

Procédé pour la réduction de la charge polluante du lixiviat de la décharge contrôlée de la ville de Fès

EZ ZOUBI Yassine 1, 2, MERZOUKI Mohamed1*, BENNANI Laila2, EL OUALI LALAMI Abdelhakim2, BENLEMLIH Mohamed1

1. Laboratoire de Biotechnologie, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, BP 1796, Atlas, Fès, Maroc.

2. Laboratoire Régional de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu, Direction Régionale de la Santé, Hôpital EL GHASSANI, Fès, Maroc.

Pour toute correspondance : merzoukimo@yahoo.fr

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de l'évolution des paramètres chimiques et microbiologiques du lixiviat de la décharge contrôlée de la ville de Fès avant et après traitement chimique et biologique. La caractérisation du lixiviat brut a montré une forte pollution organique. En effet, la concentration moyenne de la DCO_t est de 5,32 10⁴ mg/l et de la DBO₅ est de 2 10⁴ mg/l. La concentration des MES varie autour de 5 500 mg/l, tandis que les concentrations en ammonium, nitrate et nitrite varient autour de 2,4 mg/l, 11,3 et 3 mg/l respectivement.

L'analyse des germes de pollution fécale du lixiviat brut a montré la présence de forte concentration en coliformes totaux (CT) d'une valeur moyenne de 6,28 10⁶ UFC/ml, tandis que les concentrations moyennes des coliformes fécaux (CF) et des streptocoques fécaux (SF) sont de 1,39 10⁵ et 6 10⁶ respectivement.

Les résultats de la caractérisation physico-chimique et microbiologique du lixiviat coagulé par le chlorure ferrique ont montré une légère diminution de la DCO_t et la DBO₅ avec des valeurs moyennes de 42 000 et 14 200 mg/l respectivement. Les MES sont diminuées à la moitié après le traitement physico-chimique. Pour les paramètres microbiens, le traitement physico-chimique a baissé la concentration des CT à 7,08 10⁵ UFC/ml, les CF à 2,37 10⁴ UFC/ml et les SF à 7,6 10⁵ UFC/ml, avec des taux d'abattement de 88,8 %, 82,94 % et 87,35 % respectivement. Le traitement par le système combiné a donné des résultats très efficaces, tant pour l'abattement des paramètres physico-chimiques que pour les paramètres microbiologiques. Pour la DCO_t et la DBO₅, les valeurs enregistrées à la sortie du SBR répondent aux normes marocaines de rejets indirects avec des valeurs moyennes de 1 027 et 167 mg/l respectivement. Les CT et CF sont totalement éliminés à la sortie du système combiné. Les SF et les staphylocoques ont enregistré des taux d'abattement dépassant les 99,98 %.

Mots clés : décharge publique contrôlée, lixiviat, coagulation-floculation, SBR.

I. Introduction

Au Maroc, comme tous les pays du monde, les activités socio-économiques couplées à l'accroissement démographique et aux changements dans le mode de consommation génèrent une production importante des déchets solides. Dans les décharges, la décomposition des déchets par les microorganismes génère des composés solubles qui, sous l'action du lessivage et de l'infiltration des eaux météoriques, se mélangent pour former le « jus de déchets » dénommé « lixiviat » (KHATTABI, 2002). Les lixiviats représentent une source concentrée de polluants chimiques et microbiologiques. Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela peut avoir pour conséquence la pollution des puits d'eau de consommation. Aujourd'hui, il existe une large panoplie de techniques de traitement, pour la plupart issus de l'épuration des eaux résiduaires ou des eaux potables. Quatre grands groupes de procédés peuvent être définis :

- Les traitements biologiques ;
- Les traitements physico-chimiques ;
- Les traitements membranaires ;
- Les traitements de finition comme l'évaporation, la déshydratation, la distillation ou l'incinération.

