



ETUDE DE L'APPLIQUABILITÉ DU PROCÉDÉ D'ÉLECTROCOAGULATION POUR LE TRAITEMENT DE REJETS TEXTILES

Mohammed Tiaiba⁽¹⁾, Belkacem Merzouk⁽²⁾, Mohammed Mazour⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement, Centre Universitaire d'Ain Témouchent, Ain Témouchent, 46000, Algérie

⁽²⁾ Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, B.P. 166, Ichbilia, M'sila, 28000, Algérie

Email : tiaibamohammed@hotmail.com

Résumé— Dans la présente étude, nous avons utilisé la technique d'électrocoagulation pour le traitement de rejets de textile (rejet synthétique). Cette technique est appliquée pour étudier l'effet de certains paramètres opératoires, tels que le pH initial, le temps de séjour (τ), la densité de courant (j) et les systèmes de connexion d'électrodes sur l'élimination d'un colorant rouge nylosan (Acid Red 336) en utilisant des électrodes en aluminium dans un réacteur électrochimique continu. L'efficacité de la technique est suivie en mesurant la turbidité, l'absorbance et l'énergie électrique spécifique consommée. Des taux de réduction égale à 97 et 95 % pour l'absorbance et la turbidité respectivement ont été observés, lorsque la densité de courant $j = 300 \text{ A/m}^2$, la connexion des électrodes est monopolaire parallèle ($MP-P$), la concentration initiale (C_i) est de 50 mg/L, le débit d'entrée $Q = 15 \text{ L/h}$, le temps de traitement $t = 35 \text{ min}$ et le pH initial = 8,06. La consommation spécifique d'énergie électrique était de 18,3 kWh par kilogramme de colorant enlevé.

S'agissant de l'influence des modes de connexion des électrodes, les résultats obtenus ont montré que la connexion monopolaire parallèle ($MP-P$) est plus efficace par rapport à la connexion monopolaire en série ($MP-S$) et à la connexion bipolaire (BP) en termes de réduction de la couleur et de la turbidité et en terme de la consommation d'énergie.

Mots clés— électrocoagulation, couleur, turbidité, modes de connexion des électrodes.

I. INTRODUCTION

Dans les industries de textiles, les rejets polluants entraînent de sérieux problèmes sur l'environnement à cause de leur coloration intense, leurs teneurs élevées en matières organiques difficilement biodégradables (détergeant, tensioactifs ...), en matières en suspension et en sels [1].

Les méthodes conventionnelles, généralement utilisées pour l'élimination des colorants des eaux polluées industrielles, sont principalement les traitements biologiques et physico-chimiques ainsi que leurs diverses combinaisons [2]–[3]. Néanmoins, les traitements biologiques sont meilleurs que d'autres méthodes, mais la toxicité des colorants empêche habituellement la croissance bactérienne limitant ainsi l'efficacité de la décoloration. Les méthodes physico-chimiques sont généralement basées sur l'adsorption (par exemple sur le charbon actif), coagulation-floculation (en utilisant les sels inorganiques ou les polymères), l'oxydation chimique (chloration, ozonisation, etc.) et photodégradation (UV/H₂O₂, UV/TiO₂, etc.) [4]–[5]. Cependant, ces méthodes de traitements consomment habituellement une quantité importante de produits chimiques, qui conduisent parfois à une pollution secondaire et à un volume énorme de boues [6]–[7]. Il

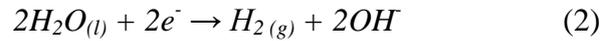
s'est récemment avéré que les techniques de traitement des eaux polluées, basées sur la technique d'électrocoagulation, économiquement attractive, permettent d'éviter la majorité de ces problèmes. Cependant, il est envisageable de rencontrer des complications de réalisation et d'optimisation du procédé d'électrocoagulation. La prise en compte de ces difficultés entre dans nos objectifs d'étude.

