

**Evaluation des performances du
système "Filtres Imbriqués" appliqué au
traitement des lixiviats**

Réalisé par:

Sahraoui Hamza & Yaziz Aboubaker

Soutenu Le 9 Juin 2016 devant le jury composé de :

Mohamed El Mehdi SAIDI.... Professeur FST- Marrakech Examineur

Nadia KHAMLI Professeur FST- Marrakech Encadrant

Abdessamad HAJJAJ Docteur CNEREE-Marrakech Encadrant

Dédicaces

A nos parents :

Qu'aucune dédicace ne serait exprimé à juste valeur tout l'amour, le respect et le dévouement que nous portons envers eux.

A nos enseignants & professeurs :

Pour leur patience, dévouement et sacrifice.

A nos amis & frères

Et à tous ceux qui ont rendu ce rapport finalement réalisable

Remerciements

L'accomplissement du présent travail n'a été possible qu'avec le soutien d'ALLAH et de certaines personnes :

Nous exprimons nos vives gratitude ainsi que notre grande reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études, en particulier tous les enseignements du département des sciences de la terre de la faculté des sciences et technique de Marrakech.

Nos remerciements s'adressent au Professeur Laïla MANDI, Directrice centre National d'Etude et de Recherche sur l'Eau et l'Energie (CNEREE), pour nous avoir proposé un sujet de recherche et nous avoir accueillis au sein du CNEREE.

Nos remerciement vont également à nos encadrants, Pr Nadia KHAMLI et Pr Abdessamad HEJJAJ.

Nous avons étaient assistés par Melle Asmae MALIKI, Doctorant chercheur au CNEREE, qu'elle soit vivement remerciée. Nous lui exprimons notre reconnaissance et notre gratitude.

Nous remercions nos professeurs au département des Sciences de la Terre de la FST et en particulier Pr Yamina BOURGEOUANI, coordinateur filière Eau & Environnement, pour leur dévouement et leurs directifs.

Sommaire

I.	Problématique et objectif du travail :	9
a.	Présentation de la problématique :	10
b.	Objectif du travail :	10
c.	Démarche suivi :	10
II.	Présentation de centre national d'étude et de recherche sur l'eau et l'énergie :	12
III.	Données bibliographiques sur lixiviats et filtres imbriqués :	13
1.	Décharge publique non contrôlée de Marrakech :	13
a.	Présentation générale :	13
b.	Topographie :	14
c.	La géologie :	14
d.	Hydrogéologie :	14
2.	Lixiviats :	15
a.	Définition de lixiviat :	15
b.	Composition de lixiviat :	16
c.	La genèse des lixiviats :	17
d.	L'évolution des lixiviats :	17
e.	Caractérisation des lixiviats :	19
f.	Stockage des lixiviats :	20
g.	Traitements des lixiviats :	21
1.	Normes rejet direct des lixiviats au Maroc : Annexe 01	21
2.	Traitement des lixiviats :	21
h.	Impacts des lixiviats :	25
2.	Filtre imbriqué :	26
a.	Présentation de la technique :	26
•	Expérience marocaine: Pilote installé au CNEREE:	26

b.	Composition des filtres imbriqués :	27
c.	Mécanismes de traitement par filtres imbriqués :	28
➤	Réduction de la matière organique :	28
➤	Réduction de l'Azote:.....	28
➤	Réduction du phosphore:.....	29
d.	Duré de vie des filtres imbriqués :	29
e.	Limites du fonctionnement des filtres imbriqués :	29
IV.	Matériels et Méthodologies d'analyse :	30
1.	Introduction :	30
2.	Matériels et méthodes :	30
a.	Dispositif expérimentale :	30
Pilote filtres imbriqués :	30	
b.	Alimentation du pilote :.....	32
i.	Type des lixiviats :.....	32
iii.	Débit d'alimentation :	33
iv.	Mode d'alimentation :.....	33
v.	Prélèvement et échantillonnage :	34
vi.	Méthodes d'analyses :.....	34
V.	Résultats et discussion.....	37
1.	Paramètres physico-chimiques :	37
2.	Paramètres bactériologiques :.....	44
3.	Comparaison des résultats des lixiviats traitées par le pilote filtre imbriqué avec les normes de rejet direct au Maroc	45
	Conclusion générale :	46
	Annexes :.....	47
	Références bibliographiques :	44

Liste des abréviations :

μS/cm : micro siemens / centimètre

ATK/NTK : Azote Kjeldahl totale

CNEREE : centre national d'étude et recherche sur l'eau et l'énergie

Cl : Chlorure

CT : Coliformes Totaux

CF : Coliformes Fécaux

CMS : Couche de mélange du sol

CP : Couche perméable à l'eau

CPG : Chromatographie en phase gazeux

DBO₅ : Demande biologique en oxygène en cinq jours

DCO: Demande chimique en oxygène

MES : Matière en suspension

MS/cm: Milli siemens / centimètre

MSL: multi-soil-layering system

TTC : Chlorure de Triphényl le 2, 3, 5 Tétrazolium

UFC : Unité Formant Colonie

NH₄: Ammonium

NO₂: Nitrite

PT: Phosphore total

SO₄: Sulfate

Liste des tableaux :

Tableau 1:Évolution temporelle des lixiviats (CHIKBOUNIL, 2009)	20
Tableau 2: comparaison de quelques procédés classiques de traitement des lixiviats.	24
Tableau 3:Comparaison entre les lixiviats de la décharge de Marrakech de Taza et Nabeul.	32
Tableau 4:Résultats de suivi des paramètres mesuré <i>in situ</i>	37
Tableau 5:Résultats de la dégradation de la matière organique.	39
Tableau 6:Résultats de variation de concentration d'azote.....	40
Tableau 7: Résultats de variation de concentration de phosphore.	42
Tableau 8: Résultats de variation de concentration de sulfates.....	43
Tableau 9 : Comparaison des résultats des lixiviats traitées par le pilote filtre imbriqué avec les normes de rejet direct au Maroc	45

Liste des figures :

Figure 1:Centre d'étude et de recherche en environnement (CNEREE)	12
Figure 2:Décharge non contrôlée de Marrakech.....	13
Figure 3: Représentation topographique du site de la décharge.....	14
Figure 4:Carte géologique et piézométrique.	15
Figure 5 :Lixiviat de la décharge publique de Marrakech.....	16
Figure 6 : Exemple d'un système d'étanchéité de fond d'un bassin de lixiviats.	21
Figure 7 : Composition de filtre imbriqué.....	27
Figure 8 : Mécanismes de traitement des lixiviats dans le système filtres imbriqués.	28
Figure 9 : Description détaillée du pilote filtres imbriqués installé au CNEREE.....	31
Figure 10 :Pilote des filtre imbriqué installé au CNEREE.....	33
Figure 11: Photo de Multi-paramètres	35
Figure 12 : Photo de spectrophotomètre	35
Figure 13 :Photo de Thermo réacteur DCO	35
Figure 14 :Photo Thermo réacteur PT	35

Figure 15 : Photo de Centrifugeuse.....	36
Figure 16 : Photo des bouteilles de DBO5	36
Figure 17 : Variation des paramètres <i>in-situ</i> des lixiviats traitées par le pilote filtre imbriqué.	38
Figure 18: Variations des teneurs en matières organiques dans les lixiviats jeunes et traitées par le pilote filtres imbriqués.....	40
Figure 19 : Variation des nitrates et d'ammonium des lixiviats traitées par le pilote filtres imbriqués.....	41
Figure 20 : Variation du phosphore total et des orthophosphate des lixiviats traitées par le pilote filtre imbriqué.....	42
Figure 21 : Variation des sulfates dans les lixiviats bruts et traités par le pilote filtres imbriqués.....	43
Figure 22 :Caractérisation bactériologiques des lixiviats a l'entrée et a la sortie de filtre imbriqué	44

I. Problématique et objectif du travail

L'augmentation de la production des déchets solides va actuellement de pair avec l'essor démographique et l'intensification des activités socio-économiques.

Dans les pays en voie de développement, et particulièrement au Maroc, le mode de gestion des déchets solides le plus adopté correspond à la mise en décharge. Il s'agit principalement de décharges non contrôlées et à ciel ouvert, où tous les types de déchets sont rejetés à l'état brut et mélangés : urbains, industriels et agricoles.

La mise en opération de ces sites de décharge «sauvage» n'a été précédée par aucune étude d'impact sur l'environnement. De manière générale, ces décharges sont à l'origine de nuisances multiples et fréquentes : odeurs fétides, chiens enragés, auto-incinération et fumées asphyxiantes, poussières et objets volants, biogaz et éventuellement les Lixiviats.

La conséquence majeure et inévitable d'une mise en décharge est la production d'un Lixiviat pouvant émerger de sérieux problèmes écologiques . En effet, ces lixiviats sont riches en matières organique et inorganique, et en métaux lourds. Leur rejet à l'état brut, sans aucun traitement préalable, engendre les impacts suivants : pollution des sols, contamination des eaux souterraines et de surface, impacts sur la santé et l'environnement, etc.

La décharge sauvage de la ville de Marrakech (**Figure I**) est située à la périphérie de la ville et sa mise en service remonte au début de l'année 1987. Les études menées sur cette décharge ont montré que le tas de déchets, dont le volume a été estimé à partir des relevés topographiques, atteint 400 000 m³ sur une hauteur de l'ordre de 8 m. Ce tas de déchets stocké dans une cuvette inclinée, présente un risque de glissement lors d'un événement pluvieux exceptionnel. Le volume de Lixiviats produit par la décharge de Marrakech est d'environ 2800 m³/ha/an.

a. Présentation de la problématique

Les lixiviats de la décharge publique de Marrakech, qui ne sont pas traités, pourraient constituer une source potentielle de contamination des eaux de la nappe phréatique et de celles de l'oued Tensift qui passe près de la décharge.

La décharge de Marrakech étant située à cheval sur une formation quaternaire perméable et des schistes fracturés, ces lixiviats s'infiltrent vers la nappe phréatique sous-jacente, qui s'écoule en direction de l'oued Tensift.

Ces lixiviats présentent des concentrations élevées en Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ et en certains métaux lourds (Pb, Cu et Cr). La pollution organique est également importante. La DCO peut atteindre 138 mg O_2/l (Khemissi 2014). De plus, les concentrations en ces polluants sont nettement supérieures à celles généralement rencontrées dans d'autres décharges d'ordures ménagères, à cause du climat semi-aride et du type de déchets enfouis (Khemissi 2014).

En effet, le suivi de la qualité des eaux, à proximité de la décharge, durant l'année 1999, a montré que les eaux souterraines et celles de l'oued Tensift sont de mauvaise qualité. L'Analyse des composantes principales a montré que la pollution des eaux, par les lixiviats, est essentiellement due à la matière organique, HCO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-} .

b. Objectif du travail

Le but de notre travail est de d'évaluer les performances épuratoires de la technique des "Filtres Imbriqués" comme un traitement biologique des lixiviats jeunes. Le pilote "Filtres imbriqués" est un système qui est monté à l'échelle du laboratoire des Sciences de l'Eau et l'Environnement au Centre National d'Etudes et de Recherches sur l'Eau et l'Energie (CNEREE).

c. Démarche suivie

Lors de notre mois de stage au CNEREE, nous avons alimenté le pilote "Filtres imbriqués" en continu par des lixiviats jeunes, dilués par les eaux usées à un débit d'alimentation de 5 l/jour.

Le suivi de l'efficacité du traitement des lixiviats par le pilote "Filtres imbriqués" a été fait pendant un mois par mesure de paramètres suivants :

• Paramètres physicochimiques: pH, conductivité électrique (CE), oxygène dissous (OD), température (T), matières en suspension (MES), demande biologique en oxygène (DBO5), demande chimique en oxygène (DCO), ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), phosphore total (PT) et Orthophosphate (HPO_4^-).

• Paramètres bactériologiques: les coliformes fécaux (CF), les coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux.

