



Année Universitaire : 2014-2015

Master Sciences et Techniques : Biotechnologie microbienne

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*Traitement des lixiviats de la décharge publique
contrôlée de la ville Fès par voies biologique et
physique*

Présenté par :

Saloua BIYADA

Encadré par :

Pr. Mohammed MERZOUKI

Devant le jury composé de :

Pr. MERZOUKI Mohammed

Pr. GHACHTOULI Naima

Pr. RACHIQ Saad

Pr. TAHRI Jouti Ali

Soutenu le : 22/06/2015

Lieu de stage : Laboratoire de Biotechnologie à la faculté des sciences Dhar El Mahraz

Dédicaces

À Mes très chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous a donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toutes mes reconnaissances et tout mon amour.

À Mes chers frères: pour leurs véritables et sincères amours. (biyada : azedin , karim) Je leur souhaite, une vie pleine de succès avec beaucoup de bonheur.

À mes formateurs

Veillez trouver dans ce travail, l'expression de mes profondes reconnaissances et mes grandes estimations

Aussi

À Mes meilleurs amies « EL KARRACH karima & AMAZYAN nahid & OU-YAHYA douae & ANNOUN chaimae & HATIM sihame » et à tous mes camarades, pour les moments forts et agréables que nous avons passés ensemble.

Remerciements

Avant tout, j'adresse mes remerciements au Dieu tout puissant et miséricordieux, pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces longues années d'études et pour la réalisation de ce travail.

Du fond de mon cœur, je remercie très sincèrement mon encadrant Monsieur **Mohammed MERZOUKI**, pour sa disponibilité, son aide précieuse et pour le temps qu'il a bien voulu me consacrer et les enseignements qu'elle m'a prodigué tout au long de ma formation.

Mes reconnaissances s'adressent aussi à Mme **Ghachtouli Naima**, Mr **Rachiq saad** et Mr **Tahri Jouti Ali** pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'examiner mon travail.

Je témoigne toute ma reconnaissance du fond de mon cœur à mes très chers et adorés parents ; vous m'avez inculquée l'amour du travail bien accompli et la persévérance dans la vie malgré tous ses obstacles. Vous avez su me faire confiance et m'accompagner dans mes choix. Je prie que notre Seigneur vous bénisse chers parents, vous accorde une santé de fer et une longue vie.

À mes très chères frères Karim et Aze dine, je voudrais dire aussi un grand merci pour vos encouragements et surtout votre amour.

À tous les membres du laboratoire de biotechnologie : KARIMA, OMAR, WAFA, ANAS, HASSAN, LAILA, HANAN...., je dis un immense merci pour leur accueil chaleureux et sympathique, leurs conseils ainsi que les bons moments que j'ai eu à passer avec vous. Sachez que je vous garde pour toujours dans mon cœur.

Je n'oublie pas mes amis, Je leur adresse une reconnaissance particulière pour les moments d'ambiance chaleureuse et spéciale merci à Douae, Karima, Naima, Chaimae, Nahid, Sophia, Sara, Siham, Nejoua, pour les bons moments qu'on a passé ensemble. Sans oublier mes chères collègues du master Biotechnologie microbienne.

Merci 

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques principales des différents types de lixiviats [8].....	12
Tableau 2 : Composition chimiques des cendres volantes obtenue par ICP [12].....	27
Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'effluent brut.....	34
Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques du lixiviats avants et après traitement par SBR	36
Tableau 5 : Résultats des analyses microbiologiques du lixiviats avants et après traitement par SBR	39
Tableau 6 : Résultats des analyses métalliques du lixiviats avants et après traitement par SBR	40
Tableau 7: Résultats des analyses physico-chimiques de l'effluent brut et le filtrat.....	42
Tableau 8 : Résultats des analyses microbiologiques de l'effluent brut et le filtrat	44
Tableau 9 : Résultats des analyses métalliques de l'effluent brut et le filtrat	45
Tableau 10 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'effluent de lixiviats après couplage de procédés biologiques (SBR) avec le système de filtration	46
Tableau 11 : Résultats des analyses microbiologiques de l'effluent de lixiviats après couplage de procédés biologiques (SBR) avec le système de filtration	48

Liste des figures

Titre des figures :	Page
Photo 1 : La décharge publique contrôlée de la ville de Fès.....	7
Photo 2 : Bassins de stockage des lixiviats de la décharge publiques contrôlée de Fès	9
Photo 3 : les étapes du prétraitement et le traitement primaire.....	11
Photo 4 : les étapes du prétraitement et le traitement primaire.....	15
Photo 5 : Quelques procédés de traitement des eaux urbaines.....	16
Photo 6 : Conduite du système SBR.....	17
Photo 7 : Schéma de SBR à l'échelle du laboratoire	18
Photo 8 : Principe de la coagulation-floculation.....	19
Photo 9 : Principe d'adsorption	20
Photo 10 : Principe de la flottation	21
Photo 11 : Principe d'osmose inverse.....	21
Photo 12 : Bassins de stockage de lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès	23
Photo 13 : Les effluents prélevés à partir de la décharge publique contrôlée de Fès.....	23
Photo 14 : Schéma de SBR à l'échelle du laboratoire	24
Photo 15 : Procédé SBR pour le traitement de lixiviats	25
Photo 16 : Aspect visuel des cendres volantes à charbon.....	26
Photo 17 : La colonne des cendres volantes	27
Photo 18 : Evolution des taux d'abattement de la DCO et la DBO ₅ de l'effluent de lixiviats traité par SBR en fonction du temps	37
Photo 19 : Taux d'abattement d'ammonium, nitrite, nitrate et orthophosphate de l'effluent de lixiviats traité par SBR en fonction du temps.....	38
Photo 20 : Décoloration de l'effluent de lixiviats	42

Photo 21 : Evolution des taux d'abattement de la DCO et la DBO ₅ de l'effluent de lixiviats traité par filtration en fonction du temps	43
Photo 22 : Taux d'abattement d'ammonium, nitrite, nitrate et orthophosphate de l'effluent de lixiviats traité par filtration en fonction du temps	43
Photo 23 : Evolution des taux d'abattement de la DCO et la DBO ₅ de l'effluent de lixiviats traité par le système combiné en fonction du temps	46
Photo 24 : Taux d'abattement d'ammonium, nitrite, nitrate et orthophosphate de l'effluent de lixiviats traité par le système combiné en fonction du temps	47

LISTE DES ABREVIATION

AVG	Acide gras volatile
Al	Aluminium
Cd	Cadmium
Cu	Cuivre
Cr	Chrome
CH ₄	méthane
CO ₂	Dioxyde de carbone
DBO ₅	Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DO	Densité optique
Fe	Fer
MES	Matières en suspension
Mn	Manganèse
NO ₃ ⁻	Nitrate
NO ₂ ⁻	Nitrite
NH ₄ ⁺	Ammonium
Pb	Plomb
PO ₄ ⁻	Orthophosphate
SBR	Sequencing Batch Reactor
SiO ₂	Silice

Sommaire :

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Partie 1 : Aperçus bibliographique</i>	3
<i>I- Déchets solides au Maroc</i>	4
1. Définition	4
2. Type des déchets solides	4
a. Déchets industriels	4
b. Déchets ménagers	5
c. Déchets des hôpitaux	5
3. Les impacts des déchets solides sur l'environnement et la santé humaine.....	6
<i>II- Décharge publiques contrôlée de la ville de Fès</i>	7
1. Fonctionnement d'une décharge publique contrôlée	7
2. Lixiviats de la décharge publique contrôlée	8
a. Généralité	8
b. Définition des lixiviats	8
3. Mécanismes de formation de lixiviats.....	9
4. Evolution des déchets.....	10
5. Type des lixiviats	11
6. Composition des lixiviats.....	12
7. Impact des lixiviats dur l'environnement et la santé humaine.....	14
<i>III- Procédés de traitement des lixiviats</i>	15
1. Généralité	15
2. Méthodes des traitements des lixiviats	17
a. Méthodes biologiques	17
b. Méthodes physico-chimiques	18
<i>Partie 2 : Matériel et méthodes</i>	22

<i>I- Echantillonnage</i>	23
<i>II- Procédés de traitement des lixiviats</i>	24
1. Traitement par procédés SBR (Sequencing Batch Reacteur)	24
2. Traitement des lixiviats par filtration.....	26
a. Cendres volantes.....	26
3. Couplage du procédé SBR avec le système de filtration	28
<i>III. Les méthodes d'analyses.....</i>	<i>28</i>
1. Analyses physico-chimiques.....	28
2. Analyses microbiologiques.....	31
<i>Partie 3 : Résultats et discussions</i>	<i>33</i>
<i>I- Résultats des analyses de l'effluent de lixiviats de la décharge publique contrôlée de Fè.</i>	<i>34</i>
1. Résultats des analyses physico-chimiques de effluent brut	34
<i>II. Résultats de traitement de l'effluent de lixiviats par SBR.....</i>	<i>35</i>
1. Résultats des analyses physico-chimiques	36
2. Résultats des analyses microbiologiques.....	39
3. Résultats des analyses métalliques	40
<i>III. Résultats du traitement de l'effluent de lixiviats par filtration.....</i>	<i>41</i>
1. Résultats des analyses physico-chimiques	41
a. Débit de filtration et temps de séjour.....	41
b. Paramètres physico-chimiques	41
2. Résultats des analyses microbiologiques.....	44
3. Résultats des analyses métalliques	45
<i>IV. Résultats du couplage traitement biologique et physique</i>	<i>45</i>
1. Résultats des analyses physico-chimiques de lixiviats après couplages des deux procédés	45
2. Résultats des analyses microbiologiques de lixiviats après couplages des deux procédés.....	47

<i>Conclusion générale</i>	49
<i>Perspectives</i>	51
<i>Références bibliographiques</i>	52
<i>Annexes</i>	55

Introduction générale

« Au cours du siècle que nous vivons, l'eau est en phase de devenir la clé de l'avenir de la planète, l'alimentation en eau sera une menace pour la stabilité du monde entier », a déclaré Anna Tibaijuka (sous-secrétaire générale des Nations Unies, responsable du programme des Nations Unies pour les établissements humains UN-HABITAT, organisme coordonnateur des questions d'établissements humains, des déchets solides et eaux usées), lors de l'ouverture de la 17^{ème} Semaine Mondiale de l'eau qui s'est déroulée du 12 au 18 août 2007 à Stockholm. En quelques années, la prise de conscience des problèmes de l'approvisionnement et de la qualité de l'eau s'est accélérée, et ces problématiques sont devenues cruciales et mondiales.

Ressource précieuse, l'eau est menacée par son exploitation intensive, la pollution croissante des réserves et les besoins grandissants d'une population mondiale en plein essor. Pendant longtemps, les gens sont peu préoccupés de leur environnement et ont généralement considéré la ressource en eau comme illimitée, n'hésitant pas à y rejeter largement effluents et déchets de toutes sortes. Avec l'accroissement de la population mondiale, le développement économique de la planète (un enfant né dans un pays développé consomme 30 à 50 fois plus d'eau qu'un enfant né dans un pays en développement), la consommation d'eau a presque doublé au cours de ces cinquante dernières années. En conséquence, les ressources en eau diminuent à un rythme rapide : environ 2 millions de tonnes de déchets sont déversés chaque jour dans les cours d'eau [25]. Le défi croissant que pose la gestion de l'eau est d'en accroître la production pour faire face à la demande grandissante tout en maintenant, voire en améliorant sa qualité.

Au Maroc, l'un des soucis majeurs demeure la gestion des déchets solides et leurs sous-produits, notamment les lixiviats et le biogaz [26]. 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 où tous les types de déchets sont rejetés à l'état brut et mélangés : urbains, industriels, hospitaliers et agricoles [27-28]. 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 lixiviats...etc. La conséquence majeure et inévitable d'une mise en décharge est la production d'un lixiviat

pouvant émerger de sérieux problèmes écologiques [26]. 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, impacts sur la santé et l'environnement, etc.

Cependant dès la phase de dépôt, 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 du biogaz et des lixiviats chargés de 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, notamment dans l'atmosphère, les eaux souterraines et les cours d'eau [7].

Les lixiviats sont une source de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines s'ils ne sont pas correctement traités [29]. La prise de conscience de la pollution des sols et des eaux par les lixiviats de décharge est un phénomène relativement récent qui vient s'ajouter aux nombreux problèmes de contamination du milieu environnant [16].

De par leur charge polluante souvent importante, les lixiviats doivent subir un traitement d'épuration avant d'être rejetés vers le milieu naturel. Les filières de traitement traditionnelles, qui dérivent du traitement des eaux usées, consistent généralement en une épuration biologique du lixiviat.

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet original financé par le Ministère de l'environnement sous la coordination de Monsieur **Mohammed MERZOUKI**, et qui consiste à contribuer au traitement de l'effluent de lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès par voie biologique (SBR) et par filtration en utilisant comme support les cendres volantes. L'objectif principal de notre travail est le suivant:

- * Le traitement de l'effluent de lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès par un procédé biologique(SBR) couplé à un système de filtration, de haute performance et de faible cout.

Le stage a été réalisé au sien du laboratoire de Biotechnologie à la Faculté des Sciences de Dhar El mahraz. Ce manuscrit du projet de fin d'étude est structuré en trois grandes parties. La première partie de ce mémoire sera consacrée à l'étude bibliographique, alors quela deuxième partie est réservée pour la partie matériel et méthodes, tandis que la troisième partie regroupe l'ensemble des résultats trouvés.

*Partie 1: Aperçu
Bibliographique*

I. Déchets solides au Maroc

1. Définition

Un déchet est défini comme « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien nuisible abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » [1].

Le terme de déchets englobe les ordures ménagères (OM) qui sont issues de l'activité domestique des ménages ainsi que les déchets provenant des industries, artisans, commerçants, écoles, services publics et hôpitaux [1].

Depuis quelques décennies, le Maroc a connu une forte croissance de la population urbaine. Avec la croissance démographique, l'urbanisation rapide, l'évolution des modes de consommation et l'intensification des activités économiques, la production des déchets ménagers est en constante augmentation [2]. Ces déchets sont de nature très variées tels que les déchets des ménages, des unités industrielles, des espaces verts, de l'agriculture et les déchets hospitaliers [3], dont les nuisances deviennent inquiétantes.

2. Types des déchets solides

L'évolution démographique et l'intensification des activités économiques sont accompagnées d'une augmentation de la production des déchets, estimés à 4,5 millions de tonnes / an de déchets urbains et 800 000 tonnes / an des déchets industriels [2]. Cela conduit à une moyenne de 1 kg de déchets par jour et par habitant. Ces déchets sont variés et admettent ce qui est industriel, hospitalier.....

a) Déchets industriels

Le problème de la gestion des déchets au Maroc, et plus spécifiquement des déchets industriels est posé avec acuité compte tenu des quantités générées, de la multitude des sources de production, de l'insuffisance de moyens et de filières professionnelles spécialisées dans le traitement et la valorisation des déchets.

