote.

2- Dispositif Expérimentale :

➤ Pilote filtre imbriqué :

Le dispositif utilisé dans cette expérience est une cuve en plastique d'une capacité de 70 litres. Les dimensions du pilote expérimental sont de l'ordre de 36cm de longueur, 30cm de largeur et une hauteur de 65cm avec une surface de contact de 0,1m².

L'évaluation de l'efficacité du système au laboratoire se fait par le biais de boîtes en plastique de 36 cm de longueur, 30 cm de largeur et 65 cm en hauteur renfermant des « couches de mélange de sol » alternant avec des couches de gravier perméables. Les couches de mélange de sol sont composées de sol local, de la sciure de bois, du métal de fer et de charbon de bois à raison de 70%, 10%, 10% et 10%, respectivement, sur une base de poids sec. Le pilote est alimenté en continue par les eaux usées domestiques avec un taux de charge hydraulique (HLR) de 200 l/m²/jour. Les paramètres physico- chimiques mesurées à l'entrée et à la sortie du pilote sont la demande biochimique en oxygène (DBO₅), la demande chimique en oxygène (DCO), ammonium (NH₄⁺ N), les nitrites (NO₂-N), les nitrates (NO₃-N), l'azote Kjeldahl totale (ATK), l'azote total (TN), les orthophosphates (PO₄- P) et le phosphore total (TP).

L'analyse microbiologique a mis l'accent sur les germes indicateurs de pollution fécale qui comprend germes totaux (TG) à 22 ° C et 37 ° C, les coliformes fécaux (FC), les coliformes totaux (TC), Clostridium (-anaérobies sulfito-réducteurs), les streptocoques D (SD), Escherichia coli (EC) et les entérocoques intestinaux (IE) et des pathogènes tels que Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa et salmonella sp.

Les résultats obtenus ont montré après un fonctionnement de 5 mois , que le pilote pourrait retirer 92% du total des solides en suspension, 88% du total des DBO₅, 81% de la DCO, 86% de NH₄, 58% des NO₂, 68% de NO₃ -, 82% de l'ATK, 82% des TN, 79% de PO₄-P et 79% de la TP.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

L'élimination moyenne de bactéries obtenues par le système de MSL atteint 1,23 unité logarithmique. La grande efficacité de l'abattement a été réalisée pour *Pseudomonas aeruginosa* et *Clostridium* (1,39 Log). En revanche l'élimination *E. coli* est beaucoup plus faible. Elle est seulement d'environ 0,97%.

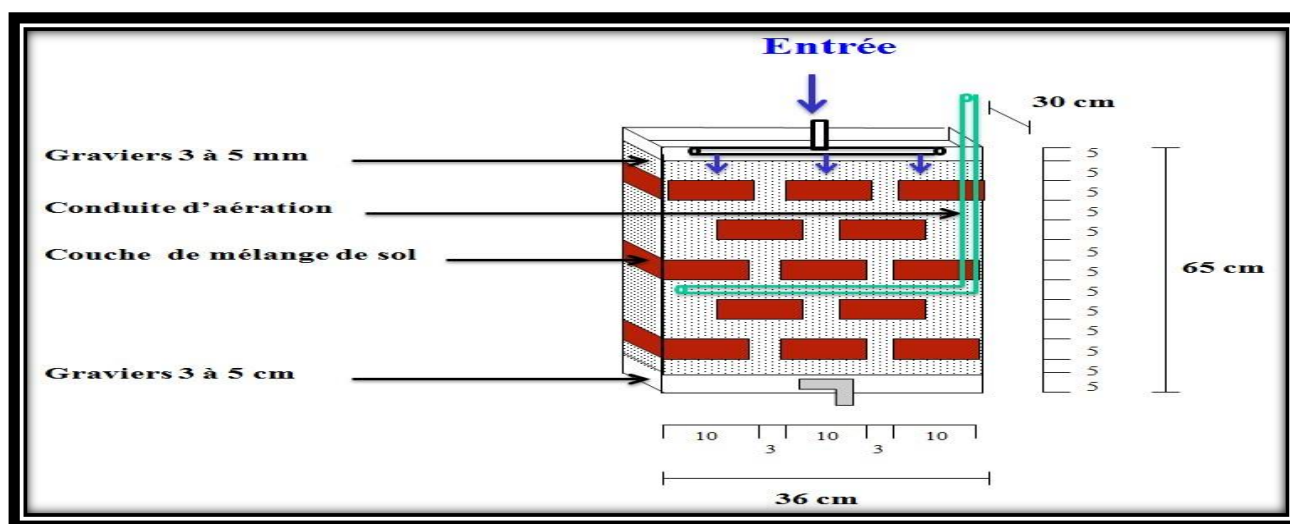


Figure 2: Description détaillée du pilote filtres imbriqués installé au (CNEREE).

III. Mécanismes de traitement des eaux usées par filtres imbriqués :

1. Réduction de la matière organique :

Lorsque les eaux usées sont déversées dans le système filtres imbriqués, la matière organique des eaux usées est d'abord physiquement et chimiquement adsorbée sur le sol et la surface spécifique de la zéolite (couches perméables) puis ensuite bactériologiquement décomposée par des micro-organismes (Chen et al., 2008).

Le taux de charge organique (DBO5 et DCO) a un effet significatif sur les performances épuratoire des filtres imbriqués (Masunaga et al. 2007b).

En effet, l'infiltration-percolation sur un système filtres imbriqués ce n'est qu'un traitement biologique par cultures bactériennes fixées sur les apports du système.

2. Réduction de l'azote :

L'azote organique est en partie adsorbé sur la surface du sol et de la zéolite puis partiellement minéralisé en NH_4^+ .

La zéolite a une grande capacité d'adsorption de NH_4^+ grâce à sa grande capacité d'échange cationique.

L'élimination de l'azote par le sol en grande partie se fait par l'activité biologique des microorganismes en faisant appel aux processus de nitrification/dénitrifications (Li et al., 2011). Dans les conditions aérobies, NH_4^+ est oxydé en NO_2^- puis en NO_3^- la forme la plus mobile d'azote qui est transportée vers les couches de mélange de sol (CMS) et réduite en azote gazeux (N_2 , NO , N_2O) (Masunaga et al., 2007 a).

Les matières organiques comme la sciure du bois et le charbon de bois ajouté à la CMS sont des sources de carbone supplémentaires pour des micro-organismes permettent de faciliter les réactions de dénitrification. Par conséquent, la coexistence des conditions aérobies et anaérobies dans le système filtres imbriqués est le facteur le plus important pour l'élimination de l'azote par les processus de nitrification et dénitrification (Chen et al., 2008).

D'autres travaux réalisés par (Pattnaik et al., 2007), ont montré que l'ajout d'une solution de saccharose avec les eaux usées entrant dans le système filtres imbriqués à la fin de chaque moi comme source de carbone supplémentaire des micro-organismes pendant une année a amélioré le rendement épuratoire de l'élimination d'azote inorganique et le phosphore.

3. Réduction du phosphore :

Le phosphore peut être adsorbé sur les hydroxydes de Fe et Al dans le sol. En effet, le fer ajouté dans les couches de mélange du sol (CMS) est transformé en fer ferreux (Fe^{2+}), qui est ensuite transporté vers la couche perméable de zéolite et oxydé en ion ferrique (Fe^{3+}).

ce qui permet l'adsorption et la précipitation du PO_4^{3-} au cours de la percolation des eaux usées à travers le système MSL (Wakatsuki et al., 1993; Chen et al., 2008).

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

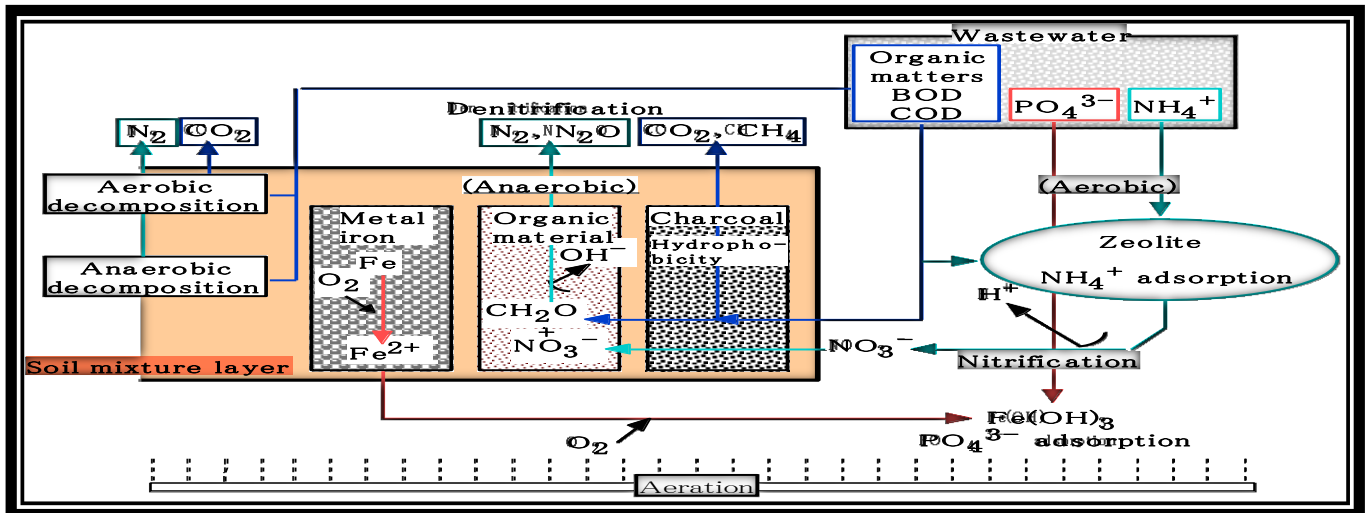


Figure 2 : Schéma des mécanismes de traitement dans le système "filtre imbriqué".

IV. Durée de vie des filtres imbriqués

Une étude du bilan de masse pour le système filtres imbriqués pour le traitement des eaux usées au Japon a montré que cette technique peut encore éliminer 60-70% de l'azote total même après 10 ans de fonctionnement. En plus, la matière organique ajoutée aux couches de mélange du sol, importante source de carbone qui s'ajoute au DBO5 et DCO des eaux usées à traités pour la dénitrification, semble être une bonne option pour la réduction du TN à long terme avec une bonne gestion de l'aération dans le système. (Chen et al. 2008).