II. Présentation de centre national d'étude et de recherche sur l'eau et l'énergie

Le Centre National d'Etude et de Recherche sur l'Eau et l'Energie (CNEREE), dans lequel s'est déroulé notre stage, est créé dans le cadre du plan quinquennal de développement économique et sociale 2000-2004 par la ministre de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique. Il s'inscrit dans le cadre de la politique générale de l'université Cadi Ayyad pour s'intégrer dans l'espace socio-économique de pays. Il traduit donc la volonté d'accompagner les efforts de développement au Maroc et fait de l'université un instrument d'épanouissement technologique et socioéconomique (Figure 1).

Mission 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.



Fig. 1: Centre d'étude et de recherche en environnement (CNEREE).

III. Données bibliographiques sur lixiviats et filtres imbriqués

1. Décharge publique non contrôlée de Marrakech

a. Présentation générale

C'est une décharge non contrôlée où sont déposés différents types de déchets : urbains, industriels, hospitaliers, déchets de démolition et de construction en provenance de la ville de Marrakech. Ces déchets sont constitués majoritairement de matières organiques, de papiers cartons et de plastiques. La quantité des déchets reçus par la décharge de Marrakech est de l'ordre de 450 t/j soit environ 164 000 t/an. La quantité des déchets cumulés, depuis son ouverture en 1987, est estimée à 2 millions de tonnes. La décharge dispose d'une clôture partielle et d'un gardiennage. Les déchets sont amenés directement par les camions de collecte et sont versés en vrac sur la plateforme formée par les déchets anciens. (Fig. 2)

La récupération des ordures ménagères est une pratique très répandue dans la ville de Marrakech. Des personnes font le tri sur ou à proximité de la décharge en compagnie de leur bétail qui se nourrit des résidus de matières organiques dès le déversement des camions. Les produits récupérés sur le site de décharge sont triés et stockés selon leur nature en attente de leur commercialisation (Khemissi 2014).



Fig. 2: Décharge non contrôlée de Marrakech

b. Topographie (Fig. 3)

La décharge est située dans une cuvette légèrement pentée vers le sud ouest, en contrebas de la route de laquelle est masquée par deux collines. C'est une cuvette inclinée de pente NE/SW de 2.5 % en moyenne qui favorise le ruissellement des eaux pluviales en surface du dépôt. En hiver, cette faible pente et le ruissellement de l'eau posent des problèmes d'adhérence aux camions lors de déchargement des déchets. La pente maximale est de 7 %. La représentation topographique 3D ci-dessous décrit l'état initial du site (BERCHANE 2011).

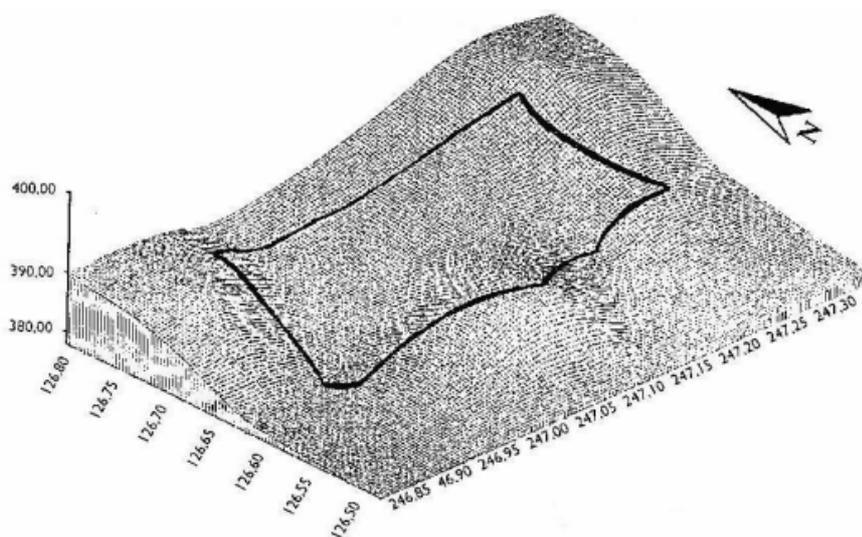


Fig. 3 : Représentation topographique du site de la décharge

c. La géologie (Fig.4)

Au niveau de la géologie du secteur, le site de la décharge chevauche deux formations différentes au niveau composition et aire géographique. La formation Est, qui couvre les 2/3 du site, est constituée par des schistes du paléozoïque. Ce sont les schistes de Sarhlef qui ont l'aspect de flysch à bancs gréseux. La formation située du côté ouest en direction de l'oued Tensift, qui représente le 1/3 restant, est constituée à la base par des conglomérats et des croûtes calcaires et à la partie supérieure par du limon appartenant au Quaternaire. La décharge se trouve dans un site perméable (BERCHANE 2011).

d. Hydrogéologie (Fig.4)

La nappe d'eau souterraine au niveau du site est relativement peu profonde. Le niveau de l'eau dans les puits avoisinants varie entre 6 à 10 m. La carte piézométrique réalisée à partir des données de 1999 montre un écoulement de la nappe du NE vers le SW, en direction de l'oued Tensift (Hakkou R at al 2000) .

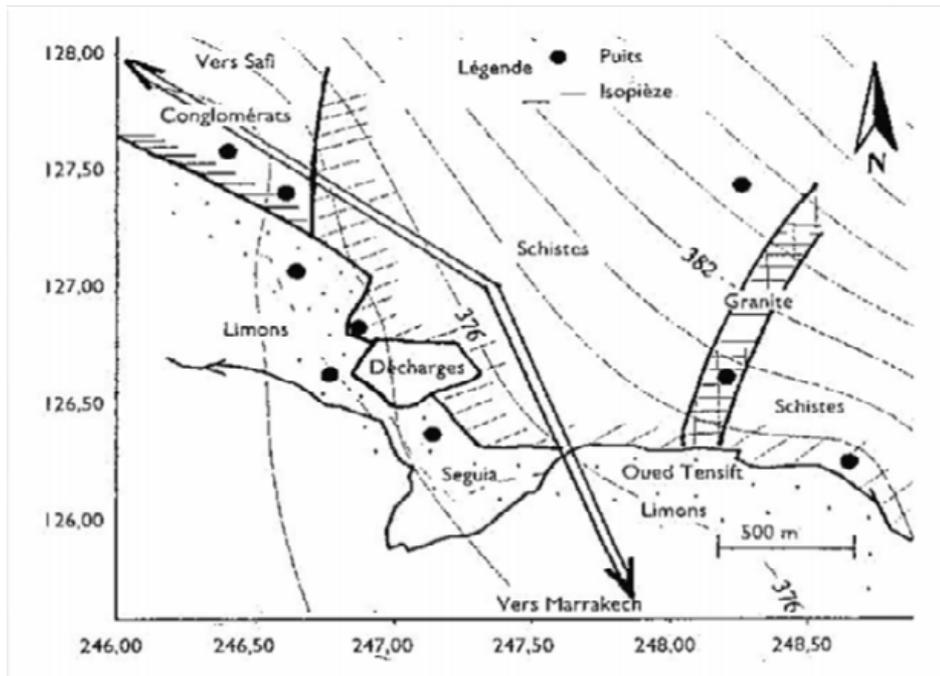


Fig. 4: Carte géologique et piézométrique..

2. Lixiviats

a. Définition de lixiviat

Les lixiviats sont des effluents toxiques issus des centres de stockage des déchets. Ils sont composés de multiples éléments organiques et minéraux. Le lixiviat est défini comme étant l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement de substances minérales et organiques ; appelé communément le jus de poubelles.

La composition des déchets enfouis et la décomposition et leur taux d'humidité et l'âge de la décharge sont les principaux paramètres influençant la composition du lixiviat. La production massive de celui-ci engendre des risques de contamination des sols, des rivières et des nappes phréatiques. Il est donc nécessaire de traiter les déchets avant son rejet dans le milieu naturel (Colin F, 1984).



Fig. 5 : Lixiviat de la décharge publique de Marrakech.

b. Composition de lixiviat

Les compositions chimiques et biochimiques des lixiviats sont non seulement très diverses mais aussi variables dans le temps et dans l'espace.

Les lixiviats se composent de quatre types de polluants :

- La matière organique dissoute ou en suspension, issue de la biomasse, exprimée généralement en DCO (les AGV, les substances humiques et fulviques...);
- Les micropolluants organiques (hydrocarbures, composés aromatiques...);
- Les composés minéraux majeurs sous forme ionique (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} ...) ainsi que d'autres composés tels que les borates, les sulfites... (Xu Y.D et al 2006)
- Les cations de métaux lourds à l'état de traces, sous forme majoritairement complexée par des ligands minéraux (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) ou organiques (macromolécules de type humique et fulvique).

D'autre part, les lixiviats peuvent aussi contenir certains micro-organismes pathogènes. Plus de 200 familles de composés organiques ont pu être identifiées

au cours des nombreuses études menées sur la caractérisation des lixiviats des décharges (Öman C.B et al 2008)

C. La genèse des lixiviats

Les lixiviats dans les zones de décharge sont produits par quatre sources d'eau :

- eau initialement contenue dans les déchets,
- eau produite lors de la décomposition de la matière organique contenue dans les déchets,
- eau provenant des précipitations météoriques
- eau venant de la nappe phréatique.

L'infiltration des eaux météoriques à travers les déchets reste la source principale de la genèse des lixiviats. Ces eaux favorisent la biodégradation des matières organiques fermentescibles et produisent alors des lixiviats qui se chargent de substances organiques et/ou minérales provenant des déchets ou des sous-produits de dégradation des déchets. La compréhension de la genèse des lixiviats implique non seulement la connaissance de la nature des déchets enfouis et le mode d'exploitation des centres d'enfouissement techniques (CET) (hauteur des déchets, surface exploitée, compactage...), mais aussi l'étude des interactions entre l'eau et les déchets. Les mécanismes de la genèse des lixiviats sont très complexes : ils sont de natures biologiques et physico-chimiques. Les processus biologiques aérobies et anaérobies jouent un rôle prépondérant dans la genèse des lixiviats. En effet, les déchets enfouis servent de substrat aux micro-organismes hétérotrophes (bactéries, levures, champignons) responsables de la dégradation de la fraction organique fermentescible. Les effets de cette activité microbiologique peuvent être multiples, directs ou indirects et déclencher des phénomènes physico-chimiques secondaire (Rapport KHEMISSI 2014).

d. L'évolution des lixiviats

On distingue cinq phases de décomposition des ordures ménagères :

Phase aérobie :

Au moment de la mise en place des déchets, l'oxygène présent est consommé (décomposition aérobie). L'activité des bactéries aérobies strictes permet la dégradation de la matière organique facilement dégradable et oxydable (Aguilar et al.

1999). Cette phase est caractérisée par une élévation de la température entre 50 et 70 °C et dure de quelques jours à quelques semaines.

Phase de transition :

Elle représente le passage progressif des conditions aérobies aux conditions anaérobies. Elle se caractérise par une chute du potentiel redox (le milieu devient réducteur) et une augmentation de la DCO (demande chimique en oxygène, proportionnelle à la concentration en matière organique) (Chen et al 1996). Elle dure de quelques jours à quelques semaines.

Phase acétogénique :

Cette phase peut s'étendre sur plusieurs années voire plusieurs décennies. Elle est caractérisée par la présence de bactéries dites " acétogènes" qui hydrolysent et transforment la matière organique par fermentation produisant des molécules simples et solubles (acides gras, ammoniacque) (Kurniawan et al 2006). Les lixiviats produits durant cette période possèdent de fortes valeurs en DBO (demande biochimique en oxygène) et un pH acide. Ces propriétés agressives facilitent la dissolution d'autres composés tels que le fer, le manganèse, le zinc, le calcium et le magnésium (Wu J et al 2011).

