



TRAITEMENT PAR ELECTROCOAGULATION DES LIXIVIATS DE LA DECHARGE PUBLIQUE CONTROLEE DE LA VILLE DE FES (MAROC)

**BOUAOUINE O.¹, KHALIL F.^{1*}, CHTIOUI H.¹, ZAITAN H.²,
HARRACH A.²**

¹Laboratoire de Chimie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques,
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc

²Chimie de la Matière Condensée, Faculté des Sciences et Techniques,
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc

* khalil_fouad@yahoo.fr

RESUME

L'électrocoagulation est parmi les techniques couramment utilisés pour le traitement de lixiviat. Le présent travail illustre les résultats obtenus durant le traitement d'un échantillon de lixiviat prélevé au niveau de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès (Maroc) par le procédé d'électrocoagulation en utilisant des lames d'aluminium. L'influence des paramètres opératoires de l'électrocoagulation (temps d'électrocoagulation et temps de décantation), ainsi que des propriétés physico-chimiques du rejet liquide avant traitement (pH initial, turbidité initiale), a été étudiée, dans le but d'atteindre les objectifs annoncés, en réalisant une précipitation complète du polluant. L'efficacité du processus est évaluée en termes de turbidité, de production de boues, de pollution métallique, d'absorbance et d'énergie consommée. Le traitement avec les lames d'aluminium avec une tension de 12 V est une densité de courant de 38 A/m² a permis une décoloration importante et une élimination de la turbidité de 98 % après 3 heures de décantation, tout en produisant un volume des boues de 1,1 Kg/m³. Il est donc clair que le temps d'électrolyse, le temps de décantation ainsi que l'énergie consommée jouent un rôle primordial dans le traitement par électrocoagulation. Concernant l'analyse des métaux lourds, les résultats ont montré une élimination importante des éléments métalliques en particulier les éléments As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn. Le traitement avec les lames d'Aluminium est notamment très approprié

pour l'élimination du Cr, Zn, Ni et du Fe respectivement 79%, 86%, 89% et 90%.

Mots clés : Electrocoagulation, électrode d'aluminium, lixiviat, métaux lourds.

ABSTRACT

Electrocoagulation 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 electrocoagulation using aluminum electrodes. The influence of operating parameters of electrocoagulation (electrocoagulation time and settling time) and the physico-chemical properties of the liquid effluent before treatment (initial pH, initial turbidity) was studied. The goal is to achieve complete precipitation of the pollutant. The process efficiency is measured in terms of turbidity, sludge production, metal pollution, absorbance and color removal. Treatment with aluminum electrodes with a voltage of 12 V and a current density of 38 A/m² allows a significant discoloration and turbidity removal of 98% after 3 hours of settling while producing a sludge volume of about 1.1 Kg/m³. It is therefore clear that the time for electrolysis, the settling time and the energy consumed play an important role in the treatment by electrocoagulation. Regarding the analysis of metallic elements, the results showed that a substantial removal of the metallic elements in particular elements As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn.. The Treatment with aluminum electrodes is very suitable for the removal of Cr, Zn, Ni and Fe, respectively 79%, 86%, 89% and 90%.

Keywords: Electrocoagulation, leachate, Aluminum electrode, sludge production.

INTRODUCTION

Les lixiviats sont une source de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines s'ils ne sont pas correctement traités (Idlahcen et al., 2014; Chtioui et al., 2008). En effet, en plus des odeurs qu'ils émettent, ils entraînent une altération pour la qualité des eaux de surface et souterraines due à la 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 (Singh et al., 2008; Li et al., 2012). 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 constituées dans la majeure partie par des substances humiques (Kang et al., 2002), aussi bien que l'azote ammoniacal, les métaux lourds, les organochlorés et les sels inorganiques (Wang et al., 2002; Chemlal et al., 2014). Ce jus constitue donc une source de pollution pour l'environnement s'il n'est pas correctement traité (Chtioui et al., 2008; El Kharmouz et al., 2013). La meilleure option est d'utiliser des technologies simples à mettre en œuvre et peu onéreuses dans leur fonctionnement tels que les procédés s'appuyant sur des mécanismes de coagulation-floculation (Berradi et al., 2014). Classiquement, ces procédés appliquent l'addition de coagulants à base de sels métalliques et/ou de polymères synthétiques. Cependant la technique d'électrocoagulation qui a été introduite depuis très longtemps (Mattesson et al., 1995) permet de générer in situ et en continu ces coagulants sans avoir à les ajouter. Elle a été appliquée avec succès pour éliminer une variété de polluants provenant du lixiviat (Dastyar et al., 2015; Ricordel et Djelah, 2014; Bouhezila et al., 2011; Li et al., 2011). L'électrocoagulation a aussi été combiné à d'autres mode de traitement tel que l'oxydation (Fernandes et al., 2014), les traitements chimiques (Garaj-Vrhovac et al., 2013) ou nanofiltration (Top et al., 2011). Cependant, dans l'application du traitement par électrocoagulation, une grande quantité de boue peut parfois être générée. Cet aspect est à prendre en considération lors du choix des électrodes qui sont la source de coagulant (James et O'melia, 2002). L'énergie consommée doit aussi être bien maîtrisée. Les objectifs de cette étude sont donc l'examen de l'efficacité des processus d'électrocoagulation pour le traitement d'un lixiviat, notamment en termes de pollution métallique, de turbidité, production de boues et d'enlèvement de la couleur. Les conditions opératoires optimales comme la densité de courant et le temps d'électrocoagulation nécessaires pour une application efficace et économique du traitement ont été réalisées en utilisant des électrodes d'aluminium.

