



Traitement des lixiviats de décharge par coagulation-floculation (Treatment of Landfill Leachate by coagulation-floculation)

F. Khalil¹, O. Bouaouine¹, H. Chtioui¹, S. Souabi², M.A. Aboulhassan³, A. Ouammou⁴

1Laboratoire de Chimie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques, Fès, Maroc

2Laboratoire de Génie de l'Eau et de l'Environnement, FST, Mohammedia

3Département Génie de l'Environnement, ENSA d'Al Hoceima

4Laboratoire Ingénierie des Matériaux Organométalliques et Moléculaires, FSDM, Fès, Maroc

Received 14 Oct 2014, Revised 27 Feb 2015, Accepted 28 Feb 2015

* Corresponding author. E mail: fouad.khalil@usmba.ac.ma

Abstract

Coagulation -floculation is among the techniques commonly used for the treatment of discharges of leachate from landfills. The present work shows the results obtained during the processing of leachate collected at the landfill of the city of Fez by the process of coagulation- floculation using four coagulants such as : lime $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ferric chloride FeCl_3 , the ferric sulfate $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and aluminum sulfate $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. The process efficiency is measured in terms of metallic elements, turbidity, sludge production and color removal. Treatment with lime $\text{Ca}(\text{OH})_2$ allowed a significant discoloration and turbidity removal of 99 % while producing a sludge volume of 647ml/l. As to treatment with FeCl_3 , the results showed a 75% removal of turbidity and low production of settled sludge (245 ml/l). Treatment with $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ has a 79 % reduction in turbidity and produces a volume of 264 ml/l of settled sludge which is close to that produced by FeCl_3 (245 ml/l). Furthermore, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ having a turbidity removal of about 97 % and a volume of decanted sludge slightly lower than the product during the treatment with lime (568ml/l). Regarding the analysis of metallic elements, the results showed that a substantial removal of the metallic elements in particularly elements As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn and Sb. Treatment with lime has shown a greater or lesser affinity for Cr (90%) Fe (96 %) and Mn (99 %). The ferric chloride and ferric sulfate allows the elimination of most of the metal elements with a high affinity for Cd, Cu, Ni, Cr and Zn. The aluminum sulfate is very suitable for the removal of Nickel Pb, Cr, Zn, respectively 95 %, 94 %, 84 % and 93

Keywords: coagulation-floculation, coagulant, leachate, jar-test, heavy metals

1. Introduction

L'implantation des décharges dans les sites non appropriés ou non aménagés spécifiquement à cet effet accentue le risque de contamination des eaux de surface et souterraines, et par conséquent la santé humaine sachant que l'eau est source de vie [1-2-3]. Suite à une évolution bio physico-chimique de ces déchets ainsi entassés et à l'action des pluies, il se génère un jus appelé lixiviat. Ce jus constitue une source de pollution pour l'environnement. En effet, en plus des odeurs qu'il émet, il entraîne une altération pour la qualité des eaux de surface et souterraines due à sa charge polluante élevée (matières organiques, minérales et pollution bactériologique marquée par le développement des bactéries, virus et algues). De manière plus générale, le problème de la gestion des déchets est quotidien et planétaire et la situation est dramatique dans les pays en développement [4-5-6] et notamment au Maroc [7-8-9].

La décharge publique contrôlée de Fès reçoit plus de 1000 tonnes par jour de déchets de toute nature. La fermentation de ces déchets génère une grande quantité de lixiviats noirâtres pouvant contenir des éléments indésirables. Le lixiviat peut contenir beaucoup de matières organiques (biodégradables, mais aussi réfractaires à la biodégradation) constituées dans la majeure partie par des substances humiques [10], aussi bien que l'azote ammoniacal, les métaux lourds, les organochlorés et les sels inorganiques [11-12]. Les lixiviats sont donc une source de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines s'ils ne sont pas correctement traités [13-14-15-16]. La coagulation-floculation est un procédé qui a montré une grande efficacité de l'élimination de la