Phase méthanogénique :

Cette étape de biodégradation de la matière organique correspond à la production de méthane (de l'ordre de 50 à 60 % en volume) et de dioxyde de carbone (teneurs comprises entre 40 et 60% en volume) à partir des produits organiques issus des étapes métaboliques précédentes, exceptée la formation de biogaz, le lixiviat présente une faible DCO représentative d'une matière organique difficilement biodégradable). La méthanogenèse est assurée par les bactéries méthanogènes qui sont des bactéries anaérobies strictes très particulières du point de vue structurel et physiologique et qui font partie de la classe des Archaeobactéries (Woese C.R et al 1987), Elles ne sont capables de consommer qu'un nombre restreint de substrats organiques nécessaires pour leur croissance et leur développement tels que le formate, l'acétate et le méthylamine. Au cours de cette étape, la concentration en acide acétique (substrat principal de la méthanogénese) diminue rapidement conduisant à une augmentation des valeurs de pH (Ross W.R et al 1990).

Phase de maturation :

C'est la phase finale de maturation et de stabilisation de la matière organiques elle s'accompagne d'une chute de la production gazeuse .Cette phase est aussi marquée par une entrée progressive de l'air au sien de milieu .la matière organique relarguée est une grande partie représentée par de la DCO dure. L'oxydation par l'air au sein de massif peut entrainer le relargage des métaux lourds fortement retenues aux composés organiques ou à des espèces réduits (sulfure).

e. Caractérisation des lixiviats

La composition et le volume des lixiviats sont difficiles à déterminer car les décharges constituent un réacteur complexe évoluant spontanément (Tableau 1). Divers facteurs contribuent à l'hétérogénéité de la composition des lixiviats : la nature des déchets, l'épaisseur de la couche des déchets, la nature du matériau du substratum et de la couverture des déchets, les facteurs climatiques, le bilan hydrique, la situation géographique, le type de site, le mode d'exploitation et l'âge de la décharge.

Le nombre de facteurs intervenant dans la composition d'un lixiviat explique sa grande variabilité non seulement d'une décharge à l'autre, mais aussi au sein d'une même décharge (A.zalaghi et al. 2014).

- **Lixiviat Jeune :**

Il est caractérisé par un pH acide inférieur à 6. Le rapport DBO5/DCO est important, du fait de la présence des microorganismes. La DCO dépasse souvent les 20 000 mg/l et peut même atteindre des valeurs extravagantes (jusqu'à 80 000 mg/l), les acides carboxyliques représentent environ 80% de la charge organique . Ainsi, un traitement biologique est fortement recommandé pour ce genre d'effluent (GLANDIER.S 2002).

- **Lixiviat Intermédiaire :**

C'est une phase de transition entre le lixiviat jeune et le lixiviat stabilisé. Le pH s'approche généralement de la neutralité et la charge organique est nettement plus faible que celle du lixiviat jeune (entre 3 000 et 15 000 mg/l). Le rapport DBO5/DCO avoisine 0, 2. Le pourcentage en acides carboxyliques est faible (20 à

30%). Ce genre de lixiviat est faiblement biodégradable et c'est plutôt les procédés physico-chimiques qui sont préconisés pour son traitement (GEOPLAN 2006)

- **Lixiviat Stabilisé :**

Ou appelé aussi le lixiviat vieux. La DCO ne dépasse pas les 2 000 mg/l et le pH est légèrement basique (7,5 à 8,5), les acides carboxyliques et les métaux n'existent presque plus dans ces eaux, mais la teneur des composés à haut poids moléculaire est importante tels que les acides humiques et fulviques (GEOPLAN 2006).

	Jeune	Intermédiaire	Stabilisé
Age (année)	< 5	5-10	> 10
PH	6,5	6,5-7,5	> 7,5
DCO mg/L	> 10.000	4.000-10.000	< 4.000
DBO ₅ /DCO	> 0,3	compris entre 0,1 et 0, 3	< 0,1
Composé organique	80 % AGV	5-30 % AGV + acides humiques et fulviques	Acides humiques et fulviques
Métaux lourds	< 2.000 mg.L-1	-	< 50 mg.L-1

Tableau 1: Évolution temporelle des lixiviats (CHIKBOUNLL, 2009)

f. Stockage des lixiviats

Un bassin ou une cuve de lixiviats doit être complètement étanche à la base car les Lixiviats sont stockés avec une certaine hauteur d'eau (pression).

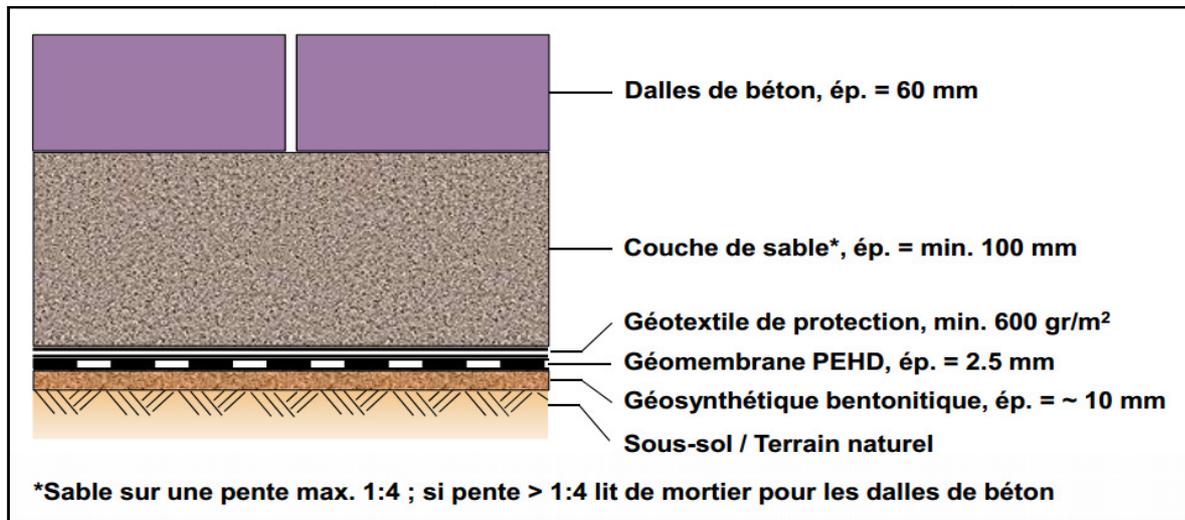
Le système d'étanchéité d'un bassin de lixiviats doit donc être au moins aussi performant que celui d'une décharge (Rapport Formation2014):

Etanchéité double à la base (deux composants d'étanchéité)

Le dimensionnement du stockage doit tenir compte des conditions réelles du site.

Deux Bassins valent mieux qu'un :

- Possibilité de curer et réparer l'un des bassins pendant que l'autre est en service.



- Prévoir une barrière de protection autour des bassins.

Fig. 6 : Exemple d'un système d'étanchéité de fond d'un bassin de lixiviats
(Rapport Formation2014).

g. Traitements des lixiviats :

1. Normes rejet direct des lixiviats au Maroc : *Annexe 01*.

Les normes de rejet direct définissent les paramètres étudiés au cours traitement des lixiviats.

2. Traitement des lixiviats :

i. Les méthodes biologiques :

Grâce à sa fiabilité, sa simplicité et son rapport coût-efficacité élevé, le traitement biologique est couramment utilisé pour le traitement de la majeure partie du lixiviat contenant des concentrations élevées de DBO. La biodégradation des composés organiques est effectuée par le biais de micro-organismes pour donner du dioxyde de carbone et des boues, dans les conditions aérobies, et du biogaz (un mélange composé principalement de CO₂ et CH₄) dans les conditions anaérobies. Les traitements biologiques se sont révélés très efficaces pour éliminer les matières organiques et azotées des jeunes lixiviats lorsque le rapport DBO/DCO a une valeur

élevée (>0,5). Avec le temps, la présence importante de composés réfractaires (principalement des acides humiques et fulviques) tend à limiter l'efficacité du processus.

➤ Traitement aérobie :

Les traitements biologiques aérobies font appel aux micro-organismes naturellement présents dans le milieu naturel pour dégrader les polluants présents. L'apport d'oxygène peut être naturel (le vent ou système de cascade) dans les petites installations de lagunage ou artificiel (turbine ou diffusion de microbulles) et dans les stations d'épuration de type "boues activées".

Les bactéries peuvent être libres (boue activée, lagunage) ou fixées (lit bactérien, filtres plantés, filtres à sable, bio-filtre) ou même sous forme de bio disques. Même si les processus aérobies se sont révélés efficaces pour l'élimination des polluants organiques et de l'ammoniac, beaucoup d'inconvénients nous mènent à se concentrer sur d'autres technologies.

Parmi ces inconvénients on cite :

- La demande d'une grande période d'aération;
- La haute demande énergétique et l'excès de la production de boues;
- Une inhibition microbienne due à la haute teneur en azote ammoniacal

➤ Traitement anaérobies :

Contrairement au traitement aérobie, la digestion anaérobie consomme peu d'énergie et produit très peu de matières solides. En outre, il est possible d'utiliser le CH₄ produit pour réchauffer le digesteur qui travaille habituellement à 35 °C. Le principal inconvénient de ce procédé est sa sensibilité aux substances toxiques (Sung Sung et al 1997).

ii. Les méthodes physico-chimiques :

➤ Flottation :

Pendant de nombreuses années, la flottation a été largement utilisée, elle est basée sur l'élimination des colloïdes, des ions, des macromolécules, des micro-organismes et des fibres (Zouboulis et al 2003).

➤ Coagulation-Floculation :

La Coagulation floculation peut être utilisée avec succès dans le traitement des vieux lixiviats . Elle est largement utilisée comme un prétraitement ,avant l'osmose inverse ou avant les procédés biologiques ou encore comme la dernière étape de traitement afin d'éliminer la matière organique bio-récalcitrante. Le sulfate d'aluminium, le sulfate ferreux, le chlorure ferrique et le chloro-sulfate ferrique ont été couramment utilisés comme coagulants (Ehrig H.J 1984).

➤ Précipitation chimique :

Grâce à son efficacité, sa simplicité et les équipements peu coûteux utilisés, la précipitation chimique a été utilisée pour l'élimination des composés organiques bio-récalcitrants, de l'azote ammoniacal et des métaux lourds à partir des lixiviats (Ozturk et al 2003) .Au cours de la précipitation chimique, les ions dissous dans la solution se transforment en composés insolubles par des réactions chimiques. De la même manière, les métaux présents dans la solution précipitent sous forme d'hydroxydes. La struvite (phosphate d'ammonium magnésien (MAP)) ou la chaux sont généralement employées comme précipitant en fonction de la nature de la cible (NH₃-N ou métaux lourds). Les inconvénients de la précipitation chimique sont: la forte dose de précipitant nécessaire, la sensibilité du processus au pH, la production de boues et la nécessité de poursuivre l'élimination des boues.

➤ L'adsorption :

L'adsorption des polluants sur charbon actif, en colonne ou sous forme de poudre ; donne un bon taux d'abattement de la DCO par rapport aux méthodes chimiques et ce quelle que soit la concentration initiale de la solution en matière organique. Selon plusieurs travaux, le procédé d'adsorption sur charbon actif a été utilisé en conjonction avec des procédés biologiques pour le traitement des lixiviats (Li W et al 2010) .

iii. Méthodes membranaires :

➤ La nanofiltration :

En raison de ses propriétés uniques entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse, la nanofiltration a montré ses preuves dans l'élimination des composés organiques récalcitrants et des métaux lourds provenant des lixiviats (Linde et al 1995). Ce procédé a la capacité d'éliminer les particules d'un poids moléculaire supérieur à 300 Da ainsi que les substances inorganiques par le biais des interactions électrostatiques entre les ions et les membranes.

➤ L'osmose inverse

L'osmose inverse semble être l'une des méthodes les plus prometteuses dans le traitement des lixiviats. En effet, plusieurs études effectuées à la fois à l'échelle du laboratoire et à l'échelle industrielle ont montré l'efficacité de ce procédé dans l'élimination des contaminants présents dans les lixiviats (Ushikoshi et al 2002).