La décharge contrôlée de la ville de Fès produit une quantité importante de lixiviat (15 l/min), qui ne répond pas aux normes marocaine de rejets. Le but de ce travail est de réduire la charge microbienne et chimique du lixiviat de la décharge contrôlée de la ville de Fès par traitement chimique avec coagulation-floculation combiné au système de traitement biologique par SBR.

2. Matériels et méthodes

La gestion déléguée de la décharge contrôlée de Fès entre dans le cadre d'un contrat de 10 ans entre la commune urbaine de Fès, le groupement des sociétés Ebgeboro International, Inc et ECOMED gestion des déchets qui prend en charge l'aménagement, la construction, le financement, l'équipement et l'exploitation de la décharge. La décharge contrôlée est construite sur un terrain de 110 ha situé dans la commune de Ain Bida sur la rocade menant à Sidi Hrazem. Elle reçoit un flux d'environ 100 véhicules par jour pour un tonnage variant entre 650 et 900 t/j.

2-1 Traitement physico-chimique du lixiviat par coagulation-floculation

Prélèvement

A l'extérieur des casiers, les lixiviats s'écoulent gravitairement au travers d'un tuyau en PEHD (\varnothing 32 mm). Ils sont récupérés dans des bidons en plastiques propres et lavés par l'eau distillée. La coagulation-floculation a été réalisée au laboratoire de chimie à la Faculté des Sciences Dhar El Mhraz de Fès en utilisant un jar test.

Coagulation

Nous avons mélangé dans un bécher 500 ml de lixiviat et 100 mg de chlorure ferrique. Le mélange est ensuite passé dans un jar test pour le test de coagulation à une vitesse de 150 tour/3 min.

Floculation

Après la déstabilisation des suspensions par la coagulation, le mélange est floculé dans le même jar test en diminuant la vitesse de rotation à 45 tour/3 min.

Décantation

Le mélange est décanté pendant 90 minutes.

2-2 Traitement biologique par SBR (Sequencing Batch Reactor)

Le procédé SBR est un procédé séquentiel discontinu dont le fonctionnement est basé sur le temps, contrairement aux procédés à boues activées classiques, basés sur l'espace (MOLETTA et al., 2001). Ainsi, toutes les phases du traitement ont lieu dans le même réacteur qui, en fonction des étapes, tient le rôle de bassin d'aération et du décanteur (Figure 1).

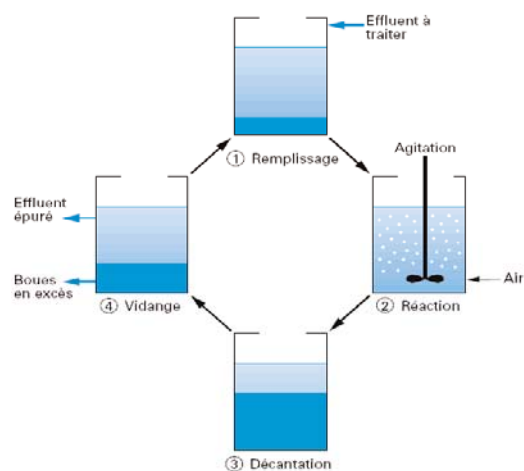


Figure 1: Principe de fonctionnement d'un réacteur SBR (Moletta et al., 2001)

Le volume traité au cours d'un cycle correspond à une journée de production et est stocké dans une première cuve tampon. Le réacteur contenant des boues activées est alimenté par l'effluent à traiter une seule fois par jour. L'aération est réalisée pendant plusieurs heures durant lesquelles l'eau est épurée, puis elle est arrêtée afin que les boues décantent.

Le surnageant est ensuite évacué et un nouveau volume d'effluent à traiter entre dans le réacteur. Lorsque la concentration des boues est très importante dans le réacteur, une partie des boues est soutirée (CORTHONDO et al., 2003).

Composition du bioréacteur

Notre bioréacteur a un volume de 3 litres séparés de la façon suivante : 500 ml de boue, 2 450 ml d'eau distillé et 50 ml de lixiviat à traiter.