MATERIELS ET METHODES

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 1000 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)	pH	Turbidité (NTU)	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DCO/DBO5
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

Électrocoagulation

L'électrocoagulation est une technique attirante et convenable pour le traitement des différents effluents en raison de ses nombreux avantages tels que sa compatibilité environnemental, son adaptabilité, son efficacité et son faible coût (Holt et al., 2006 ; Bayramoglu et al., 2004). Ce processus est caractérisé par un matériel simple, facile à réaliser et ne nécessitant pas l'ajout de produits chimiques. Dans l'électrocoagulation, le coagulant est libéré dans la solution in situ, en utilisant la dissolution d'une anode sacrificielle. Lors de l'alimentation des électrodes en courant, il y a simultanément une dissolution du métal de l'anode et un dégagement du gaz d'hydrogène au voisinage de la cathode. Les métaux aluminium et fer sont généralement utilisés comme anode. Leur dissolution conduit à la formation des hydroxydes métalliques, oxy-hydroxydes métalliques et des hydroxydes polymériques. Ces composés ont généralement une meilleure efficacité de coagulation que celle des produits chimiques utilisés dans les techniques conventionnelles. Ils peuvent déstabiliser les colloïdes en suspension, en adsorbant, neutralisant ou précipitant les espèces polluantes dissoutes dans le liquide, pour les transformer finalement en floccs facilement extractibles par précipitation, filtration ou flottation.

Procédure électrocoagulation

Techniques expérimentales

La cellule d'électrocoagulation d'un volume de 400ml, comporte deux électrodes d'aluminium, l'une servant de cathode et l'autre d'anode. Les électrodes sont de dimension 5cm x 3cm et une distance interélectrodes de 5cm.

Un courant continu est appliqué aux électrodes par un générateur de courant (tension de 12 V est densité de courant de 38 A/m²). Le mélange de la solution dans la cellule électrolytique est assuré par un agitateur magnétique placé au fond de la cuve et situé entre les deux électrodes. L'intensité de l'agitation est de 100 rpm. Après traitement, on laisse les solutions décanter puis on prélève le surnageant pour faire les différentes analyses physico-chimiques. L'oxydation électrochimique libère des cations métalliques qui, aux conditions de pH adéquates, donnent des hydroxydes métalliques insolubles qui constituent les floes. Ces derniers vont permettre l'agglomération ou l'adsorption des molécules organiques polluantes présentes dans le lixiviat.

Réactions aux électrodes

Durant le processus d'électrocoagulation, les réactions électrochimiques mises en jeu par des électrodes soumises à un courant continu sont la réduction de l'eau au niveau de la cathode (réaction principale) ainsi que la réaction d'oxydation du métal au niveau de l'anode. Aux conditions de pH adéquat, l'ensemble des ions M³⁺ générés en solution s'hydratent puis réagissent avec l'eau pour former principalement des hydroxydes métalliques M(OH)₃. En réalité, les ions métalliques produits peuvent subir d'autres réactions spontanées pour donner des hydroxydes et/ ou des poly-hydroxydes correspondants. Dans le cas d'une électrode en aluminium, divers espèces monomériques et polymériques sont formées puis se transforment finalement en Al(OH)₃(S). Ces espèces amorphes M(OH)₃, appelés aussi « champs de floculation », possèdent une large surface convenable pour l'adsorption rapide des composés organiques solubles et au piégeage des particules colloïdales, via des forces électrostatiques de type de Vander Waals, ceci conduit à la formation des floes qui seront ensuite séparés aisément du milieu aqueux soit par sédimentation, soit par flottation favorisés par la génération des bulles de dihydrogène (H₂) et de dioxygène (O₂).