Les dernières estimations sur le volume des déchets industriels générés par le secteur industriel Marocain font état d'une production d'environ 1,57 Millions de tonnes de déchets par an dont 256 000 sont des déchets dangereux. Les déchets industriels (les produits

chimiques, eaux usées, huiles, etc.), contiennent des composants dangereux qui doivent être manipulés, stockés, transportés et évacués à l'aide de traitements/procédés spéciaux. Ce type de déchet solide nécessite des accords institutionnalisés du type de ceux passés pour les déchets d'hôpitaux [4].

b) Déchets ménagers

Au Maroc, la population urbaine constitue 51% de population totale, La production actuelle des déchets ménagers en milieu urbain est estimée à 5,3 millions de tonnes par an, soit en moyenne 0,76 kg/hab, et en milieu rural 1,47 millions de tonnes par an, soit en moyenne 0,28 kg/hab./jour. Le taux de collecte professionnalisé (gestion déléguée) est de 80 % concernant 90 contrats et 106 communes. Suite a l'insuffisance de la collecte, Ces déchets sont très souvent éliminés dans des décharges sauvages ou encore dans des points noirs et dans les cours d'eau sans aucun traitement ni contrôle, ce qui engendre de graves conséquences aussi bien sur la santé publique et l'environnement que sur l'avenir des activités socio-économiques dans notre pays [2].

c) Déchets des hôpitaux

Les déchets d'hôpitaux sont souvent toxiques et contiennent des matières infectieuses et dangereuses. Ces déchets sont sous-divisés en : déchets généraux, puis déchets infectieux, déchets biologiques:

- Déchets dangereux : 20 à 30 %
- Déchets à risque infectieux (15 à 25 %)
- Déchets anatomiques (1 %)
- Déchets piquants, tranchants (1%)
- Déchets pharmaceutiques (3%)
- Déchets chimiques et toxiques (1%)
- Radioactifs, génotoxiques (1%)...

Un lit hospitalier produit près de 3 kg de déchets par jour (entre 1.5 et 4.5 kg/lit)

Une capacité litrière nationale est de 30000 lits avec un taux d'occupation moyenne de 61%. Les hôpitaux publics et privés produisent près de 21 000 tonnes de déchets dont 6 000 tonnes de déchets considérés à haut risque pour la santé des citoyens [5].

3. Impact des déchets solides sur l'environnement et la santé humaine

L'augmentation de la production des déchets solides est en parallèle avec la croissance démographique et le développement socio-économique [6]. La multiplication des décharges spontanées contribue à la contamination des eaux superficielles et souterraines, à la propagation des maladies et à la dégradation du paysage [2]. Il s'agit donc de maîtriser la gestion de quantités de déchets de plus en plus importantes. Il y a plusieurs raisons qui justifient cette gestion :

les déchets constituent une menace pour la santé humaine et l'environnement et principalement pour les populations voisines des décharges publiques, à cause des nuisances olfactives et des émissions gazeuses dont certaines sont toxiques comme la dioxine, les acides chlorhydrique et fluorhydrique et les métaux lourds dont les concentrations dans l'air sont très importantes à proximité des décharges, d'où la nécessité de :

- la protection des eaux superficielles contre le ruissellement des eaux de pluie à travers la surface des décharges et les lixiviats provenant de la décomposition organique des déchets,
- la protection de la qualité des nappes d'eau souterraines situées sous ou à proximité des décharges contre l'infiltration des eaux provenant des décharges,
- la nécessité de préserver et d'économiser les sols servant au stockage des déchets. Dans ce qui suit, on se limitera aux déchets solides urbains. Les déchets solides en zone rurale pourront être traités de façon décentralisée dans des digesteurs pour produire du gaz méthane pour les besoins énergétiques des agriculteurs et des rebuts organiques pour l'enrichissement des sols agricoles. [6].

II. Décharge publique contrôlée de la ville de Fès

Afin de préserver l'environnement et surtout arrêter les déversements des déchets dans l'Oued Sebou, la commune urbaine de Fès a décidé de mettre en place une décharge contrôlée a la route de Sidi Harazem, dans la commune de Ain Bida, il s'étale sur une superficie de 110 hectares, cette décharge accueille chaque jour en moyenne 800 tonnes de déchets.



Photo 1. La décharge publique contrôlée de Fès

1. Fonctionnement d'une décharge publique contrôlée

La mise en décharge constitue à l'origine une technique d'élimination des déchets, facile à mettre en œuvre et relativement peu coûteuse, et la plus utilisée dans le monde. Sans gestion adéquate, elle peut toutefois engendrer divers problèmes, tant sur les plans hygiénique et sanitaire, qu'environnemental. Ces dernières années, au Maroc, l'enfouissement des déchets ménagers et assimilés demeure la méthode la plus privilégiée à cause du taux excessif d'humidité qu'ils recèlent d'une part, et le non maîtrise d'autres filières comme l'incinération ou le compostage d'autre part [7].

Le fonctionnement d'une décharge peut être assimilé à un réacteur bio-physico chimique donnant lieu à des réactions et à des évolutions complexes qui aboutissent à la transformation chimique, physique et biologique des déchets. Du fait des conditions

géologiques et hydrologiques du site, de la nature des déchets stockés et du mode de gestion de l'exploitation, chaque centre de stockage est un cas unique. Il n'est donc pas envisageable de déterminer avec précision un mode d'évolution qui serait applicable à tous les centres. Cependant, certains phénomènes sont communs à la majorité des sites et peuvent être quantifiés, permettant ainsi de caractériser l'évolution générale d'une installation de stockage, en particulier en ce qui concerne les aspects biologiques, physicochimiques, hydrauliques et géotechniques :

- les matières biodégradables mises en décharge font l'objet d'une évolution biologique sous l'action des bactéries aérobies puis des bactéries anaérobies, en l'absence de dispositions particulières, l'eau qui s'écoule à travers la masse des déchets produit des lixiviats en se chargeant de substances chimiques et biologiques ;

- des réactions chimiques ou physiques conduisent à la destruction partielle de la matière et à la solubilisation de certaines espèces ou à leur transformation en gaz [8].

L'objectif actuel du stockage de ces déchets est d'assurer un confinement efficace et suffisamment durable des déchets ainsi qu'une maîtrise adaptée des deux types d'effluents générés, les lixiviats et le biogaz, qui sont à l'origine des principaux impacts environnementaux et sanitaires des décharges [3].

2. Lixiviats de la décharge publique contrôlée

a) Généralité

L'eau est le vecteur principal de l'évolution d'une décharge. Les entrées d'eau dans un centre de stockage sont constituées des précipitations météoriques directes auxquelles s'ajoutent l'eau apportée par les déchets eux-mêmes et les eaux de ruissellement qui entrent dans le centre de stockage [8].

b) Définition des lixiviats

Les lixiviats sont les liquides résultats de la percolation de l'eau à travers les déchets, que ce soit les eaux de surface ou l'eau résultant de l'humidité des déchets. Ce sont des liquides très chargés en pollution organique, qui constituent un problème majeur dans les décharges de manière générale [2].



Photo 2 : Bassins de stockage des lixiviats de la décharge contrôlée publique de Fès

3. Mécanismes de formation de lixiviats

La masse des déchets enfouis se comporte comme un milieu poreux plus ou moins perméable, qui permet aux eaux météoriques qui s'infiltrent à la surface de la décharge, et aux eaux présentes initialement dans les déchets, d'en atteindre le fond pour produire un "jus de décharge" ou lixiviat qui prend en compte également l'eau de décomposition de la matière organique.

Les lixiviats est produit en grande quantité dans les décharges où sont entreposés des déchets très humides et sans précaution vis-à-vis de la pluviométrie et qui sont très chargés en polluants organiques issus en particulier des réactions de fermentation.

Ces lixiviats contiennent des bactéries, beaucoup de matières organiques (biodégradables, mais aussi réfractaires à la biodégradation) et sont constituées dans la majeure partie par des substances humiques, mais aussi par de l'azote ammoniacal, des métaux lourds, des organochlorés et des sels inorganiques.

La formation des lixiviats met en jeu une grande diversité de phénomènes qui joueront plus ou moins en fonction de la nature des déchets, l'âge de la décharge, les conditions climatiques [7], du mode d'exploitation du centre de stockage (hauteur des déchets, surface exploitée, compactage...) et de l'infiltration des eaux. Ces phénomènes peuvent être répartis en deux catégories [9] :

* les mécanismes physico-chimiques : évolution du pH, du pouvoir tampon, de la salinité et du potentiel d'oxydoréduction des solutions percolant à travers les déchets. Ces solutions mettent en œuvre des mécanismes chimiques de solubilisation, complexation, oxydoréduction, adsorption, neutralisation et transfert de matière ;

- * Les processus biologiques aérobie et anaérobie qui vont dégrader la fraction organique fermentescible des déchets. Il est admis que le phénomène de biodégradation est à l'origine des réactions complexes qui rendent difficile la généralisation de l'ensemble des phénomènes réels [10].

4. Evolution des déchets

Au cours de la formation d'une décharge, on distingue cinq phases de décomposition des ordures ménagère:

- * **Phase aérobie**

Au moment de la mise en place des déchets, l'oxygène présent est consommé (décomposition aérobie). L'activité des bactéries aérobie strictes permet la dégradation de la matière organique facilement dégradable et oxydable. Cette phase dure de quelques jours à quelques semaines.

- * **Phase de transition**

Elle représente le passage progressif des conditions aérobie aux conditions anaérobie. Elle se caractérise par une augmentation de la DCO (demande chimique en oxygène, proportionnelle à la concentration en matière organique) [11]. Elle dure de quelques jours à quelques semaines.

- * **Phase d'acétogénèse**

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, ammoniac) [12]. 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 [13].

- * **Phase de méthanogènes**

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 méthanogénèse est assurée par les bactéries méthanogènes qui sont des bactéries anaérobie strictes Au cours de

cette étape, la concentration en acide acétique (substrat principal de la méthanogénèse) diminue rapidement conduisant à une augmentation des valeurs de pH [3]

Il existe deux voies métaboliques de production du méthane [14] :

- La réduction du dioxyde de carbone, des bicarbonates ou carbonates (respiration anaérobie) en méthane (en présence de dihydrogène) par les bactéries méthanogènes selon la réaction suivante :



- La production de méthane à partir de l'acétate (acétoclastie) (Figure II-2) :

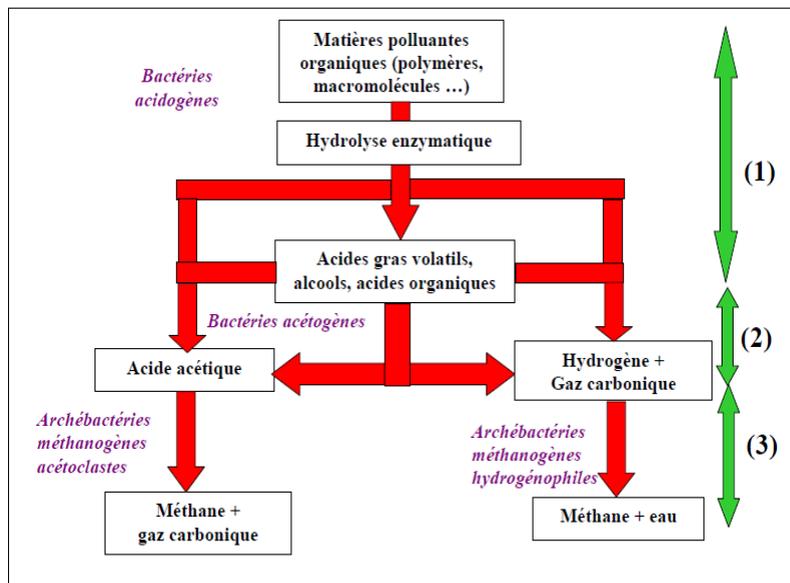
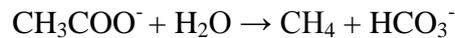


Photo 3: Schéma du flux métabolique de transformation de la matière organique en méthane et gaz carbonique par une communauté microbienne en anaérobiose avec : (1) phase d'hydrolyse et d'acidogénèse, (2) phase d'acétogénèse, (3) phase de méthanogénèse [3].

*** Phase de maturation**

Elle est caractérisée par la diminution progressive du méthane jusqu'à disparition et par une activité bactérienne limitée [3]. Cette phase peut durer plusieurs milliers d'années [15].

5. Type des lixiviats

On distingue entre trois types de lixiviats suivant le stade d'évolution biologique des déchets :

✚ Lixiviats jeune

Ces lixiviats d'un âge inférieur à 5 ans se caractérisent par une charge organique élevée [8] relativement biodégradable (seuil de biodégradabilité $\text{DBO}_5/\text{DCO} > 0,3$) constituée

principalement d'acides gras volatils. Ces lixiviats peuvent être chargés en métaux (jusqu'à 2 g L⁻¹) du fait de leur pH relativement bas (< 6,5). Ils correspondent aux premières phases non méthanogènes de l'évolution d'une décharge [3].

✚ Lixiviats intermédiaires

Au fur et à mesure que la décharge vieillit et que les déchets se stabilisent, la charge organique diminue et les acides gras volatils se raréfient (20 à 30% de la charge du lixiviat) au profit de composés de hauts poids moléculaires. L'émergence de ces composés tend à diminuer la biodégradabilité du lixiviat (seuil de biodégradabilité DBO₅/DCO compris entre 0,1 et 0,5). Ces lixiviats d'un âge entre 5 et 10 ans correspondent globalement à la phase méthanogène stable.

✚ Lixiviats stabilisés

Ces lixiviats d'un âge supérieur à 10 ans sont caractérisés par une faible charge organique, composée essentiellement de substances humiques (acides fulviques et humiques) de hauts poids moléculaire qui sont réfractaires à la biodégradation (DBO₅/DCO < 0,1). Ces lixiviats stabilisés correspondent à la phase de maturation de la décharge [3].

Le tableau 1 présente les principales caractéristiques des différents types de Lixiviats.

Tableau 1.Caractéristiques principales des différents types de lixiviats [8]:

	Lixiviats jeunes	Lixiviats Intermédiaires	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	< 5 ans	5 à 10 ans	> 10 ans
pH	< 6,5	6,5 à 7,5	> 7,5
DCO (g L⁻¹)	10 à 20	5 à 10	< 5
DBO₅/DCO (biodégradabilité)	> 0,5 Bonne	0,1 à 0,5 Assez faible	< 0,1 Très faible
AGV (% du COT)	> 70	5 à 30	< 5

Finalement on peut dire que les lixiviats d'une vieille décharge sont globalement moins chargés que ceux d'une jeune décharge mais plus difficiles à traiter. Mais l'évolution dans le temps, la composition des lixiviats dépend évidemment de la nature des déchets enfouis, de la présence ou l'absence de la matière organique fermentescible et des conditions climatiques conjuguées au mode d'exploitation du site.