L'électrocoagulation consiste à générer directement en solution les réactifs nécessaires, par une oxydation d'une électrode (anode) dite sacrificielle. Néanmoins, ce procédé présente des limitations liées principalement à l'utilisation d'un courant continu et de la durée de vie des électrodes. L'électrocoagulation (EC) est un processus complexe impliquant beaucoup de phénomènes chimiques et physiques. L'efficacité de ce processus est contrôlée par l'effet des paramètres électrochimiques, physico-chimiques et hydrodynamiques [8]–[9]. Le procédé d'électrocoagulation est basé sur le principe des anodes solubles. Il s'agit, d'imposer un courant (ou potentiel) entre deux électrodes (fer ou aluminium) immergées dans un électrolyte contenu dans un réacteur pour générer, in situ, des ions (Fe^{2+} ou Al^{3+}). Les différentes espèces qui en sont issues, sont susceptibles de provoquer une coagulation et une floculation. Le dégagement du gaz d'hydrogène H_2 au voisinage de la cathode, sous la forme de microbulles, conduit à une flottation des particules éliminées par leur entrainement à la surface de la solution à traiter. Les principales réactions électrochimiques à l'intérieur de la cellule sont : [10]

A l'anode : lieu d'oxydation, l'aluminium va passer de l'état solide à l'état ionique selon la réaction 1.



A la cathode : les réactions pouvant avoir lieu dépendent du pH de la solution à traiter. A des pH neutres ou basiques, l'hydrogène est produit selon la réaction 2, alors qu'en milieu acide, l'équation 3 décrit le mieux l'évolution de l'hydrogène à la cathode.



II. MATERIELS ET METHODES

A. Eaux usées synthétiques

Le colorant rouge nylosan N-2RBL (sodium 6-amino-5-[[4-chloro-3-[[2,4-dimethylphenyl] amino] sulphonyl] phenyl]azo]-4-hydroxynaphthalene-2 sulphonate). a été utilisé pour la préparation des eaux usées synthétiques. Sa structure chimique est représentée sur la Fig. 1. Les principales caractéristiques de ce composé sont données dans le tableau I.

Les eaux usées synthétiques ont été préparées en dissolvant le colorant dans de l'eau désionisée et ont été diluées selon la concentration désirée. Le pH et la conductivité ont été ajustés à la valeur souhaitée avec NaOH et NaCl respectivement. Ces valeurs ont été choisies pour simuler les propriétés des eaux usées d'une industrie textile en Algérie.

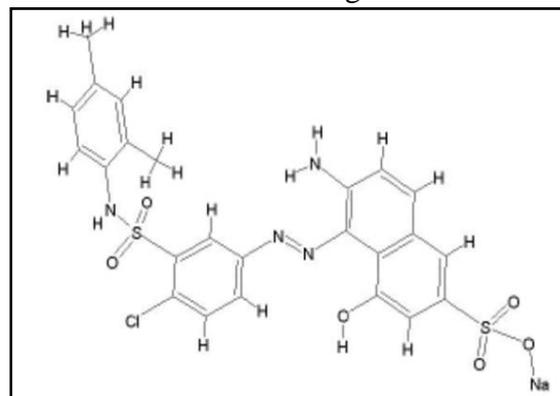


Fig. 1. La structure chimique du colorant rouge nylosan.

Tableau I. Principales caractéristiques du colorant rouge nylosan.

| | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| Index de Couleur : C.I. | Acid Red 336 |
| Formule chimique | $C_{24}H_{21}ClN_4O_6$ S_2, Na |
| Poids moléculaire | $587.97 \text{ g mol}^{-1}$ |
| absorption UV | $\lambda_{\text{max}} 502 \text{ nm}$ |

B. Montage expérimental

L'unité d'électrocoagulation utilisée en régime continu est constituée d'une cuve rectangulaire d'un volume total de 8.6 L, divisée en deux compartiments : une partie électrochimique et une partie séparation physique. L'effluent synthétique est pompé dans la cellule électrochimique contenant des plaques d'aluminium (pureté de Al était 98%) utilisées comme électrodes (dimension $240 \times 20 \times 10 \text{ mm}$) et déposées verticalement. Les électrodes sont plongées dans la solution qui s'écoule dans le réacteur en plexiglas. Trois modes de connexion d'électrodes ont été testés. (bipolaire BP, monopolaire en parallèle MP-P et monopolaire en série MP-S). Les écarts entre chaque deux électrodes voisines ont été maintenus constants à 10 mm pour toutes les expériences. Les électrodes sont reliées à un générateur d'alimentation électrique (GPS-3303_{3CH}) fournissant un courant dans la gamme de 0-3A et de 30V.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Effet de la densité de courant et du modes de connexion

La densité de courant appliquée est le principal paramètre de fonctionnement régissant le taux de production de coagulant, l'évolution de l'oxygène, la production de chaleur et le taux de production des bulles. Donc elle régit la performance du procédé d'EC et les coûts d'exploitation [11]–[12].