Soutirage des boues en excès

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 :

$$\text{Age des boues} = V/Q$$

V : le volume du bioréacteur (3 000 ml)

Q : le volume de la boue à soutirer

Dans notre réacteur, nous avons travaillé avec un âge de boues de 15 jours, donc le volume de la boue à soutirer est de 200 ml par jour.

2-3 Analyses des paramètres physico-chimiques du lixiviat avant et après traitement physico-chimique et biologique

Les eaux du lixiviat sont riches en polluants organiques et minéraux. Ces polluants sont à l'état soluble, colloïdal et en suspension. Afin d'évaluer l'efficacité du traitement par coagulation-floculation et par le système SBR, différents paramètres ont été mesurés au laboratoire de biotechnologie à la faculté des sciences Dhar El Mehraz, tels que : la température, le pH, les matières en suspension, l'oxygène dissous, la DCO, la DBO₅, les orthophosphates, l'ammonium, les nitrites et les nitrates (Tableau I).

Le lixiviat constitue un réservoir essentiel de la flore microbienne, notamment les agents pathogènes responsables des épidémies telles que l'hépatite, le cholera, la typhoïde (EMILIE., 2002). Pour cela, nous nous sommes limités aux bactéries témoins de la contamination fécale telles que les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques fécaux et les clostridiens sulfitoréducteurs (Tableau II). Pour le dénombrement des bactéries indicatrices de pollution fécale, nous avons inoculé 1 ml de nos échantillon au fond des boîtes de Petri après avoir préparé les différentes dilutions du lixiviat brut et traité.

La recherche des salmonelles comporte quatre étapes (RODIER, 1996) selon la norme marocaine n° 03.7.050 :

- un pré-enrichissement dans l'eau peptonée tamponnée à double concentration et incubation à 37 °C pendant 6 à 18 heures ;
- un enrichissement dans le bouillon Rappaport à 42 °C pendant 18 à 24 heures ;
- l'isolement sur milieu sélectif qui consiste à ensemencer le milieu Hektoen à partir du bouillon d'enrichissement, et incubation à 37 °C pendant 24 à 48 heures ;

— l'identification dans laquelle les colonies suspectes sur milieu Hektoen, lactose négatif à centre noir, sont repiquées sur milieu Kligler en tube et incubées à 37 °C pendant 24 heures.

Dans notre cas, nous avons procédé à l'identification biochimique des souches suspectes de salmonelles par la galerie conventionnelle et la galerie API 20 E dont les caractères biochimiques sont comparables à ceux recherchés dans les méthodes conventionnelles d'identification. Cependant, la lecture des tests est plus rapide. En ce qui concerne la recherche des vibrions cholériques dans l'eau usée, elle comporte trois étapes selon la norme marocaine n° 03.7.051 :

— l'enrichissement qui comporte un premier enrichissement dans l'eau péptonée tamponnée dix fois concentrée à 37 °C pendant 6 heures, suivie d'un deuxième enrichissement dans l'eau péptonée tamponnée simple à 37 °C pendant 6 heures ;

— l'isolement sur milieu sélectif qui consiste à ensemencer le milieu TCBS (milieu Thiosulfate Citrate Bile Saccharose) à partir du bouillon d'enrichissement ;

— et incubation à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Les colonies suspectes sur milieu TCBS, saccharose positif (de 1 à 2 mm de diamètre), sont repiquées sur milieu Kligler et incubées à 37 °C pendant 24 heures. Ceci incite à l'identification biochimique (en utilisant les galeries API 20 N E) ou sérologique (à l'aide des sérums spécifiques).

Les analyses microbiologiques ont été réalisées à l'Unité d'Hygiène au Laboratoire Régional de Diagnostic Épidémiologique et d'Hygiène du Milieu de la Direction Régionale de la Santé de la ville de Fès (LRDEHM).