La masse de métal dissoute à l'anode par seconde est donnée par la loi de Faraday :

$$M \text{ (théorique)} = (I.t.M) / Z.F$$

Où I est l'intensité imposé (A). M est la masse molaire du métal considéré (g/mol), F la constante de Faraday (C/mole). Z la valence de l'ion formé.

L'énergie consommée en KWh/m³ est donnée par l'équation suivante :

$$E = U.I.t / V$$

Où U est la tension aux bornes des électrodes (V), I est l'intensité (A), t est le temps (h) et V est le volume (m³).

Techniques d'analyses

Le spectrophotomètre utilisé possède une gamme spectrale de 200 nm à 800 nm. La précision est de plus ou moins 1 nm et la reproductibilité de 0,1 nm. Une cellule en quartz de 10 mm a été employée. Les blancs sont réalisés dans une cellule en quartz identique à la précédente avec de l'eau déminéralisée.

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 (effluent), 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 centre d'innovation de Fès.

Évaluation de l'efficacité

L'efficacité du processus d'électrocoagulation pour le traitement du lixiviat est évaluée notamment en termes de turbidité, de production de boues, d'absorbance, de pollution métallique et d'énergie consommée. L'électrocoagulation a été réalisée pour différents temps d'électrolyse. La turbidité a été suivie en fonction du temps de décantation de l'effluent coagulé et floculé. La production de boue a été estimée par deux méthodes. La méthode volumétrique et la mesure du poids de la boue décantée après séchage dans un four à 105 °C jusqu'à poids constant.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Résultats

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 du temps d'électrolyse et du temps de décantation. L'étude du traitement de 400 ml de lixiviat par électrocoagulation avec des lames d'aluminium (avec une tension de 12 V et une densité de courant de 38 A/m^2) est illustrée sur la figure 1.

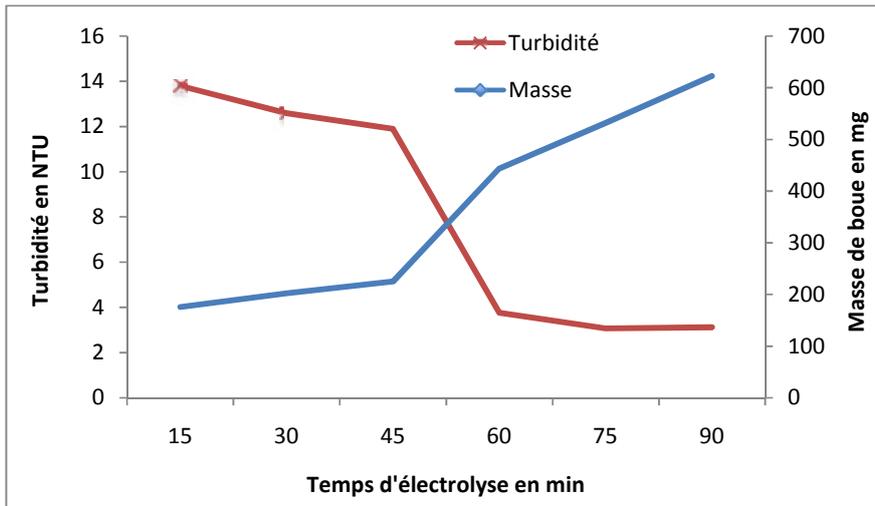


Figure 1: Variation de la turbidité et du volume des boues formées en fonction du temps d'électrolyse

Ces résultats montrent que la turbidité diminue avec l'augmentation du temps d'électrolyse. La dose optimale obtenue dans ces conditions est estimée à 60 mn avec une turbidité variant autour de 4 NTU et un rendement d'élimination de 98%. La quantité de boues produite au bout de 3 heures de décantation pour la dose optimale est de 1,1 kg/m³. L'effluent est sujet à une décoloration importante. Le maximum de boue formée est atteint au bout de 75 à 90 min. L'évolution de la turbidité au cours du temps (Figure 2) montre un abattement de plus de 99% de la turbidité après 3h de décantation aux différents temps d'électrolyse. Le temps de décantation est en effet très utile à la détermination des conditions optimales de traitement en matière de coût et d'efficacité.