L'effet de la densité de courant j sur l'élimination du colorant (absorbance et turbidité) a été évalué en variant diverses densités de courant (100, 200 et 300 A/m²) et

pour les trois modes de connexion des électrodes (bipolaire BP, monopolaire en parallèle MP-P et monopolaire en série MP-S), à une concentration initiale fixe $C_i = 50 \text{ mg/L}$, pH initial aux alentours de 8 et un débit d'écoulement $Q = 15 \text{ L/h}$. Les résultats trouvés sont représentés sur les figures suivantes.

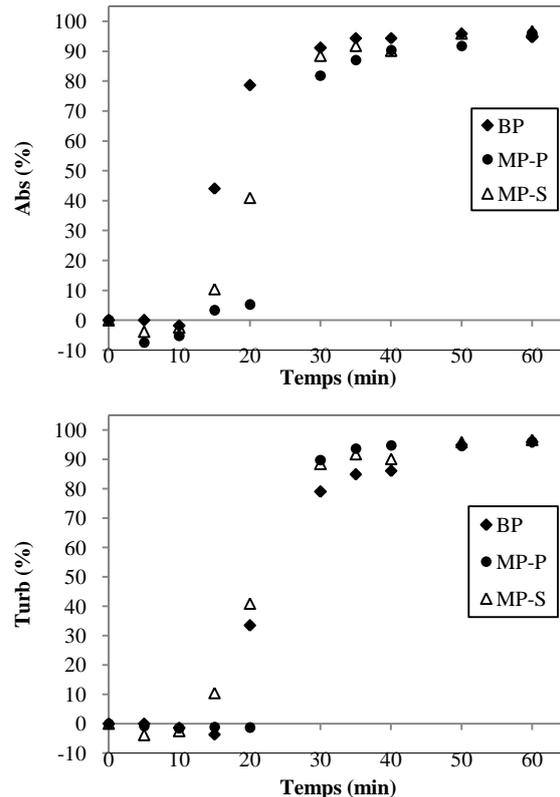
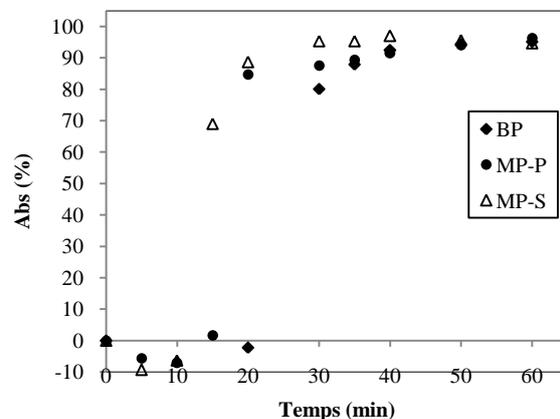


Fig. 2 : Effet du mode de connexion sur l'élimination de l'absorbance et de la turbidité : $C_i = 50 \text{ mg/L}$, $j = 100 \text{ A/m}^2$, pH initial = 7.79, débit d'alimentation $Q = 15 \text{ L/h}$, conductivité $\kappa = 2.9 \text{ mS/cm}$.



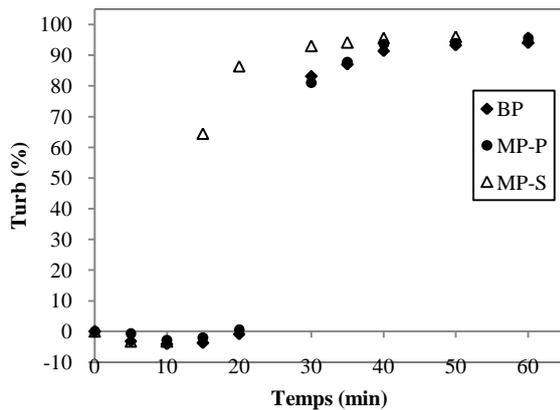


Fig. 3 : Effet du mode de connexion sur l'élimination de la couleur et de la turbidité : $C_i = 50 \text{ mg/L}$, $j = 200 \text{ A/m}^2$, pH initial = 8.06, débit d'alimentation $Q = 15 \text{ L/h}$, conductivité $\kappa = 3.90 \text{ mS/cm}$.