3. Résultats et discussions

3.1 Evolution des paramètres physico-chimiques avant et après traitement par coagulation-floculation.

Nous avons analysé l'évolution du lixiviat avant et après traitement physico-chimique avec le chlorure ferrique dans le but de réduire ou d'éliminer sa charge organique et minérale par coagulation-floculation. Nous avons réalisé 5 essais, puis nous avons calculé la moyenne des concentrations de chaque paramètre et leurs taux d'abattement. Les résultats sont représentés dans le tableau III.

3.1.1 La température, le pH et l'oxygène dissous

La température moyenne du lixiviat est de l'ordre de 20 °C. Les valeurs du pH du lixiviat présentent une stabilité avant ou après la coagulation-floculation avec un pH moyen de 7,11 pour le lixiviat brut et 7,09 pour le coagulat. D'après nos études, la quantité du chlorure ferrique n'affecte pas la valeur du pH.

Pour l'ensemble des prélèvements du lixiviat brut, les valeurs enregistrées en oxygène dissous sont très faibles, de l'ordre de 0,86 mg/l. La même valeur a été enregistrée dans le coagulat.

Nous pouvons conclure que la coagulation-floculation n'a aucun effet sur le taux d'oxygène dissous.

3.1.2 DCOt et DBO₅

La DCOt permet de déterminer la teneur en matière organique biodégradable et non biodégradable. La DBO₅ permet de déterminer la teneur en matière organique biodégradable en 5 jours. Le tableau III montre une diminution de la DCOt du lixiviat brut d'une concentration moyenne de 53 199,6 mg/l à 41 933 mg/l pour le coagulat. Le taux d'abattement varie entre 20 % comme valeur minimale et 35 % comme valeur maximale. La DCOt éliminée correspond à la DCOt dure. Cela traduit une élimination des composés organiques principalement par adsorption sur les chlorures ferriques (WANG et al., 2002). Le taux d'abattement moyen de la DBO₅ est de 29,17 %. Les valeurs minimale et maximale sont de l'ordre de 16,66 % et 33,33 % respectivement.

3.1.3 Les orthophosphates

Le phosphore peut se rencontrer sous forme de sels minéraux mais aussi sous forme de composés organiques. Ces différents composés sont soit solubilisés, soit fixés sur les matières en suspension (RODIER et al., 1996). Les orthophosphates réagissent rapidement avec le chlorure ferrique par leurs charges négatives pour former des précipités amorphes. D'après les résultats, la valeur moyenne des orthophosphates du lixiviat brut est de 16,61 mg/l, alors que le lixiviat coagulé a une concentration de 14,6 mg/l. Le taux d'abattement est très faible puisqu'il ne dépasse pas 12,1 % à une concentration de 100 mg/l. Ce résultat peut être expliqué par la faible concentration des orthophosphates dans le lixiviat brut.

3.1.4 Les composés azotés

L'azote minéral (ammoniac, nitrates, nitrites) constitue la partie majeure de l'azote total (RODIER et al., 1996). Comme le montre le Tableau III, le lixiviat brut contient une valeur moyenne d'ammonium de 2,41 mg/l. Après traitement, cette valeur est devenue 1,35 mg/l avec un taux d'abattement de 43,98 %. La teneur en nitrate et en nitrite dans le lixiviat brut a une valeur de 11,3 et 2,99 mg/l respectivement. Après le traitement, la concentration est devenue 9,8 mg/l pour le nitrate avec un taux d'abattement très faible qui ne dépasse pas 13,27 %, et 2,07 mg/l pour le nitrite avec un taux d'abattement de 30,76 %.

3.1.5 Les matières en suspension

L'analyse de l'évolution des matières en suspensions dans le lixiviat après le traitement avec le chlorure ferrique montre une efficacité du traitement physico-chimique. La teneur moyenne est passée de 5 500 mg/l avant le traitement à 2 866,66 mg/l après le traitement. Le taux d'abattement moyen est de 48 %. Nous pouvons expliquer l'élimination des MES par le phénomène de coagulation qui agit de manière à neutraliser les charges négatives

des MES, afin de favoriser leur agglomération et permettre leurs décantation.