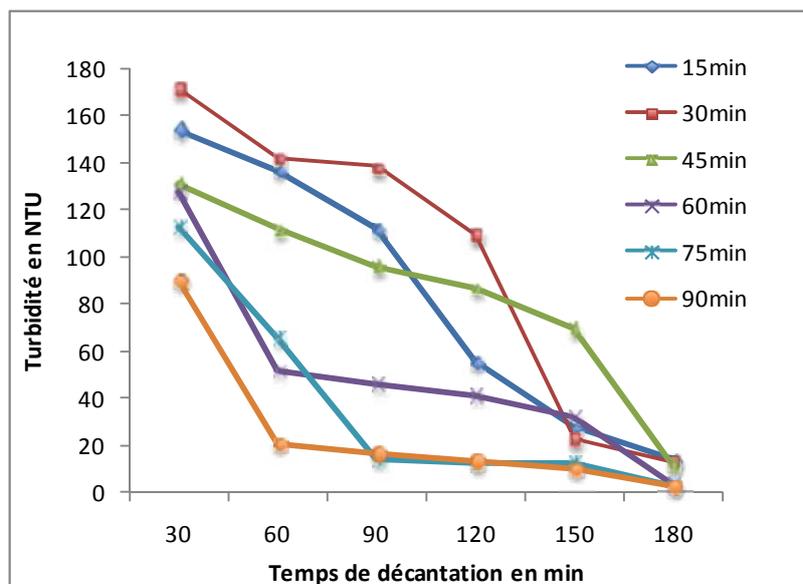


Figure 2: Variation de la turbidité en fonction du temps de décantation

Il est bien connu que la densité de courant détermine non seulement la dose du coagulant mais aussi le taux de production des bulles et la croissance des floccs (Holt et al., 2002; Letterman et al., 1999) qui peuvent influencer sur l'efficacité du traitement par électrocoagulation. Par conséquent l'effet du temps d'électrolyse appliquée à la cellule sur l'élimination des polluants a été étudié. Les figures 1 et 2 montrent l'effet d'augmentation du temps d'électrolyse sur le taux d'élimination des polluants (turbidité, masse de boue, absorbance). Comme on pouvait s'y attendre, il semble que, l'efficacité du traitement augmente significativement avec l'augmentation du temps d'électrolyse. Le temps de 60 min (12V, 38 A/m²) a produit un traitement efficace de la turbidité, et une décoloration de lixiviat avec une réduction de plus de 97% ainsi que la formation de 1,1 kg/m³ de boue. Cela est attribué au fait que le taux d'aluminium oxydé augmente et entraîne une grande quantité de précipité et l'élimination de plus en plus de polluants. En outre, il a été démontré que la densité des bulles augmente et leur taille diminue avec l'augmentation de la densité de courant (Khosla et al., 1991) il en résulte une grande hausse des flux et un enlèvement plus rapide de polluants. Les expériences ont montré qu'au début de l'électrocoagulation la couleur du lixiviat devient de plus en plus claire, ceci peut être expliqué par une oxydation des molécules organiques (Adhoum et al., 2004; Assas et Ayed Merouani, 2002; Khoufia et Fekia, 2007). Par contre, en augmentant le temps d'électrolyse la décoloration devient presque totale. On constate qu'il faut appliquer un temps convenable de 60min. Le pH de l'effluent traité est de l'ordre de 7,5 à 8. Ceci est du essentiellement aux ions OH⁻ produits par électrolyse de l'eau avec dégagement de l'hydrogène

sur la cathode (Vik et al., 1984). Le coût de ce procédé est déterminé par la consommation des électrodes et de l'énergie électrique. Par la suite, la quantité d'énergie nécessaire pour une meilleure élimination des matières organiques a été calculée. La figure 3 montre qu'au delà de 3,36 KWh/m³ l'abattement de la turbidité restait quasi stable.