Procédés	Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
Biologiques	Utilisation de Culture bactérienne	- Peu onéreux - Éliminent NH ₃ , NH ⁴⁺ , le fer et la matière organique biodégradable	- Production importante de boue, - Inefficaces en présence de polluants toxiques et non biodégradables
Physiques (filtration sur charbon actif, membranaire)	Non dégradatifs	Séparation des polluants particulaire ou dissous	- Coût d'investissement et énergétique élevé - Génération des consantrats
Physico-chimiques	Fixation des polluants par coagulation et séparation des flocs formés	Séparation des polluants en suspension et des particules colloïdales	- Utilisation de produits chimiques - Formation de boues
Chimiques	Utilisation d'un oxydant (Cl ₂ , ClO ₂ , O ₃)	- Oxydation chimique des polluants - Peu ou pas de déchets - Augmentation de la biodégradabilité	- Oxydation partielle (formation d'intermédiaires) - Gestion des oxydants

Tableau 2 : Comparaison de quelques procédés classiques de traitement des lixiviats(thèse Tarabulsi 2010)

h. Impacts des lixiviats

Suite au dépôt dans une décharge, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions biologiques et physico-chimiques complexes. L'eau s'y infiltre et produit des lixiviats et du biogaz chargés en substances organiques ou minérales qui engendrent une pollution essentiellement de type organique et métallique en relation avec la biodégradation naturelle des déchets confinés et avec leurs composants anthropiques qui libèrent de nombreuses substances toxiques dans le milieu naturel (Kehila et al 2007).

Sur les sites de décharges on rencontre essentiellement trois types de pollution : pollution par les matières organiques et/ou minérales, pollution par les métaux lourds et pollution par les microorganismes.

➤ Pollution par les matières organiques et minérales :

La composition des lixiviats est une photographie de l'état des déchets à un certain moment de leur dégradation, , en étudiant plusieurs sites, ont défini les fourchettes de fluctuations de la composition physico-chimique des lixiviats d'ordures ménagères. La fraction minérale des lixiviats est essentiellement constituée de chlorures, sulfates, bicarbonates, potassium, sodium et ammonium. La partie organique est liée à l'âge des déchets. La matière organique peut se retrouver dans les eaux de surface et souterraines quand les conditions minimales d'enfouissement de déchets ne sont pas respectées. Cependant, même si dans certaines décharges on assiste à la mise en place des géomembranes, la durée de vie de ces matériaux est mal connue vu qu'ils sont soumis à l'agressivité chimique des lixiviats. Une éventuelle fuite dans ces membranes peut occasionner la contamination de la nappe.

➤ Pollution par les métaux lourds :

La migration des métaux lourds dans les sols (à partir de décharge des déchets suite à lixiviation) et leur infiltration vers les eaux souterraines met en jeu un grand nombre de phénomènes : solubilisation à pH acide, complexation par la matière organique de type humique, précipitation à pH basique, rétention des matières

en suspension sur des particules de sol, adsorption des ions ou des molécules à la surface des grains de matrice poreuse, phénomène d'échange d'ions... (Lagier 2000).

➤ Pollution par les microorganismes :

L'effectif bactérien dans le lixiviat brut oscille entre $0,04 \times 10^6$ et $0,34 \times 10^6$ bactéries ml⁻¹ et la biomasse bactérienne varie entre 8,78 et 77,51 $\mu\text{g C L}^{-1}$. Plusieurs maladies hydriques sont causées par la consommation des eaux contaminées par les lixiviats qui contiennent des microorganismes pathogènes. Durant la dernière décennie, les problèmes relatifs à l'eau sont devenus de plus en plus vastes, avec l'émergence de nouvelles maladies infectieuses et la réémergence d'autres qui sont déjà connues, (salmonelle, choléra, shigellose) (Kehila et al 2007). .

2. Filtre imbriqué

a. Présentation de la technique

La technique des filtres imbriqués est une nouvelle technologie à faible cout développée au Japon par Wakatsuki en 1990, cette technique a été améliorée, structurée et ajustée de façon à avoir une durée de fonctionnement beaucoup plus large que le sol naturel (Yi-dong et al., 2013) et les filtres à sables standards (Chen et al., 2008). Dans sa version originelle, ce système est utilisé pour le traitement des eaux usées des petites collectivités, ainsi cette technique a été appliqué pour le 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).

Le mode de fonctionnement de ce système est basé sur l'infiltration percolation en utilisant le sol comme moyen d'épuration, dont laquelle l'infiltration et l'adsorption et la biodégradation sont les processus majeurs faisais dans ce filtre imbriqué.

- **Expérience marocaine: Pilote installé au CNEREE:**

Le but de cette expérience est d'étudier la faisabilité de l'utilisation de la méthode filtre imbriqué pour le traitement de mélange des lixiviats et des eaux usées afin éliminer la matière organique, de nutriments et de pathogènes dans des conditions climatiques du Maroc. Son efficacité a été évaluée en utilisant ce système sur échelle de laboratoire au Centre National des Etudes et de Recherches sur l'Eau et l'Energie

Université Cadi Ayad, qui a été mis en place dans des boîtes de 36 cm (longueur), 30 cm (largeur) 65 cm (hauteur) en plastique renfermant « couches de mélange de sol » alternant avec des couches de gravier perméables (Iatrach et al, 2014 b).

b. Composition des filtres imbriqués (Fig .7)

Ce système de traitement filtre imbriqué est composée de couches perméables a l'eau et des couches de mélange du sol qui sont arrangés en briques peu perméables :

➤ Couche perméable a l'eau (CP) : constituée de manière à améliorer la distribution de l'eau et réduire le risque de colmatage. Les matériaux composants sont les graviers, ponces, perlites ou de zéolites avec un diamètre fin et uniforme de 1-5 mm.

➤ Couche de mélange du sol (CMS) : constituée par :

-Le sol.

-Le charbon de bois.

-Sciure de bois : comme étant un adsorbant efficace et une source de Carbone pour les micro-organismes (McKay et al, 1987).

- Le fer : pour rôle d'augmenter l'adsorption du phosphore (Chen et al.2007



Couches perméables à l'eau: gravier, perlite, zéolite.

Couches de mélange de sol: sol, sciure de bois, charbon, fer

Fig . 7 : Composition de filtre imbriqué

c. Mécanismes de traitement par filtres imbriqués (Fig. 8)

Les lixiviats et les eaux usées contiennent généralement des concentrations très élevées de matières organiques (DBO5 et DCO), de NH_4^+ , d'azote organique et du PO_4^{3-} .

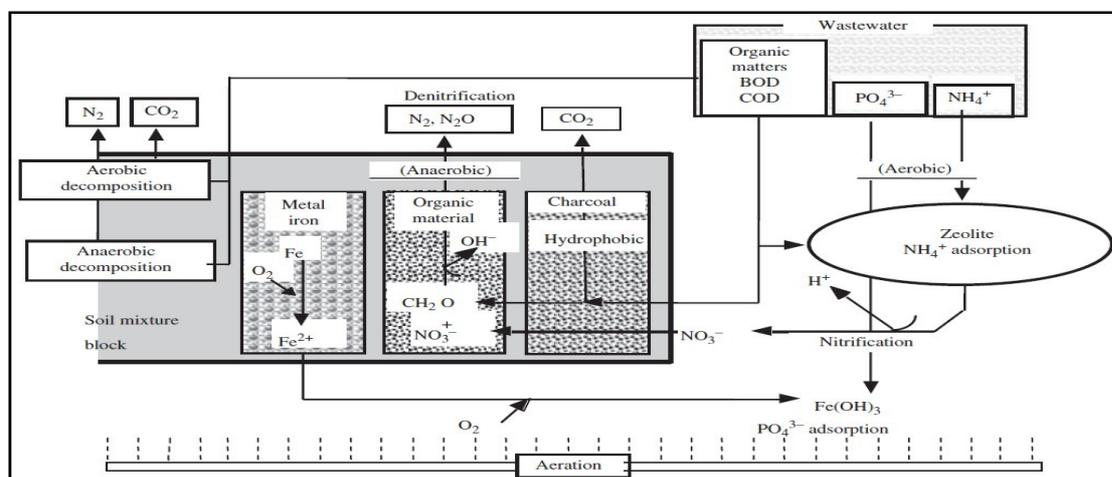


Fig. 8 : Mécanismes de traitement des lixiviats dans le système filtres imbriqués (Chen et al, 2008).

➤ Réduction de la matière organique :

La matière organique contenue dans les lixiviats et les eaux usées traités par le système de filtres imbriqués est d'abord adsorbé physiquement et chimiquement sur le sol et la surface spécifique de la zéolite puis décomposée par des micro-organismes. Le DBO5 et le DCO caractérisent généralement les performances épuratoires et l'activité de ces micro-organismes (Chen et al, 2008).

➤ 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^+ .

Les micro-organismes font la grande partie de l'élimination de l'azote par des processus de nitrification et dénitrification, 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)

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 (Li et al, 2011).

➤ Réduction du phosphore:

L'ajout de fer dans le mélange du sol a pour rôle d'adsorber le phosphore existant dans le mélange des lixiviats et des eaux usées. En effet le fer ajouté va être 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 percolation du PO_4^{3-} au cours de percolation de mélange à travers le système filtre imbriqués (Chen et al. 2008).

d. Duré de vie des filtres imbriqués

Une étude du bilan de masse pour le système filtres imbriqués après 10 ans de fonctionnement pour le traitement des lixiviats municipales à Matsue, Japon, a montré que le filtre imbriqués a enlevée 60-70% de l'azote total même après la dixième année. En plus, la matière organique ajoutée aux couches de mélange du sol, source de carbone important qui s'ajoute au DBO5 et DCO lixiviats 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).

e. Limites du fonctionnement des filtres imbriqués

Le problème majeur rencontré au cours de fonctionnement de ce système de filtration c'est le risque de colmatage à cause de la grande charge en matière organique et de matière en suspension. Afin de réduire le risque de colmatage, la mise en repos périodique du système dans un cycle de fonctionnement et la réduction de la charge en MES par le recours aux prétraitements des lixiviats, y compris la sédimentation dans un bassin de décantation, avec filtration et aération du système filtres imbriqués pourraient être efficace pour un bon fonctionnement du filtre imbriqué (Luanmanee et al 2002).

IV. Matériels et Méthodologies d'analyse

1. Introduction

Dans l'objectif d'évaluer les performances épuratoires de la technique des filtres Imbriqués comme un traitement biologique des lixiviats, le pilote filtres imbriqués déjà monté à l'échelle du laboratoire des Sciences de l'Eau et l'Environnement au Centre National d'Etudes et de Recherches sur l'Eau et l'Energie (CNEREE), a été alimenté en continue par les lixiviats dilués par les eaux usées et un suivi du traitement par filtre imbriqué d'un mois a été fait.

L'efficacité de traitement des lixiviats par le pilote filtres imbriqués a été suivi pendant un mois par mesure de :

Paramètres physicochimiques: pH, conductivité électrique (CE), oxygène dissous (OD), température (T), matières en suspension (MES), demande biologique en oxygène (DBO5), demande chimique en oxygène (DCO), ammonium (NH₄⁺), nitrites (NO₂⁻), phosphore total (PT) et orthophosphate (HPO₄).

Paramètres bactériologiques: les coliformes fécaux (CF), les coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux.

2. Matériels et méthodes

a. Dispositif expérimentale

Pilote filtres imbriqués (Fig.9)

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 : 36 cm de longueur, 30 cm de largeur et une hauteur de 65 cm avec une surface de contact de 0,1 m². Le système filtres imbriqués se compose de l'alternance de deux types de couches :

- Couches perméables à l'eau et constituées de gravier de 3-5 mm.