3.2 Evolution des germes avant et après traitement par coagulation-floculation

3.2.1 La flore mésophile aérobie totale

Les germes totaux sont présents avec une concentration de $6,89.10^7$ dans le lixiviat brut. La concentration après traitement reste presque la même et prend une valeur de $6,35.10^7$. Le taux d'abattement moyen ne dépasse pas 7,83 %.

Paramètres	Méthodes d'analyse	Unités	Sources
Température	Thermomètre à mercure gradué de 0 à 100 °C	°C	
pH	pH-mètre de marque pH-Electrode Senti X22		
Oxygène dissous	Oxymètre modèle OXI 315i WTW	mg/l O ₂	
Matières en suspension (MES)	La méthode de centrifugation	mg/l	Rodier (1996)
DCO	DCO-mètre, modèle COD REACTOR	mg/l	Rodier (1996)
DBO ₅	DBO-mètre de marque OxiTop®	mg/l	Rodier (1996)
Orthophosphates	Les orthophosphates sont déterminés par la méthode colorimétrique reposant sur la formation, en milieu acide, d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et de tartrate double d'antimoine et de potassium	mg/l	Rodier (1996)
Nitrates (NO ₃ ⁻)	Les nitrates sont réduits en nitrites en présence de l'acide sulfo-salicylique, puis dosage colorimétrique.	mg/l	Rodier (1996)
Nitrites (NO ₂ ⁻)	Les nitrites sont dosés par la méthode au réactif de Zambelli, puis dosage colorimétrique	mg/l	Rodier (1996)
Azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	Les ions NH ₄ ⁺ traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique	mg/l	Rodier (1996)

Tableau I – Méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimiques avant et après chaque étape de traitement

Tableau II – Méthodes de recherche des indicateurs de contamination fécale dans le lixiviat avant et après chaque étape de traitement

Germes recherchés	Milieu de culture	Les colonies comptées
FMAT	Gélose nutritive	Toutes les colonies qui se développent en milieu PCA sont comptées
CT	Désoxycholate lactose agar (DLA)	Les colonies rouge foncé
CF	Désoxycholate lactose agar (DLA)	Les colonies rouge foncé
SF	milieu Slanetz et Bartly	Les colonies ayant un aspect rouge brique
CSR	La gélose sulfate polymixin sulfadiazine (SPS)	Les colonies noires de 1 à 2,5 mm de diamètre
Staphylocoques	Milieu Baird Parker (BP)	Les colonies à coloration noirâtre

3.2.2 es bactéries témoins de contamination fécale

Dans le lixiviat, les coliformes totaux, fécaux et les streptocoques fécaux sont très abondants et viennent en tête des germes dénombrés. Les valeurs moyennes en coliformes totaux, fécaux et streptocoques fécaux sont de l'ordre de $6,28.10^6$, $1,39.10^5$ et $6,01.10^6$ UFC/ml respectivement.

3.2.3 Les staphylocoques et les spores des clostridium sulfitoréducteurs

Le traitement par coagulation-floculation n'a engendré aucun effet sur le nombre des staphylocoques présents dans le lixiviat. Par contre, nous avons constaté comme

pour les autres indicateurs de contamination fécale qu'il y a un taux d'abattement élevé des CSR qui atteint la valeur moyenne de 71,08 %. Le nombre des CSR est passé de $3,7.10^4$ à $1,07.10^4$ UFC/ml.

3.2.4 Les salmonelles et les vibrions cholériques

Durant la période d'étude, la recherche des salmonelles et des vibrions cholériques dans le lixiviat de la décharge contrôlée a montré une absence totale de ces bactéries pathogènes.