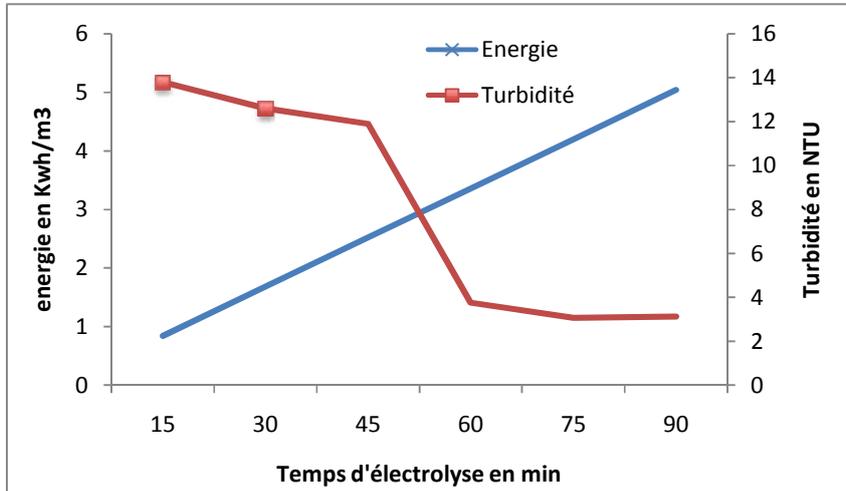


Figure 3: Variation de la turbidité et de l'énergie consommée au cours du temps d'électrolyse.

A partir des résultats présentés dans les figures 3 et 4, on constate que la consommation des électrodes d'aluminium (anode et cathode) par mètre cube du lixiviat traités augmente légèrement jusqu'à un temps de 60min. Toute nouvelle augmentation du temps d'électrolyse au delà de cette valeur, induit une augmentation relativement forte de la consommation des électrodes. Un comportement similaire a déjà été observé par (Holt et al., 2002; Picard et al., 2000) et a été expliqué par le fait qu'aux temps plus élevés, la formation des ions d'aluminium est produite rapidement, par rapport aux processus de la coagulation, ce qui entraîne une baisse de rendement d'épuration. En outre la suppression rapide de l'hydroxyde d'aluminium de la solution par flottation conduit à une réduction de la probabilité de collision entre les polluants et le coagulant. Ces résultats suggèrent que 60 min est le temps d'électrolyse optimale pour le traitement du lixiviat, car elle assure un taux d'élimination rapide avec un coût moins bas.

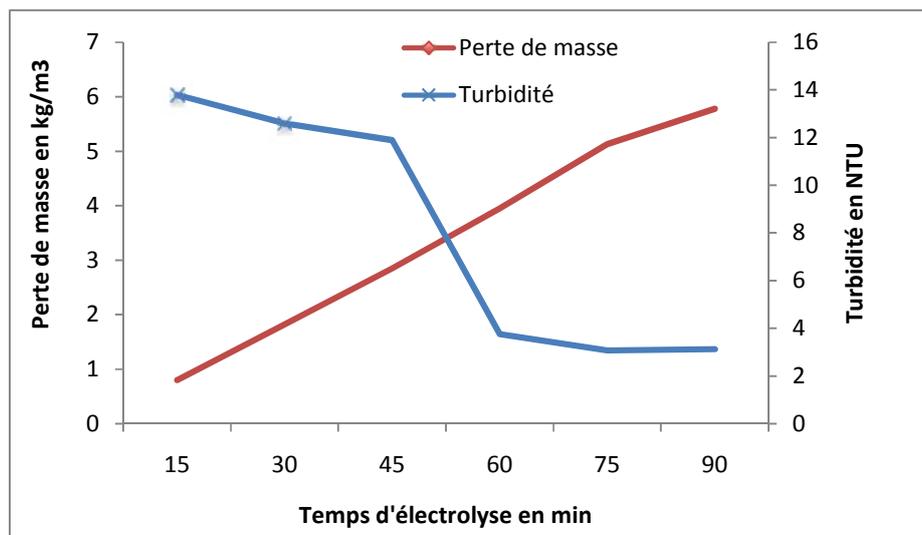


Figure 4: Variation de la perte de masse d'électrode et de la turbidité en fonction du temps d'électrolyse

La figure 5 regroupe les variations des paramètres (turbidité, quantité de boue, énergie consommée) du lixiviat traité en fonction du temps d'électrolyse après un temps de décantation de trois heures. Ces résultats ont montré que la quantité de boues produites ainsi que l'énergie consommée augmentent avec le temps d'électrolyse. D'autres parts, on observe une diminution de la turbidité pour tout les temps d'électrolyse au bout de trois heures de décantation avec un grand pourcentage d'élimination de la turbidité a partir du temps d'électrolyse 60 mn. Au vue de ces résultats, il semble que le temps d'électrolyse 60 mn permet une bonne élimination de la turbidité tout en produisant une quantité de boue acceptable et en ayant une énergie consommée modérée.