6. Composition de lixiviats

La composition chimique du lixiviat est spécifique à chaque décharge [7]. En effet elle varie étroitement avec la nature et l'âge de la décharge, le type de déchets et leur degré de décomposition, la méthode de mise en décharge (compactée ou non), la nature du site

d'enfouissement et les conditions climatiques etc. ... [16] montre la présence des quartes

Types de polluants :

- la matière organiques dissoute ou MES,
- les micropolluants organiques,
- les composés minéraux majeurs sous forme ionique,
- les micropolluants minéraux à l'état de trace ou les métaux lourds.

Des études menées sur l'identification des composés organiques responsables de la charge polluante ont mis en évidence la présence de certains composés organiques notamment :

- * Acides gras volatils (AGV) en grande quantité dans les lixiviats des jeunes décharges. Cependant, pour les décharges plus anciennes, les AGV sont transformés en composés tels que CH_4 , CO_2 et HgO , selon les processus classiques de digestion anaérobie.
- * Composés lino-cellulosique comme les substances humiques, les tannins et les lignines,
- * Acides carboxyliques (acides non volatils, acides aromatiques),
- * Acides aminés (libres ou combinés),
- * Dérivés phénoliques,
- * des produits soufrés,
- * des micropolluants (pesticides, tensioactifs, résidus de plastiques etc.),
- * Métaux lourds Plusieurs métaux lourds ont été identifiés dans les lixiviats à de faibles concentrations comme le Mg, Fe, As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni et le Zn. Les métaux lourds existants dans les déchets migrent pendant plusieurs années dans les décharges. Cette capacité de migration peut être améliorée par la formation de complexes très stables avec la matière organique ainsi que la matière colloïdale existante dans les lixiviats [3].

Si la diversité et l'hétérogénéité de constitution du lixiviat sont telles qu'il est difficile d'identifier directement la fraction organique, il est par contre intéressant de caractériser cette pollution pour ce type d'effluent, en fractionnant au préalable les principaux composés organiques [16].

7. Impact de lixiviats sur l'environnement et la santé humaine

L'infiltration et/ou le rejet de lixiviats non-traités entraîne des perturbations physiques et chimiques des milieux récepteurs qui se traduisent par une détérioration de la qualité des eaux.

Les lixiviats sont la source polluante majeure des décharges sur les eaux alentour, et suivant leur toxicité et leur dilution, les modifications du milieu environnant ne seront pas les mêmes.

Des fuites de lixiviats chargés en polluants et substances toxiques peuvent donc se produire dans l'environnement autour du site de la décharge, mettant en danger les végétaux, les animaux qui les ingèrent et, au sommet de la chaîne alimentaire, l'homme. L'homme est plus directement touché lorsque la décharge se situe à proximité d'une nappe phréatique alimentant la population en eau potable.

Ce milieu peut être divisé en deux parties, les eaux superficielles et les eaux souterraines. La contamination peut avoir lieu par infiltration directe dans le substratum et polluer les nappes phréatiques, où par rejet des effluents, traités ou non, dans le réseau hydrographique de surface et le détériorer.

Les effets de ces deux types de contamination pouvant interagir entre elles sont :

- d'une part, pour les eaux souterraines, un problème d'alimentation en eau potable par pollution des captages d'eau si ceux-ci sont hydro-géologiquement accessibles ;
- d'autre part, pour le réseau hydrographique superficiel, une détérioration des écosystèmes aquatiques, en particulier liée au problème d'eutrophisation qui menace la vie piscicole par asphyxie, et également l'alimentation en eau potable.

Les pollutions engendrées par les décharges, et leurs impacts sanitaires et environnementaux sont difficiles à déterminer avec certitude car ils sont diffus dans le temps et dans l'espace. Plusieurs polluants interagissent dans des milieux naturels différents (air, sol, eaux etc.) sur le long terme. Les liens de causalité entre les pollutions liées aux décharges et des maladies ou des modifications significatives de l'environnement sont donc particulièrement difficiles à établir [17].

III. Procédés de traitement des lixiviats

1. Généralité

À l'échelle mondiale, le traitement des eaux usées constitue le premier enjeu de santé publique : plus de 4 000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour de diarrhées liées à l'absence de traitement des eaux [30].

Dans les pays en voie de développement, 25 millions des personnes meurent par an à cause des maladies hydriques, dont 80% des maladies proviennent de la pollution d'eau.

Dans les pays en voie de développement, 90 à 95% des eaux usées sont rejetées dans les eaux de surface sans traitement, d'où la nécessité d'avoir un traitement efficace [30].

Les eaux usées sont toutes les eaux chargées de différents éléments provenant de la population mais aussi des activités commerciales et industrielles, qui sont de nature à polluer les milieux dans lesquelles elles seront déversées. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux, des traitements sont réalisés sur ces effluents.

Le traitement des eaux usées peut être réalisé par plusieurs types de procédés selon la nature de pollutions mais aussi selon les types de la pollution. Cependant, tous les procédés ont deux étapes communes à savoir un prétraitement et un traitement primaire (décantation).

Le prétraitement regroupe les étapes suivantes :

- * Dégrillage et tamisage,
- * Dessablage,
- * Déshuilage.

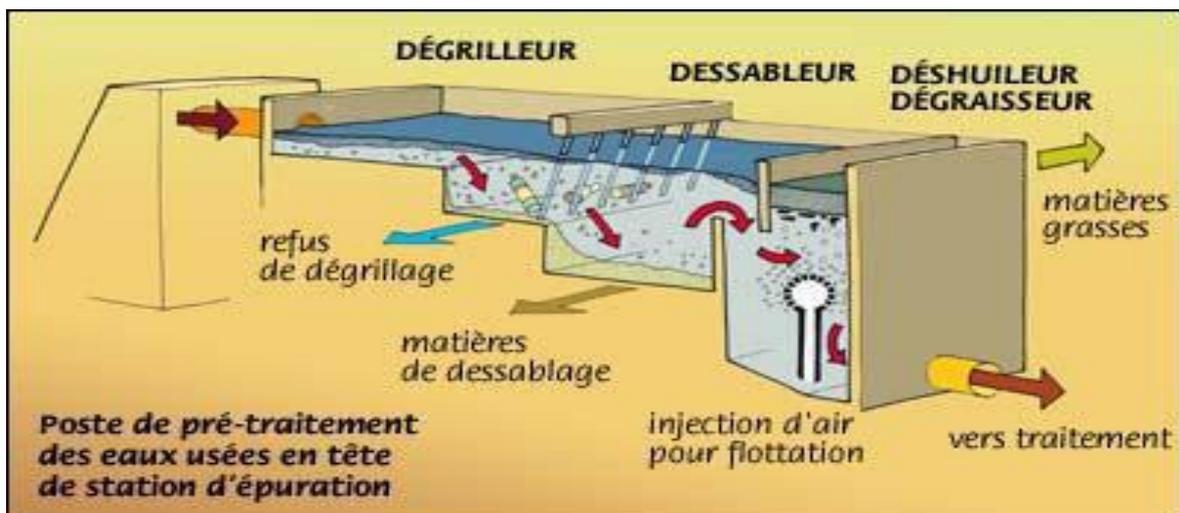


Photo 4 : Les étapes du prétraitement et le traitement primaire

Les deux premières étapes ont pour objectif principal d'éliminer toute la matière grossière. Dès que les deux premières étapes sont terminées, le traitement secondaire aura lieu.

Dans la majorité des cas, le traitement secondaire s'appuie sur des procédés biologiques vu que les avantages qu'ils présentent par rapport au traitement physicochimiques. Le traitement biologique peut être soit aérobie ou anaérobie mais également intensive ou extensive. Parmi les traitements biologiques on distingue :

- ✓ Les boues activées
- ✓ Les biomasses fixées (chenal d'oxydation, lits bactériens et disques biologiques)
- ✓ Lagunage
- ✓ Ependage sur terre

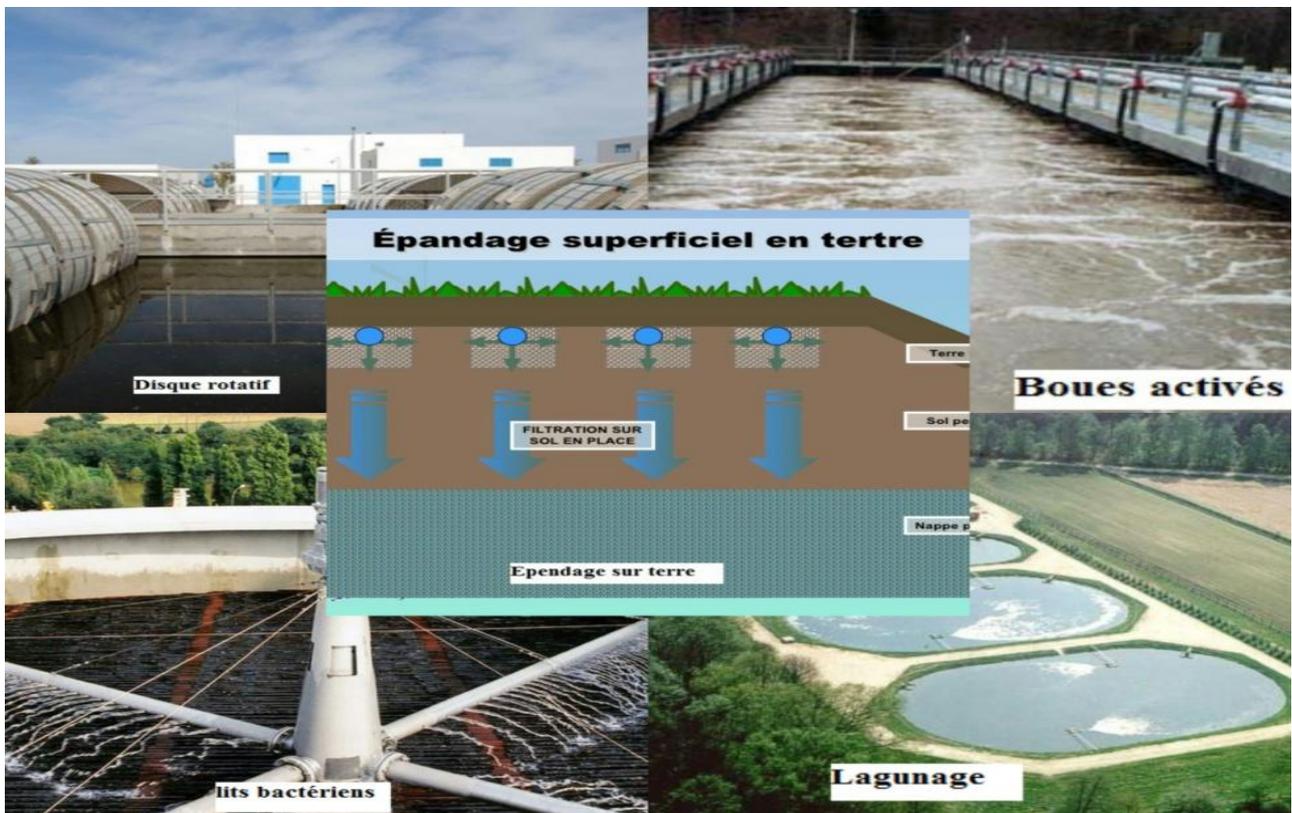


Photo 5 : Quelques procédés de traitement des eaux urbaines

Le traitement tertiaire vient après le traitement secondaire pour but d'éliminer l'azote et le phosphore.

Le traitement des eaux usées peut se faire par le système aérobie à savoir SBR (Sequencing Batch Reactor). Il est basé sur la conduite d'un réacteur par cycles dont toutes les phases de traitement ont lieu dans le même réacteur **photo (6)**.



Photo 6: Conduite du système SBR

Les eaux usées peuvent être épurées par des procédés de traitement biologique mais en anaérobiose tel que la méthanisation ou digestion anaérobie.

2. Méthodes de traitements des lixiviats

Les lixiviats sont des effluents complexes dont le traitement nécessite une expertise particulière. Même si les procédés potentiellement applicables pour la plupart du traitement des eaux usées, leur mise en œuvre obéit à des contraintes spécifiques. Contrairement à certains types d'effluents, le traitement "type" n'existe pas. On distingue entre deux types de traitements [18] :

- Traitement biologique
- Traitement physicochimique

a) Méthodes biologiques

*** Traitement anaérobie**

La digestion anaérobie consomme peu d'énergie et produit très peu de matières solides. En outre, il est possible d'utiliser le CH_4 produit pour réchauffer le digesteur qui travaille habituellement à 35 °C [3].

*** Réacteur séquentiel discontinu**

Le réacteur séquentiel discontinu ou en anglais Sequencing Batch Reactor (SBR) est un système de boue activée pour le traitement des eaux usées. Sa particularité réside dans le fait que l'aération, la décantation et la clarification se déroulent dans une même cuve. Le premier SBR fut installé au début des années 1900 et fonctionnait selon un système de remplissage et

de vidange alternatif. Le système SBR était efficace au niveau du traitement mais demandait une surveillance constante. Il fut donc abandonné et refit surface à la fin des années 1970 suite à la mise au point d'appareils de régulation automatiques fiables et peu coûteux. L'évolution et la popularisation de ces équipements ont fait en sorte que, de nos jours, le procédé SBR est devenu très concurrentielles à bien des égards : économie, performance et fiabilité [19].

Le procédé SBR repose sur le principe du traitement biologique aérobie des effluents par cycles. Les avantages de ce procédé sont les suivants :

- Procédé compact.
- Coûts d'installation et de fonctionnement plus faibles.
- Rendement épuratoire élevé.
- Pas de recirculation des boues.
- Elimination de l'azote en raison que dans le procédé SBR, il y'a une phase aérobie permettant l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate (nitrification), suivie éventuellement d'une phase anaérobie permettant une dénitrification.
- Elimination du phosphore par modification des séquences de fonctionnement, mais sans ajout d'ouvrages supplémentaires..
- Possibilité de rejet direct des effluents traités dans le milieu naturel [19].

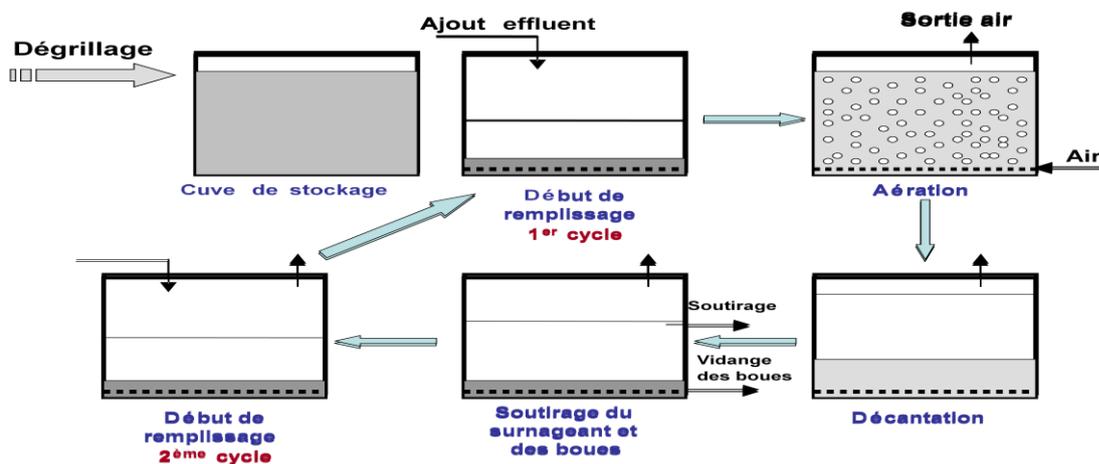


Photo7 : schéma du SBR à l'échelle du laboratoire

b) Méthodes physico-chimiques

* Coagulation-Floculation

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. Ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de

produits chimiques (coagulants). Il consiste à ajouter à l'eau un électrolyte permettant de neutraliser les charges négatives qui sont à l'origine du maintien en suspension stable. On utilise généralement des sels d'un métal trivalent, Fe^{3+} ou Al^{3+} . Le choix du coagulant et du floculant dépend de la nature de l'eau à traiter, et des tests préalables qui doivent être réalisés. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra éliminer par décantation.