- Couches remplies d'un mélange préparé à raison de 70 % de sol, 10 % de charbon de bois, 10 % de 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 3-5 mm. 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. 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 eaux épurées. 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.

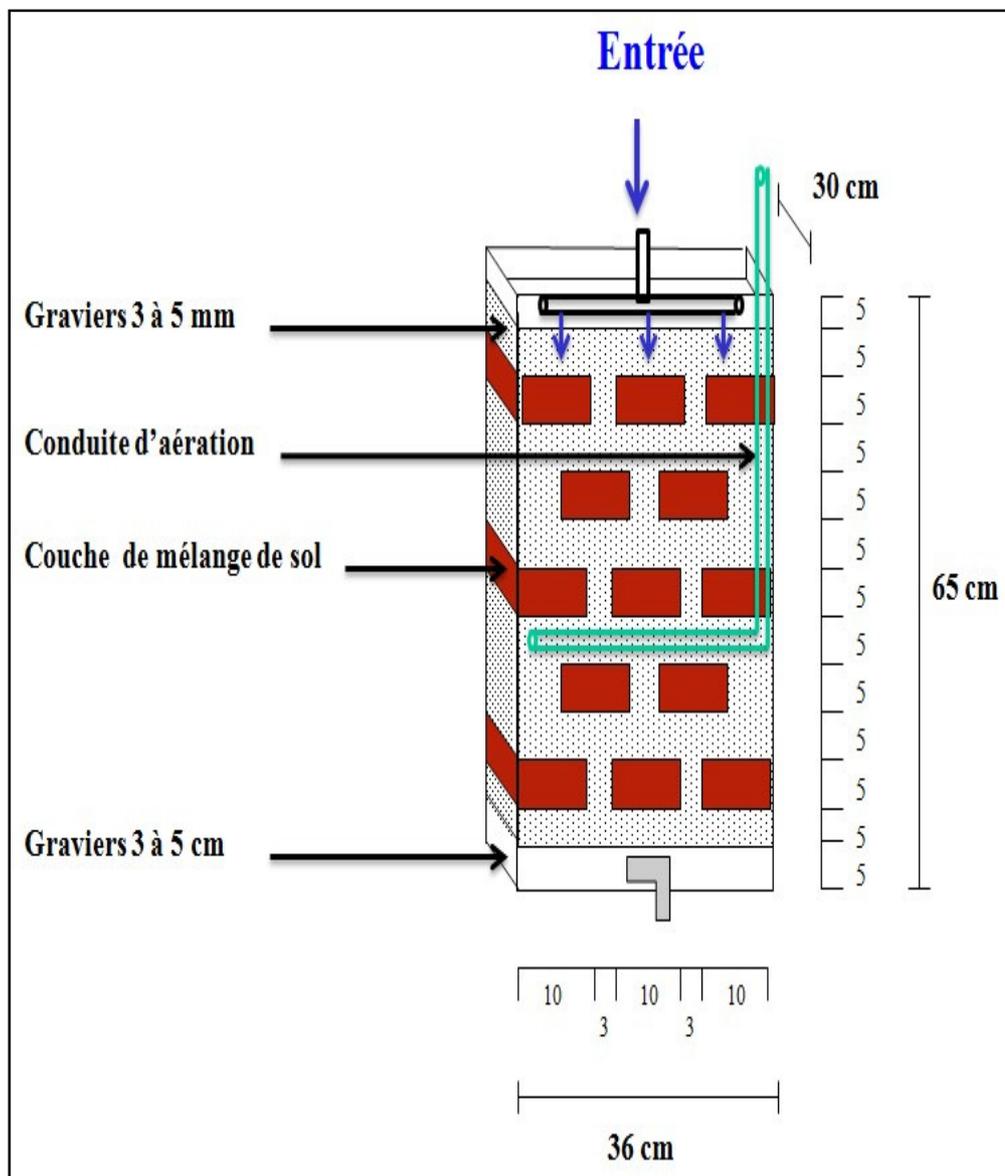


Fig. 9: Description détaillée du pilote filtres imbriqués installé au CNEREE.

b. Alimentation du pilote

i. Type des lixiviats :

Les lixiviats utilisées dans cette expérience provenaient de la décharge publique de Marrakech, elles sont diluées par des eaux usées provenaient de la STEP. Le débit d'alimentation du pilote est maintenu constant à 5l/jour et un bassin de 100 l est installé pou servir comme moyen de prétraitement et de stockage des lixiviats.

ii. Caractérisation physico-chimiques des lixiviats de la décharge de Marrakech :

La caractérisation des lixiviats brutes a été réalisée par la détermination des paramètres suivants : PH, conductivité, MES, DCO, DBO5, nitrates, nitrites, ammoniums, phosphore totale, orthophosphate. Les lixiviats jeunes sont issus directement des camions de transport des déchets.

Paramètre	Unité	Marrakech	Taza	Sousse/Nabeul
-pH		4.51	7.35	8
-Température	°C	18.56	32.7	-----
-Conductivité électrique	µS/cm	21.72	24.05	28.300
-Oxygène dissous	mg/l	2.9	5.87	-----
-DBO5	mg/l	225.5	4220	5490
-DCO	mg/l	277.29	5678.18	23.400
-MES	mg/l	7614	3991	-----
-NO3-	mg/l	-----	255.85	-----
-NO2-	mg/l	0	255.83	-----
-NH4+	mg/l	1.064		1000
-Phosphore totale	mg/l	7.959	-----	-----
-Orthophosphate	mg/l	0.027	-----	-----

Tableau 3: Comparaison entre les lixiviats de la décharge de Marrakech de Taza et Nabeul.

Le tableau ci-dessous montre que les lixiviats de Marrakech présentent les valeurs les plus faibles des paramètres mesurés par rapport aux autres effluents.

iii. Débit d'alimentation :

Pour toutes les expériences, le débit hydraulique est maintenu constant à 50 l/m²/jour. Dans notre cas avec un pilote de 0,1 m² de surface de contact, on aura besoin d'un débit de 5 L/jour c'est-à-dire 208 ml de lixiviat /heure pour alimenter le système d'une façon continue.

iv. Mode d'alimentation :

L'alimentation du pilote filtre imbriqués par les lixiviats est réalisée par une conduite en PVC d'une longueur de 30 cm et de diamètre de 1,5 cm perforée en un orifice principal au centre pour l'arrivée des lixiviats à partir du bassin de décantation. La conduite est reliée avec 4 gouteurs dans le but d'optimiser des conditions d'écoulement in situ et d'assurer une distribution homogène de l'eau dans le pilote. La conduite de distribution de l'effluent est centrée sur la surface de contact du pilote à environ 1 cm de chaque côté.



Fig. 10 : Pilote des filtre imbriqué installé au CNEREE

v. Prélèvement et échantillonnage :

Les prélèvements ont été effectués à l'entrée et à la sortie du filtre imbriqué chaque 10 jours . Les échantillons sont recueillis dans des bouteilles en verre stériles de 500 ml et conservés à 4°C pour servir à la totalité des analyses physico-chimiques et microbiologiques.

On fait une série de dilution, dilution de 2/10 qui correspond à 20% de lixiviats et 80% des eaux usées, dilution de 3/10 qui correspond à 30% de lixiviats et 70% des eaux usées et dilution de 4/10, correspond à 40% de lixiviats et 60% des eaux usées contenus dans le bassin de stockage.

vi. Méthodes d'analyses :

➤ Débit d'écoulement hydraulique :

Le débit d'écoulement hydraulique des lixiviats à travers le pilote filtre imbriqué et a été mesuré et réglé d'une façon quotidienne de manière à assurer un débit constant.

➤ Paramètres physico-chimiques :

Le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique, l'oxygène dissous et la température ont été mesurés in situ grâce à une sonde multi-paramètre.

Les matières en suspension (MES) sont déterminées par centrifugation des solutions, séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 jusqu'à obtenir un résidu sec (AFNOR T 90-105), La demande biologique en oxygène (DBO5), intègre la fraction biodégradable de la matière organique des eaux, mettant en jeu les bactéries. Elle est déterminée selon la méthode respirométrique dans une enceinte thermostatée à 20°C (AFNOR, T 90-103). La demande chimique en oxygène (DCO) a été déterminée selon la méthode standard (APHA 1992) avec une oxydation de la matière organique contenue dans l'échantillon à 150°C par un excès de bichromate de potassium en milieu acide et en présence de sulfate d'argent. L'excès de bichromate de potassium est dosé par colorimétrie à 620 nm.

L'ammonium (NH₄⁺) est dosé selon la norme AFNOR (T90-015). La réaction des ions ammonium avec le phénol et l'hypochlorite dans un milieu alcalin en présence du nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, donnent un composé du bleu

d'indophénol qui subit un dosage spectrophotométrique, après 6 heures en obscurité, la lecture se fait à $\lambda=630\text{nm}$. Les nitrites (NO_2^-) sont déterminées par diazotation de la sulfanilamide suivi d'un dosage spectrophotométrique selon la méthode AFNOR (T90-013), lecture à $\lambda=537\text{nm}$. L'azote total Kjeldahl (NTK) est déterminé par la minéralisation de l'azote organique des échantillons dans l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur (K_2SO_4 , sélénium). L'azote ammoniacal ainsi formé est ensuite dosé par acidimétrie, après distillation, en présence d'indicateur coloré (rouge de méthyle et bleu de méthylène), selon la norme (AFNOR T90-110). Le phosphore total (PT) est obtenu après minéralisation en milieu acide, en présence de persulfate de sodium à 200°C pendant deux heures. Les formes organiques et combinées du phosphore sont ainsi transformées en orthophosphates solubles. Ces derniers sont dosés comme les orthophosphates. L'orthophosphate (PO_4) est déterminé selon la méthode colorimétrique par la formation en milieu acide d'un complexe phosphomolybdique qui se réduit par l'acide ascorbique en un complexe de coloration bleue dont l'intensité est déterminée par spectrophotométrie à 700 nm (AFNOR T 90-023).



Fig. 11 : Photo de Multi-paramètres



Fig. 12 : Photo de spectrophotomètre



Fig. 13: Photo de Thermo-réacteur DCO



Fig 14: Photo Thermo-réacteur PT



Fig. 15: Photo de Centrifugeuse



Fig. 16: Photo des bouteilles de DBO5

➤ Paramètres bactériologiques :

Dans l'objectif d'étudier la qualité microbiologique des lixiviats traités par le pilote filtres imbriqués, les indicateurs de contamination fécale ont été suivis. Les principaux indicateurs des micro-organismes de la pollution fécale sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. Les bactéries étudiées ont été dénombrés sur des milieux d'isolement sélectifs et différentiels. Les coliformes totaux et fécaux ont été dénombrés après une série de dilutions, suivi d'un ensemencement par étalement sur gélose lactosée au Tergitol 7 et au Chlorure de Triphényl Tetrazolium (milieu TTC gélosé) et d'une incubation à 37°C (pour les coliformes totaux) et 44,5°C (pour les coliformes fécaux) pendant 24h. L'aspect typique des colonies des coliformes fécaux est jaune à jaune-oranger à cause de la dégradation du lactose. Les streptocoques fécaux ont été dénombrés après l'incorporation de l'eau diluée dans la gélose au Bile esculin agar BEA et incubation à 37°C pendant 24 à 48 heures. Les colonies sont translucides entourées d'un halo noir dû à la dégradation de l'esculine.

Les performances sanitaires de système de traitement filtres imbriqués sont estimés en unités logarithmiques (Log UFC/100 ml), soit :

Ne = nombre de germes à l'entrée

Ns = nombre de germes à la sortie

UFC= unité formant colonie

V. Résultats et discussion

1. Paramètres physico-chimiques

✓ Paramètres mesurés *in situ* :

- Présentation des résultats

		Dilution (2/10)		Dilution (3/10)		Dilution (4/10)	
Paramètre	Unité	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
-pH		5,41	8,65	5,5	8,4	7,27	8,21
- Température	°C	22,7	23,06	24,8	24,447	27,15	30,04
-Oxygène dissous	%	1,5	2,1	4,5	4,65	7	7,5
	Ppm	0,12	0,16	0,3	0,36	0,51	0,56
- Conductivité électrique	µS/cm	12.24	5,053	11,125	6,1	10,35	6,702

Tableau 4 :Résultats de suivi des paramètres mesuré *in situ*.