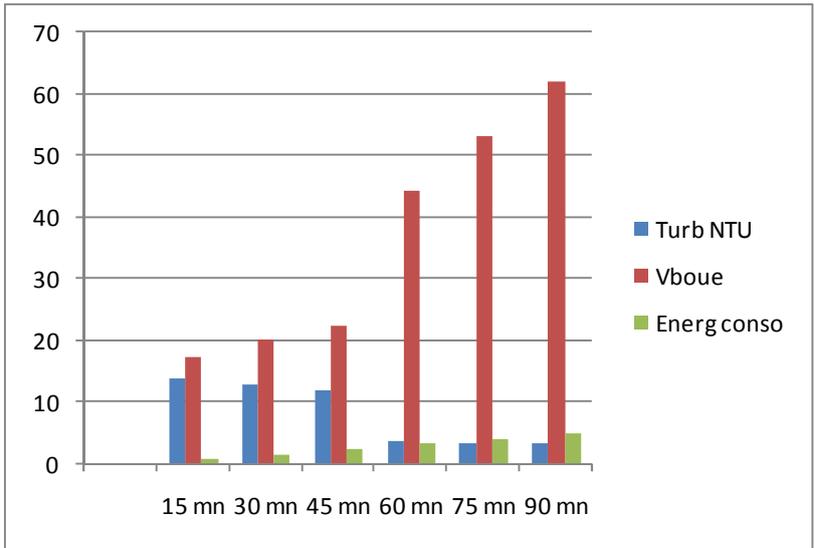


Figure 5: Variation de la turbidité, du volume des boues et de l'énergie consommée en fonction du temps d'électrolyse

Spectrophotométrie d'absorption UV-Visible

La figure 6a illustre le spectre du lixiviat brut. Il montre une bande large située à la longueur d'onde 254 nm. Cette même bande d'absorbance diminue en fonction du temps d'électrolyse sans cependant disparaître complètement.

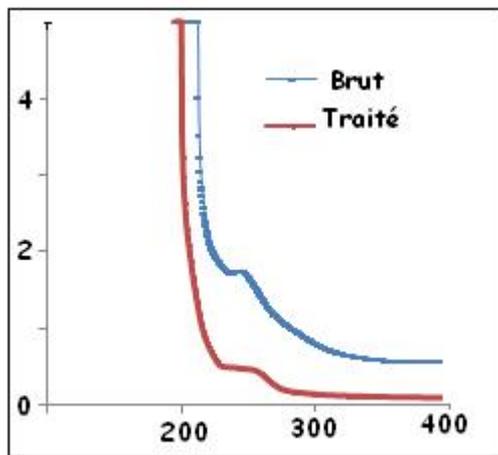


Figure 6a: Variation de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde

La figure 6b illustre la variation de l'absorbance (pour la longueur d'onde 254 nm) en fonction du temps d'électrolyse. Ces résultats confirment les résultats établis précédemment en fonction de la turbidité et des volumes des boues. L'absorbance est en effet minimale au niveau du temps d'électrolyse correspondant à 60 mn. On obtient notamment une bonne réduction de la couleur (95% à 98%).

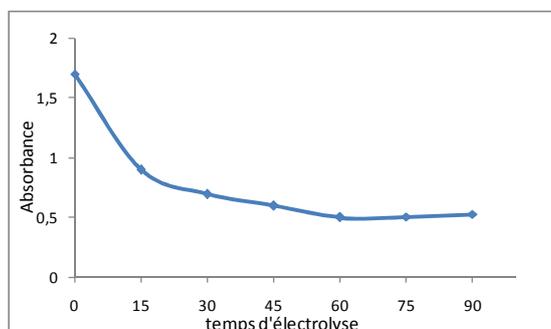


Figure 6b: Variation de l'absorbance en fonction du temps d'électrolyse

Analyse des métaux lourds

Les résultats d'analyse des métaux lourds dans le lixiviat brut et traité (dans les conditions optimales) par électrocoagulation sont illustrés sur le tableau 3. On note la présence dans l'effluent de plusieurs éléments métalliques et notamment As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn. L'élément métallique Fe est le plus présent suivi du Zn, du Mn et du Cr. Les éléments Cu et Ni sont présents en faibles teneurs. Ces résultats témoignent d'une pollution métallique non négligeable. 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 (Chtioui et al., 2008). Le traitement avec les lames d'Aluminium est notamment très approprié pour l'élimination du Cr, Zn, Ni et du Fe respectivement 79%, 86%, 89% et 90%.