pollution dans le traitement des effluents [17-18]. Ce processus peut être appliqué directement sur les lixiviats pour éliminer les matières organiques avec les matières en suspension, sans être affectée par la toxicité dans les lixiviats [19]. Au cours des dernières années, un large éventail d'expériences de laboratoire et à l'échelle pilote a été menée pour évaluer l'effet de plusieurs coagulants [20-21-22]. Les plus couramment utilisés dans le traitement des eaux usées sont les sels trivalents de fer $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ et d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$ et dans une moindre mesure le sulfate ferreux $FeSO_4$. Cependant, dans l'application du traitement par coagulation-floculation pour les lixiviats, une grande quantité de boue est générée. Cet aspect est à prendre en considération lors du choix du coagulant [23]. Les objectifs de cette étude sont donc l'examen de l'efficacité des processus de coagulation floculation pour le traitement de lixiviat, notamment en termes de pollution métallique, de turbidité, production de boues et d'enlèvement de la couleur. Les conditions optimales pour l'application efficace de traitement de lixiviat par coagulation floculation ont été réalisées en utilisant quatre coagulants tel que la chaux $Ca(OH)_2$, le chlorure ferrique $FeCl_3$, le sulfate ferrique $Fe_2(SO_4)_3$ et le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$.

2. Matériels et méthodes

2.1. Présentation du site étudié

Les échantillons de lixiviat ont été prélevés au niveau de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès implantée dans la commune d'Aïn Beda sur la route de Sidi harazem à environ 11km du centre de Fès. La décharge traite plus de 1.000 tonnes de déchets solides par jour dont près de 900 tonnes d'ordures ménagères. Le processus de coagulation-floculation a été appliqué au lixiviat dont les caractéristiques sont données dans le tableau 1. Par ailleurs, l'analyse des éléments métalliques présents dans le lixiviat brut sont regroupés dans le tableau 2.

Tableau 1: Caractéristiques du lixiviat de la décharge publique de la ville de Fès

Caractéristique lixiviat brut	CE (ms.cm ⁻¹)	pH	Turbidité (NTU)	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DCO/DBO ₅
Valeurs	24,6	7,66	2053	5400	1700	3,2

Tableau 2: Concentrations des éléments métalliques dans le lixiviat de la décharge publique de la ville de Fès

Élément métallique	As mg/l	Cd mg/l	Cr mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Sb mg/l	Zn mg/l
Valeurs	0,14	4,36	2,04	0,4	33,72	2,58	3,74	0,18	0,63	4,68

2.2. Procédure Jar Test

Les tests de coagulation floculation ont été réalisés en utilisant un flocculateur à hélices (jar test). Le matériel d'essai est constitué par un flocculateur à quatre agitateurs (Flocculateur Fisher 1198) muni d'une vitesse de rotation individuelle variant entre 0 et 200 tr/min [24]. Cet appareil permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans une série de béciers remplis chacun de 500ml de lixiviat. Différentes concentrations du coagulant choisis ont été ajoutées au lixiviat. Le mélange est agité d'une façon rapide à 200 tr/min pendant 10 mn. La vitesse est par la suite réduite à 60 tr/min durant 30 mn. Après 60 mn de décantation, le volume des boues est mesuré puis le surnageant est récupéré pour analyser les paramètres tel que la turbidité, le pH, la conductivité, la couleur et surtout la concentration en éléments métalliques. La concentration optimale du coagulant a été déterminée sur la base de la turbidité, le volume des boues produites et l'aspect visuelle du surnageant.

2.3. Techniques d'analyses

Les éléments métalliques dans le lixiviat brut et traité ont été analysés par ICP après minéralisation dans l'eau régale. La Technique de minéralisation consiste à préparer un mélange de 100 ml d'échantillon (lixiviat), 10 ml de HCl, 20 ml d'acide nitrique (HNO_3). Le mélange est chauffé jusqu'à obtenir un liquide transparent. On complète après avec de l'eau distillé à 100 ml. Les analyses des métaux lourds ont été réalisées par ICP au CURI (centre universitaire régionale d'interface de Fès). Les paramètres DCO, DBO₅, ... ont été analysés par la méthode Norme Afnor (1999).