La même étude a montré que pendant les 10 ans de fonctionnement de ce système, 19 kg du Phosphore a été retirée des eaux usées et 11 kg de Fe a été consommé. (Chen et al. 2008).

Partie III : Introduction de nouveaux matériaux au système (MSL : Multi – Soil – Layering System)

I. Généralités sur les matériaux :

1- La pouzzolane

a. Définition :

Le terme de la pouzzolane en sens Français provient de Pouzzoles nom d'une ville italienne de la région de Naples. Il désigne un matériau volcanique cendrex de composition trachytique et de couleur clair et friable utilisé pour la fabrication de mortier et de ciment ou comme abrasifs, réfractaires et isolants

La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories volcaniques basaltiques ou de composition proche. Elle est généralement rouge ou noire, avec toutes les teintes intermédiaires. C'est un matériau poreux à structure alvéolaire, léger car sa densité est inférieure à un. [<https://books.google.com/books?id=f6FXAAAAYAAJ>]

b. Types de la pouzzolane :

➤ Pouzzolane naturelle :

Elle est **préalablement** calcinée dans un four ou transformée, puis broyée pour obtenir une fine poudre. Actuellement, elle comporte l'argile calcinée, le schiste calciné et le métakaolin.

➤ Pouzzolane artificielle :

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composées de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Elles sont des déchets des efférentes industries. On distingue soit des résidus de fabrication industrielle tel que. le mach fers , cendre de bois ou d'houille , soit des débris de brique et de tuile fabriquées avec des argile pures de températures modérées . On distingue aussi le schiste cuit, et les déchets de l'industrie à base de méta kaolinite.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

c. Caractéristiques : [https://books.google.com/books?id=f6FXAAAAYAAJ]

COMPOSITION

- Roche volcanique calibrée.
- Granulométrie de 0 à 4 mm.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUE

+ TENEUR EN EAU NATURELLE :

Par rapport aux autres roches naturelles, la teneur en eau de la pouzzolane est élevée et peut varier de 8 à 13 % suivant l'état hygrométrique ambiant.

+ POROSITE :

La pouzzolane peut varier de 30 à 60 % en volume suivant les granulométries. Contrairement aux agrégats lourds, ce sont les gros éléments qui possèdent le coefficient de porosité le plus important.

+ LEGERETE :

La pouzzolane a une faible densité du fait de la proportion de vide.

+ CAPACITE D'ABSORPTION D'EAU :

Les essais d'absorption d'eau à 24 heures montrent que la texture cellulaire et la porosité de la pouzzolane lui confèrent une grande capacité d'absorption qui peut varier de 20 à 30 % en poids du granulat sec.

+ RESISTANCE A LA CHALEUR :

La température de fusion de la pouzzolane est de 1140°C mais sa mauvaise conductibilité est telle qu'un élément de 0.150 m d'épaisseur exposé sur une face 8 heures à cette chaleur présente sur la face opposée une température d'environ 100°C seulement. La face exposée se vitrifie.

d. Utilisation de la pouzzolane dans le traitement des eaux usées :

Composants et caractéristiques	Symboles	Teneurs	Unités
La Chaux	CaO	9,83	%
La Magnésie	MgO	1,81	%
L'Alumine	Al₂O₃	16,98	%
L'Oxyde de fer	Fe₂O₃	8,57	%
La silice	SiO₂	56,25	%
Les chlorures	Cl	Nul	-
Les Sulfates	SO₃	Nul	-
La perte au feu		6,54	%

Tableau 1 : analyses chimiques de la pouzzolane naturelle.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

❖ **Décolorant des eaux usées :** (Expérience effectuée à Madagascar).

- L'échantillon de la pouzzolane :

La pouzzolane est broyée pour avoir une surface spécifique élevée. Un broyeur à boulet conçu au laboratoire est utilisé pour effectuer ce travail. Les échantillons sont ensuite classés selon la taille des grains. On utilise une série de tamis de différentes ouvertures emboîtés les uns sur les autres par ordre décroissantes des dimensions des ouvertures, du haut vers le bas, pour réaliser cette opération.

❖ **Dans La fosse septique ou fosse tout eau :** [<https://books.google.com/books?isbn=2710809680>]

La fosse septique qui assure la liquéfaction partielle des matières polluantes concentrées dans les eaux usées ainsi que la rétention des matières solides et des déchets flottants.

La fosse assure un prétraitement efficace et une liquéfaction des rejets indispensable à la phase d'épuration de l'eau qui suit la fosse.

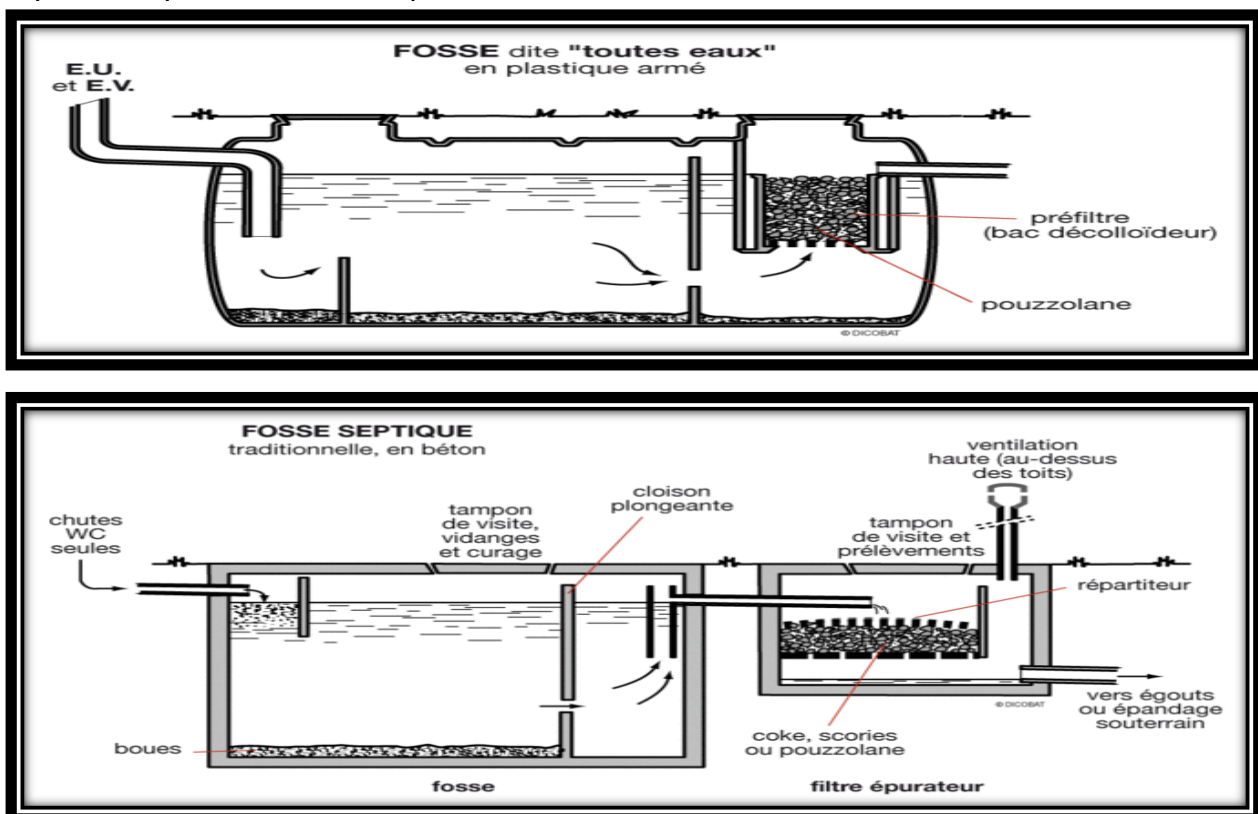


Figure 4 : Dispositif expérimentale de la fosse septique ou fosse toute eau.

- **-Station de traitement d'eau potable:** (mécanique (filtre) ;biologique :niche bactériologique).
 - aquarium.
- **baignades naturelles:** (inhibition d'environ de 45 microbes).

Site de référence : [<https://books.google.com/books?isbn=2710809680>]

2- Feuilles d'Eucalyptus : [wikipédia]

a. Définition :

Les eucalyptus forment un groupe très riche d'arbres du genre *Eucalyptus*, de la famille des *Myrtaceae* et qui regroupait jusqu'en 1995 le genre *Corymbia*. Les eucalyptus sont originaires d'Australie, ils sont donc indigènes au continent Australien, où ils dominent d'ailleurs 95 % des forêts avec plus de six cents espèces. Les eucalyptus possèdent toute une gamme de mécanismes d'adaptation et ont une croissance rapide, ce qui leur permet d'être présents dans de nombreux environnements notamment dans le Kentucky.

La plupart des eucalyptus ont des feuilles persistantes, mais quelques espèces tropicales perdent celles-ci à la fin de la saison sèche. Comme chez les autres membres de la famille des *Myrtaceae*, les feuilles d'eucalyptus sont couvertes de glandes à huile. L'abondante production d'huile est une caractéristique importante de ce genre.

b. Types d'Eucalyptus : [<https://leslitseescitronnees.com/2012/06/05/les-differents-eucalyptus/>]

Il existe plus de 300 variétés d'eucalyptus mais en aromathérapie, nous avons accès à environ 15 variétés différentes. Nous ne pouvons pas traiter tous les chémotypes et avons choisis d'aborder ceux qui nous paraissent les plus pertinents :

- Eucalyptus globuleux (*Eucalyptus globulus*).
- Eucalyptus radié (*Eucalyptus radiata*).
- Eucalyptus citronné (*Eucalyptus citriodora*)
- Eucalyptus mentholé (*Eucalyptus dives CT piperitone*)

c. Utilisation des Feuilles d'Eucalyptus dans le traitement des eaux usées :

[<http://www.jen-npo.org/blogs/10371/>]

L'association JEN a lancé un projet, en collaboration avec des autres associations et ils creusent des trous pour réserver les eaux souillées, et ils plantent des eucalyptus qui possèdent une exceptionnelle capacité d'absorber l'eau, sur les eaux usée maison.