Tableau 3: concentrations des éléments métalliques dans le lixiviat brut et traité par électrocoagulation

mg/l	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Lix brut	0,14	4,36	2,04	0,4	33,72	2,58	3,74	0,18	4,68
Lix traité	0,04	-	0,43	0,03	3,62	-	0,41	0,12	0,62

CONCLUSION

Dans cette étude, le traitement des lixiviats provenant de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès par un procédé d'électrocoagulation a été évalué. Plusieurs expériences ont été effectuées en vue de déterminer les conditions optimales pour éliminer la pollution avec des électrodes d'aluminium. L'influence des paramètres opératoires de l'électrocoagulation (densité de courant et temps d'électrocoagulation), ainsi que des propriétés physico-chimiques du rejet liquide avant traitement (pH initial, turbidité initiale), a été étudiée, dans le but d'atteindre les objectifs annoncés, en réalisant une précipitation complète du polluant. L'efficacité du processus est évaluée en termes de pollution métallique, de turbidité, de production de boues, d'absorbance et d'enlèvement de la couleur. L'efficacité du traitement du traitement est fortement influencée par le temps d'électrolyse. Ainsi, la valeur optimale du temps d'électrolyse engendrant un rendement maximal avec une consommation faible d'énergie et des électrodes est 60min (12V, 38 A/m²). La quantité de boue produite après trois heures de décantation est de 1,1 kg/m³. Ces niveaux opérationnels optimaux permettent, d'une part, d'avoir une bonne réduction de la pollution des lixiviats et d'autre part, les eaux traitées pourront être épurées par voie biologique vu l'élimination importante des polluants. Concernant l'analyse des métaux lourds, les résultats ont montré une élimination importante des éléments métalliques en particulier les éléments As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn. Le traitement par électrocoagulation avec les lames d'Aluminium est notamment très approprié pour l'élimination du Cr, Zn, Ni et du Fe respectivement 79%, 86%, 89% et 90%.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADHOUM N., MONSER L., BELLAKHAL N. (2004). Treatment of electroplating wastewater containing Cu²⁺, Zn²⁺ and Cr (VI) by electrocoagulation, *J. Hazard. Mater.*, Vol.112, Issue 3, 207-213.
- ASSAS N., AYED MAROUANI L. (2002). Decolorization of fresh and stored black olive mill wastewater by *Geotrichum Candidum*, *Process Biochem.*, Vol.38, Issue 3, 361-365.
- BAYRAMOGLU M., KOBYA M., CAN T., SOZBIR M. (2004). Operating Coast Analysis of Electrocoagulation of Textile Dye Wastewater, *Sep. Purif. Technol.*, Vol. 37, Issue 2, 117-125.
- BERRADI M., CHABAB Z., ARROUB H., NOUNAH H., EL HARFI A. (2014). Optimization of the Coagulation/Flocculation Process for the treatment of Industrial Wastewater from the Hot Dip Galvanizing of Steel, *J. Mater. Environ. Sci.*, Vol. 5, N°2, 360-365.