2.4. Évaluation de l'efficacité

L'efficacité du processus de coagulation floculation pour le traitement de lixiviat est évaluée notamment en termes de pollution métallique, de production de boues, de turbidité et d'enlèvement de la couleur. La production des boues a été estimée après décantation de deux heures des lixiviats coagulés et flocculés.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

Pour évaluer l'impact d'une décharge sur l'environnement, il est nécessaire de caractériser les effluents qu'elle génère. En effet, quel que soit le mode d'exploitation d'une décharge, les lixiviats constituent, s'ils ne sont pas traités avant leur rejet, une source de nuisance qui vient s'ajouter aux nombreux problèmes de contamination du milieu environnant. Ces liquides chargés en substances minérales et organiques issues de la décomposition des déchets peuvent être entraînés par ruissellement et atteindre les eaux superficielles, ou s'infiltrer à travers le substratum de la décharge et contamine les eaux de la nappe phréatique qui n'est pas profonde.

Les résultats des tableaux 1 et 2 ont montré que les lixiviats se trouvent chargés en matières organiques biodégradables puisque le rapport DCO/DBO5 varie autour de 3 et en éléments métalliques en particulier le chrome (2mg/l). Par ailleurs la turbidité et la conductivité marquent des valeurs très élevées dépassant largement les normes des eaux usées traitées. Ceci montre que les décideurs au Maroc doivent faire un effort pour sauver la situation actuelle des décharges publiques afin de protéger la santé de la population.

Les faibles valeurs du rapport DCO/DBO5 (3 à 50) montrent ainsi que les lixiviats sont riches en matières organiques non biodégradables ce qui peut causer plusieurs impacts sur les eaux de surface. Souabi et al. (2010), ont montré que pour les rejets de lixiviats de Mohammedia (collecteur principal) le rapport DCO/DBO5 varie entre 5 et 7.5 ce qui montre que le lixiviat n'est pas facilement biodégradable et peut donc causer plusieurs impacts sur les eaux de surface (Oued El Maleh) [25]. Les mêmes auteurs ont montré que les valeurs de la DCO obtenues varient entre 2301 et 2750 mg/l et restent très inférieures à la teneur détectée par Navarro et Veron (1992) déversées en mer [26]. Selon Courant & Aimar, (1996) [27], le rapport DBO5/DCO qui témoigne du caractère biodégradable de la pollution carbonée, est de l'ordre de 0,5 pour les lixiviats jeunes et décroît jusqu'à 0 pour les lixiviats stabilisés, on en déduit que les lixiviats étudiés sont soit intermédiaires soit stabilisés.

Les résultats des essais représentent les valeurs obtenues pour l'effluent clarifié après un traitement de floculation et des boues produites concomitante. Il a été donc jugé opportun de présenter l'évolution de la turbidité et du volume des boues produites en fonction de la dose du coagulant. L'étude du traitement de lixiviat par coagulation floculation par la chaux est illustrée sur la figure1.