Activité antimicrobienne ; deux sortes d'effets : une activité létale ou bactéricide et une inhibition de la croissance ou activité bactériostatique des huiles essentielles d'Eucalyptus , ainsi que l'utilisation médicale.

3- Le filasse : [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Filasse>]

a. Définition :

Le filasse est le nom commun donné aux fibres végétales (sisal, jute, chanvre). Celles-ci peuvent être utilisées comme armatures d'un élément moulé en staff.

b. Domaines d'utilisation :

En plomberie ou en fontainerie, la filasse de chanvre associée à de la pâte à joints, ou autre mastic, est utilisée pour assurer l'étanchéité des raccords (raccords à visser , etc.), en particulier sur les tubes acier.

En charpenterie maritime, associée à un mastic, elle sert au calfatage descoques.

En corderie, la filasse est peignée, filée, puis toronnée. Les torons sont enfin assemblés et tordus en cordes, grâce au touret à corder et à la machine à corder.

C. Utilisation de filasse dans le traitement des eaux usées :

[www.ideal-luftfeuchtigkeit.com/static/products/assets/asset_3577_5.pdf]

Le filasse a un rôle dans le traitement des eaux pollués comme dégraisseur pour ne pas laisser les bactéries se passent dans le filtre et ils se collent aux fibres et aux lignettes du filasse.

Dans la deuxième cas le filasse est de constitution végétale alors il peut être comme source d'alimentation des micro-organismes ce qui laisse l'eau filtré de toute substance bactérienne, on appel ça le filasse bactérienne.

• 4- Les éponges : [[fr.wikipedia.org/wiki/Éponge_\(objet\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Éponge_(objet))]

a. Définition :

L'éponge est un objet d'origine animale ou synthétique ; sa structure poreuse , (il s'agit d'une mousse solide ouverte) lui confère une forte capacité d'absorption, environ vingt-deux fois sa masse sèche. C'est pourquoi son usage principal est la toilette et le lavage en général.

b. Origines et Types d'éponges : [<https://books.google.com/books?isbn=2804142566>]

Les éponges peuvent être d'origine :

***naturelle :** animale (éponges de mer) ou végétale (luffa) ;

***artificielle:** provenant de la transformation d'un polymère naturel comme la cellulose : éponge cellulosique ;

***synthétique:** éponge en polyuréthane...

c. Utilisation des éponges dans le traitement des eaux usées :

Les coliformes totaux et l'E. coli dans l'eau consommée et usée servent d'indicateurs pour mesurer le degré de pollution et la qualité de l'eau de puits. En effet, analyser une eau pour tous les pathogènes connus est un procédé compliqué et coûteux.

Pour détruire les pathogènes, faites chauffer l'eau à gros bouillon pendant une minute. Il n'est pas nécessaire en général de faire bouillir de l'eau pour les autres usages domestiques. Les personnes pouvant éviter d'avaler l'eau peuvent prendre des douches et des bains. Les bébés et les enfants en bas âge doivent être lavés avec une éponge. Vous pouvez laver la vaisselle ou le linge, soit à la main, soit en machine.

- **5-Les coquilles d'Escargot :** [https://fr.wikipedia.org/wiki/Coquille_de_gast%C3%A9ropode]

a. Définition :

De nombreuses espèces de gastéropodes sont munies d'une coquille extérieure plus ou moins importante : atrophiée chez les limaces, elle est assez grosse pour abriter l'animal entier chez les escargots par exemple ; elle constitue alors une protection contre les prédateurs et la sécheresse.

La coquille est sécrétée par un épais pli de peau, appelé le manteau. Elle est composée principalement de carbonate de calcium. Les gastéropodes ont donc besoin d'une alimentation riche en calcium.

b. Utilisation des déchets d'escargot dans le traitement des eaux usées :

[http://seclin.tourisme.free.fr/eau/Escargot_mutant.html]

Les débris de coquilles d'escargots sont utilisés pour détecter la pollution en sortie des stations d'épuration. Dans une autre utilisation favorable à l'escargot, la Mise en œuvre en Hongrie par *Organica*, dont VWS a acquis 75% en 2007, le procédé *FBR tm* consiste à créer un écosystème stable favorable à l'épuration des eaux usées. Il associe des traitements de boues activées et des bassins d'aération et de décantation qui accueillent une culture de plantes spécialement sélectionnées pour leur capacité à se développer dans les eaux usées grâce à leur système racinaire.

II. Tests des matériaux utilisées :

1. Tests en batch des matériaux :

On a deux grandes classes d'essais : essai en batch et essai de percolation (ou essai en colonne). L'essai peut être réalisé sur matériaux granulaires et sur matériaux monolithiques.

1.1. Matériels et Méthodes des tests en batch :

L'essai en batch est souvent utilisé pour évaluer l'influence spécifique de certains paramètres : température, pH, potentiel d'oxydoréduction mais dans notre cas on s'intéresse plus à la capacité d'adsorption des matériaux et le pourcentage de purification des eaux usées.

Dans cet essai, l'échantillon est placé dans un récipient peut être réalisé sous agitation ou non, le temps de contact utilisé est choisi pour atteindre un état L'accélération du relargage et obtenue par le mode d'agitation.

Toute la surface des échantillons des 4 matériaux est exposée à l'eau usée pendant des périodes de temps différents 30 min, 1 h et 4 h.

Les matériaux testés (déchets d'escargot , l'éponge , filasse , feuilles d'eucalyptus).

Après l'agitation on prend 1 ml de chaque récipient et on la met dans des boîtes de petri contenant des milieux de cultures différents EMB et SLANETZ . puis la dilution 10^{-1} pour chaque récipient . Retourner les boîtes et incuber à une température de 37°C pendant 24 h à 48 h. La lecture se fait après chaque 24h. On calcule le nombre de colonies formées présentes dans un millilitre d'échantillon [cahiers des analyses, CNEREE de marrakech].

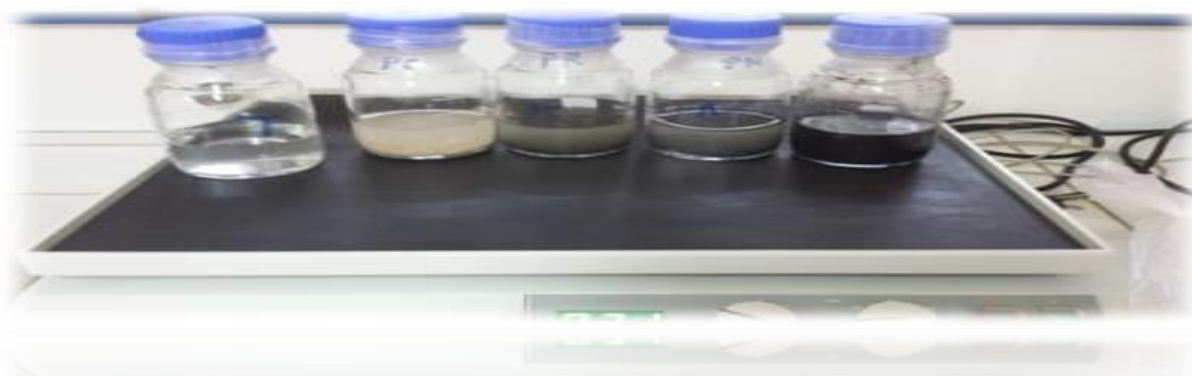


Figure 5 : matériels et produit des tests en batch.

2. Tests en colonnes des matériaux :

2.1. Matériels et Méthodes des tests en colonnes:

Le test en colonne ou percolation est un test dynamique pour déterminer la capacité d'adsorption de ces matériaux et le pourcentage de purification des eaux usées. On procède la même manière d'ensemencement et de lecture des 2 bactéries .



figure 6 : Tests en colonnes des matériaux utilisées dans le système MSL [CNEREE].

Partie IV : Paramètres étudiées et leurs techniques d'analyses

I. Les eaux usées et traitées :

Au cours de ce chapitre, on va procéder au prélèvement et à l'échantillonnage afin d'analyser l'eau usée brute et épurée. L'analyse effectuée touche les paramètres physicochimiques et bactériologiques dans le but d'apparaître les lacunes qui peuvent exister dans le système concernée.

1. Prélèvement des échantillons d'eau usée :

Au cours de notre étude, le prélèvement original de l'eau usée utilisée dans le système MSL comporte 2 milieux principaux :(STEP de Marrakech et des eaux usées de la FSTG).

Le prélèvement dans le système se fait dans deux points différents, le premier est à l'entrée (eau brute), et l'autre à la sortie (eau traitée), dans des conditions réglementaires d'hygiène.

Les principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau :

- ❖ **Identité des préleveurs ;**
- ❖ **Date et heure de prélèvement ;**
- ❖ **Motif de la demande d'analyse ;**
- ❖ **Point de prélèvement d'eau ;**

Les eaux doivent être prélevées dans des flacons stériles (pour les analyses bactériologiques). Ceux ci sont immergés en position verticale en le tenant par le fond, l'ouverture soit légèrement plus haute que le fond et dirigée dans le sens contraire de courant, des flacons de 250 ml sont préconisés pour l'analyse bactériologique.

2. Transport des échantillons d'eau usée:

Le transport des échantillons des eaux usées utilisées dans le système MSL se réalise par des bidons de 25 l pour alimenter un système « filtre imbriqué » qui a une capacité totale de 200 l.

Pour la première point de prélèvement { La STEP de Marrakech} le remplissage des bidons se fait par une pompe ce qui facilite le transport des eaux usées pour protéger sa charge bactériologique et physico-chimique brute.

Ce qui concerne le prélèvement des échantillons pour les analyser au laboratoire, les analyses bactériologiques doivent être effectuées moins de 6 heures après le prélèvement. Si le transport dépasse 6 heures, ainsi si la température extérieure est supérieure à 10°C, le transport doit se faire obligatoirement en glacière à une température inférieure à 4°C.

Enfin, les prélèvements sont placés aux froids dès leurs arrivés au laboratoire avant de commencer les analyses.

II. Analyses physico-chimiques :

✚ Paramètres physiques :

- **PH :**

- ✓ **Définition et techniques de mesure :**

Le pH est en relation avec la concentration des ions d'hydrogène présent dans l'eau. La différence de potentiel existant entre un électrode en verre et un électrode de référence plongeant dans la même solution est mesuré par le pH mètre.

Ce dernier doit être étalonné avant d'être utilisé.