Le tableau ci-dessus (tableau 4) présente les résultats d'une série de dilutions des paramètres mesurés in-situ par une sonde multi-paramètres. on observe que une augmentation au niveau des valeurs de ces paramètres avec l'augmentation de la concentration des lixiviats contenus dans le bassin de stockage. pour analyser ces résultats en prend la dilution le plus concentré en lixiviats.

- Analyse des résultats

La Figure 17, montre que le pH des lixiviats jeunes est presque neutre (7,27), Après passage des lixiviats à travers le pilote filtres imbriqués le pH a augmenté jusqu'une valeur de (8.21 ±0.44). En effet, la variation de la valeur du pH des lixiviats est liée d'une façon significative aux réactions de nitrification et dénitrification qui se sont produites lors du passage des lixiviats dans le système de filtres imbriqués (Luanmanee et al. 2002).

La mesure de la conductivité électrique CE, apporte une information globale sur la quantité d'espèces chargées présentes dans les lixiviats. Elle constitue un paramètre intéressant à suivre pour évaluer la charge minérale présente dans un effluent.

Dans notre cas, près le passage de l'effluent à travers le pilote filtre imbriqué (Fig. 9), la conductivité électrique diminue de 10,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 6,702 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec un abattement de 35,24% de la matière minérale.

La différence de la température au niveau des lixiviats à l'entrée et a la sortie du pilote filtres imbriqués est de 1.62°C , ce qui peut être liée aux matériaux présents dans la composition de filtre qui conserve la chaleur de milieu extérieur.

La concentration de l'oxygène dissous a augmenté entre l'entrée et la sortie de pilote filtre imbriqué de 0,05 ppm soit une augmentation de 0,55% (Fig. 17), cela à cause d'enrichissement des effluents par l'oxygène lors de contact avec l'air libre avant leur infiltration par le système.

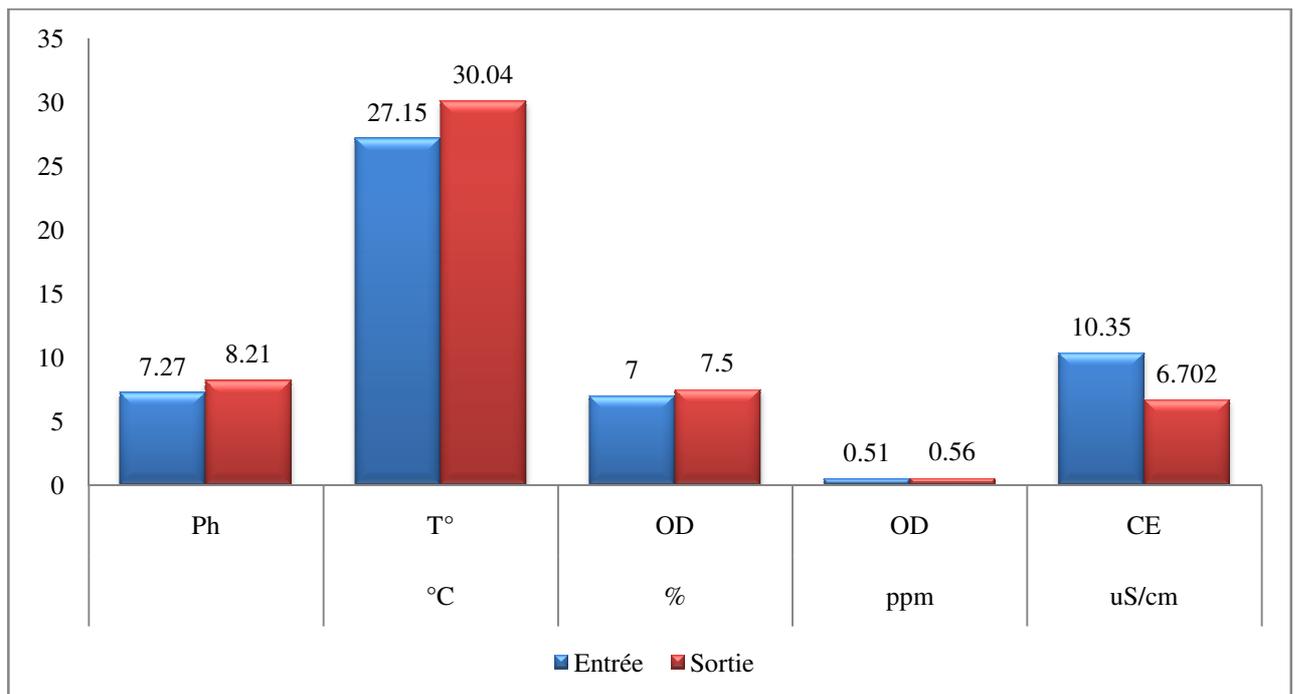


Fig. 17 : Variation des paramètres *in-situ* des lixiviats traitées par le pilote filtre imbriqué.

✓ Matières organiques :

- Présentation des résultats

		Dilution(2/10)		Dilution(3/10)		Dilution(4/10)	
paramètres	unités	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
MES	mg/l	205,2	49,5	560	33,9	938	21
DBO5	mgO2/l	1000	27	602	107	183	171
DCO	mgO2/l	353,16	253,75	230,22	110,9	83,71	31,39

Tableau 5: Résultats de la dégradation de la matière organique.

Les résultats de la dégradation de la matière organique représentés sur le tableau 5 montrent que le système « filtres imbriqués » est plus efficace pour ce type de traitement.

- Analyse des résultats

Les matières en suspension (MES) représentent les particules minérales et organiques contenues dans l'effluent. Au niveau des lixiviats traités par le pilote filtres imbriqués, la concentration de MES diminue de 938mg/L à 21 mg/L avec un pourcentage d'abattement très important égale à 97.76%. Cette réduction élevée des MES observée montre l'efficacité épuratoire du massif filtrant des pilotes composé du gravier et des couches de mélange de sol et qui joue le rôle d'obstacles et barrière des MES contenue dans les lixiviats.

La Figure 18 montre que la concentration de la DBO5 varie de 183 mgO2/L à 171 mgO2/l avec un pourcentage d'abattement égale à 6,55 % et la concentration de la DCO varie de 83.712 mgO2/l à 31.39 mgO2/l avec un pourcentage d'abattement égale à 62,50 %.

Les pourcentages d'abattement moyen obtenus par filtre imbriqué sont de 6,55 % et 62,50 % respectivement pour DBO5 et DCO. En effet, lorsque les lixiviats sont déversés dans le système des filtres imbriqués, la matière organique est d'abord adsorbée sur le sol et la surface spécifique du gravier ensuite décomposée par les micro-organismes (Chen et al., 2008). Les mécanismes de traitement des lixiviats par

filtres imbriqués sont vulnérables aux variations d'un ou plusieurs paramètres de fonctionnement tels que le pH (Lunanmanee et al., 2002) et la fluctuation des charges organiques (Masunaga et al., 2007 b) qui affectent les performances globales de traitement. Dans ce sens, l'efficacité du système filtres imbriqués à éliminer la matière organique dépend de la disponibilité de la matière organique dans les lixiviats, cette matière organique est une source d'énergie importante et par conséquent considérée comme facteur limitant pour les micro-organismes (Masunaga et al, 2007).

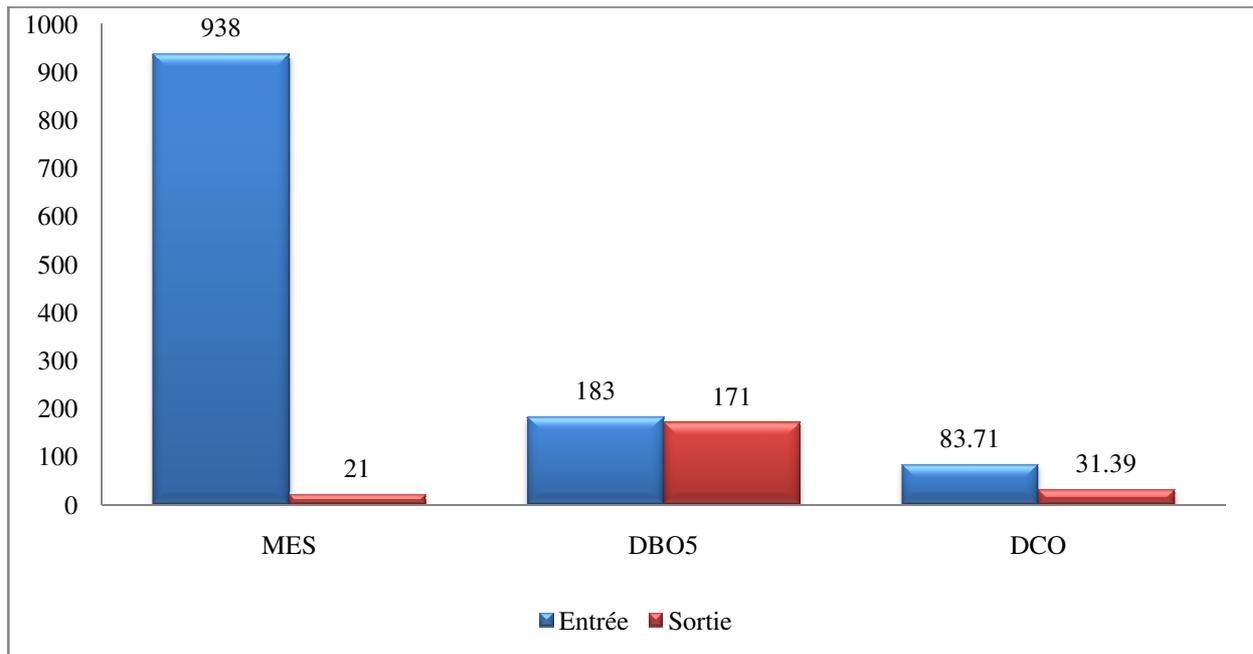


Fig. 18 : Variations des teneurs en matières organiques dans les lixiviats jeunes et traités par le pilote filtres imbriqués.

✓ Azote :

- Présentation des résultats

Paramètre	Unité	Dilution (2/10)		Dilution (3/10)		Dilution (4/10)	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
NO2	mg/l	0,169	0,6	0,25	0,435	0,394	0,239
NH4	mg/l	--	--	--	--	0,365	0,048

Tableau 6: Résultats de variation de concentration d'azote.

Au niveau du tableau 6, on observe une réduction important de la concentration de l'azote dans la dilution (4/10).

- Analyses des résultats

L'azote ammoniacal, principale forme d'azote dans les lixiviats, a été efficacement réduite à un taux moyen de 86,85%.

Cette importante réduction du NH_4^+ est probablement due au phénomène de dénitrification favorisé par les conditions d'anaérobie et la disponibilité de la matière organique (DBO et DCO) principale source de carbone pour les bactéries dénitrifiantes qui nécessitent le carbone comme donneur d'électrons (Robertson, 2000).