- BOUHEZILA F., HARITI M., LOUNICI H., MAMERI N. (2011). Treatment of the Oued Smar Town Landfill Leachate by an Electrochemical Reactor, Desalination, Vol.280, Issues 1-3, 347-353
- CHEMLAL R., AZZOUZ L., KERNANI R., ABDI N., LOUNICI H., GRIB H., MAMERI N., DROUCHE N. (2014). Combination of advanced oxidation and biological processes for the landfill leachate treatment, Ecol. Eng., Vol. 73, 281-289.
- CHTIOUI H., 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, Déchets, Sci. Tech., N° 49, 25-28.
- DASTYAR W., AMANI T., ELYASI S.H. (2015). Investigation of affecting parameters on treating high-strength compost leachate in a hybrid EGSB and fixed-bed reactor followed by electrocoagulation-flotation process, Process Saf. Environ. Prot., Vol. 95, 1-11.
- EL KHARMOUZ M., SBAA M., CHAFI A., SAADI S. (2013). L'Etude de l'Impact des Lixiviats de l'Ancienne Décharge de la Ville d'Oujda (Maroc Oriental) sur la Qualité Physico-chimique des Eaux Souterraines et Superficielles, Larhyss Journal, N°16, 105-119.
- FERNANDES A., SPRANGER P., FONSECA A.D., PACHECO M.J., CIRÍACO L., LOPES A. (2014). Nitrogen and organic load removal from sanitary landfill leachates by anodic oxidation at Ti/Pt/PbO₂, Ti/Pt/SnO₂-Sb₂O₄ and Si/BDD, Appl. Catal. B: Environ., Vols. 148-149, 288-294.
- GARAJ-VRHOVAC V., ORESCANIN V., GAJSKI G., GERIC M., RUK D., KOLLAR R., RADICBRKANAC S., CVJETKO P. (2013). Toxicological characterization of the landfill leachate prior/after chemical and electrochemical treatment: A study on human and plant cells, A study on human and plant cells, Chemosphere, Vol. 93, N°6, 939-945
- HOLT P.H., BARTON G.W. (2002). A quantitative comparaison between chemical dosing and Electrocoagulation, Colloids Surf. A : Physicochem. Eng. Asp., Vol. 211, Issues 2-3, 233-248.
- HOLT P.H., BARTON G.W., MITCHELL C. (2006). Electrocoagulation as a wastewater treatment, The 3rd Annual Australian Environmental Engineering Research Event.
- IDLAHCEN A., SOUABI S., TALEB A., ZAHIDI K., BOUEZMARNI M. (2014). Évaluation de la pollution générée par les lixiviats de la décharge publique de la ville de Mohammedia et son impact sur la qualité des eaux souterraines, Sci. Stud. & Res., Chem. & Chem. Eng., Biotechnol., Food Ind., Vol.15, N°1, 35-50.
- JAMES C.R., O'MELIA C.R. (1982). Considering sludge production in the selection of coagulants, J. Am. Water Works Assoc., Vol.74, N°3, 148-151.
- KANG K.H., SHIN H.S., PARK H. (2002). Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications, Water Res., Vol. 36, N°16, 4023-4032.

- KHOSLA N.K., VENKACHALAM S., SONRASUNDARAM P. (1991). Pulsed electrogeneration of bubbles for electroflotation, *J. Appl. Electrochem.*, Vol.21, 986-990.
- KHOUFIA A., FEKIA F. (2007). Detoxification of olive mill wastewater by electrocoagulation and sedimentation processes, *J. Hazard. Mater.*, Vol.142, N°1, 58-67.
- LETTERMAN R.D., AMIRTHARAJAH A., O'MELIA C.R. (1999). *Water Quality Treatment- A Handbook of community Water Supplies*, Letterman R.D (Editor) 5th Edition, AWWA, McGraw-Hill, New York, 1248 p.
- LI X., SONG J., GUO J., WANG Z., FENG Q. (2011). Landfill leachate treatment using electrocoagulation, *Procedia Environ. Sci.*, Vol. 10, 1159-1164
- LI Y., LI J., CHEN S., DIAO W. (2012). Establishing indices for groundwater contamination risk assessment in the vicinity of hazardous waste landfills in China, *Environ. Pollut.*, Vol.165, 77-90.
- MATTESON M.J., DOBSON R.L., GLENN R.W., KUKUNOOR N.S., WAITS W.H., CLAY E.J. (1995). Electrocoagulation and separation of aqueous suspensions of ultrafine particles, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, Vol.104, N°1, 101-109.
- PICARD T., CATHALIFAUD-FEUILLADE G., MAZET M. (2000). Cathodic dissolution in the electrocoagulation process using aluminium electrodes, *J. Environ. Monit.*, Vol.2, N°1, 77-80.
- RICORDEL C., DJELAL H. (2014). Treatment of landfill leachate with high proportion of refractory materials by electrocoagulation: System performances and sludge settling characteristics, *J. Environ. Chem. Eng.*, Vol.2, N°3, 1551-1557
- SINGH U.K., KUMAR M., CHAUHAN R., RAMANATHAN A., SUBRAMANIAN V. (2008). Assessment of the impact of landfill on groundwater quality: a case study of the Pirana site in western India, *Environ. Monit. Assess.* Vol.141, Issues 1-3, 309-321.
- TOP S., SEKMAN E., HO VER S., BILGILI M. (2011). Characterization and electrocoagulative treatment of nanofiltration concentrate of a full-scale landfill leachate treatment plant, *Desalination*, Vol. 268, Issues 1-3, 158-162.
- VIK E.A., CARLSON D.A., EIKUM A.S., GJESSING E.T. (1984). Electrocoagulation of potable water, *Water Res.*, Vol.18, N°11, 1355-1360.
- WANG Z., ZHANG Z., LIN Y., DENG N., TAO T., ZHUO K. (2002). Landfill leachate treatment by coagulation-photo oxidation process, *J. Hazard. Mater.*, Vol.95, Issue 1, 153-159.