La coagulation-floculation peut être utilisée avec succès dans le traitement des vieux lixiviats [20]. Elle est largement utilisée comme un prétraitement [21] avant l'osmose inverse ou avant les procédés biologiques pour protéger la biomasse de l'agression des éléments toxiques des rejets (cas des boues activées) 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.

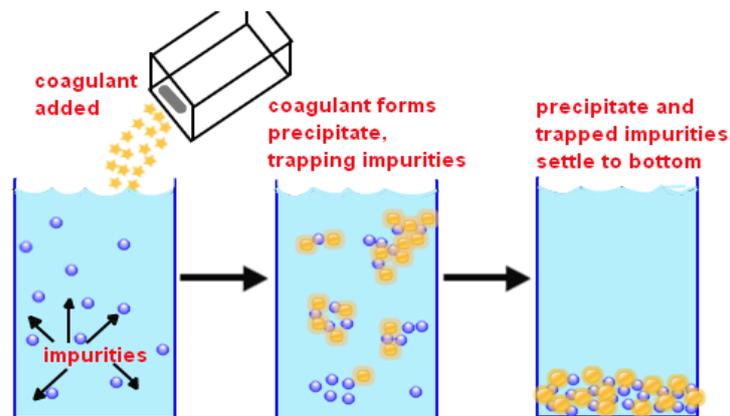


Photo 8 : Principe du coagulation-floculation

* Adsorption

L'une des raisons principales qui a motivé l'application de l'adsorption au traitement des lixiviats est son critère de non sélectivité vis-à-vis des composés organiques. Ainsi, les substances biodégradables et non-biodégradables sont éliminées comme par exemple les substances humiques et les composés halogénés [18].

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, Ce procédé permet également d'abattre de manière très satisfaisante les composés responsables de la coloration de

l'effluent. Selon plusieurs travaux, le procédé d'adsorption sur charbon actif à été utilisé en conjonction avec des procédés biologiques pour le traitement des lixiviats [3]. [22] des études montrent l'efficacité de différentes résines pour l'élimination de la matière organique bio-récalcitrante et ont montré que le charbon actif présente la plus forte capacité d'adsorption.

Cependant, le charbon actif reste onéreux et nécessite une régénération constante, c'est ce qui limite son utilisation. Nos recherches se sont alors orientés vers des procédés de traitement faisant appel à des matériaux adsorbants bon marché, inertes, durables, et donnent d'excellents résultats. Notre choix des cendres volantes a été fait en fonction de leur pouvoir adsorbant et de leur disponibilité. En effet, des études montrées que l'ajout de cendres peuvent permettre une accélération de la biodégradation des déchets, et que l'ajout des mâchefers peut améliorer la qualité des lixiviats.

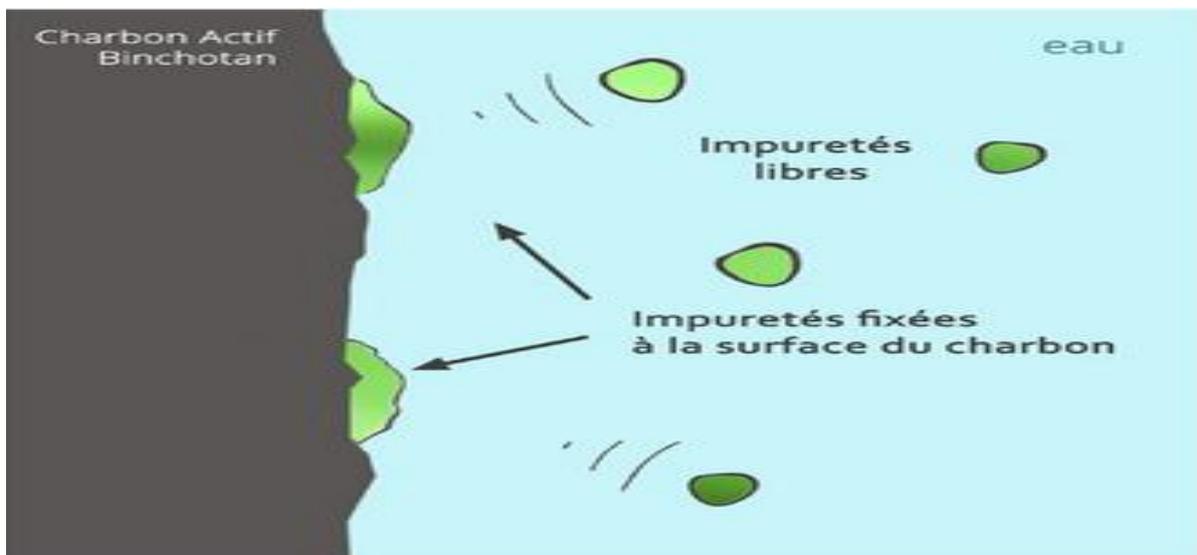


Photo 9 : principe de l'adsorption

* 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.

Cependant, jusqu'à ce jour, très peu d'études ont été consacrées à l'application de la flottation pour le traitement des lixiviats.

L'utilisation d'une colonne de flottation comme une étape de post-traitement pour éliminer l'acide humique résiduel (composés non biodégradables) des lixiviats de décharges. Sous les conditions optimales, près de 60% d'acide humique a été éliminé [3].

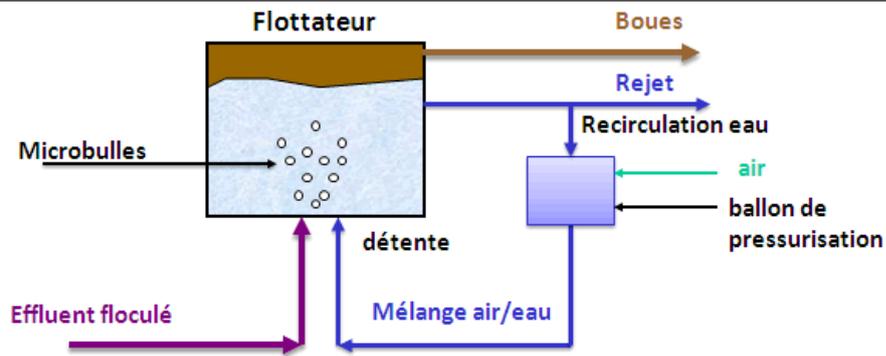


Photo 10 : principe de la flottation

*** 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. 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 [3].

*** Osmose inverse**

L'osmose inverse semble être l'une des méthodes les plus prometteuses et coûteuses 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 [3].

En dépit de ses avantages, l'osmose inverse présente plusieurs inconvénients qui sont : la faible rétention des petites molécules qui passent à travers la membrane et la possibilité de dépôt de substances dissoutes ou en suspension à la surface externe de la membrane. Autre limitation de l'osmose inverse est la forte consommation d'énergie [3]. De plus, l'osmose inverse est une méthode très coûteuse, ainsi elle est utilisée pour éliminer le sel des eaux de mer.

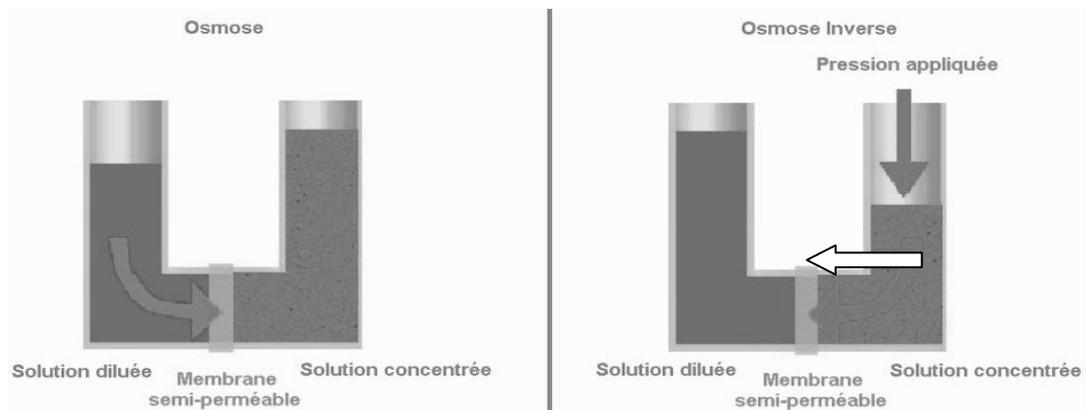


Photo 11 : Principe de l'osmose inverse

Partie 2 :
Matériel et méthodes

I. Echantillonnage

L'effluent traité est obtenu à partir de la décharge publique contrôlée Fès située à la route de Sidi Harazem, dans la commune de Ain Bida,



Photo 12 : Bassins de stockage des lixiviats

Les échantillons à traité ont été prélevées d'une façon aseptique et dans des flacons stériles à partir des bassins dont les quelles les lixiviats est stocké. En suite elles ont été transportées au laboratoire et conservés au froid (4°C).



Photo 13 : L'effluent prélevé à partir de la décharge publique contrôlée de Fès

II. Procédés de traitement des lixiviats

1. Traitement par le procédé SBR (Sequencing Batch Reactor)

Le procédé SBR est un procédé de Réacteur Séquentiel Discontinu dont le fonctionnement est basé sur le temps, contrairement aux procédés à boues activées classiques, basés sur l'espace. Ainsi, toutes les phases du traitement ont lieu dans le même réacteur qui, en fonction des étapes, tient le rôle du bassin d'aération (traitement aérobie), agitation (traitement anaérobie) et du décanteur (séparation des phases solides et liquide) (**Figure 14**).

Notre bioréacteur a un volume total de 3 litres répartis de la façon suivante :

- * 500 mL de la boue ;
- * 2200 mL de l'eau ;
- * 300 mL du lixiviat à traiter par jour.

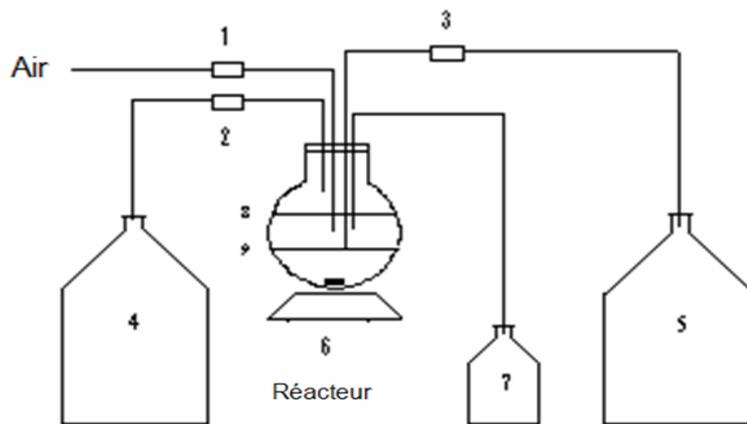


Photo 14 : schéma du SBR à l'échelle du laboratoire [31]

- 1 }
 2 } Les minuteries qui assurent la programmation de l'aération (1), d'alimentation
 3 } (2) et de soutirage (3).

4 - Bidon d'alimentation (effluent de lixiviats).

5 - Bidon des eaux de sorties traitées.

6 - Régulateur de la vitesse d'agitation.

7 - Bidon d'excès de boues.

8 - Niveau de la liqueur mixte correspondant à un volume utilisé de 2700ml (le Réacteur en fonction).

9 - Niveau de liqueur mixte après décantation et soutirage.

Le traitement des lixiviats a été réalisé à l'échelle du laboratoire dans un réacteur SBR en verre de capacité trois litres. Ce procédé de traitement repose sur le principe de traitement par les boues activées (1/6 du volume de réacteur). Le fonctionnement du SBR est basé sur quatre phases de traitement :

- **Phase d'alimentation** : le réacteur a été alimenté pendant 2 minutes avec 300 ml de lixiviats.
- **Phase d'aération** : en présence d'oxygène, les microorganismes sont maintenus en mélange avec l'effluent à traiter. Cette phase est la plus longue, sa durée est de 22h 26 minutes pour un cycle par jour.
- **Phase de décantation** : À l'arrêt de l'aération et de l'agitation, le réacteur est mis au repos pour favoriser la séparation de la boue et de l'effluent traité. La durée de la décantation est fixée à 90 minutes.
- **Phase de soutirage** : Cette phase dure 2 minutes pendant laquelle 300 ml de lixiviats traité sont soutirés puis remplacés par le même volume de lixiviat brut et un nouveau cycle commence.



Photo 15: Procédé SBR pour le traitement de lixiviats

L'aération est effectuée par un compresseur et le pH de la liqueur mixte dans le réacteur est réglé à pH 7 par l'ajout de H_2SO_4 (0,5N) ou de NaOH (1N).

Les phases d'aération, de décantation et de soutirage des boues en excès sont contrôlées par des programmeurs.

Pour assurer un traitement efficace de notre lixiviats, la boue utilisée doit être jeune et bien aérée. Nous avons travaillé avec une boue avec une concentration de l'oxygène dissous qui dépasse 3 mg/L. Ces boues activées proviennent de la décharge publique contrôlée de Fès.

On a calculé également l'indice de Mohlman (IM) selon la formule suivante :

$$IM = V_{30} / MS$$

Où :

V_{30} : Volume des boues décantées après 30 minutes par litre de liqueur mixte.

MS : Concentration des matières en suspension de la boue activée.

2. Traitement des lixiviats par filtration

a) Cendres volantes

Suite à la combustion du charbon pulvérisé dans la chaudière, les cendres volantes (CV) sont entraînées par la fumée de combustion puis captées par des dépoussiéreurs électrostatiques. Ces poussières captées sont transportées dans des silos de stockage et d'homogénéisation [23].

*** Forme extérieure et granulométrie**

Au microscope optique, les cendres volantes apparaissent comme des grains brillants de forme plus ou moins sphérique et de couleurs différentes généralement grises. Leur granulométrie varie entre 0,5 à 200 μm .