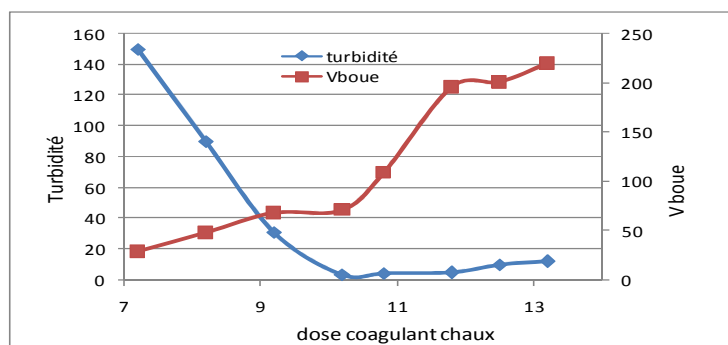


Figure 1: Variation de la turbidité et du volume des boues décantés en fonction de la dose de $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Ces résultats montrent que la turbidité diminue avec l'augmentation de la chaux. La dose optimale obtenue dans ces conditions est estimée à 12g/l avec une turbidité variant autour de 4,9 NTU et un rendement d'élimination de 99%. La quantité de boues produite pour la dose optimale de 12 g/l étant 647 ml/l. Le lixiviat est sujet à une décoloration importante. Par ailleurs, l'étude du traitement de lixiviat par le Chlorure Ferrique est illustrée sur la figure2. Ces résultats montrent que la turbidité diminue avec l'augmentation de FeCl_3 . La dose optimale obtenue dans ces conditions est estimée à 4,3g/l avec une turbidité voisine de 519 NTU et un rendement d'élimination de 75%. La quantité de boues produite pour la dose optimale étant 245 ml/l. Au delà de cette dose, nous constatons une augmentation de la turbidité, et le passage de la couleur jaune clair à foncée du à l'augmentation de FeCl_3 défavorisant l'agglomération des polluants. Ce changement s'explique par la redissolution des hydroxydes ferriques en milieu acide provoquant la coloration foncée du surnageant et l'augmentation de la turbidité.

L'étude du traitement de lixiviat par le sulfate d'aluminium est illustrée sur la figure3. Les résultats ont montré que l'optimum est d'environ 15g/l. La turbidité passe de 2053 à 62 NTU (environ 97%). Ce rendement d'élimination de la turbidité reste largement supérieur à celui obtenu avec le chlorure ferrique. La quantité de boues formée est de 568 ml/l. La figure 4 présente les variations des paramètres (quantité de coagulant, turbidité, quantité de boue) du lixiviat traité en fonction du type de coagulant.

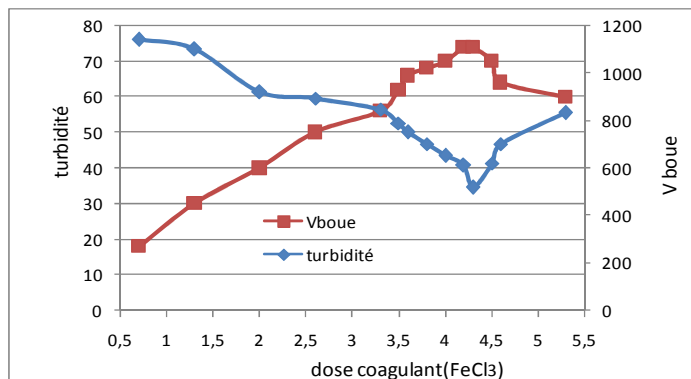


Figure 2: Variation de la turbidité et du volume des boues en fonction de la dose de FeCl₃

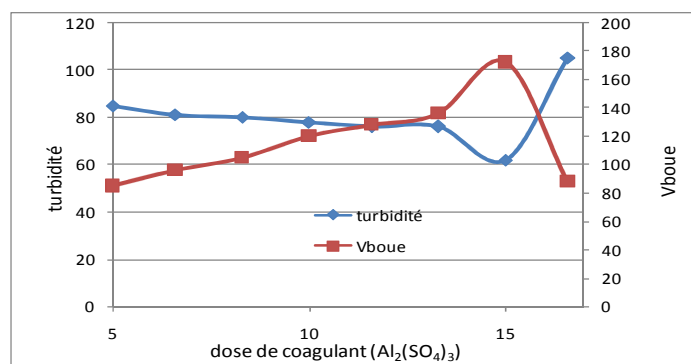


Figure 3: Variation de la turbidité et du volume des boues en fonction de la dose de Al₂(SO₄)₃

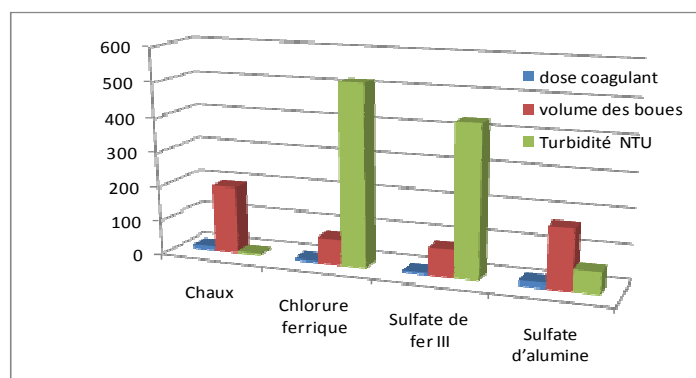


Figure 4: Variation de la turbidité et du volume des boues en fonction du type de coagulant