- ✓ **Normes du PH des eaux usées :**

Notre projet est intéressé par les normes de chaque constituant des eaux usées, les normes de PH se trouvent dans l'annexe dans le tableau 1.333

- **Température :**

- ✓ **Définition et techniques de mesure :**

La température de l'eau joue un rôle non négligeable dans l'intensité de la sensation de l'eau. Elle est le facteur le plus apprécié pour une eau destinée à l'irrigation, elle est mesurée par un thermomètre, la mesure est effectuée in-situ après le prélèvement.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

✓ Normes de la Température des eaux usées :

Notre projet est intéressé par les normes de chaque constituant des eaux usées, les normes de PH se trouvent dans l'annexe I.

● Conductivité électrique/TDS/ Salinité:

La mesure de la conductivité électrique, le taux de sels (TDS) et la salinité, nous donne une idée détaillée sur la minéralisation totale des eaux. On a utilisé un appareil multi-paramètres pour mesurer les trois paramètres.

● Matière en suspension (MES) :

✓ Définition et techniques de mesure :

La présence des MES dans l'eau provoque sa turbidité. Pour le dosage des MES, nous avons utilisé la méthode par filtration sur disque filtrant de 0.45µm. Le filtre est séché à 105°C puis pesé après refroidissement (Norme EN 872, 1996).

Le taux des MES exprimé en (mg/l) est donné par l'expression :

$$\text{MES} = (M_0 - M_1)1000/V \quad (\text{Rodier, 2005}).$$

Où :

V : Le volume en ml d'échantillon utilisé ;

M₀: La masse en mg du disque filtrant avant utilisation ;

M₁ : La masse en mg du disque filtrant après utilisation.

✓ Normes de la MES dans les eaux usées :

Notre projet est intéressé par les normes de chaque constituant des eaux usées, les normes de PH se trouvent dans l'annexe dans le tableau 2.

Paramètres organiques :

● DCO :

- Définition :

La valeur de la DCO est une indication importante, avec laquelle on peut caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. Cette mesure correspond à une estimation des matières oxydables, présentes dans l'eau quelle que soit leur origine, organique ou minérale, biodégradable ou non.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

La détermination de la DCO se fait essentiellement par oxydation avec le dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ à ébullition pendant 2 heures en présence d'ions Ag^+ comme catalyseurs d'oxydation et d'ions Hg^{+2} .

- Protocole expérimentale :

☞ PRINCIPE :

C'est une oxydation de la matière organique à chaud par excès de bichromate de potassium en milieu acide (pendant 2 heures) et en présence de sulfate de potassium comme catalyseur.

☞ REACTIFS :

- Solution sulfurique (10.129 g de Ag_2SO_4 dans 1000 ml de H_2SO_4).
- Solution de digestion (500 ml E.D ; 167 ml de H_2SO_4 ; 33,3 g de $HgSO_4$; 10,216 g de $K_2Cr_2O_7$; après 1 heure compléter avec E.D jusqu'à 1000 ml).

☞ MODE OPERATOIRE :

A une prise d'essai de 2 ml de l'échantillon, ajouter 3.5 ml de la solution sulfurique, et 1.5 ml de la solution de digestion, ensuite une agitation jusqu'à dissolution. Porter à l'ébullition à $150^\circ C$ pendant 2 heures. Lire à la D.O à 620 nm.

● DBO5 :

Afin d'estimer la teneur en matières organiques (MO) présente dans une eau usée ou eau de surface, on procède au dosage de la DBO5. Cette mesure nous renseigne sur la biodégradabilité des MO de ces eaux et par la suite sur l'aptitude de ces eaux à un traitement biologique.

La détermination de la DBO5 (Demande Biochimique en Oxygène dans 5 jours), consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à température constante de $20^\circ C$, pendant un temps limité, par convention à 5 jours et à l'obscurité à l'aide d'un système de mesure OxiTop. Ce système est plus pratique, rapide et donne des résultats représentatifs (Rodier, 2005).

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

- Protocole expérimentale :

☞ Prélèvement

Plonger le flacon dans l'eau à analyser, le remplir à ras-bord et fermer le bouchon sous l'eau sans emprisonner de bulle d'air.

☞ Mesures

Il est préférable de faire la première mesure de concentration en dioxygène sur le terrain, directement dans le flacon de prélèvement, en ayant soin de ne pas agiter l'eau. Ne pas oublier de noter la température si nécessaire et refermer le flacon immédiatement après la mesure. Se référer au protocole de dosage du dioxygène dissous pour l'utilisation de la sonde à oxygène. Si l'on ne dispose pas d'un oxymètre portable, transporter le flacon au laboratoire après l'avoir mis à l'obscurité pour éviter toute production parasite de dioxygène par photosynthèse.

Faire la première mesure au laboratoire après avoir placé le flacon à 20°C et à l'obscurité. Refermer le flacon et l'abandonner pendant 5 jours à 20°C et à l'obscurité. Refaire alors une mesure de concentration.

☞ Résultats

Les résultats sont exprimés en mg/L.

Si C_0 est la concentration initiale et C_5 la concentration finale après 5 jours d'incubation, la DBO_5 est égale à $C_0 - C_5$.

L'eau potable doit avoir une DBO_5 proche de zéro, les eaux usées d'origine domestique peuvent atteindre des valeurs de près de 300 mg/L tandis que les eaux usées provenant d'industries particulièrement polluantes (laiteries, distilleries) peuvent atteindre des valeurs de plusieurs dizaines de milliers de mg/L.

● Azote total kjeldahl :NTK

L'azote total des composés organiques est transformé en azote ammoniacal sous l'action de l'acide sulfurique concentré qui se comporte comme un oxydant quand il est porté à l'ébullition.

L'azote ammoniacal ainsi obtenu est dosé après distillation par l'acide sulfurique dilué (N/50) en présence d'un indicateur de coloration : l'indicateur de Tachiro. Les résultats sont exprimés par la relation :

$$\text{NTK} = (\text{Ve} - \text{Vt}) * 28$$

Vt : le volume de H₂SO₄ N/50 de témoin **Ve** : le volume de H₂SO₄ N/50 de l'échantillon

La méthode NTK Kjeldahl utilisée au cours de ces travaux est conforme à la norme AFNOR (T90-110).

Paramètres chimique :

- Nitrite (NO₂⁻) :

- **Définition :**

Le dosage s'effectue selon la norme AFNOR (T90-013).

Le principe du dosage repose sur la formation d'un complexe coloré par réaction de diazotation-copulation entre l'ion nitrite, la sulfanilamide et le N- naphthyl 1-éthylènediamine.

Le produit de la réaction est un complexe hautement coloré. Il présente un maximum d'absorption à 537 nm et peut être détecté par un spectrophotomètre visible

- **Protocole expérimentale :**

REACTIFS :

Réactif de diazotation :

- 100 ml d'acide orthophosphorique concentré.
- Ajouter 40 g sulfanilamide, laisser dissoudre, puis ajouter 2 g de dichlorure N-1Naphthyléthylène diamine.
- Agiter jusqu'à dissolution complète et ajuster à 1000 ml conserver dans un flacon brun au réfrigérateur.

METHODE :

Si l'échantillon contient moins de 1 mg de NO₂ par litre, introduire 50 ml de l'échantillon, si l'échantillon contient plus de 1 mg de NO₂ par litre diminuer la prise d'essai et ajuster à 50 ml avec de l'eau distillée.

Le protocole proposé réduit au ½ la méthode AFNOR :

- Prise d'essai 25 ml d'eau filtrée.
- 0.5 ml de réactif de diazotation.
- Attendre 30 minute et faire la lecture à 537 nm.

- **Nitrate (NO₃) :**

Nous avons procédé au dosage des Nitrates en utilisant une cadmium selon la norme AFNOR NFT 90-012. Les ions nitrates NO₃⁻ sont réduits en ions nitrites NO₂⁻ par passage sur une colonne de réduction constituée de cuivre déposé sur du cadmium. On ajoute alors un réactif de diazotation de manière à transformer les nitrites en sel de diazonium et on lire la densité optique à 537 nm.

- **Ammonium (NH₄⁺):**

- **Définition :**

L'azote ammoniacal (NH₄⁺) se présente en partie sous la forme d'ions ammonium et en partie sous la forme d'ammoniac. Il existe un équilibre pH-dépendant entre ces deux formes. Sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique NH₄⁺.

Dans une solution fortement alcaline ne contenant pratiquement que de l'ammoniac, ce qui nécessite l'ajout de solution alcalin à l'eau, l'ammoniac réagit avec les ions hypochlorites pour donner de la monochloramine. Celle-ci forme avec un phénol substitué un dérivé bleu d'indophénol qui est dosé par photométrie à 630 nm. Cette méthode est conforme à AFNOR T90-015.

- **Protocole expérimental :**

- ☞ **Principe de la mesure**

Il s'agit d'une méthode spectro- photométrique : le réactif de Nessler réagit avec les ions NH₄⁺ en présence de KOH ou de NaOH ; il se forme un composé brun - orangé.

La concentration en ions est calculée à partir de la mesure de l'absorbance à 420 nm effectuée avec un spectrophotomètre.

- **Liste du matériel nécessaire**

- ☞ **Matériel**

- Bouteille pour prélèvement et éventuellement système de perche pour prélever dans le courant.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

- Fioles jaugées de 50mL et 1L.
- Pipettes de 5, 10 et 25mL.
- Agitateurs.
- Bechers.
- Spectrophotomètre (mesure à 420nm) + cuves (10mm de parcours optique).

☞ Réactifs

Pour toutes les préparations et manipulations, utiliser de l'eau récemment déminéralisée.

- Réactif de Nessler.
- Tartrate double de potassium et de sodium.

Préparer 250mL de solution comme suit :

Dissoudre 125g de tartrate double de potassium et de sodium ($C_4H_4O_6KNa, 4H_2O$) dans 250mL d'eau chaude.

Après refroidissement, ajouter 12,5mL de réactif de Nessler ; laisser reposer deux jours environ, puis filtrer.

A conserver ensuite au réfrigérateur.

Remarque : à la rigueur, on peut se passer de ce réactif ; d'après nos essais, cela modifie assez peu les résultats obtenus.

- Solution étalon d'azote ammoniacal à 10mg de NH_4^+ par litre.