Photo 16 : Aspect visuel des cendres volantes à charbon

*** Granularité**

Les cendres volantes sont des matériaux très fins, leur granularité est relativement serrée, presque la totalité du matériau étant comprise entre 5 et 20 microns. Le refus au tamis de 80 microns est généralement entre 10 et 20 % en poids et le refus au tamis de 50 microns est entre 15 et 40%. À noter qu'au sein d'une même production, la composition chimique des cendres volantes dépend de celle du charbon d'origine. Les résultats de l'analyse chimique, reportés dans le tableau 9, montrent que pour les cendres volantes, la somme des pourcentages des éléments : SiO_2 , Al_2O_3 , et Fe_2O_3 est de 94,4%, ce qui permet de les classer parmi les cendres silico-alumineuses [3].

Tableau 2 : Composition chimique des cendres volantes obtenue par ICP [3]

Elément chimique	SiO_2	Al_2O_3	$\sum \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Fe_2O_3
Pourcentage	57	34	94,4	10	0,02	0,5	1,2	3,4

*** Prélèvement**

Les cendres volantes ont été apportées du centre électrique du JORF Lasfar à El Jadida. Ces dernières sont des déchets rejetées dans la nature et nous avons étudié leur capacité épuratrice à fin de les valoriser, en les mettant dans une colonne de filtration (figure 17).



Photo 17 : la colonne des cendres volantes

Une fois la colonne est établie, nous avons pulvérisé la colonne chaque jour avec l'effluent de lixiviats. La filtrat est recueilli et analysé afin de déterminer la performance de dépollution de système filtrant.

3. Couplage du procédé SBR avec le système de filtration

Dans cette étude, nous avons couplé le système du traitement biologique par SBR avec celui de traitement par filtration.

Le lixiviat brut a été traité par traitement biologique SBR. Après le soutirage de l'effluent traite par SBR, nous avons passé cet effluent dans la colonne de filtration pour qu'il soit traité. À la fin du traitement, l'eau filtrée doit être conforme aux normes de rejet en vigueur. Dans ce procédé de traitement du lixiviat, nous avons effectué des analyses microbiologiques et physico-chimiques pour les lixiviats de :

- Entrée SBR,
- Sortie du SBR,
- Lixiviat filtré.

Pour obtenir un taux de traitement satisfaisant, il faut travailler avec des boues jeunes. Pour cette raison, la boue en excès a été soutirée selon la relation suivante :

Age des boues = V/Q , avec V : Volume du bioréacteur (3000 mL) ; Q : Débit de la boue à soutirer.

III. Méthodes d'analyses

1. Analyses physico-chimiques

L'évaluation de l'efficacité du traitement a été démontrée par plusieurs analyses physico-chimiques de l'effluent brut, effluent traité par SBR ainsi que le filtrat issu après filtration, ces analyses ont été effectuées une fois par semaine. Parmi ces analyses nous citons:

a) Température et pH

La température et le pH sont mesurés au laboratoire par un pH-mètre de type HANNA INSTRUMENTS, dont le pH mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau.

b) Conductivité électrique

La conductivité électrique mesure l'aptitude d'une solution aqueuse à permettre le passage d'un courant électrique suite au déplacement libre des conducteurs électriques comme

les sels et les métaux lourds (fer, cuivre, zinc, plomb, chlorure, sulfate, sodium etc.). L'unité de conductivité est le micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Elle est mesurée au laboratoire à l'aide d'un conductimètre de type HANNA INSTRUMENT.

c) Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes (organique et minérale) dans l'eau et oxydables dans les conditions opératoires définies. La détermination de la DCO est effectuée par la méthode de dichromate de potassium.

Le principe de la méthode est basé sur une oxydation à ébullition (150°C pendant 2 heures) des matières oxydables, par un excès de dichromate de potassium en milieu acide et en présence de sulfate d'argent comme catalyseur et du sulfate de mercure comme complexant des chlorures. Les valeurs de la DCO sont déterminées par spectrophotométrie type UV/visible de marque JENWAY6105 et à une longueur d'onde de 585 nm. Elle est exprimée en $\text{mg d'O}_2/\text{l}$.

d) Matières en suspensions

Les matières en suspension (MES) ont été déterminées par centrifugation. Un volume de l'effluent est centrifugé, et le culot est recueilli dans un creuset, puis séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Le poids des matières en suspension est déterminé par pesée différentielle. La teneur de l'effluent brut et de l'effluent traité en matières en suspension est exprimée en g/l et elle est calculée en appliquant la formule suivante :

$$MES = \frac{P_f - P_i}{V} \times 1000 \quad (\text{g/l})$$

D'où :
Pi= Poids du creuset taré.
Pf= Poids final du creuset après séchage à l'étuve pendant 24 heures à 105°C .
V : Volume centrifugé.

e) La demande biologique en oxygène

La DBO5 ou la demande biologique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée pendant 5 jours par les microorganismes pour dégrader toutes les matières organiques biodégradables. Sa détermination consiste à incuber un volume (V) de l'échantillon estimé à partir de la DCO et le mettre durant 5 jours dans un DBO-mètre de type OxitopR IS6 (ET 618-4/619-4) à l'obscurité et à une température de 20°C . Elle est exprimée en $\text{mg d'O}_2/\text{l}$.

f) Orthophosphates

En milieu acide et en présence du molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une

coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique à une longueur d'onde de 880 nm.

g) Ions ammonium

En milieu alcalin et en présence du nitroprussiate de sodium qui agit comme catalyseur, les ions ammonium (NH_4^+) traités par une solution hypochlorite de sodium et de phénol, donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par colorimétrie. La lecture est faite au spectrophotomètre à UV/visible et à la longueur d'onde de 630 nm.

h) Nitrites

Le dosage des nitrites est réalisé avec le réactif de Zambelli, avec l'acide sulfurique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium, de phénol et les ions NO_2^- , il y a formation d'un complexe coloré jaune, d'où l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites. La lecture au spectrophotomètre est effectuée à 435 nm.

i) Nitrates

Le principe de dosage des nitrites se base sur la formation d'un complexe paranitrosalicylate de sodium en présence du salicylate de sodium. Ce complexe est coloré en jaune et absorbe la lumière à 415 nm.

j) Débit de filtration

Le débit de filtration a été déterminé à l'aide d'un chronomètre et consiste à calculer la quantité d'eau filtrée pendant une minute. Il est exprimé en ml/min.

k) Coloration

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible. En effet, un balayage spectral a été réalisé afin de déterminer la longueur d'onde pour laquelle l'absorption de l'échantillon est maximale. Alors, les échantillons absorbent fortement la lumière à 530 nm.

Pour ce paramètre, nous avons utilisé la formule suivante :

$$\text{Décoloration (\%)} = ((\text{DO}_i - \text{DO}_f) / \text{DO}_i) \times 100$$

Où DO_i et DO_f sont respectivement la densité optique initiale et la densité optique finale de la couleur des lixiviats à une longueur d'onde de 530 nm.

l) Métaux lourds

Les métaux lourds ont été analysés par spectroscopie d'émission atomique avec Plasma Couplé par Induction (P.C.I., I.C.P. (Inductively Coupled Plasma) à la cité d'innovation de Fès (CURI) de Fès et utilise un plasma : c'est un gaz plus ou moins ionisé, électriquement neutre. C'est dans le plasma qu'ont lieu les phénomènes d'émission.

Les métaux lourds analysés sont : le cadmium, le cuivre, le fer, le nickel, le plomb et le zinc, chrome, aluminium.

La majorité des analyses physico-chimiques (DCO, ammonium, nitrite, nitrate et orthophosphates) sont des dosages colorimétriques effectués au spectrophotomètre, alors ce dernier nous donne juste la densité optique (DO) ce qui fait on doit convertir cette DO à des concentrations, chose qui nécessite la préparation des gammes d'étalonnage pour chaque dosage. Ces gammes sont préparées avec les mêmes façons que les dosages effectués mais cette fois à partir des concentrations connues. Alors, les DO des gammes nous vont servir de tracer la courbe des DO en fonction des concentrations, puis on va calculer le coefficient (a) qui est la pente de la courbe.

2. Analyses microbiologiques

L'efficacité du traitement n'était pas consacrée sur les analyses physico-chimiques seulement mais également sur des analyses microbiologiques pour l'effluent brut et l'effluent traité. Ces analyses sont effectuées une fois par 15 jours. La préparation des séries des dilutions d'effluent de l'entrée, sortie de SBR ainsi que le filtrat est la première étape suivie par l'étalement en surface d'un volume de 100 µl sur le milieu gélosé convenable.

a) Flore mésophile aérobie totale (FMAT)

Le milieu de culture utilisé est la gélose nutritive à pH 7. L'incubation des boîtes est faite à 30°C pendant 24 heures.

b) Coliformes totaux et fécaux

C'est le milieu DL (Désoxycholate lactose agar) qui est utilisé. Les boîtes étalées sont incubées à 44°C pour les coliformes fécaux, et à 37°C pour les coliformes totaux pendant 24 heures.

c) Streptocoques fécaux

Le milieu de culture utilisé est Slanetz et Bartely. L'incubation des boîtes est effectuée à 37°C pendant 24 à 48 heures.

d) Staphylocoques

C'est le milieu de Chapman qui est utilisé pour l'isolement des staphylocoques. L'incubation des boîtes de Pétrie est effectuée à 37°C pendant 24 à 48 heures.

e) Levures

Le milieu de culture utilisé est YPG, auquel est ajouté le chloramphénicol (25 µg/ml) et l'ampicilline (50 µg/ml) comme antibiotiques afin d'inhiber toute croissance bactérienne. L'incubation est réalisée à 30°C pendant 48 à 72 heures.

Les analyses microbiologiques nous donnent seulement les nombres des colonies de chaque genre recherché, par la suite nous calculons la charge microbienne pour chaque germe selon la relation suivante :

La charge microbienne/ml = le nombre des colonies issues / (facteur dilution*le volume étalé).

Les taux d'abattement en (%) des paramètres physico-chimiques, métalliques et microbiologiques sont calculés par la relation suivante :

((La concentration de l'effluent brut- la concentration de l'effluent traité) / la concentration de l'effluent brut) * 100

Partie 3 :
Résultats et discussions

Avant d'aborder la dernière partie "Résultats et discussions", je rappelle que notre travail de fin d'étude, a été déroulé au sien du Laboratoire de Biotechnologie à la Faculté des Sciences Dhar El mahraz sous la direction de Monsieur **Mohammed MERZOUKI**. L'objectif est : le traitement des effluents de lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès par traitement biologique et par filtration.

Le choix de ces systèmes du traitement des effluents de lixiviats n'était pas au hasard mais selon plusieurs raisons, qui sont les suivantes:

- Rendement épuratoire élevé.
- Elimination de l'azote et du phosphore sans ajout d'ouvrages supplémentaires.
- Le faible coût vue l'absence d'utilisation d'autres agents chimiques.
- Finalement, la haute performance du système de filtration et du SBR.

I. Résultats des analyses de l'effluent de lixiviats de la décharge publique contrôlée de FES

Afin de caractériser notre effluent de lixiviats de la décharge publique contrôlée de Fès, et voir s'il répond à la norme Marocaine de rejet, nous avons effectué plusieurs fois des analyses physico-chimiques pour l'effluent brut.

1. Résultats des analyses physico-chimiques de l'effluent brut

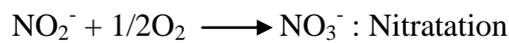
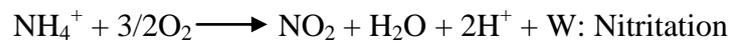
Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'effluent brut

	Valeur minimal	Valeur maximal	Valeur moyenne	Norme Marocaine du rejet direct
Température (°C)	17	22	19,6	30
pH	7,50	7,92	7,71	6,5-8,5
Conductivité électrique (ms/cm)	16	38	27	2,7
MES (mg/l)	400	910	723	30
DCO (mg d'O₂/l)	4858	7000	6019	120
DBO₅ (mg d'O₂/l)	286	700	440	40
NO₂⁻ (mg/l)	0,926	1,583	1.172	-
NO₃⁻ (mg/l)	10,337	13,300	11,350	-
NH₄⁺ (mg/l)	36,670	55,368	39,308	-
PO₄³⁻ (mg/l)	1,409	6,388	5,718	2

Le tableau 3 montre les caractéristiques physico-chimiques de l'effluent brut de lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès.

D'après le tableau 3 nous constatons que l'effluent de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès est caractérisé par :

- * Un pH légèrement basique.
- * Une concentration importante en MES qui ne répond pas à la norme de rejet Marocaine, ceci s'explique par la forte charge organique et minérale [7] qui due à la nature des déchets.
- * Une concentration élevée en nitrate (NO_3^-) qui pourrait être due à la nitrification :



Ces réactions sont effectuées par des bactéries nitreuses et nitriques. Cela explique également les faibles concentrations en nitrite (NO_2^-). Alors que la forte valeur de l'ammonium pourrait être expliquée par la pollution générée par les déchets urbains.

- * Une forte charge en DCO (6019 mg/l) et DBO_5 (440 mg/l) qui ne répond pas à la norme de rejet Marocaine et qui est en accord avec d'autres études [3]. Ce pouvoir polluant des lixiviats provient principalement des déchets domestiques, des solvants, et aussi de l'eau de pluie: le ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc. Il peut également provenir de rejets industriels [3].
- * Le rapport DBO_5/DCO est de 0,1 ce qui permet de les classer parmi les lixiviats stabilisés faiblement biodégradables.

D'après la caractérisation physico-chimique, de l'effluent de lixiviats de la décharge publique contrôlée de Fès, nous constatons que cet effluent ne répond pas a la normes de rejet Marocaine de point de vue DCO, DBO_5 , conductivité électrique, forme azotées et l'orthophosphate qui ont des concentrations très élevées. D'où vient la nécessité du traitement avant le rejet dans les milieux naturels pour éviter tous les risques.

II. Résultats du traitement de l'effluent de lixiviats par SBR

Comme c'est déjà mentionné, les analyses physico-chimiques ont été réalisées une fois par semaine. Le premier jour du traitement de l'effluent par SBR était le 11 Mars. Le 12 Mars 2015 était pour la première analyse microbiologique.

Dans le réacteur SBR, nous avons :

- ✓ Les MES avec une moyenne de 5,5 g/l (Norme $3 < \text{MES} < 6$)
- ✓ L'Indice des boues : 92 ml/g (Norme $50 < \text{IB} < 150$)
- ✓ L'oxygène dissous : 5,9 mg d'o₂/l (Norme $\text{O}_2 > 4$)

Nous constatons alors, que l'indice des boues est en norme, chose qui montre l'absence du foisonnement ou dispersion des boues, nous avons constaté également une bonne décantabilité des boues. Ainsi, l'oxygène dissous dans le bioréacteur répond à la norme, ceci reflète la bonne aération de notre réacteur.

Ces résultats montrent les bonnes conditions pour la dépollution des lixiviats, ce qui pourrait estimer d'avoir des bons taux d'abattement.