La figure 4 présente les variations des paramètres (quantité de coagulant, turbidité, quantité de boue) du lixiviat traité en fonction du type de coagulant. Ces résultats ont montré que le rapport entre la quantité de boues produites et le pourcentage d'élimination de la turbidité sont sensiblement les mêmes pour les deux coagulants chlorure Ferrique FeCl₃ et Sulfate Ferrique Fe₂(SO₄)₃. Cependant, le coagulant chlorure ferrique FeCl₃ produit le moins de boues par rapport aux résultats obtenus avec le Sulfate Ferrique Fe₂(SO₄)₃. La chaux Ca(OH)₂ est très efficace quant à l'élimination de la turbidité tout en produisant le maximum de boues. Quand au sulfate d'aluminium Al₂(SO₄)₃, d'une part on observe une baisse du volume des boues par rapport à la chaux et d'autre part une meilleure élimination de la turbidité par rapport au Chlorure Ferrique et Sulfate Ferrique.

3.2. Analyse des métaux lourds

Les résultats d'analyse des métaux lourds dans le lixiviat brut et traité (dans les conditions optimales) respectivement par les quatre coagulants sont illustrés sur le tableau 3. On note la présence dans le lixiviat de plusieurs éléments métalliques et notamment As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb et Zn. L'élément métallique Fe est le plus présent suivi du Zn et du Cd. Le lixiviat a montré aussi des teneurs élevées en Ni, Cr et Mn alors que les éléments As, Cu, Pb et Sb sont présents en faibles teneurs. Ces résultats témoignent d'une pollution de déchets solides par plusieurs types de rejets solides industriels riches en métaux.

Tableau 3: concentrations des éléments métalliques dans le lixiviat brut et traité par les quatre coagulants

	As mg/l	Cd mg/l	Cr mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Sb mg/l	Zn mg/l
Lixiviat brut	0,14	4,36	2,04	0,4	33,72	2,58	3,74	0,18	0,63	4,68
Chaux	< 0,01	0,31	0,21	0,08	1,49	0,03	0,25	0,05	0,49	0,29
FeCl₃	< 0,01	<0,01	0,60	0,03	232,4	-	0,33	0,07	0,44	0,53
Fe₂(SO₄)₃	< 0,01	<0,01	0,63	0,01	92,94	-	0,28	0,03	0,37	0,24
Al₂(SO₄)₃	< 0,01	-	0,33	0,03	4,91	-	0,19	<0,01	-	0,32

Cependant la teneur en Chrome reste largement inférieure à celle détectée dans l'ancienne décharge publique de la ville de Fès qui était de l'ordre de 9 mg/l [25]. Le traitement du lixiviat par coagulation floculation en utilisant les quatre coagulants a montré que le pourcentage d'élimination des différents éléments métalliques varie d'un coagulant à l'autre. Ainsi, La chaux présente des propriétés lui permettant de se lier à certains métaux avec une affinité plus ou moins grande pour le Cr (90%), Fe (96%) et Mn (99%). Les éléments métalliques Cd, Cu, Ni, Cr et Zn sont fortement éliminés par le Chlorure Ferrique et le Sulfate Ferrique. Le Sulfate d'Aluminium est notamment très approprié pour l'élimination du Ni, Pb, Chrome et Zinc. Dans le but d'améliorer le procédé de coagulation floculation, nous avons testé l'efficacité en termes de pollution métallique de la combinaison de la chaux d'une part avec le chlorure ferrique et d'autre part avec le Sulfate d'Alumine. Les résultats obtenus sont illustrés sur le tableau 4. On traite en premier lieu le lixiviat par l'un des deux coagulants puis on récupère le surnageant et on le traite par la chaux. Ce double traitement a permis la réduction de la pollution métallique avec de grands pourcentages et a permis l'amélioration de l'aspect visuel.