Tableau III : Variation des concentrations moyennes des paramètres physico-chimiques avant et après traitement par coagulation-floculation

Les paramètres	Lixiviat brut	Lixiviat coagulé par chlorure ferrique	Taux d'abattement du traitement physico-chimique (%)
Température (°C)	19,56	20,6	-
pH	7,11	7,09	-
Oxygène dissous (mg/l)	0,86	0,86	-
DCO _t (mg/l)	53 199,6	41 933	21,17
DBO ₅ (mg/l)	20 000	14 166	29,17
Orthophosphates (mg/l)	16,61	14,6	12,1
NH ₄₊ (mg/l)	2,41	1,35	43,98
NO ₃ ⁻ (mg/l)	11,3	9,8	13,27
NO ₂ ⁻ (mg/l)	2,99	2,07	30,76
MES (mg/l)	5500	2866,66	47,88

Tableau IV : Variation des germes du lixiviat brut et traité par chlorure ferrique

Types de germes	Lixiviat brut (UFC/ml)	Lixiviat coagulé (UFC/ml)	Taux d'abattement du traitement physico-chimique (%)
Germes totaux	$6,89.10^7$	$6,35.10^7$	7,83
Coliformes totaux	$6,28.10^6$	$7,08.10^5$	88,85
Coliformes fécaux	$1,39.10^5$	$2,37.10^4$	82,94
Streptocoques fécaux	$6,01.10^6$	$7,6.10^5$	87,35
Les staphylocoques	$1,65.10^5$	$1,25.10^6$	-
Bactéries sulfitoréductrices	$3,7.10^4$	$1,07.10^4$	71,08

D'après les résultats obtenus avec le traitement physico-chimique du lixiviat brut, nous pouvons conclure que le chlorure ferrique est capable d'éliminer une grande partie des germes de pollution fécale en s'adsorbant avec les charges négatives de la paroi poly-saccharidique des bactéries. Par conséquent, les floccs sont formés et décantés au cours de la phase de décantation. Malgré le taux d'abattement élevé des germes de pollution fécale qui dépasse les 85 %, le taux des germes résiduels reste très élevé ($7,08.10^5$ pour les CT, $2,37.10^4$ UFC/ml pour les CF et $7,6.10^5$ UFC/ml). L'élimination de la pollution organique telle que la DCOt et la DBO₅ ne dépasse pas les 25 %, cette proportion correspond à la DCOt dure (Selon WANG et al., 2002). Cela est dû au phénomène d'adsorption qui s'établit entre les anions de chlorure ferrique et les cations des matières organiques. A partir de ces résultats, le traitement par coagulation-floculation n'a pas abouti à des résultats satisfaisants en termes d'abattement des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. C'est pour cette raison que nous avons combiné le traitement physico-chimique avec le traitement biologique par SBR.

3.3 Couplage du système du traitement chimique avec le traitement biologique par SBR

Le système SBR (sequencing batch reactor) utilise une culture microbienne dispersée sous forme de floccs au sein du lixiviat à traiter. Les étapes de l'aération et de la décantation se déroulent dans le même réacteur. Pour assurer un traitement efficace de notre lixiviat, la boue utilisée doit être jeune et bien aérée. Nous avons travaillé avec un âge des boues de 15 jours et avec une concentration de l'oxygène dissous qui dépasse 3 mg/l.

3.3.1 Caractérisation physico-chimique du lixiviat coagulé avant et après traitement par SBR

3.3.1.1 La température, le pH et l'oxygène dissous

La valeur moyenne de l'oxygène dissous enregistrée à l'entrée du bioréacteur est de 5,23 mg/l. Cette quantité d'oxygène élevée est utilisée par la flore présente dans le bioréacteur afin de dégrader la forte charge organique apportée par le lixiviat. Après 105 minutes de décantation où l'aération est stoppée, la concentration de l'oxygène dans le bioréacteur est devenue faible.

3.3.1.2 DCOt et DBO₅

La valeur de la DCOt subit une diminution remarquable après le traitement par la boue activée. Son taux d'abattement est de 87 % (Tableau 9). Le taux d'abattement de la DBO₅ est plus important que la DCOt, de 96,77 %. La valeur moyenne en sortie du SBR est de 166,6 mg/l. Nous pouvons expliquer le taux d'abattement élevé de la DBO₅ par la performance de la boue utilisée dans le SBR qui dégrade la matière organique biodégradable présente dans le lixiviat et aussi par la présence d'une biomasse épuratrice.