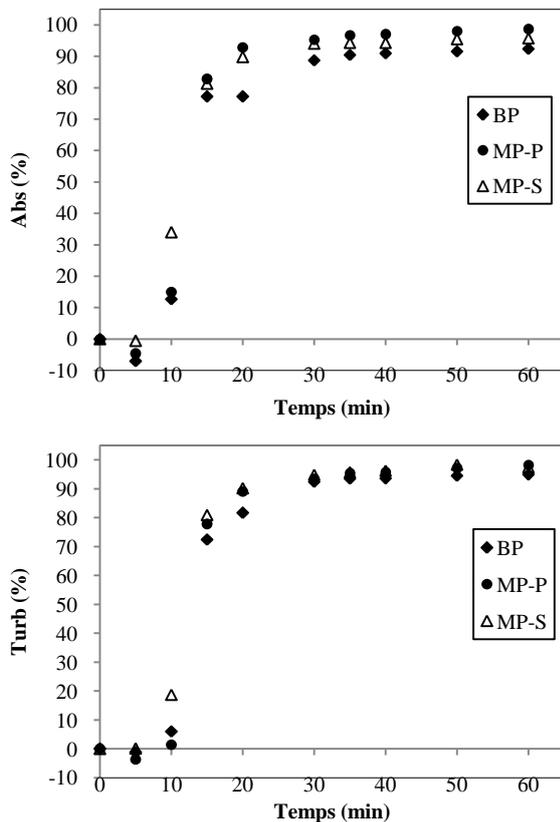


Fig. 4 : Effet du mode de connexion sur l'élimination de la couleur : $C_i = 50 \text{ mg/L}$, $j = 300 \text{ A/m}^2$, pH initial = 8.06, débit d'alimentation $Q = 15 \text{ L/h}$, conductivité $\kappa = 3.93 \text{ mS/cm}$.

Les Figures (2 à 4) montrent que le temps requis pour atteindre les valeurs optimales, correspondant aux valeurs sur le plateau,

diminue lorsque j augmente de 100 à 300 A/m^2 , et devient presque constant à environ 35 min, qui est le temps de séjour de l'effluent dans le réacteur. Une augmentation de densité de courant de 100 à 300 A/m^2 pour les trois modes de connexion a donné les résultats suivants (tableau II).

On constate que le pourcentage d'abattement maximal est obtenu pour une densité de courant élevée (200 et 300 A/m^2) avec les connexions monopolaire en parallèle (MP-P) et monopolaire en série (MP-S). En augmentant j , la quantité de cations d' Al^{3+} libérée par l'anode et donc de particules d' $\text{Al}(\text{OH})_3$ augmentent également. Cependant, la différence entre les courbes correspondant aux différentes densités de courant devient significative pour $j = 100 \text{ A/m}^2$.

L'efficacité négative de la réduction de la turbidité et de l'absorbance au début de traitement peut être due au fait que durant le passage du courant électrique, une convection additionnelle apparaisse. Selon Edeline [13] l'aluminium dissous se polymérise sous la forme d'hydroxyde d'aluminium et augmente ainsi la turbidité.

B. Energie consommée

Du point de vue efficacité, les deux modes de connexions (MP-P et MP-S) ont donné des résultats satisfaisants. Pour bien choisir le mode adéquat à notre système, le calcul énergétique s'impose. De nombreux travaux sur l'électrocoagulation ont porté sur la consommation énergétique en termes d'énergie électrique spécifique consommée (E_{dye}) [14]. Cette énergie a souvent été étudiée en fonction des paramètres de l'EC d'une façon générale.

L'énergie électrique spécifique consommée E_{dye} , la consommation spécifique des électrodes par kg de colorant éliminée (μ_{Al}) sont représentés sur la Fig. 5.