Dissoudre 29,7mg de chlorure d'ammonium dans de l'eau ; compléter à 100mL en fiole jaugée. La solution obtenue est ensuite diluée au dixième. A conserver au réfrigérateur.

• Phosphore total :

Le dosage s'effectue selon la norme AFNOR (T90-023). Le phosphore total est déterminé par colorimétrie des ions des orthophosphores en présence de molybdate d'ammonium et en milieu acide. Ceci après une minéralisation en milieu acide et à chaud ($200^\circ C$) et une transformation de toutes les formes complexes organiques et minéraux en ions orthophosphates.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

L'acide utilisé est l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur de minéralisation qui est le $K_2S_2O_8$.

III. Analyses microbiologiques

L'analyse bactériologique a pour but la recherche et le dénombrement des germes existant dans les échantillons d'eau à analyser.

Il faut signaler qu'un examen bactériologique ne peut être interpréter que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toutes les contaminations accidentelles, correctement transporté au laboratoire et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes (Rodier, 2005).

- **Milieux de cultures :**

Définition :

Un **milieu de culture** est un support qui permet la culture de cellules, de bactéries, de levures, de moisissures afin de permettre leur étude. En principe, les cellules trouvent dans ce milieu les composants indispensables pour leur multiplication en grand nombre, rapidement, mais aussi parfois des éléments qui permettront de privilégier un genre bactérien ou une famille.

Ainsi, selon le but de la culture, il est possible de placer les micro-organismes dans des conditions optimales, ou tout à fait défavorables.

- **EMB : (Gélose EMB (LEVINE))**

☞ **DOMAINE D'UTILISATION**

La gélose EMB, préconisée originellement par Levine, est utilisée pour isoler et identifier « *Escherichia coli* » et « *Enterobacter* », ainsi que « les bactéries intestinales à Gram négatif » dans les produits pharmaceutiques, les produits laitiers et les autres produits alimentaires. Elle est également employée pour le contrôle des eaux comme milieu d'isolement et d'identification après culture en milieu liquide (test présomptif).

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

☞ PREPARATION

- Mettre en suspension 37,5 g de milieu déshydraté (BK056) dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée.
- Porter lentement le milieu à ébullition sous agitation constante et l'y maintenir durant le temps nécessaire à sa dissolution.
- Répartir en tubes ou en flacons.
- Stériliser à l'autoclave à 121°C pendant 15 minutes.

☞ NOTA :

Une liquéfaction partielle de l'agar entraînera inévitablement une altération significative de la consistance du gel du milieu solidifié, après stérilisation et refroidissement.

☞ MODE D'EMPLOI

- Refroidir et maintenir le milieu à 44-47°C.
- Bien agiter de façon à oxyder le bleu de méthylène et assurer la mise en suspension homogène du précipité.
- Couler en boîtes de Petri stériles.
 - Laisser solidifier sur une surface froide.
 - Faire sécher les boîtes à l'étuve, couvercle entrouvert.
 - Ensemencer en stries l'inoculum.
 - Incuber à 37°C pendant 18 à 24 heures.

- La Gélose « SLANETZ » :

La gélose de Slanetz est un milieu de culture utilisé pour le dénombrement des Entérocoques (Norme AFNOR NF T 90-416) en microbiologie alimentaire. Son emploi est surtout réservé aux eaux, après filtration.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

☞ Principe:

Ce milieu contient un critère de différenciation : le TTC qui lors de sa réduction donne une coloration des bactéries en rouge. Il contient un inhibiteur des gram -, qui sélectionne les streptocoques : l'azide de sodium.

☞ Lecture :

Les entérocoques donnent des colonies de taille moyenne, rose ou rouges. Les "Bacillus" peuvent pousser et donner le même aspect de colonie, mais de taille plus importante.

Si obtention de colonies rouges violacées en 18 à 24 h, conclure "E. faecalis".

● Ensemencement des bactéries :

- ☞ **Première étape:** préparer une suspension mère à partir d'une colonie ou d'une culture jeune de 18h.
- ☞ **Deuxième étape :** préparer plusieurs dilutions au 1/10, c'est à dire transvaser 1mL de la suspension mère dans 9ml d'un liquide physiologique stérile en tube à essai pour préparer la dilution 10⁻¹ et continuer ainsi pour les autres dilutions.
- ☞ **Important:** agiter les suspensions avant de prélever les 1mL,
- ☞ **Important:** utiliser une pipette graduée stérile de 1mL pour la préparation de chaque dilution.
- ☞ **Troisième étape:** déposer 0,1 ml de la suspension mère sur la surface d'une gélose nutritive stérile et sèche.
- ☞ **Quatrième étape:** utiliser un étaioir stérile pour étaler la suspension sur toute la surface de la gélose.
- ☞ **Important:** utiliser la même pipette et le même étaioir si vous commencez par la dilution 10⁻², ensuite 10⁻¹ et à la fin la suspension mère.
- ☞ Changer la pipette et stériliser l'étaioir si vous commencez par la suspension mère.
- ☞ **Incuber :** les boîtes d'Escherichia coli sont incubées dans 24h à 37°C, et les boîtes pétri des streptococcus fécaux sont incubées dans 48h à 37 °C.

- **Lecture et dénombrement des bactéries :**

Multiplier le nombre de colonie compté sur la dilution retenue pour le dénombrement par **10** pour déterminer le nombre de colonie par mL si le volume ensemencé est de 0,1 ml.

Multiplier ensuite le nombre trouvé par le taux de dilution retenue pour calculer le nombre de colonie par 1 ml de la suspension mère.

Équation à appliquer = Nombre de colonie compté sur la boîte retenue x Volume total de la dilution qui a servi au dénombrement x Taux de dilution.

- **Unité de dénombrement :**

Comme une colonie peut provenir d'une seule cellule bactérienne ou de plusieurs cellules bactériennes (1streptocoque par exemple est composé de plusieurs cocci, il donne une seule colonie), on exprime le résultat final par le nombre d'unités formant colonies par ml et non par cellules par ml.

- a. Dénombrement d'Escherichia coli :**

- **Définition d'Escherichia coli :**

La bactérie Escherichia coli (E. coli) est un bâtonnet à Gram négatif asporulé.

Elle est aérobie ou anaérobie facultative. Sa température optimale de croissance avoisine les 35-37 °C, mais elle est aussi en mesure de croître à une température de 44,5 °C. Elle est capable de fermenter le lactose et elle possède les enzymes β -galactosidase et β -glucuronidase. En raison de sa capacité de croître à la température de 44,5 °C, E. coli fait partie du groupe des coliformes thermotolérants (aussi appelés « coliformes fécaux »), qui est lui-même inclus dans le groupe des coliformes totaux.

- **Technique de dénombrement au laboratoire :**

Pour Escherichia coli qui est incubée dans la gélose EMB dans les boîtes sont mises sous une température ambiante de 37°C, la lecture de ces micro-organismes s'effectue après 24h de leur incubation avec un dénombrement simple en utilisant la technique des quatre rangs dans la boîte pétri et on dénombre le $\frac{1}{4}$ de la boîte après on le multiplie dans 4 pour avoir la somme totale des colonies dans la boîte et la dilution concernée.

- b. Dénombrement des streptococcus fécaux :**

- **Définition des streptococcus fécaux :**

Ce sont des hôtes normaux de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Ce groupe n'est généralement pas considéré comme pathogène. Les streptocoques fécaux appartiennent à un groupe de streptocoques qui ne sont pas tous d'origine fécale (groupe D). Toutefois, leur recherche associée à celle des coliformes fécaux constitue un bon indice de contamination fécale.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

Ils témoignent d'une contamination d'origine fécale ancienne tandis que les coliformes fécaux témoignent d'une contamination d'origine fécale récente.

○ **Technique de dénombrement au laboratoire :**

En effectuant des dilutions de 10^{-1} / 10^{-2} / 10^{-3} jusqu'à la dilution 10^{-5} de la souche mère bactérienne pour que le dénombrement des bactéries soit très simple.

L'incubation des streptococcus fécaux se fait dans une gélose « SLANETZ » on les étalonne et on met les boîtes pétri dans l'étuve bactérien sous une température moyenne de 37°C , la lecture se fait après 48 heures de l'incubation et le dénombrement se fait par simple vision des bactéries sous la lumière.

Partie V : Résultats et discussions des

I. Résultats et discussions des analyses physico-chimiques

✚ Paramètre physique :

- PH et Température:

Les variations des valeurs du PH et de la température sont enregistrés dans les figures ci-dessous :

EU : Eucalyptus ; Fi : Filasse ; SC : Escargot ; Ep : Eponge

Tableau 2 : Résultats de suivi du PH des eaux usées traitées par chaque matériau.

matériaux	EU	Fi	Sc	Ep
Dates de prélèvement				
25/04/2016	7,2	8,1	8	8,2
02/05/2016	7,3	8,2	8,2	8
09/05/2016	7,7	7,9	8	8
16/05/2016	7,8	8,2	8,2	8,2
23/05/2016	7,5	7,9	8	8,1

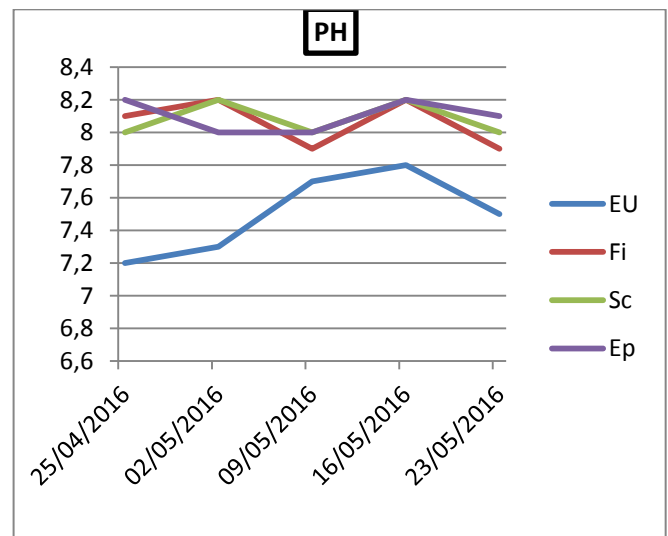


Figure 7 : les valeurs du PH des eaux usées traitées enregistrées à chaque période de traitement.