Les orthophosphates

D'après les résultats, la concentration des orthophosphates est diminuée de 3,22 mg/l à 2,04 mg/l à la sortie du SBR. Le taux d'abattement ne dépasse pas la valeur de 36,64 %. Nous pouvons expliquer le taux d'abattement faible des orthophosphates par l'absence de la phase anaérobie. Au cours de la phase d'aération de notre bioréacteur qui dure 22 heures, les bactéries déphosphatantes assimilent les orthophosphates. Mais pour favoriser l'accumulation de ces derniers, il vaut mieux faire précéder la phase aérobie par une phase de traitement anaérobie afin de relarguer les orthophosphates et faciliter leur accumulation pendant la phase aérobie. L'alternance des deux phases anaérobie et aérobie favorise la croissance et l'enrichissement sélectif des bactéries accumulatrices des phosphates (MERZOUKI, 2001).

Les composés azotés

Voir les résultats dans le tableau V. La concentration d'ammonium à l'entrée du SBR de 1,24 mg/l a été diminuée jusqu'à 0,093 mg/l. Le taux d'abattement prend la valeur de 92,5 %. Cette diminution peut être expliquée par le phénomène de nitrification. Le suivi de la concentration des nitrites montre un taux de traitement dans le bioréacteur de 85,96 %. La diminution de la concentration des nitrites est expliquée par la transformation des nitrites en nitrates à l'aide des bactéries de genre *Nitrobacter*, *Nitrocystis*, *Nitrospira*, (MERZOUKI, 2001). La concentration des nitrates reste par contre élevée (2,28 mg/l) avec un taux d'abattement de 52,89 %.

Les matières en suspensions (MES)

La concentration des MES du bioréacteur a été enregistrée au seuil de 5g/l à cause de la boue présente dans le bioréacteur. A la sortie du SBR, la concentration des MES est devenue 0,6 g/l. Cette diminution peut être expliquée par la bonne séparation entre la phase solide (la boue) et la phase liquide (lixiviat soutiré) dans le bioréacteur pendant la décantation.

3.3.2 Caractérisation bactériologique du lixiviat coagulé avant et après traitement par SBR

3.3.2.1 La flore mésophile aérobie totale (FMAT)

Les germes totaux à l'entrée du SBR ont une concentration de $6,48.10^6$. La concentration après traitement par SBR a diminué à une valeur de $2,87.10^4$. Le taux d'abattement moyen dépasse 99 %.

Les germes témoins de contamination fécale

Comme illustre le tableau VI, les coliformes totaux et fécaux sont totalement éliminés par SBR et par le système combiné. Il en va de même pour les streptocoques fécaux qui atteignent un abattement de 99,99 % à la sortie du système combiné. Ceci pourrait être dû d'une part à la présence dans le lixiviat de substances toxiques comme les micropolluants organiques et minéraux qui ont un effet bactéricide, et d'autre part à des phénomènes biologiques tels que la prédation, le parasitisme, l'antagonisme et la compétition.

Tableau V : Variation des paramètres physicochimiques du lixiviat avant et après traitement par SBR et par le système combiné

Paramètres	Lixiviat coagulé par FeCl	Sortie du SBR	Taux d'abattement du SBR (%)	Taux d'abattement du système combiné (%)	Normes marocaines de rejets indirects
T (°C)	20,26	20,86	-	-	35
pH	8,89	8,95	-	-	6,5-8,5
Oxygène dissous (mg/l)	5,23	1	-	-	-
DCO _t (mg/l)	7 886,6	1 026,6	87	98	1 000
DBO ₅ (mg/l)	5 166	166,6	96,77	99	500
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	3,22	2,04	36,64	87,71	-
NH ₄ ⁺ (mg/l)	1,24	0,09	92,5	96,14	-
NO ₃ ⁻ (mg/l)	4,84	2,28	52,89	79,82	-
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,57	0,08	85,96	97,32	-
MES (mg/l)	4 833,33	600	87,58	89	600