1. Résultats des analyses physico-chimiques de lixiviats après traitement par SBR

Le tableau 4 montre les résultats des analyses physico-chimiques avant et après traitement par SBR. Les résultats sont présentés sous forme d'une moyenne de 7 semaines réalisés au cours de la période d'étude.

Tableau 4 : Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques du lixiviats avant et après traitement par SBR :

Paramètres (mg/l)	Effluent brut	Entrée SBR	Sortie SBR	% d'abattement	Norme de rejet direct
Température (°C)	19,6	22	22,6	-	30
pH	7,71	8,78	8,745		5,5-8,5
Conductivité électrique (ms/cm)	27	12,250	2,6625	75	2,7
Chlorure (mg cl/l)	-	1500	213	83	-
Salinité (%)	>40	14	7	53	-
Turbidité (NTU)	267	439	124,25	72	-
MES (mg/l)	723	4802	360	92	30
DCO (mg d'O ₂ /l)	6019	4100,42	1619,04	69	120
DBO ₅ (mg d'O ₂ /l)	440	266,28	44,85	85	40
Nitrate (mg/l)	11,350	19,19	3,017	82	-
Nitrite (mg /l)	1,172	1,42	0,276	79	-
Ammonium (mg /l)	39,308	2,78	0,41	85	-
Orthophosphate (mg /l)	5,718	8,89	1,41	89	2
Sulfate (mg /l)	-	1062,57	685,57	53	500
Oxygène dissout (mg/l)	-	6,455	5,7		-

Nous constatons d'après le tableau 4 et les figures (18, 19), une diminution importante de tous les paramètres et principalement la DBO₅, la DCO, la conductivité électrique, les formes azotées, l'orthophosphate, les sulfates et les MES.

Le taux d'abattement de la DBO₅ à la sortie de SBR est de 85% avec une concentration moyenne de 44,85 mg d'O₂/l qui est légèrement supérieure à la norme de rejet (40 mg d'O₂/l). Tandis que la DCO le taux d'abattement à la sortie de SBR est de 69% avec une concentration de 1619 mg d'O₂/l qui est largement supérieure à la norme de rejet (120 mg d'O₂/l), ce qui est en concordance avec d'autres résultats [3]. Nous pouvons expliquer ces taux d'abattements élevés de la DBO₅ et la DCO par la performance de la boue utilisée dans le SBR qui dégrade la matière organique biodégradable présente dans le lixiviat ainsi par la présence d'une biomasse épuratrice.

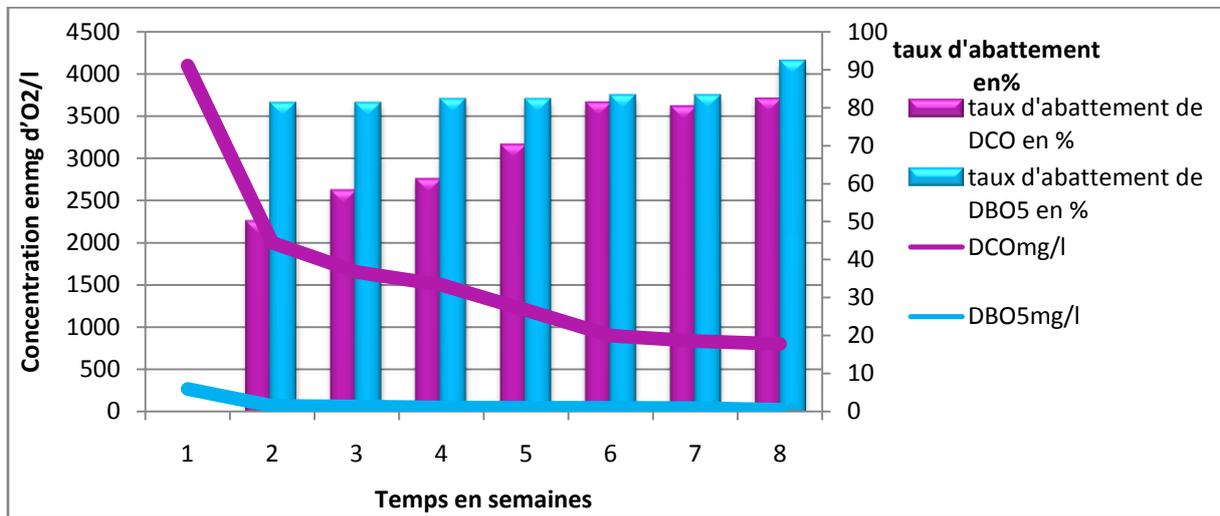


Figure 18 : Evolution des taux d'abattements de la DCO et la DBO₅ de l'effluent de lixiviats traité par SBR en fonction du temps

La concentration des orthophosphate diminuée de 8,89 mg/l jusqu'à 1,41 mg/l à la sortie du SBR avec un taux d'abattement de 89%. Ceci pourrait être expliqué par, une assimilation des orthophosphates par les bactéries [24].

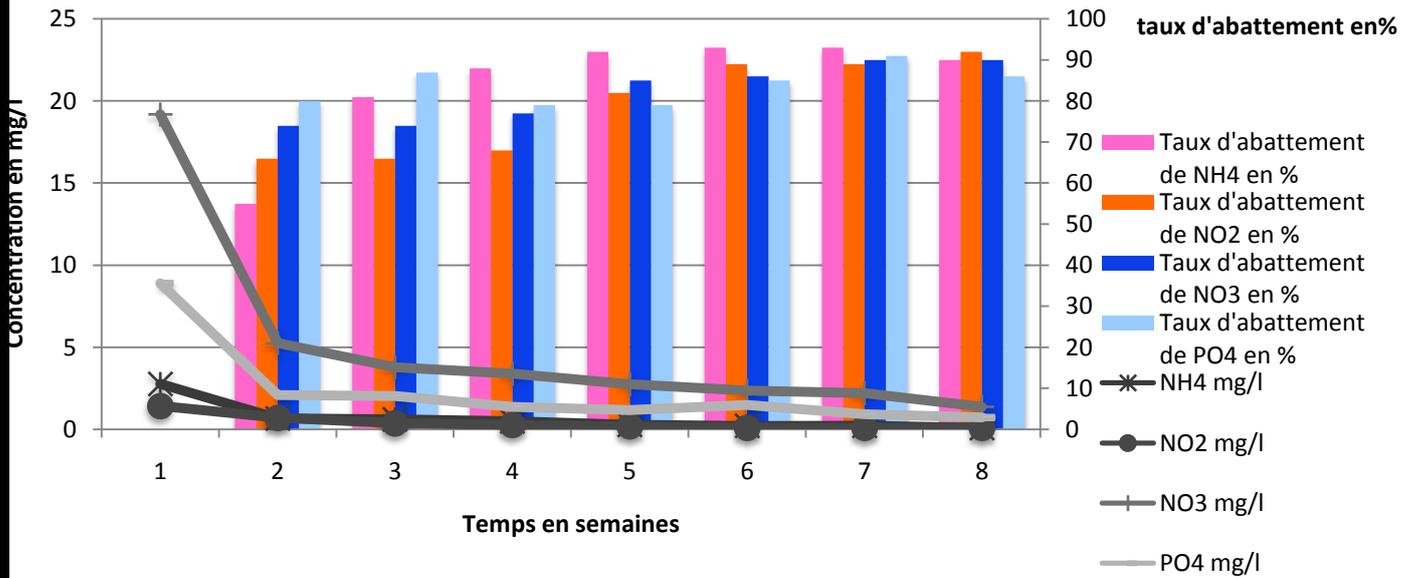


Figure 19: Evolution des taux d'abattelements de l'ammonium, nitrite, nitrate et orthophosphate de l'effluent de lixiviate traité par SBR en fonction du temps.

La concentration de l'ammonium à l'entrée du SBR est de 2,78 mg/l diminue jusqu'à la concentration de 0,41 mg/l à la sortie du SBR avec un taux d'abatement de 85%. Cette diminution de l'ammonium après traitement pourrait être expliquée par le phénomène de la Nitrification comme c'est déjà signalé. Alors que pour le nitrite la concentration à l'entrée du SBR de 1,42 mg/l diminue jusqu'à 0,276 mg/l à la sortie du SBR, avec un taux d'abatement de 79%. Ceci pourrait être expliqué par le phénomène de la nitratisation. Tandis que la concentration du nitrate à l'entrée du SBR de 19,19 mg/l diminue jusqu'à 3,017 mg/l à la sortie du SBR, avec un taux d'abatement de 82%. Cette réduction de la teneur en nitrate pourrait être expliquée par le processus de dénitrification aérobie réduisant le NO_3^- en N_2 par des bactéries hétérotrophes anaérobies facultatives [3]. Ceci est un avantage du SBR, puisque la dénitrification s'effectue normalement en phase anoxique est en présence d'une source de carbone. Cet avantage réside dans le faible cout du traitement de nitrate à grande échelle.

La concentration de MES du bioréacteur est de 4802 mg/l qui représente une concentration en biomasse suffisants pour le traitement. A la sortie du SBR nous constatons une réduction de MES avec un taux d'abatement de 92% (368 mg/l). Cette diminution pourrait être expliquée par l'indice de Mohlman calculé (appelé encore l'indice des boues). L'indice des boues calculé varie d'une valeur minimale de 75 ml/g à une valeur maximale de 98 ml/g, alors

que les normes exigent que l'indice des boues soit compris entre 50 et 150ml/g. Donc nos valeurs enregistrées sont loin de causer le phénomène de foisonnement des boues. D'après ces résultats nous constatons que les boues de notre bioréacteur ont subi une bonne décantation.

La mesure de la conductivité électrique constitue une bonne appréciation du degré de la minéralisation du lixiviat, la valeur moyenne enregistrée est de 12,250 mS/cm. Cette forte conductivité électrique pourrait s'expliquer par une forte teneur en sels. La salinité élevée du lixiviat est due principalement à la forte valeur des chlorures qui sont de 1500 mg/l à l'entrée de l'SBR.

2. Résultats des analyses microbiologiques de traitement de lixiats après traitement par SBR

D'après les résultats du tableau 5, nous constatons que le lixiviat brut est trop chargé surtout pour les germes de contamination fécale. Aussi il y a une absence totale des germes pathogènes à savoir les staphylocoques. Les résultats obtenus après traitement de lixiats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès par SBR, montrent que les indicateurs de la contamination fécale (coliforme fécaux et streptocoques fécaux) sont totalement éliminés avec un taux d'abattement de 100%, nous constatons aussi une réduction totale du germe pathogène à savoir les staphylocoques avec un abattement de 100%. La présence des staphylocoques est due principalement à la biomasse présente dans les boues vue leur absence dans l'effluent brut. Ceci pourrait être dû à la présence des substances et des sous produits résultant de la dégradation des polluants ayant un effet bactéricide et bactériostatique sur la biomasse, aussi à des phénomènes biologiques tels que : l'antagonisme, la compétition.... etc. Nous pouvons également suggérer cette élimination par l'effet de la décantation des germes présent dans les boues durant la phase de décantation.

Tableau 5: Les résultats des analyses microbiologiques avant et après traitement par SBR

Types de germes	Effluent brut	Entrée SBR	sortie SBR	% d'abattement
Germes totaux (UFC/mL)	6,89 10 ⁷	6,54 10 ⁶	1,3 10 ²	87
Coliformes totaux (UFC/mL)	1,65 10 ⁴	7 10 ⁶	0	100
Coliformes fécaux (UFC/mL)	1,3910 ⁵	2,23 10 ³	0	100
Streptocoques fécaux (UFC/mL)	1,39 10 ⁴	1,115 10 ²	0	100
Staphylocoques (UFC/mL)	0	3,9 10 ³	0	100
Levures (UFC/mL)	1,482 10 ⁷	1,40 10 ⁶	1,6 10 ³	86

I. Résultats des analyses des métaux lourds de traitement l'effluent de lixiviats par SBR

Le tableau 6 représente les résultats des métaux lourds de l'effluent de lixiviats traité par le système SBR.

Tableau 6 : résultats des métaux lourds de l'effluent de lixiviats traité par SBR

Echantillons	Entrée SBR	Sortie SBR	Normes de rejet
Al (mg/l)	0,5	0,2	10
Cd (mg/l)	0,5	0,2	0,2
Cr (mg/l)	2,76	2,45	0,5
Fe (mg/l)	0,5	0,2	5
Mn (mg/l)	0,5	0,2	1
Ni (mg/l)	8.75	6,04	5
Pb (mg/l)	1.1	<u>0,74</u>	1

La concentration du chrome atteint 2,76 mg/l à l'entrée du SBR. Ceci pourrait être due au fait que plusieurs unités de tannerie sont installées à Fès et rejettent leur effluent sans traitement préalable, il peut provenir à travers d'autres types de déchets collectés avec les ordures ménagère tels que les papiers cartons et le bois [3].

La concentration en Plomb attient 1,1mg/l, cela est en relation avec les rejets des unités industrielles, notamment dans les secteurs de l'imprimerie et de la fabrication des peintures à bases de plomb.

Le Nickel provient des déchets comme les piles, les caoutchoucs [7] et les effluents de dinanderie de la ville de Fès.

La concentration des métaux lourds sont en effet fortement liées à la composition des déchets. Cette forte variation en métaux pourrait être associée à la forte hétérogénéité des déchets. L'élimination des métaux par le SBR pourrait être due soit à l'accumulation des métaux par les boues par le transport actif ou passif ou les deux, soit par adsorption sur les membranes cellulaires. Cette différence des taux d'abattement pourrait être expliquée par la capacité de certaines bactéries à accumuler le métal.

III. Résultats des analyses de traitement de l'effluent de lixiviats par filtration

Pour la dépollution de l'effluent de lixiviats par le système de filtration, nous avons monté une colonne comme c'est déjà montré précédemment. On ce qui concerne le traitement de lixiviats par filtration, les analyses physico-chimiques ont été réalisées une fois par semaine. Le premier jour du traitement de l'effluent par filtration était le 17 Mars 2015. Le 25 Mars 2015 était pour la première analyse microbiologique. Les résultats sont présentés sous forme d'une moyenne de 5 semaines réalisés au cours de la période d'étude.

1. Résultats des analyses physico-chimiques

a) Débit de filtration et temps de séjour

Les premières analyses étaient la détermination du débit de filtration et le temps de séjour qui est le temps nécessaire pour le passage de l'effluent dans la colonne. Ces deux paramètres nous donnent une idée sur la durée de contact entre le support et l'effluent. Plus le temps de séjour augmente plus le contact est bon et l'inverse pour le débit de filtration.

Le débit de filtration est de 1,9 ml/min, alors que le temps de séjour est de 8 min.

b) Paramètres physico-chimiques

Le tableau 7 et les figures (21, 22) montrent les résultats des analyses physico-chimiques pour l'effluent brut et le filtrat avec leurs taux d'abattement.