✚ Interprétations des résultats :

- PH :

l'Eucalyptus fait augmenté le ph des eaux usée , donc il est tres important quand on a des eaux sont acide , pour les neutraliser .

l'Eponge , Filasse et Dechets d'escargot n'ont aucun effet sur le ph des eaux usées.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

Tableau 3 : Résultats de suivi de la Température des eaux usées traitées

Par chaque matériau entre l'entrée et la sortie du système MSL. (Eu : eau usée ; EU : eucalyptus)

Date de prélèvement	25/04/2016	02/05/2016	09/05/2016	16/05/2016	23/05/2016
Matériaux					
Eu	35	34,7	34,5	34,8	34
EU	35,6	35,2	35	34,8	34,3
Fi	34,6	35,1	35,3	34,7	34,8
SC	35,2	34,8	34,7	34,7	34,6
Ep	34,9	34,7	35	35,1	34,8

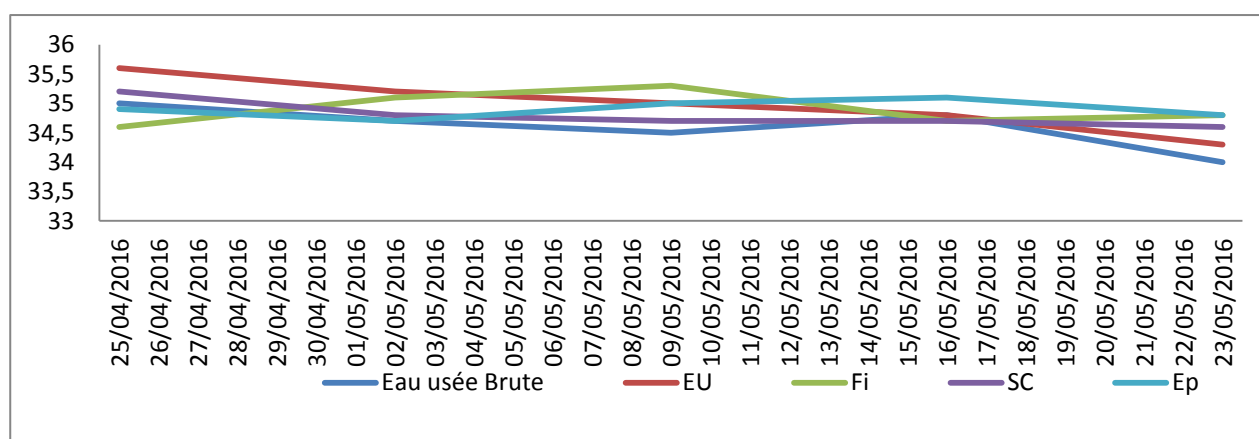


Figure 8 : Variation de température des eaux usées traitées par le système MSL par chaque matériau.

✚ Interprétation des résultats :

- **Température :**

La température est un paramètre physique qui est mesurée in-situ dans le moment de prélèvement des échantillons des eaux usées brute.

Nous remarquons d'après le diagramme que la température variée en se diminuant de la valeur maximale 35.6 °C jusqu'à la valeur minimale 34 °C pour tout les matériaux comme variation moyenne considérable entre le prélèvement, l'entrée et la sortie du système de traitement MSL.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

- DCO / DBO₅ :

- DCO :

- DBO₅:

Tableau 4 : les résultats du DCO des eaux usées traitées en (mg/l). Tableau 5 : les résultats du DBO₅ des eaux usées traitées en (mg/l).

Matériaux	EU	Fi	Sc	Ep	Matériaux	EU	Fi	Sc	Ep
Date de prélèvement					Date de Prélèvement				
25/04/2016	638,47	183,93	225,14	195,14	25/04/2016	186	7	4	20
02/05/2016	833,41	263,91	255,24	265,33	02/05/2016	216	7	5	35
09/05/2016	495,14	122,92	122,16	134,84	09/05/2016	163	21	4	20
16/05/2016	503,62	128,76	125,74	146,96	16/05/2016	179	12	5	20
23/05/2016	508,83	137,81	122,30	163,57	23/05/2016	171	10	3	18

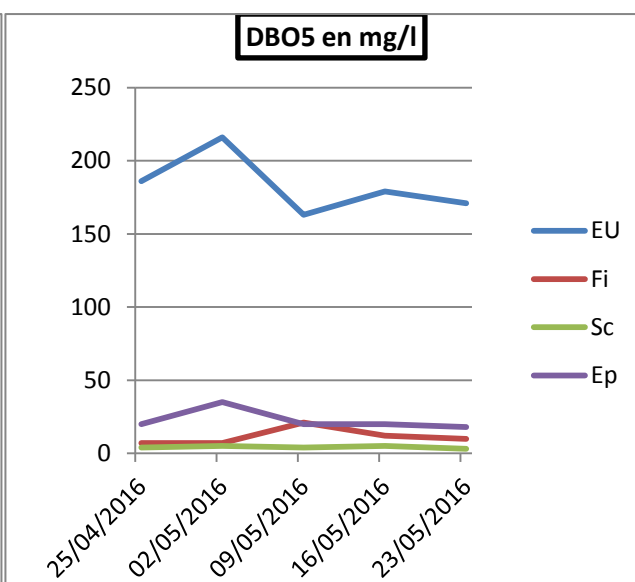
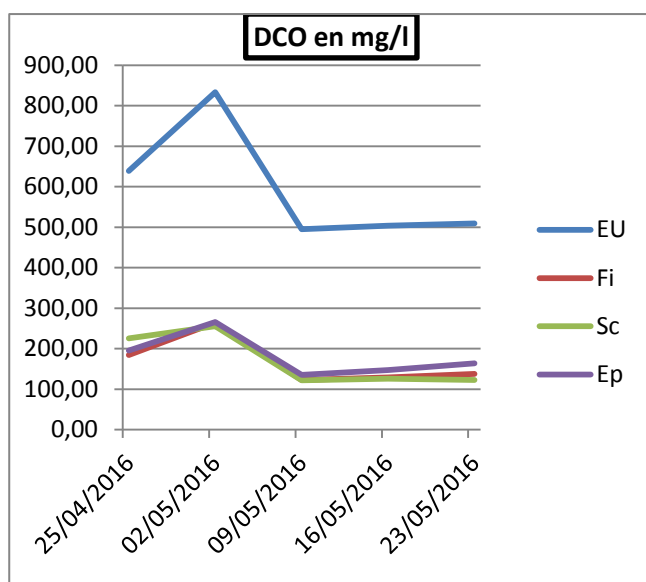


Figure 9 : les valeurs du DCO des eaux usées traitées. Figure 10 : les valeurs du DBO₅ des eaux usées traitées.

Intéprétation des résultats :

- DCO :

DCO est un paramètre qui indique la quantité de substances organiques, chimiquement oxydables présente dans l'eau.

Pour l'eucalyptus les valeurs de la DCO connues une diminution préalablement de 650 mg/l jusqu'à 500 mg/l, et les autres matériaux comme l'éponge, le filasse, et les déchets d'escargots font une petite diminution de DCO de la valeur 150 mg/l jusqu'à la valeur minimale 100 mg/l.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

- **DBO5 :**

La valeur élevée de la DBO5 au niveau de l'entrée du système (220 mg/l) est tout à fait compréhensible car les eaux usées domestiques sont chargées en matière organiques biodégradable.

La valeur de la DBO5 pour l'eucalyptus connues des variations très importantes dont la courbe augmente de 180 mg/l à 220 mg/l et après il baisse jusqu'à 165 mg/l. Pour les autres matériaux on remarque qu'il n'y a pas de changement brut la valeur de la DBO5 est constante.

- **Nitrite (NO2) / phosphore Total :**
 - **Nitrite (NO2) :**

Tableau 6 : Résultats de Nitrite (NO2) des eaux usées traitées par le système MSL en (mg/l)

Matériaux	EU	Fi	Sc	Ep
Dates de prélèvement				
25/04/2016	1,15	21,24	0,47	34,97
02/05/2016	0,66	13,80	0,53	51,78
09/05/2016	1,21	0,05	0,06	1,03
16/05/2016	0,30	0,07	0,00	1,73
23/05/2016	1,02	0,06	0,00	3,21

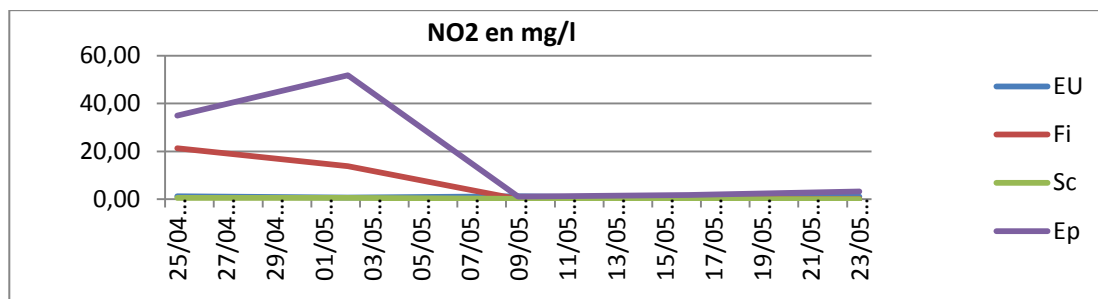


Figure 11 : Les valeurs de Nitrite (NO2) des eaux usées par le système MSL en (mg/l).

- **Intérprétation des résultats :**
 - **Nitrite (NO2) :**

Les valeurs de NO2 variées également pour les matériaux comme l'éponge de la valeur 34,97mg/l jusqu'à la valeur 1.03mg/l, le filasse de la valeur 21.24mg/l jusqu'au la valeur 0.05 mg/l, et pour les autres matériaux on observe qu'il n'y a pas de variation les valeurs sont constants.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

- Phosphore total (PT) :

Tableau 7 : les valeurs de PT des eaux usées traitées par MSL.