Tableau VI : Variation des germes du lixiviat avant et après traitement par SBR et par le système combiné

Types de germes (UFC/ml)	Lixiviat coagulé par FeCl	Sortie du SBR	Taux d'abattement du SBR (%)	Taux d'abattement du système combiné (%)
GT	6,48.10 ⁶	2,87.10 ⁴	99,55	99,95
CT	1,25.10 ⁴	0	100	100
CF	2,13.10 ³	0	100	100
SF	5,38.10 ⁴	75	99,86	99,99
Staphylocoques	2,89.10 ³	25	99,13	99,98
Bactéries sulfitoréductrices	5,25.10 ³	3,52.10 ³	32,95	90,48

3.3.2.3 Les staphylocoques et des clostridiidiums sulfitoréducteurs

Le traitement par SBR combiné au traitement par coagulation-floculation a permis un abattement des staphylocoques de 99,98 %, alors que les clostridiidiums sulfitoréducteurs sont réduits dans le système combiné à un taux de 90,48 %. Les clostridiidiums sont donc très résistants aux conditions hostiles du milieu et ils sont capables de survivre à une faible dose d'oxygène dissous. Durant la période d'étude, les salmonelles et les vibrions cholériques sont absents dans le lixiviat brut.

4. Conclusion

La décharge contrôlée de la ville de Fès, comme les autres décharges contrôlées du Maroc, fait face au problème de traitement du lixiviat. Peu d'actions sont réalisées pour traiter les lixiviats à cause de la jeunesse des sites d'enfouissement au Maroc et du manque d'études réalisées dans ce domaine. Le lixiviat brut contient une forte charge organique en termes de DCO_t et de DBO₅. D'autres paramètres chimiques sont enregistrés en teneurs excessives comme les matières en suspensions (valeur moyenne de 5 500 mg/l). La charge microbienne trouvée dans le lixiviat brut est très élevée, surtout pour les germes de pollution fécale et les bactéries sulfitoréductrices qui résistent aux conditions hostiles du milieu. Le traitement du lixiviat par coagulation-floculation n'a pas abouti à des résultats satisfaisants en termes d'abattement des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. Par contre, le couplage entre le traitement chimique et le traitement biologique par SBR a donné des résultats pertinents en termes de réduction des paramètres physico-chimiques, avec un taux d'abattement de la DCO de 98 % et de la DBO₅ de 99 %. Pour les germes de la pollution fécale, le taux d'abattement a été de 100 %. Les paramètres chimiques et microbiologiques à la sortie du système combiné répondent en grande partie aux normes marocaines de rejets indirects. D'après ces résultats, nous pourrions appliquer notre système combiné pour traiter les lixiviats de la décharge à grande échelle.

Références bibliographiques

CORTHONDO T., TREPOS F., 2003 « Traitements des effluents laitiers ». page 7.

EMILIE F., Août 2002. « Evaluations des risques microbiens liés aux décharges d'ordures ménagères et de déchets assimilés », Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels.

KHATTABI H., 2002. Thèse de doctorat « Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etueffont (Belfort, France) », Soutenu le 25-02-2002.

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 », page 28.

MOLETTA R., et TORRIJOS M., 2001. « Traitement des effluents de la filière laitière », Techniques de l'Ingénieur, traité Génie de procédés (F 1 501), page 8.

RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J.-P., CHAMBAN P., CHAMPASOUR H., RODI L., 1996. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 8^e édition, Dunod, Paris, France.

WANG X. C., JIN P. K. & GREGORY J., 2002. Structure of Al-humic flocs and their removal at slightly acidic and neutral pH. Water Sci. Tech., 2(2), 99-106.