Tableau 7 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'effluent brut et le filtrat

Paramètres (mg/l)	Effluent But	Entrée colonne	Sortie colonne	% d'abattement	Norme de rejet direct
Température (°C)	19,6	22	22	-	30
Ph	7,71	8,12	7,70	-	5,5-8,5
Conductivité (ms/cm)	27	23,6	12	54	2,7
Chlorure (mg cl /l)	-	1450	100	90	-
Salinité (%)	>40	37,66	2	95	-
Turbidité (NTU)	267	177,33	2,1	99	-
MES (mg/l)	723	425,2	<u>0</u>	100	30
DCO (mg d'O ₂ /l)	6019	3751,2	<u>377,39</u>	91	120
DBO ₅ (mg d'O ₂ /l)	440	191,7	<u>3,59</u>	97	40
Nitrate (mg/l)	11,350	12,55	0,88	92	-
Nitrite (mg /l)	1,172	0,67	0,22	95	-
Ammonium (mg /l)	39,308	1,25	0,21	96	-
Orthophosphate (mg /l)	5,718	4,4746	<u>0,31</u>	96	2
Sulfate (mg /l)	-	1070	<u>400</u>	63	500



Photo 20 : Décoloration de l'effluent de lixiviats.

D'après la figure 20, nous avons observé une décoloration totale de l'effluent de lixiviats traité par filtration. Ceci s'explique par la rétention de la matière organique et minérale par les cendres volantes puisque ces cendres volantes sont riches en silicium, en fer, en aluminium qui permettent de fixer la charge organique et minérale de l'effluent.

D'après le tableau 7 nous constatons une diminution très importante de la DCO, la DBO₅, la conductivité électrique, les formes azotées, l'orthophosphate, les sulfates et les MES.

La figure 21 montre une réduction de la pollution organique en termes de DCO et de DBO₅ avec un taux d'abattement de 91%, 97% respectivement.

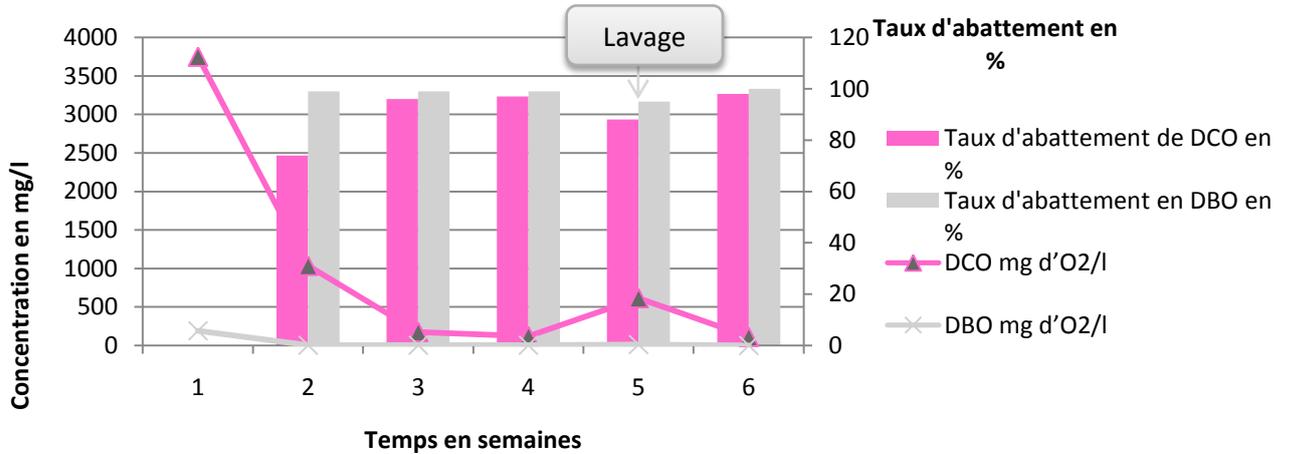


Figure 21 : Evolution des taux d'abattements de la DCO et la DBO₅ de l'effluent de lixiviats traité par filtration en fonction du temps

Concernant l'orthophosphate, l'ammonium, le nitrite, le nitrate et les MES, les résultats montrent des taux d'abattement très élevés qui sont de 96%, 96%, 95%, 92%, 100% respectivement.

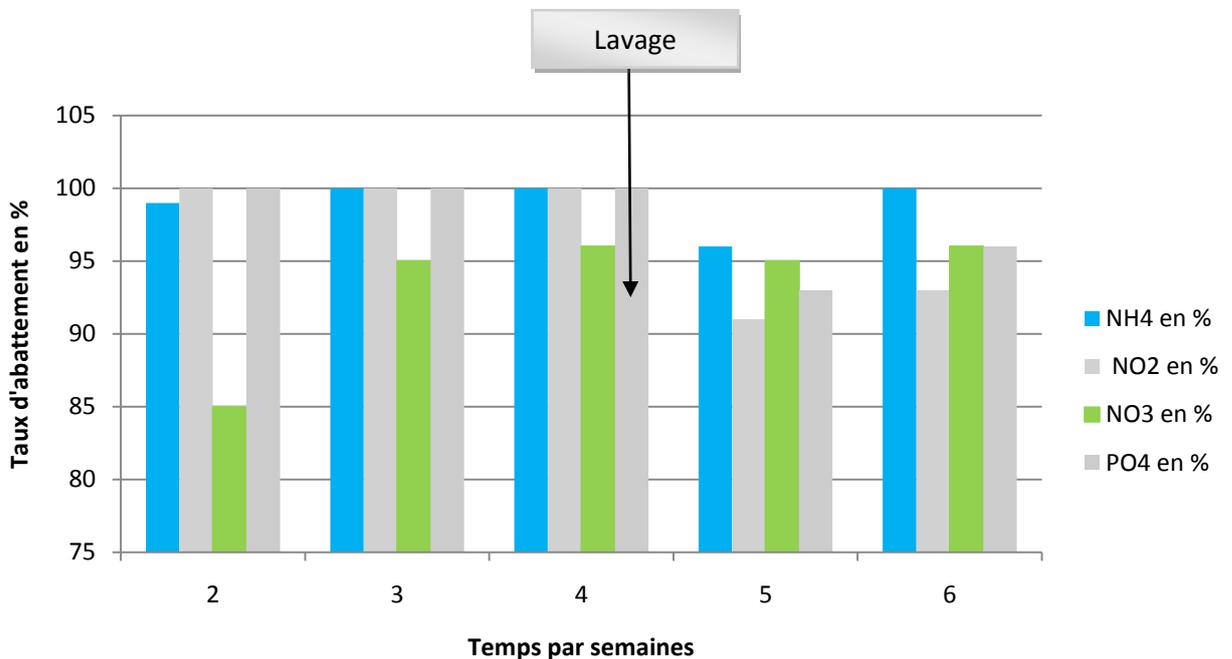


Figure 22 : Evolution des taux d'abattements de l'ammonium, le nitrite, le nitrate et l'orthophosphate de l'effluent de lixiviats traité par filtration en fonction du temps

Ce pouvoir épuratoire élevé pourrait être expliqué par la faible taille granulométrique des cendres volantes qui ne dépasse pas les 200 µm qui retiennent tous les polluants ainsi que la matrice silico-alumineuse des cendres volantes. Ce qui permet une meilleure performance du traitement des lixiviats par augmentation de la surface d'échange grâce à la diminution des dimensions des grains d'adsorption.

Nous pouvons aussi suggérer cette élimination par la forte teneur en SiO₂ (structure silicoalumineuse) des cendres volantes. C'est un adsorbant possédant une forte polarité électrique et son richesse en silice, aluminium et en fer et qui sont chargés positivement. Ces derniers contribuent à la neutralisation des charges négatives des nitrites, des nitrates et de l'orthophosphate, des chlorures et des sulfates, et qui vont les piéger par des liaisons chimiques. Nous pouvons expliquer aussi cette augmentation des taux d'abattement par la formation des biofilms à l'intérieure de la colonne. Les polluants de l'effluent brut pourraient soit s'adsorber sur la membrane cellulaire des germes formant les biofilms, soit être l'assimilation par les biofilms en intervenant des mécanismes cellulaires (matériels enzymatiques, modes de transport passive ou actif ou les deux....etc).

La diminution des taux d'abattement de l'ensemble des paramètres, est due à la saturation de support, mais après un lavage simple à l'eau de robinet de la colonne de filtration (semaine 4 figure 22), il y a une augmentation à nouveau des taux d'abattement des tous les paramètres.

2. Résultats des analyses microbiologiques de l'effluent de lixiviats après traitement par filtration

Le tableau 8 représente les analyses microbiologiques du filtrat. Nous constatons que les indicateurs de contamination fécale (Coliforme fécaux et Streptocoques fécaux) sont totalement éliminés avec un taux d'abattement de 100%, et une absence totale des germes pathogènes (Staphylocoques). Ceci pourrait être expliqué par le faite que les bactéries sont retenues par le support (cendres volantes) par adsorption mais aussi par des phénomènes biologiques tels que : l'antagonisme.

Tableau 8 : Résultats des analyses microbiologiques de filtrat

Types des germes	Entre filtration	Sortie filtration	% d'abattement
Germes totaux (UFC/mL)	2,54 10 ⁶	100	95
Coliformes totaux (UFC/mL)	7 10 ²	0	100
Coliformes fécaux (UFC/mL)	45	0	100
Streptocoques fécaux (UFC/mL)	40	0	100
Staphylocoques (UFC/mL)	0	0	-
Levures (UFC/mL)	1,2 10 ⁶	0	100

3. Résultats des analyses des métaux lourds de traitement de l'effluent de lixiviats par filtration

Le tableau 9 représente les résultats des métaux lourds de l'effluent de lixiviats traité par le système de filtration.

Tableau 9 : résultats des métaux lourds de l'effluent de lixiviats traité par filtration

Echantillons	Entre filtration	Sortie filtration	Normes de rejet
Al (mg/l)	0,1	0,1	10
Cd (mg/l)	0,1	0,1	0,2
Cr (mg/l)	0,25	0,02	0,5
Fe (mg/l)	0,1	0,1	5
Mn (mg/l)	0,1	0,1	1
Ni (mg/l)	0,1	0,094	5
Pb (mg/l)	0,1	0,1	1

Les cendres volantes ont montré une meilleure dépollution. Ceci pourrait être expliqué par la formation du biofilm dans la colonne qui permet une réduction par adsorption sur la membrane cellulaire et/ou par assimilation, ainsi que par la structure poreuse et silicoalumineuse de ces cendres qui est capable de retenir les métaux lourds en les piégeant dans leurs pores par absorption et/ou de les lier avec des liaisons chimiques à ses résines (l'aluminium, le fer et la silice) par adsorption comme c'est déjà signalé pour les paramètres physico-chimiques.

IV. Résultats du couplage du traitement biologique et physique de lixiviats

Comme c'est déjà mentionné ci-dessus, le rapport DCO/ DBO₅ montrent que l'effluent de lixiviats sont riches en matières organiques réfractaires. Ainsi d'après les résultats obtenus, le traitement de lixiviats par SBR aboutit à des résultats qui ne répondent pas à la norme de rejet Marocaine en terme de DCO et de DBO₅. C'est pour cette raison que nous avons procédé à un couplage du procédé SBR avec le système de filtration, afin d'éliminer la totalité des polluants, et répondre à la norme de rejet.

1. Résultats des analyses physico-chimiques de lixiviats après couplage de procédé biologique et le système de filtration

Le tableau 10 et les figures (23,24) représentent les résultats des analyses physico-chimiques du lixiviat avant et après couplage (SBR suivi par filtration). Les résultats sont présentés sous forme d'une moyenne de 6 semaines réalisés au cours de la période d'étude.

Tableau 10 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'effluent de lixiviats après couplage de procédé SBR avec le système de filtration

Paramètres (mg/l)	Effluent brut	Entre SBR	Sortie SBR	Sortie filtration	% d'abattement	Norme de rejet direct
DCO (mg d'O ₂ /l)	6019	4652	<u>1015</u>	<u>55,83</u>	95	120
DBO (mg d'O ₂ /l)	440	253,33	<u>35,16</u>	<u>3,23</u>	91	40
Nitrate (mg/l)	11,350	20,51	<u>2,75</u>	0,494	82	-
Nitrite (mg /l)	1,172	2,02	<u>0,54</u>	0,0615	89	-
Ammonium (mg /l)	39,308	1,367	<u>0,542</u>	0,059	89	-
Orthophosphate (mg /l)	5,718	7,58	<u>2,74</u>	<u>0,014</u>	99,5	2
Sulfate (mg /l)	-	650,833	<u>370,66</u>	<u>61,63</u>	84	500
MES (mg/l)	723	6643	<u>349</u>	<u>0</u>	100	30

Après couplage des deux procédés, nous avons pu obtenir des taux d'abattelements allant jusqu'au 95% d'élimination de la DCO avec une concentration de 55,83 mg d'O₂/l qui est largement inférieure à la norme de rejet Marocaine (120 mg d'O₂/l), à 91% d'élimination de la DBO₅ avec une concentration de 3,23 mg d'O₂/l qui est largement inférieure à la norme de rejet Marocaine (40 mg d'O₂/l).

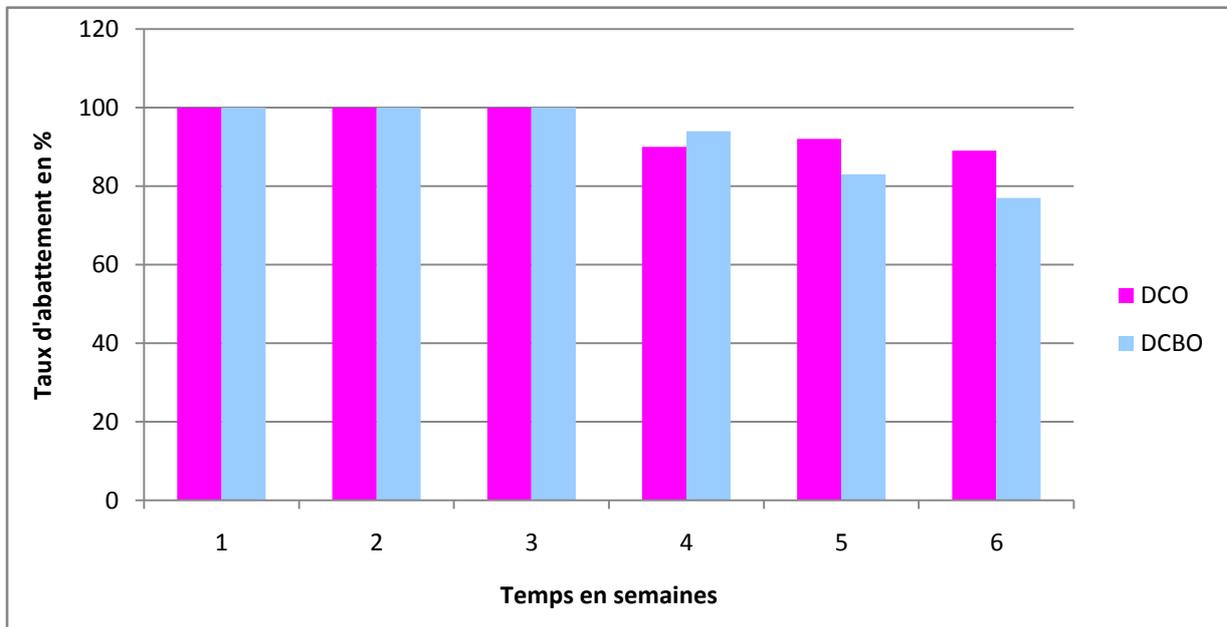


Figure 23 : Evolution des taux d'abattelements de la DCO et la DBO de l'effluent des lixiviats traités par le système combiné en fonction du temps

Une élimination totale de la MES a été observée avec un abattement de 100%. Alors que pour l'ammonium, le nitrite, le nitrate, les sulfates et l'orthophosphate, nous avons pu obtenir des taux d'abattement très élevés de 89%, 89%, 82%, 8%, 99,5% respectivement.