Tableau 4: Concentrations des éléments métalliques dans le lixiviat traité par la combinaison Chaux/Chlorure Ferrique et Chaux/Sulfate d'Alumine

coagulants	As mg/l	Cd mg/l	Cr mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Sb mg/l	Zn mg/l
Lixiviat brut	0,14	4,36	2,04	0,4	33,72	2,58	3,74	0,18	0,63	4,68
FeCl₃	<0,01	<0,01	0,6	0,03	232,4	-	0,33	0,07	0,44	0,53
FeCl₃+Chaux	<0,01	-	0,18	0,03	4,50	0,42	0,23	<0,01	-	0,14
Al₂(SO₄)₃	<0,01	-	0,33	0,03	4,91	-	0,19	<0,01	-	0,32
Al₂(SO₄)₃ +Chaux	<0,01	-	0,20	0,02	0,22	0,04	0,12	<0,01	-	0,15

La figure 5 montre le pourcentage d'élimination des éléments métalliques Cr, Ni et Zn respectivement par FeCl₃ seul et par FeCl₃ combiné avec Ca(OH)₂. L'effet de la chaux est très apparent et permet une nette dépollution métallique dans les deux cas.

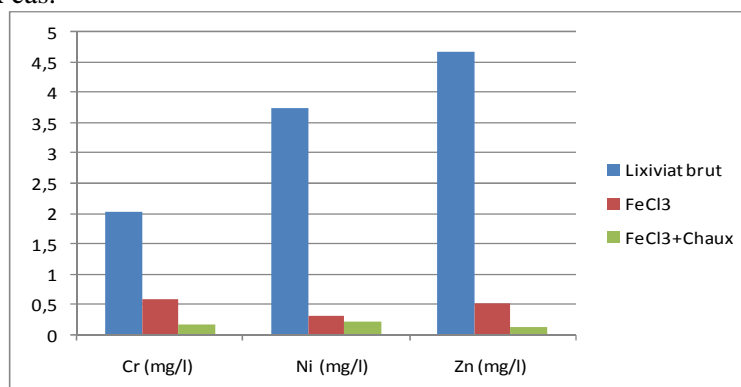


Figure 5: Effet de FeCl₃ seul ou en mélange avec la chaux sur l'élimination des métaux

Conclusion

Dans cette étude, le traitement du lixiviat provenant de la décharge publique de Fès par un procédé de coagulation floculation a été évalué. Plusieurs expériences jar-tests ont été effectuées en vue de déterminer les conditions optimales pour éliminer la pollution pour quatre coagulants (la chaux, le chlorure ferrique, le sulfate ferrique et le sulfate d'aluminium). L'efficacité du processus est évaluée en termes de pollution métallique, de turbidité, de production de boues et d'enlèvement

de la couleur. La dose optimale obtenue par la chaux est estimée à 12g/l avec un rendement d'élimination de la turbidité de 99%. La quantité de boues produite est de 647 ml/l. le lixiviat est sujet à une décoloration importante. FeCl₃ permet une élimination de la turbidité de 75% est semble être le mieux approprié pour une faible production de boue décanté (245ml/l). Le coagulant Fe₂(SO₄)₃ donne 79% d'élimination de la turbidité et produit légèrement plus de boues décantées que FeCl₃ (264ml/l). Dans le cas de Al₂(SO₄)₃ le traitement a donné une élimination de la turbidité de l'ordre de 97% et un volume de boues décantées légèrement inférieur à la chaux (568ml/l). L'analyse des métaux lourds a montré une élimination importante des éléments métalliques (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb et Zn). La chaux permet l'élimination du chrome avec un pourcentage de 90%, du Fer avec 96% et du Manganèse avec 99%. Le chlorure ferrique et le sulfate ferrique permettent l'élimination de la plus part des éléments métalliques avec une affinité pour le Cd, Cu, Ni, Cr et Zn. Le sulfate d'aluminium est très approprié pour l'élimination du Nickel avec un pourcentage de 95%, le Plomb avec 94%, le Chrome avec 84% et enfin le Zinc avec un pourcentage de 93%. La combinaison de la chaux respectivement au chlorure ferrique et au sulfate d'alumine a montré une grande efficacité pour la réduction de la pollution métallique et l'amélioration de l'aspect visuel.