Pour les nitrates il y eu une augmentation des concentrations en NO_2^- . Après le passage des lixiviats dans le pilote filtres imbriqués ; la forme intermédiaire de l'azote NO_2^- est réduit d'une manière aléatoire. Cette variation des concentrations en NO_2^- dépend étroitement des conditions aérobies/anaérobies dans le système filtre imbriqués

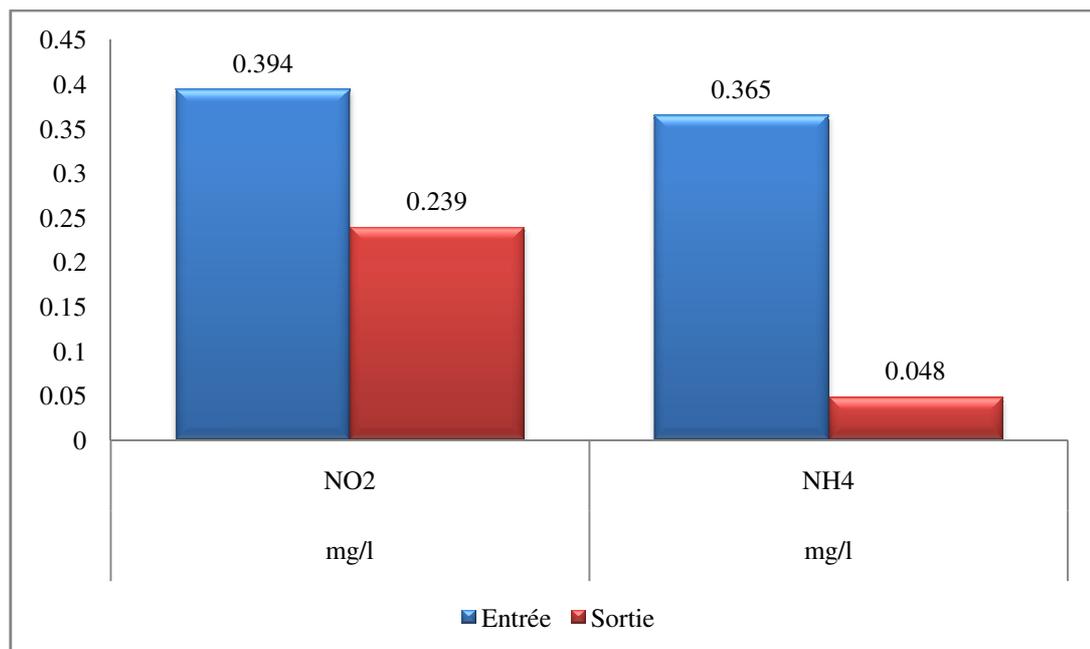


Fig. 19 : Variation des nitrates et d'ammonium des lixiviats traitées par le pilote filtres imbriqués

✓ Phosphore :

- Présentation des résultats

Paramètre	Unité	Dilution (2/10)		Dilution (3/10)		Dilution (4/10)	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
-Orthophosphate	mg/l	0,085	0,018	0,082	0,046	0,264	0,013
-Phosphore totale	mg/l	--	--	--	--	0,83	0,61

Tableau 7 : Résultats de variation de concentration de phosphore.

Le tableau 7 montre que Les résultats obtenues au niveau de dilution (4/10) plus satisfaites par rapport aux autres dilutions.

- Analyses des résultats

Selon les résultats représentés sur la figure 7, les abattements moyens obtenus par le pilote filtres imbriqués ont atteint 95,07% et 26.5% respectivement pour les orthophosphates et le phosphore total.

Le phosphore peut être éliminé par adsorption sur les hydroxydes de Fer et Aluminium dans le sol (Masunaga et al, 2007b) et/ou sur les colloïdes du sol (Pattnaik et al, 2007). En effet, le fer ajouté dans les couches de mélange de sol est transformé en fer ferreux (Fe^{2+}), qui est ensuite transporté vers la couche perméable du gravier et oxydé en ion ferrique (Fe^{3+}), ce qui permet l'adsorption et la précipitation du phosphore au cours de la percolation des lixiviats à travers le pilote des filtres imbriqués (Wakatsuki et al., 1993; Chen et al., 2008).

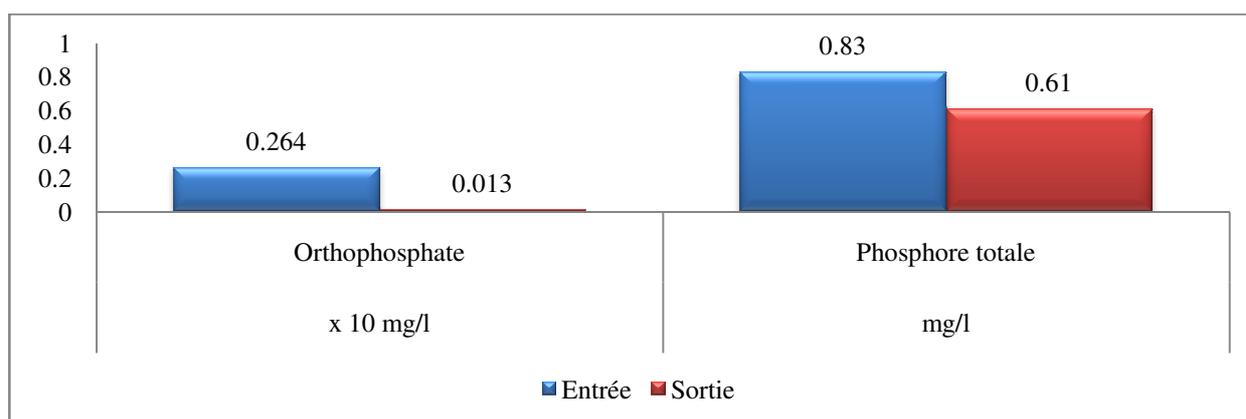


Fig. 20 : Variation du phosphore total et des orthophosphate des lixiviats traitées par le pilote filtre imbriqué.

✓ Sulfate :

- Présentation des résultats

Paramètre	Unité	Dilution (3/10)		Dilution (4/10)	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
-SO4	mg/l	4,134	3,588	9,984	3,51

Tableau 8: Résultats de variation de concentration de sulfates.

Ce tableau présente les concentrations de sulfates dont laquelle au niveau de dilution (4/10), la concentration de sulfates diminue de 9,984 mg/L à 3,51 mg/L plus le double qui a été éliminé par le système étudié.

- Analyse des résultats

La concentration des sulfates varie de 9,984 mg/L à l'entrée jusqu'à 3,51 mg/L à la sortie de pilote avec un pourcentage d'abattement égale 64,84% à cause de leur adsorption par les cations Ca²⁺ trouvées dans le sol.

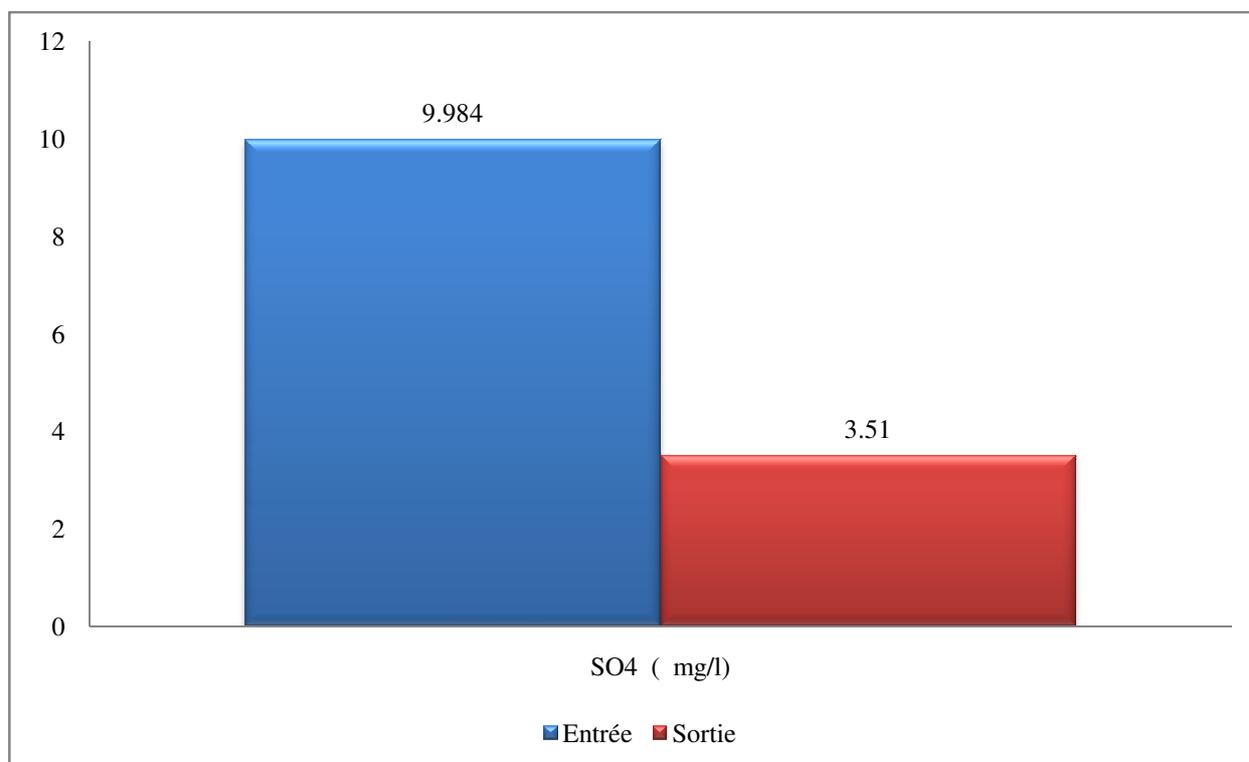


Fig. 21 : Variation des sulfates dans les lixiviats bruts et traités par le pilote filtres imbriqués.

3. Paramètres bactériologiques

La Figure 22 résume les caractéristiques moyennes de la charge bactériologique au niveau des lixiviats entre l'entrée et la sortie du pilote filtre imbriqué, marqués par l'élimination 1.66 unité logarithmique qui correspond à un abattement de 19.76%, cela est liée à la filtration mécanique et la piégeage des bactéries sur les couches du sol, l'adsorption la dégradation bactérienne et la mort naturelle des cellules bactériennes.

Les coliformes totaux et fécaux sont absents dans ce type des lixiviats.

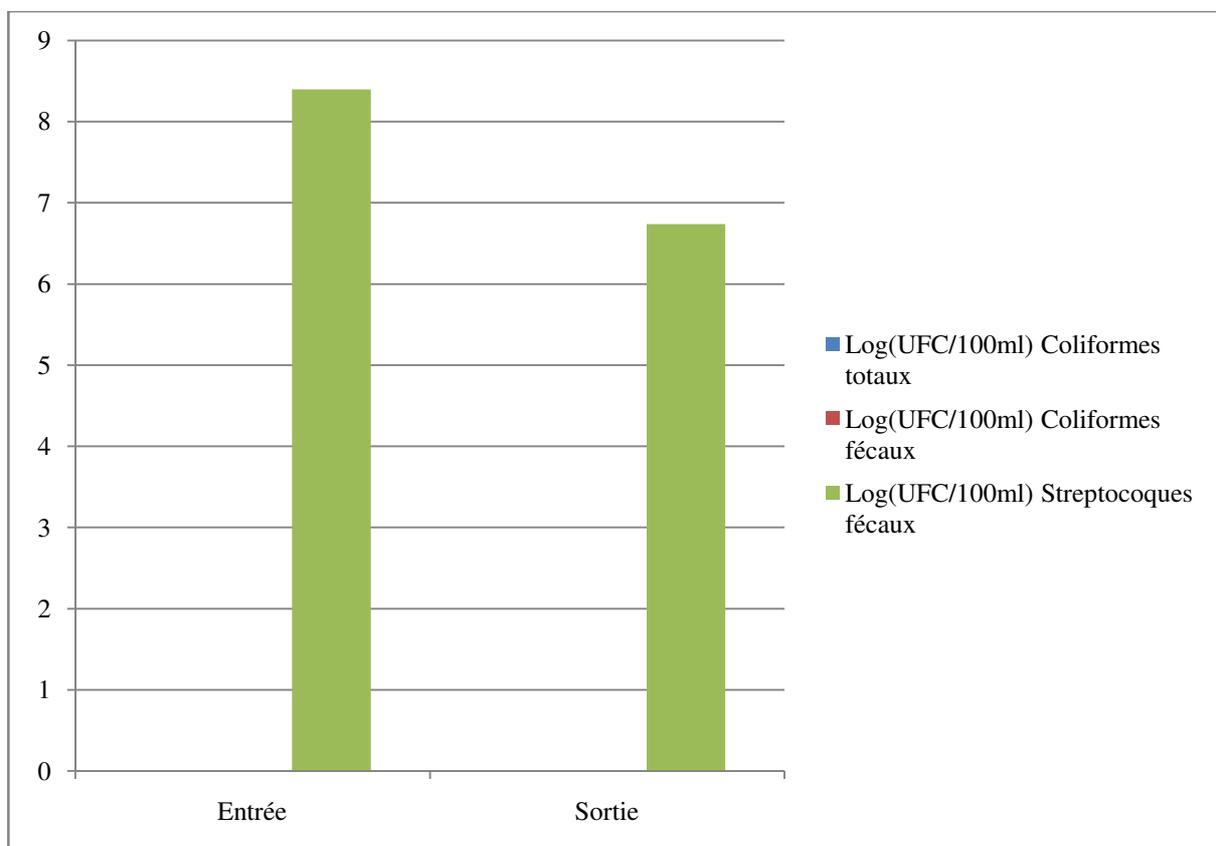


Fig. 22: Caractérisation bactériologiques des lixiviats a l'entrée et a la sortie de filtre imbriqué