Matériaux	EU	Fi	Sc	Ep
Date de prélèvement				
25/04/2016	6,69	4,12	4,07	5,78
02/05/2016	7,05	3,80	3,37	5,57
09/05/2016	6,97	5,43	5,04	6,65
16/05/2016	7,01	4,70	4,44	6,65
23/05/2016	7,02	4,38	4,18	6,67

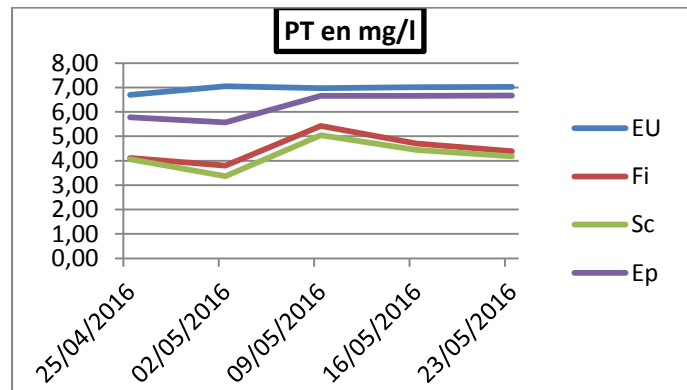


Figure 12 : Résultats de suivi de PT des eaux usées traitées par MSL.

Intérpretation des résultats :

• **Phosphore total :**

Dans les eaux usées le PT provient généralement des produits de nettoyage cela explique les teneurs élevés à l'entrée du système MSL.

Les valeurs variées entre 6.69mg/l jusqu'à 7.05 mg/l pour l'Eucalyptus et pour l'éponge on a une variation de la valeur 5.78 mg/l jusqu'à 6.67mg/l. et les autres matériaux connues une petite variation de la valeur de PT de 4.12mg/l jusqu'à 5.43mg/l pour le filasse.

II. Résultats et discussions des analyses bactériologiques

Tableau 8 : les nombres de colonies d'E.coli et streptococcus fécaux

Dans les eaux usées traitées par MSL.

matériaux	EU	Fi	Sc	Ep
Date de prélèvement				
25/04/2016	220	664	536	75
02/05/2016	324	709	614	83
09/05/2016	520	994	891	91
16/05/2016	240	589	491	71
23/05/2016	314	614	597	63

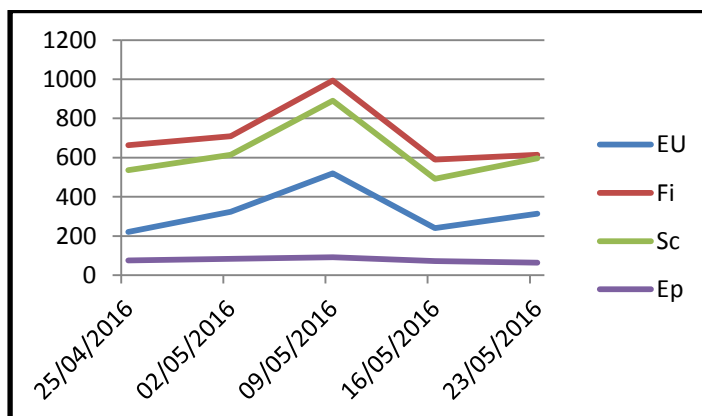


figure 13 : résultats de suivi des micro-organismes d'E.coli et Streptococcus fécaux dans les eaux usées traitées par MSL.

Tableau 9 : les nombres de colonies d'E.coli et streptococcus fécaux

Dans les eaux usées traitées * coefficient de dilution.

matériaux	EU	Fi	Sc	Ep
Date de prélèvement				
25/04/2016	220000	66400	53600	7500
02/05/2016	324000	70900	61400	8300
09/05/2016	520000	99400	89100	9100
16/05/2016	240000	58900	49100	7100
23/05/2016	314000	61400	59700	6300

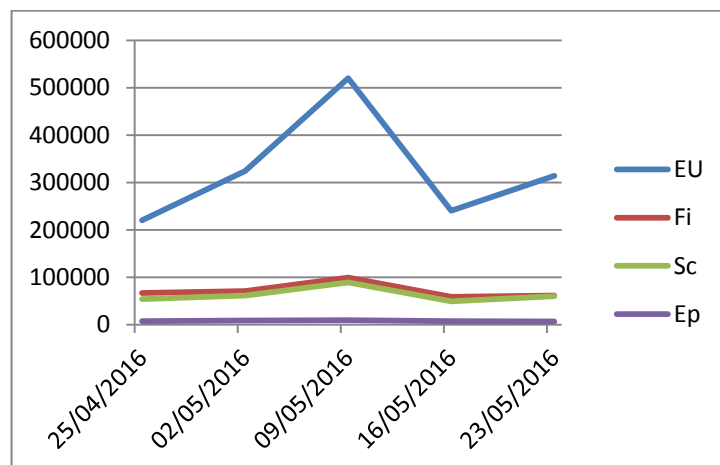


Figure 14 : Résultats de suivi des micro-organismes d'E.coli et streptococcus fécaux des eaux usées traitées *coefficient de dilution.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

Tableau 10: Log (nombre d'E.coli / nombre des Streptococcus fécaux)

Entre l'entrée et sortie du système MSL.

matériaux	Fi	Sc	Ep
Date de prélèvement			
25/04/2016	3,31	4,10	29,33
02/05/2016	4,57	5,28	39,04
09/05/2016	5,23	5,84	57,14
16/05/2016	4,07	4,89	33,80
23/05/2016	5,11	5,26	49,84

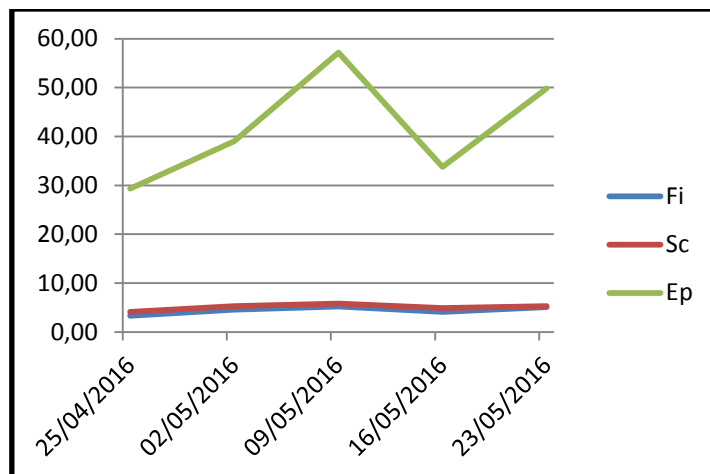


Figure 15 : Log (nombre d'E.coli / nombre des Streptococcus fécaux)

Entre l'entrée et la sortie du système MSL.

Tableau 11 : Nombre de colonies d'E.coli et streptococcus fécaux

des eaux usées traitées par MSL entre l'entrée et la sortie *coefficient de dilution

entre l'entrée et la sortie.

Matériaux	Fi	Sc	Ep
Date de prélèvement			
25/04/2016	153600	166400	212500
02/05/2016	253100	262600	315700
09/05/2016	420600	430900	510900
16/05/2016	181100	190900	232900
23/05/2016	252600	254300	307700

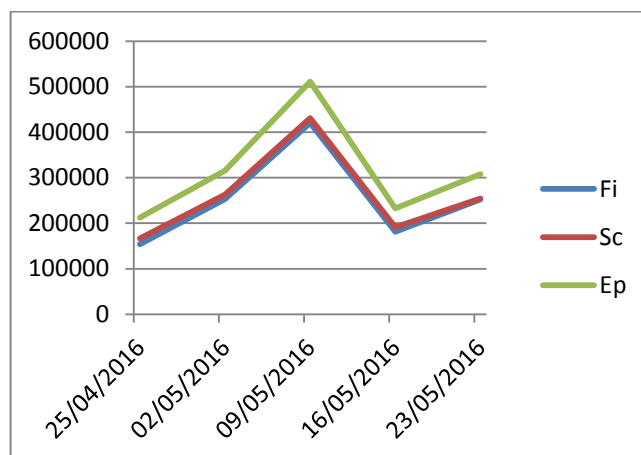


figure16 : Résultats de suivi de colonies d'E.coli et streptococcus fécaux

des eaux usées traitées par MSL entre l'entrée et la sortie *coefficient de dilution

entre l'entrée et la sortie

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

Tableau 12 : Unité log = log (E.coli / Streptococcus Fécaux) des eaux

Usées traitées par système MSL entre l'entrée et la sortie.

Matériaux	Fi	Sc	Ep
Date de prélèvement			
25/04/2016	70	76	97
02/05/2016	78	81	97
09/05/2016	81	83	98
16/05/2016	75	80	97
23/05/2016	80	81	98

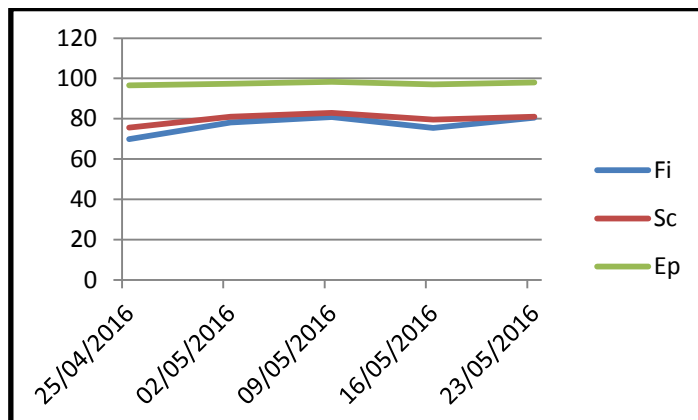


Figure 17: suivi de réduction des colonies d'E.coli et Streptococcus fécaux

Unité log = Log (nombre E.coli / nombre Streptococcus fécaux)

Intéprétations générales des résultats bactériologiques

L'analyse bactériologique est fait dans les conditions de présence d'une zone d'asepsie dont les 2 becs benzen jouent le role de stérilisateur de payasse de travail.

Nous remarquons d'après les analyses effectuées sur les eaux usées brutes et les eaux usées traitées par le système MSL au CNEREE on utilisant 4 matériaux différents que l'Eucalyptus selon les figures 13 et 14 fait augmenter la charge bactériologique en premier temps jusqu'à 520000 colonies d'E.coli et de streptococcus fécaux et après il les diminie jusqu'à le nombre de 314000 colonies et pour les autres matériaux comme l'éponge, le filasse et les déchets d'escargot la charge bactériologie diminiée d'une valeur petite.