References

1. Nhari F., Sbaa M., Vassel J L., Fekhaoui M., El Morhit M., *J. Mater. Environ. Sci., Soil contamination of the landfill uncontrolled by heavy metals: case of the landfill of Ahfir-Saidia.* 5 (5) (2014) 1477-1484.
2. Chofqi A., Younsi E., Lhadi K., Mania J., Mudry J., Veron A., *Journal of African Earth Sciences.* 39 (3-5) (2004) 509-516.
3. Idlahcen A., Souabi S., Taleb A., Zahidi K., Bouezmarni M., *Scientific Study & Research, Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry.* 15 (1) (2014) 35-50.
4. Elfeki M., Tkadlec E., *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (2015) 756-764.
5. Singh U K., Kumar M., Chauhan R., Ramanathan A., Subramanian V., *Environmental Monitoring and Assessment.* 141 (1-3) (2008) 309-321.
6. Ying L.A., Jinhui L.A., Shusheng C.B., Weihua D., *Journal of Environmental Pollution.* 165 (2012) 77-90.
7. Jirou Y., Harrouni Ch., Arroud A, Daoud S, Fox H and Fatmi M., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2014) 1816-1824.
8. Hafid N., El hadek M., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2014) 2145-2150.
9. El bada N., Mountadar M., *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (4) (2012) 786-799.
10. Kang KH., Shin HS., Park H., *Water Res.* 36(16) (2002) 4023-4032.
11. Wang ZP., Zhang Z., Lin YJ., Deng NS., Tao T., Zhuo K., *J. Hazardous Mater* 95(1/2) (2002) 153-159.
12. Chemlal R., Azzouz L., Kernani R., Abdi N., Lounici H., Grib H., Mameri N., Drouiche N., *Ecological Engineering,* 73 Dec (2014) 281-289.
13. Zume J T., Tarhule A., Christenson, *Ground Water Monitoring and Remediation.* 26 (2) (2006) 62- 69.
14. Khalil F., Chtioui H., Souabi S., Zakarya D., Aboulhassan MA., *Revue L'eau, L'industrie, Les nuisances,* 282 (2005) 58.
15. Chtioui H., Khalil F., Souabi S., Aboulhassan MA., *Déchets, Sciences et Techniques.* N° 49 (2008) 1er Trimestre.
16. El kharmouz.M., Sbaa.M., Chafi A., Saadi S., *Larhyss Journal.* n°16 (Décembre 2013) 105-119.
17. Berradi M., Chabab Z., Arroub H., Nounah H., El Harfi A., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2) (2014) 360-365.
18. Majdy I, Cherkaoui E, Nounah A, Khamar M., *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (3) (2015) 834-839.
19. Amor C., Torres-Socias E., Peres J., Maldonado M., Oller I., Malato S., Lucas M., *Journal of Hazardous Materials.* 286 (2015) 261-268.
20. Huseyin S., *Dyes Pigment.* 64 (2005) 217-222.
21. Sangyong K., Chulhwan P., Tak-Hyum K., jinwon L. and Seung K., *Biosci. Bioeng.* 95 (2003) 102-105.
22. Shyh-Fang K., Chih-Hsaing L. and Mon-Chun C., *Chemosphere.* 46 (2002) 923-928.
23. James C.R. and O'melia C.R., *J Am Water Works Assoc.* 74 (1982) 148-151.
24. Eaton A.D., Clescen L.S., Greenberg A.E., (editors). *American Public Health Associatiory Washington D.C., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* ed. (1995) 19th.
25. Souabi S., Touzar K., Chtioui H., Khalil F., Digua Kh., Tahiri M., *Déchets, Sciences et Techniques* n°58, (2010) page.
26. Navarro A., Verson J., *les stratégies de traitement, Journée International de l'Environnement, Poitiers, France* (1992).
27. Courant P., Aimar D., *L'Eau, L'Industrie, Les Nuisances.* 192 (1996) 46-50.

(2015) ; <http://www.jmaterenvirosci.com/>