3. Comparaison des résultats des lixiviats traités par le pilote filtre imbriqué avec les normes de rejet direct au Maroc :

	Lixiviats jeunes	Lixiviats traités par système de filtres imbriqués	Normes de rejet direct
-Ph	6,5	8,21	5,5-8,5
-Conductivité électrique en mS/Cm	11	6,702	2,700
-Température en °C	—	30	30
-DCO en mgO ₂ /l	1870	31,39	120
-DBO ₅ en mgO ₂ /l	930	171	40
- Sulfates en mg /l	1.890	3,51	500
-MES en mg /l	—	21	30
-Phosphore total en mg/l	—	0.61	2

Tableau 9 : Comparaison des résultats des lixiviats traités par le pilote filtre imbriqué avec les normes de rejet direct au Maroc

La présente étude avait pour but de caractériser les lixiviats de la décharge non contrôlée de la ville de Marrakech, et de démontrer que le système filtre imbriqué peut être utilisés comme support de filtration pour le traitement des Lixiviat. Les résultats obtenus ont montré que :

- Les lixiviats étudiés ne répondent pas aux normes marocaines de rejets indirects pour les différents paramètres liée a la présence de la matière organique.

Conclusion générale

Le suivi des performances du système pilote "filtres imbriqués" pendant un mois de stage, constitue une partie d'un grand projet sur l'étude de faisabilité de ce système afin de l'appliquer au traitement des lixiviats sous climat aride. De ce fait, les résultats présentés dans ce travail ne sont que des résultats préliminaires.

L'utilisation de cette technique a donné de bonnes performances en termes d'élimination des nutriments ainsi que pour la conductivité électrique et le pH, avec des valeurs sous les normes marocaines de rejet direct.

En effet, l'utilisation de filtre imbriqué a donné un taux d'abattement très important de 97.76% de la MES, Cette importante réduction met en évidence le rôle important du massif filtrant du pilote composé du gravier et des couches de mélange de sol. En termes d'élimination de la matière organique, les résultats montrent une réduction de la DBO5 de 6,55 % et de la DCO de 62,50 %. Cette réduction est due à la dégradation de la matière organique par les micro-organismes favorisée par la présence des conditions aérobies au niveau des couches du gravier.

La réduction importante des orthophosphates de 95,07 est due principalement à l'adsorption du phosphore sur les hydroxydes de Fer dans les couches de mélange de sol et/ou sur les colloïdes du sol.

En se basant sur les résultats préliminaires obtenus lors de cette étude, nous pouvons conclure que la technique de traitement des lixiviats par "Filtres imbriqués" mérite d'être développée et appliquée aux lixiviats des décharges pour sa performance dans l'élimination de la matière organique (DBO5, DCO, MES) et des nutriments et pour sa rentabilité économique.

La technique de traitement des lixiviats par "Filtres imbriqués" mérite d'être développée et appliquée aux lixiviats des décharges pour sa performance, pour sa rentabilité économique.

Annexes

Paramètres	Valeurs limites générales de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines.
Température (°C)	30
pH	5.5-8.5
MES (mg/l)	30
Azote kjeldhal (mg N/l)	40
Phosphore total (mg P/l)	2
DCO (mg O ₂ /l)	120
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	40
Chlore actif (Cl ₂) (mg/l)	1
Dioxyde de chlore (ClO ₂) (mg/l)	0.05
Aluminium (Al) (mg/l)	10
Détergents (anionique, cationique et ionique) (mg/l)	2
Conductivité électrique (µS/cm)	2700
Salmonelles/5000 ml	Absence
Vibrions cholériques/5000 ml	Absence
Cyanures libres (CN ⁻) (mg/l)	0.1
Sulfates (SO ₄ ²⁻) mg/l	500
Sulfures libres (S ²⁻) (mg/l)	0.5
Fluorures (F ⁻) (mg/l)	3
Indice de Phénols (mg/l)	0.5
Hydrocarbures par Infra-rouge (mg/l)	20
Huiles et graisses (mg/l)	20
Antimoine (Sb) (mg/l)	0.1
Argent (Ag) (mg/l)	0.05
Arsenic (As) (mg/l)	0.05
Baryum (Ba) (mg/l)	0.5
Cadmium (Cd) (mg/l)	0.2
Cobalt (Co) (mg/l)	0.1
Cuivre total (Cu) (mg/l)	3
Mercuré total (Hg) (mg/l)	0.01
Plomb total (Pb) (mg/l)	1
Chrome total (Cr) (mg/l)	0.5
Chrome hexavalent (Cr ⁶⁺) (mg/l)	0.1
Etain total (Sn) (mg/l)	2
Manganese (Mn) (mg/l)	1
Nickel total (Ni) (mg/l)	5
Sélénium (Se) (mg/l)	0.05
Zinc total (Zn) (mg/l)	5
Fer (Fe) (mg/l)	5
AOX	5

Tableau annexé à l'arrêté conjoint du ministre de l'intérieur, du ministre de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement, du ministre de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies et du ministre de l'artisanat n° 2942-13 du 1er hija 1434 (7 octobre 2013) fixant les valeurs limites générales de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines

Références bibliographiques

- Aguilar A.J., Aran C., Haoui D. (1999) - Effects of landfill operations on temperature rise, Proceeding Sardenia, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari, Italy
- A. Zalaghi , Valorisation des matériaux naturels poreux dans le traitement des Lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza Sci. 5 (5) (2014) 1643-1652.
- BARCHANE,(2011)problématique des rejets solides au niveau de la région hydraulique de Tensift : diagnostic, impact sur les ressources en eau et proposition de plans d'action.
- Colin, F., Étude des mécanismes de la genèse des lixiviats. Inventaire et examen critique des tests de laboratoire, Nancy IRH - Rapport RH 84-136, 1984.
- CHIKBOUNIL, (2009) - Traitement des lixiviats de la décharge de Ouled Fayet par la combinaison des deux procédés coagulation et oxydation Fenton, Mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique.
- Chen et al Comparative study of soils and other adsorbents for decolorizing sewage and livestock wastewater., 2007 a.
- Ehrig H.J., Treatment of sanitary landfill leachate: Biological treatment, Waste. Manage. Res. 2 (1984) 131-152.
- Rapport de formation « Planification, construction, exploitation et fermeture des décharges contrôlées au Maroc » 2014.
- GLANDIER.S, (2002). Risques sanitaires liés aux fuites de lixiviats des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mémoire de fin d'études, ENSP.
- GLANDIER.S, (2002). Risques sanitaires liés aux fuites de lixiviats des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mémoire de fin d'études, ENSP.
- KHEMISSIR ,(2014),Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran.
- Kurniawan T.A., Lo W.H., Chan G.Y.S, Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate, J. Hazard.Mater. 28 (2006) 80-100.
- Kehila Y., Aina M., Mezouari F., Matejka G., Mamma D., Quelles perspectives pour l'enfouissement technique et le stockage éco-compatible des résidus

solides dans les ped vis-à-vis des impacts sur l'hydrosphère urbaine ?
Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007.

Luanmanee S, Boonsook P, Attanandana T, Saitthiti B, Panichajakul C, Wakatsuki T., 2002. Effect of intermittent aeration regulation of a multi-soil-layering system on domestic wastewater treatment in Thailand. *Ecol Eng* 2002;18:415–28

Lema J.M., Mendez R., Blazquez R., Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review, *Water. Air. Soil. Pollut.* 40 (1988) 223-250.

Li W., Hua T., Zhou Q., Zhang S., Li F., Treatment of stabilized landfill leachate by the combined process of coagulation/flocculation and powder activated carbon adsorption, *Desalination.* 264 (2010) 56-62.

Linde K., Jönsson A.S., Nanofiltration of salt solution and landfill leachate, *Desalination.* 103 (1995) 223–232.

Lagier., Étude des macro molécules de lixiviat : Caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de Doctorat. Université de Limoges. France (2000).

Lagier., Étude des macro molécules de lixiviat : Caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de Doctorat. Université de Limoges. France (2000).

Masunaga T, Sato K, Mori J, Shirahama M, Kudo H, Wakatsuki T 2007 b:
Characteristics of wastewater treatment using a multi-soil-layering system in relation to wastewater contamination levels and hydraulic loading rates. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53, 215-223.

MATE, (2012). Programme nationale de gestion intégré des déchets ménagers et assimilés, Volume1. Algérie.

McKay G, Ramprasad G, Mowli P., 1987. Desorption and regeneration from low-cost materials. *Wat. Res.*, 21, 375–377

Ozturk I., Altinbas M., Koyuncu I., Arıkan O., Gomec-Yangin C., Advanced physicochemical treatment experiences on young municipal landfill leachates, *Waste. Manage.* 23 (2003) 441–446.

Öman C.B., Junestedt C., Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds, *Waste. Manage.* 28 (2008) 1876-1891.

Rapport technique environnementale analyse des lixiviats de diverses décharges en Algérie et proposition des mesures de traitement (2006).

Ross W.R., Factor influencing the chemical characteristics of landfill leachate, *Water SA.* 16 (1990) 275-280.

- S. Trabulsi 2010 thèse doctorat Études de traitement des lixiviats des déchets urbains par les Procédés d'Oxydation Avancée photochimiques et électrochimiques. Application aux lixiviats de la décharge tunisienne "Jebel Chakir" 145-159.
- Ushikoshi K., Kobayashi T., Uematsu K., Toji A., Kojima D., Matsumoto K., Leachate treatment by the reverse osmosis system, *Desalination*. 150 (2002) 121-129.
- Sung Sung M., Chang D., Lee H.Y., Performance improvement of an unstable anaerobic leachate treatment system in an industrial waste landfill, *Water. Sci. Technol.* 36 (1997) 333–340.
- Wu J., Zhang H., He P.J., Shao L.M., Insight into the heavy metal binding potential of dissolved organic matter in MSW leachate using EEM quenching combined with PARAFAC analysis, *Water Res.* 45 (2011) 1711-1719.
- Yidong G, Xin C, Shuai Z, Ancheng L 2012: Performance of multi-soil-layering system (MSL) treating leachate from rural unsanitary landfills. *Sci. Total Environ.*, 420, 183–190.
- Zouboulis A., Jun W., Katsoyiannis A., Removal of humic acids by flotation, *Colloids Surf. A, Physicochem. Eng. Aspects*. 231 (2003) 181–193.
- Xu Y.D., Yue D.B., Zhu Y., Nie Y.F., Fractionation of dissolved organic matter in mature landfill leachate and its recycling by ultrafiltration and evaporation combined processes, *Chemosphere*. 64 (2006) 903-911.