D'après les résultats obtenues dans les figures 15 et 16 les 4 matériaux ont la meme efficacité dans la réduction des colonies des eaux usées brutes de la valeur 510900 bactéries jusuq'à la valeur 153600 bactéries formant colonies comme moyenne générale des 4 matériaux.

Entre l'entrée et la sortie du système MSL la biodégradation des bactéries d'E.coli et Streptococcus fécaux par les 4 matériaux d'après la figure 17 en unité log=log(E.coli/ Streptococcus fécaux) nous renseigne que les 4 matériaux fait la biodégradation en moyenne échelle, on observons la valeur qui se variée entre 70 et 100 des colonies d'E.coli et Streptococcus fécaux qui sont éliminées des eaux usées brutes.

Conclusion

Compte tenu de l'origine des eaux usées traitées et des usages qui lui sont destinés, l'encadrement de cette pratique est impératif. Le projet d'arrêté soumis pour avis vise la protection de la santé publique et de l'environnement.

Les propositions destinées à encadrer la mise en place de l'opération de traitement des eaux usées en vue de leur utilisation pour l'irrigation ou de l'arrosage avec des eaux traitées sont les suivantes :

- Validation du procédé de traitement : Mesure des taux d'abattement, suivi des paramètres chimiques avant le début de la réutilisation des eaux usées traitées
- Incitation à la mise en place d'une démarche type management de la qualité au moins pour les eaux de qualité A et B dans un délai qu'il conviendra de fixer et adaptée au projet.

La réutilisation des eaux usées traitées répond aux objectifs suivants :

- > Protéger le milieu récepteur en assurant un meilleur traitement des eaux usées, en particulier lorsqu'il est fragile ou constitue un enjeu pour la biodiversité ;
- > Contribuer à répondre à des situations de stress hydrique.

La réutilisation des eaux usées peut constituer une alternative à la règle souvent suivie du « rivière à rivière », qui tente de retourner l'eau usée épurée au cours d'eau dans lequel elle a été pompée initialement.

A travers un usage alternatif, elle lui substitue l'objectif du zéro rejet en milieu naturel. A l'inverse, le rejet des eaux usées traitées dans le milieu naturel peut permettre de soutenir les étiages des cours d'eau non pérennes ou de maintenir le niveau des nappes fragilisées par des prélèvements trop importants.

Dans les contextes de stress hydrique, la réutilisation des eaux usées traitées est une alternative à la mobilisation excessive d'eaux de surface ou souterraines pour les usages agricoles et industriels.

PERSPECTIVE

Pour résumer les éléments de démarche, on formule ci après une série de recommandations générales en forme de principes conceptuels :

Recommandation 1 : Rechercher à la périphérie du projet ce qui existe déjà dans le domaine afin d'identifier comment la réutilisation est pratiquée au quotidien (pratiques agricoles en matière de culture, de mode d'irrigation, existence de réutilisation formelle ou informelle, organisation du secteur agricole localement). Les éléments moteurs de ces projets (objectifs et porteurs de projets) seront particulièrement intéressants à identifier.

Recommandation 2 : Discerner et hiérarchiser les objectifs (la REUT étant, on le rappelle, souvent un objectif secondaire), en particulier, bien caractériser l'interface avec le projet d'assainissement afin de définir quelle part du traitement est directement liée à la dépollution et quelle part est conditionnée par la mobilisation de la ressource en vue de la réutilisation.

Recommandation 3 : il ne peut pas y avoir de réutilisation agricole sans accord explicite et acceptabilité des futurs irrigants ; les enquêtes socio culturelles et les processus de communication et de formation attachés à cette question doivent être disponibles ou leur élaboration programmée.

Recommandation 4 : Le soutien à un projet d'épuration qui vient régulariser une situation où l'irrigation avec des eaux brutes préexiste, ne doit pas obérer les questions sociales, agronomiques et tarifaires. En effet, la préexistence d'une réutilisation informelle peut être considérée comme un atout pour faire aboutir un projet. Le changement de pratiques en matière de protection sanitaire des utilisateurs, les choix de culture du fait de la réglementation et de la rentabilité économique, constituent une évolution majeure pour les acteurs.

Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées

Recommandation n° 5 : s'assurer de la mise en place d'un suivi sanitaire opérationnel et pérenne (locaux, matériel, personnel formé, protocole établi, frais de fonctionnement évalués), qui s'appuie sur des moyens techniques et financiers inclus dans l'équilibre financier global du projet.

Recommandation n° 6 : éventuellement réorienter le projet vers des procédés moins consommateurs en énergie qui lui donneront une plus grande pérennité de par son coût.

Recommandation n° 7 : l'étude d'impact doit faire explicitement partie des préalables du projet. Son volet sanitaire constitue un axe majeur du dossier dans lequel, outre l'adéquation des cultures et pratiques culturelles à la qualité bactériologiques et chimique de l'eau, la question du suivi (recommandation 5) devra être clairement explicitée. Dans la mesure où cela est pertinent, l'évaluation de la soutenabilité climatique devra également avoir été traitée dans ce dossier. Les études techniques pourront être analysées au travers des indicateurs proposés dans le présent dossier et afin d'identifier les manques et procéder aux compléments d'investigations préalablement à la poursuite de l'instruction.

Recommandation n° 8 : être vigilant sur le caractère opérationnel des textes juridiques et vérifier que les lois soient bien assorties des décrets d'application

Recommandation n° 9 : clarifier le qui va payer quoi, tant au niveau des investissements que du fonctionnement des ouvrages et surtout vérifier que le dispositif proposé correspond bien aux pratiques culturelles du pays au risque sinon de ne pas recouvrir les coûts faute d'adhésion au projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- *[https://www.researchgate.net/profile/Lahbib_Latrach]
- *[<https://books.google.com/books?id=f6FXAAAAAYAAJ>]
- *[<https://books.google.com/books?isbn=2710809680>]
- *[Wikipédia]
- *[<https://leslitseescitronnees.com/2012/06/05/les-differents-eucalyptus/>]
- *[<http://www.jen-npo.org/blogs/10371/>]
- *[https://fr.wikipedia.org/wiki/Coquille_de_gast%C3%A9ropode]
- *[http://seclin.tourisme.free.fr/eau/Escargot_mutant.html]
- *[[fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89ponge_\(objet\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89ponge_(objet))]
- *[<https://books.google.com/books?isbn=2804142566>]
- *[<https://fr.wikipedia.org/wiki/Filasse>]
- *[www.ideale-luftfeuchtigkeit.com/static/products/assets/asset_3577_5.pdf]
- *[<https://www.senat.fr/questions/base/2005/qSEQ050517431.html>]
- ***Chocat, B. (1997)** : Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Ed. Tec & Doc., 1124 p.
- ***Thomas, O. (1995)**. Métrologie des eaux résiduaires. Ed. Cebedoc. Tec. et Doc. Lavoisier, 192 p.
- ***Rodier, J. (1996)**. Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Edition Dunod, Paris. 1384 p.
- ***Gaid, A. (1993)**. Traitement des eaux usées. Techniques de l'Ingénieur, C5 – 220 -2, 30 p.
- ***Tardat- Henry, M.**, Chimie Des Eaux, 2ème Edition, Les éditions du griffon d'Argile, 1992, pp 213-215.
- * **ONA, (2013)**. Office nationale d'assainissement du Maroc.
- ***OMS. (1997)**. Aspects sanitaires et nutritionnels des oligo-éléments et des éléments en traces. Editions de l'OMS, 366 p.
- ***Franck, (2002)** , table de MAC-GRADY (NPP)
- * **Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes. 2000.**
- ***ONEP – Etude d'assainissement liquide de la ville Marrakech – Mission I-1 et I-2 : Edition Définitive - ADI - 2007.**
- ***ONEP – Evaluation environnementale des projets d'Alimentation en eau potable et d'assainissement - Guide méthodologique 2000.**
- ***Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. 1996. Plan Directeur des Aires Protégées. SECA BCEOM.**

**Essai d'introduction de nouveaux matériaux dans le système filtre imbriqué
pour améliorer ces performances en matière de traitement des eaux usées**

ANNEXE

Tableau annexe : les normes des paramètres physico-chimiques des eaux usées traitées destinées à l'irrigation selon les normes marocaines.

Valeurs limites des paramètres physico-chimiques	Norme actuelle	Nouvelles propositions
Salinité totale (STD) mg/l	7680	3 200 (1500 en Jordanie)
Conductivité électrique (CE) ms/cm à 25°C*	12	5 (valeur maximale FAO = 3)
Infiltration Le SAR** = 0 - 3 et CE =	<0,2	Seul le paramètre SAR est retenu : Valeur proposée : 15 (10 à 26 en Turquie)
3 - 6 et CE =	<0,3	
6 - 12 et CE =	<0,5	
12 - 20 et CE =	<1,3	
20 - 40 et CE =	<3	
IONS affectant les cultures sensibles)		
Sodium (Na)	?	Na : Valeur maximale de Sodium retenue : 500 mg/l (200 à 800 selon les normes de la Turquie)
Irrigation en surface (SAR)	9	
Chlorure (Cl)	1000 (moyenne des cinq classes des eaux d'irrigation en Turquie) – valeur de 2000 proposée pour l'Algérie.	
.Irrigation de surface (mg/l)	350	
.Irrigation par aspersion (mg/l)	105	
Bore (B) (mg/l)	3	Valeurs maximales 1 : plantes sensibles 2 : plantes semi-sensibles 3 : plantes tolérantes

EFFETS DIVERS (affectant les cultures sensibles)

Température (°C)		35
pH	6,5-8,4	6,5 < pH < 8,5
Azote nitrique (N-NO3) en mg/l	30	30
Bicarbonate (HCO3) (Irrigation par aspersion en mg/l)	518	500 Ajouter le paramètre RSC= (CO3+HCO3)- (Ca2++Mg+2) Valeur maximale : 1.5
Sulfates (SO2.4) en mg/l	250	500
Paramètres usuels caractérisant les eaux usées		
Matières en suspension en mg/l Irrigation gravitaire/ Irrigation par aspersion et localisée	200 / 100	< 50 mg/L (irrigation localisée) 50 – 100/L pour les autres systèmes d'irrigation Le dépassement de 100 mg/l peut aussi colmater les sols de texture argileuse en surface
DCO (mg/l)	100 pour la catégorie A (cultures et espaces verts) 500 pour la catégorie B 500 pour les catégories C et D	