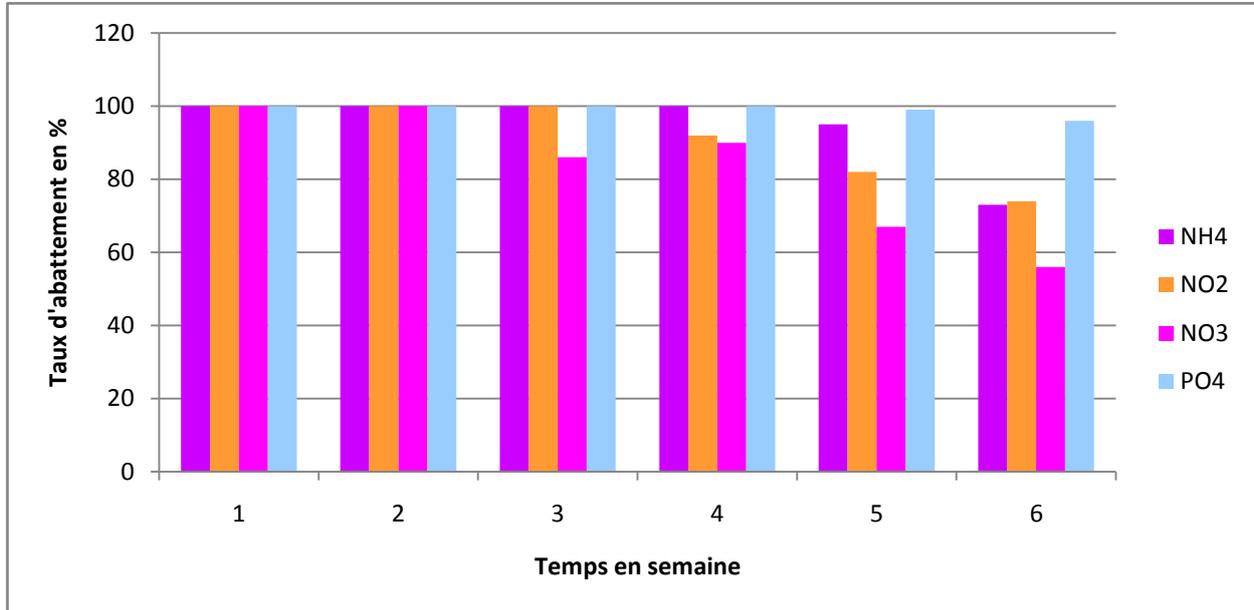


Figure 24 : Evolution des taux d'abattelements de l'ammonium, nitrite, nitrate et orthophosphate de l'effluent de lixiviats traités par système combiné en fonction du temps

Pour l'ensemble des paramètres, après la troisième semaine il ya une diminution des taux d'abattement, ceci est s'expliqué par le colmatage du support.

Nous pouvons expliquer cette élimination totale des polluants par la filtration de l'effluent issu du système SBR, par une faible chargé de l'effluent de lixiviats traité par SBR, la faible taille granulométrique des cendres volantes qui ne dépasse pas les 200 µm qui permettant de retenir tous les polluants, par la forte teneur en SiO₂ (structure silicoalumineuse), et la formation des biofilms à l'intérieure de la colonne.

Le couplage des deux systèmes a permis de donner de très bons résultats en comparaison avec le système SBR et filtration, ce qui a permis une élimination presque totale de la charge polluante.

2. Résultats des analyses microbiologiques de lixiviats après couplage de deux procédés.

Le tableau 11 représente les analyses microbiologiques après couplage du SBR avec le système de filtration. Nous constatons qu'après couplage des deux procédés il y a une élimination totale des germes de contamination fécale à savoir les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. Ceci pourrait être expliqué par l'adsorption de ces germes sur les granules fine des cendres volantes. La présence des germes totaux et les levures dans le filtrat pourrait s'expliquer par la présence des biofilms le long de la colonne, qui par percolation-filtration, les germes constituant ce biofilm et les germes présents dans l'effluent traité par SBR passent le long des colonnes et arrivent enfin dans le filtra.

Tableau 11 : Résultats des analyses microbiologiques de lixiviats après couplage

Types des germes	Entre SBR	Sortie SBR	Sortie filtration	% d'abattement
Germes totaux (UFC/mL)	$6,54 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^2$	10	92
Coliformes totaux (UFC/mL)	$7 \cdot 10^6$	0	0	100
Coliformes fécaux (UFC/mL)	$2,23 \cdot 10^3$	0	0	100
Streptocoques fécaux (UFC/mL)	$1,115 \cdot 10^2$	40	0	100
Staphylocoques (UFC/mL)	$3,9 \cdot 10^3$	0	0	100
Levures (UFC/mL)	$1,40 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^3$	15	99

Conclusion générale

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet original financé par le Ministère de l'environnement sous la coordination de Monsieur **Mohammed MERZOUKI**, dont l'objectif principale est le traitement de l'effluent de lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès par un procédé biologique et physique. Le projet démarrera dans quelques jours. Les effluents de lixiviat de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès sont chargés en matière organique et minérale, et qui présentent des risques énormes pour l'homme et l'environnement.

La caractérisation physico-chimique et microbiologique de l'effluent brut, a montré que cet effluent ne répond pas à la norme de rejet Marocaine. La DCO, la DBO₅, la conductivité électrique, les MES, le nitrate, l'ammonium, les nitrites et l'orthophosphate ainsi que les germes recherchés, représentent les paramètres les plus fortement chargés.

Le traitement de l'effluent de lixiviats par SBR, permet la mise en évidence du degré de pollution générée par les lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès. Après le traitement de lixiviats par SBR, nous avons constaté que le taux d'abattement de la DBO₅ (85%) est beaucoup plus important que la DCO (69%). Nous avons pu obtenir également une réduction des ions NH₄⁺ (85%), NO₃⁻ (82%), NO₂⁻ (79%) et les MES (92%). Egalement nous avons pu atteindre un taux d'abattement presque total de l'ensemble des germes.

Le traitement de l'effluent de lixiviats par filtration a montré une haute performance de la dépollution physico-chimique, métallique et microbiologique de cet effluent. Les cendres volantes montrent des taux d'abattement importants (DCO : 91%, DBO₅ : 97%, NH₄⁺ : 96%, NO₃⁻ : 92%, NO₂⁻ : 95% et des MES : 100%), non seulement pour les paramètres physico-chimiques mais également pour les métaux lourds et la charge microbienne, chose qui montre leur capacité épuratrice. Ce qui permet d'avoir des concentrations finales qui répondent à la norme de rejet Marocaine.

Les lixiviats bruts présentent une forte teneur en DCO avec une moyenne de 6019 mgd'O₂/l et en DBO₅ avec une moyenne de 440 mgd'O₂/l. Le traitement de lixiviats par voie biologique et par voie physique a abouti à des taux d'abatte-ments moyens en terme de DCO,

et rapport DBO₅/DCO montrent que les lixiviats sont faiblement biodégradables, et c'est pour cette raison que nous avons procédé à un couplage du procédé biologique SBR avec le système de filtration. Le traitement de lixiviats par SBR suivi par filtration permis d'atteindre d'excellents résultats en terme de tous les paramètres physico-chimiques allant jusqu'à 95% d'abattement de la DCO, 91% d'abattement pour la DBO₅, 100% d'abattement de la MES, et qui répondent à la norme de rejet. Mais également aboutit à des taux d'abattement de 100% pour la totalité des germes.

A travers ces résultats, notre système de traitement pourrait être utilisé à grande échelle pour traiter les lixiviats des décharges contrôlées à l'échelle nationale. Par conséquent, la problématique de la gestion de ces déchets à l'échelle régionale et nationale sera résolue. De ce faite, notre travail est original à l'échelle nationale et internationale et sera pour la première fois valorisé au Maroc pour traiter les lixiviats de la décharge contrôlée de la ville de Fès.

Perspectives

Nous avons pu atteindre nos objectifs, mais il reste un certain nombre de points pour compléter cette étude tels que :

- ❖ Isolement et purification des souches formant le biofilm dans la colonne des cendres volantes et leur identification microscopique et moléculaire afin de les utiliser en bioaugmentation.
- ❖ Isolement des souches à partir du bioréacteur, et leur identification moléculaire afin de les utiliser en bioaugmentation.
- ❖ Le traitement des lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès à grande échelle en utilisant le procédé biologiques SBR couplé au système de filtration garni avec les cendres volantes comme support de filtration.

Références bibliographiques

[1] **Berthe C. (2006)** thèse de doctorat : Etude de la matière organique contenue dans des lixiviats issus des différentes filières de traitement des déchets ménagères et assimilés.

[2] Rapport sur le secteur des déchets solides au Maroc. (2013) Situation actuelle et perspectives de développement. Ministère de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement et Secrétariat d'état chargé de l'environnement, direction de surveillance et de la prévention des risques .p 4.46-51.

[3] **EL Fadel H. (2012)** thèse de doctorat : Traitement physico-chimique et biologiques des lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès : Application des procédés de filtration, coagulation-floculation et du SBR.

[4] **BOUCHTIA H.** Chef de Projets Commission Economie Verte. Focus sur les déchets industriels

[5] Stratégie de gestion des déchets médicaux et pharmaceutiques.

[6] **Tabet. M - Aoul. (2001)** Types de traitement des déchets solides urbains évaluation des coûts et impacts sur environnement. Rev. Energ. Ren, (2001) 97- 102.

[7] **Saadi S., Sbaa M., EL Khormouz M.** Physio-chemical characterization of oujda city landfill leachates (Eastern Morocco). Sciencelib, ISSN 2111-4706.

[8] **Trabelsi S. (2012)** 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". Thèse de Doctorat de l'Université Paris- Est et Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie.

[9] **Kulikowska D and Klimiuk E. (2008)** The effect of landfill age on municipal leachate composition, Bioresource. Technol. 99 /5981-5985.

[10] **Colin F. (1984)** Étude des mécanismes de la genèse des lixiviats. Inventaire et examen critique des tests de laboratoire, Nancy IRH - Rapport RH 84-136.

[11] **Chen P.H. (1996)** Assessment of leachates from sanitary landfills: impact of age, rainfall and treatment, *Environ. Int.* 22 /225–237.

[12] **Kurniawan T.A., Lo W.H and Chan G.Y.S. (2006)** Degradation of recalcitrant compounds from stabilized landfill leachate using a combination of ozone-GAC adsorption treatment, *J. Hazard. Mater.* 137/433-455.

[13] **Wu J., Zhang H., He P.J and Shao L.M. (2011)** Insight into the heavy metal binding potential of dissolved organic matter in MSW leachate using EEM quenching combined with PARAFAC analysis, *Water Res.* 45/1711-1719.

[14] **Graindorge P. (1990)** Contribution á l'étude du traitement des déchets urbains par fermentation méthanique. Thèse de Doctorat, Université de Sciences et techniques du Languedoc, Montpellier. France.

[15] **Shearer B. (2001)** Enhanced degradation in landfills. Master of Science in Environmental Engineering, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 50 pages.

[16] **Matejka G., Rinke M, Mejbri R., Bril H. (2008)** Pollution engendree par un lixiviat de décharge d'ordures ménageres: Bilan hydeique et caracterisation. *Environmental Technology*, 15:4, 313-322.

[17] **Emilien B. (2006)** Evolution de l'impact environnemental de lixiviats d'ordures ménagères sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydro biologique et hydrogéologique. Site d'étude : décharge d'Etueffont.

[18] **Bouchet C.** traitement des lixiviats : des effluents complexes qui nécessitent un traitement poussé.

[19] Génie et modélisation des bioprocédés de l'environnement I. Séminaire : Sequencing batch reactor. Ecole polytechnique fédérale de lausanne.Oct. 2004.

[20] **Silva A.C., Dezotti M and Sant'Anna Jr G.L. (2004)** Treatment and detoxication of a sanitary landfill leachate, *Chemosphere*.55/207–214.

[21] **Amokrane A., Comel C and Veron J. (1997)** Landfill leachates pretreatment by coagulationflocculation, *Water Res.* 31/2775-2782.

[22] **Rodriguez J., Castrillon L., Maranon E., Sastre H and Fernandez E. (2004)** Removal of nonbiodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption, *Water Res.* 38-3297–3303.1, 473-478.

[23] : **Thiery.M. (2005)** Modélisation de la carbonatation atmosphérique des bétons-Prise en compte des effets cinétiques et de l'évolution de la microstructure et de l'état hydrique. Ecole nationale des Ponts et chaussées (LCPC).

[24] **Merzouki M. (2001)** Thèse de doctorat d'Etat « Déphosphoration anoxique d'effluents par voie biologique : Optimisation et mise en œuvre d'un procédé intégré de dépollution azotée et phosphorée.

[25]**Rabiet M. (2006)** Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant Méditerranéen Apport des éléments majeurs, traces et terres rares.

[26] **Zalaghi A., Lamchouri F., Toufik H., Merzouki M. (2014)** Valorisation des matériaux naturels poreux dans le traitement des lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza. *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (5) (2014) 1643-1652.

[27] **Smahi D., Fekri A., El Hammoumi W.,** *International Journal of Geosciences*, 4 (2013) 202-211. 2. Ben Abou M., El Haji M.

[28] **Ben Abou M., El Haji M., Zenzami M., Fadil F.,** *Afrique Science*, 10(1) (2014) 171 – 180.

[29] **Chtioui F., Khalil F., Souabi S., Aboulhassan M.A. (2008)** Evaluation de la pollution générée par les lixiviats de la décharge publique de la ville de Fès.

[30] Organisation mondial de sante

[31] **Faouzi M., Merzouki M., El Fadel H., Benlemlih M.(2008)** The SBR process : an afficent and economical solution for depolution of th effluent produced by the gaseous drinks company of north- fez (Morocco).

Annexes

Composition du milieu YPG (Yeast, Peptone, Glucose) dans un litre de l'eau distillée:

Extrait de levure : 10 g

Peptone : 10 g

Glucose : 10 g

Agar : 17 g

Dissoudre les composants à chaud après stérilisation à 120°C pendant 20 minutes.