Tableau II. Comparaison des performances de traitement en fonction du mode de connexion et de la densité de courant

| Densité de courant j (A/m ²) | Connexion BP | | Connexion MP-P | | Connexion MP-S | |
|---|--------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|
| | Turb (%) | Abs (%) | Turb (%) | Abs (%) | Turb (%) | Abs (%) |
| 100 | 86.08 | 86.90 | 89.31 | 83.27 | 92.06 | 91.75 |
| 200 | 87.87 | 87.90 | 95.67 | 93.58 | 94.16 | 95.33 |
| 300 | 93.52 | 90.42 | 95.37 | 96.72 | 95.75 | 94.33 |

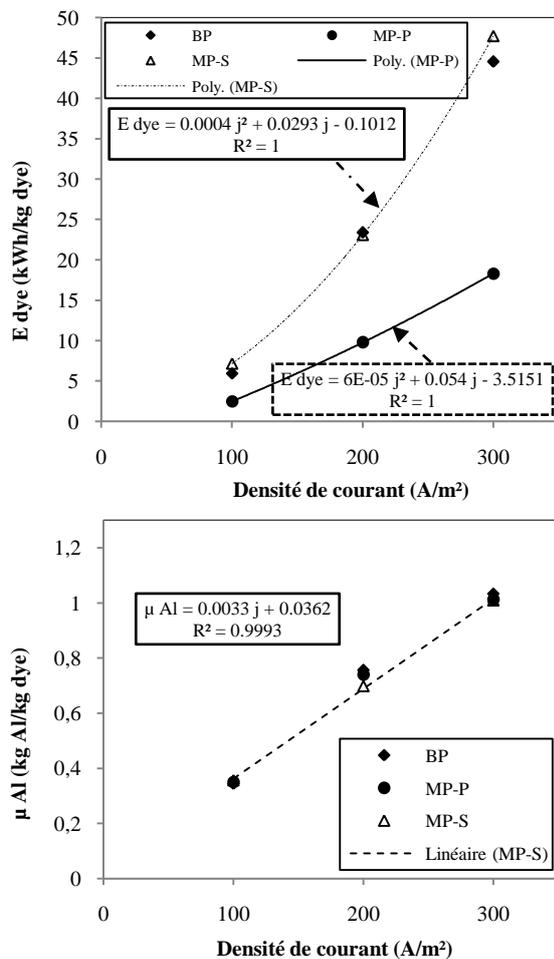


Fig.5 : Effet de la densité de courant j sur l'énergie électrique spécifique consommée (E_{dye}) et la consommation des électrodes (μ_{Al}) : $C_i = 50$ mg/L, $j = 300$ A/m², pH initial = 8, débit d'alimentation $Q = 15$ L/h, Conductivité $\kappa = 2.9$ mS/cm.

La Fig.5, montrent que E_{dye} et μ_{Al} augmentent d'une façon continue en fonction de la densité de courant j . Ce qui signifie que la diminution de la durée de traitement ne

compense pas l'augmentation de la densité de courant sur la consommation énergétique. Cependant, E_{dye} ne représente qu'une fraction des coûts de l'opération d'électrocoagulation, entre 20 et 50 % [15]. D'après cet auteur, le coût principal est dû à la consommation du matériau des électrodes.

Une densité de courant élevée conduit à une consommation élevée du métal des électrodes (μ_{Al}) et de l'énergie E_{dye} par l'effet de joule ; ce qui engendre un coût élevé du procédé.

De cela, on peut dire que la connexion monopolaire parallèle (MP-P) est plus efficace par rapport à la connexion monopolaire en série (MP-S) et à la connexion bipolaire (BP) en terme de la consommation d'énergie. Des résultats similaires en été obtenus par d'autres auteurs [16]–[17].

C. Evolution de pH au cours de l'EC

Il a déjà été établi que le pH est un facteur de fonctionnement clé influençant la performance du procédé d'EC [18]–[19]–[12]. Son évolution dépend du pH initial. Le procédé de l'EC montre un certain pouvoir tampon en raison d'une balance entre la production et la consommation de OH^- et du besoin de la neutralisation de la charge avant la transformation finale des composés solubles d'aluminium sous forme d' $Al(OH)_3$ [20], qui empêche le changement élevé du pH de la neutralité, comme le montre la Fig.6, Ce rapprochement de la neutralité (pH = 7) constitue un avantage considérable pour la technique d'EC, tout en évitant l'ajout des

acides ou des bases pour se situer dans la zone de la prédominance de la forme d'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3$ qui joue le rôle d'un coagulant (pH entre 5 à 9).

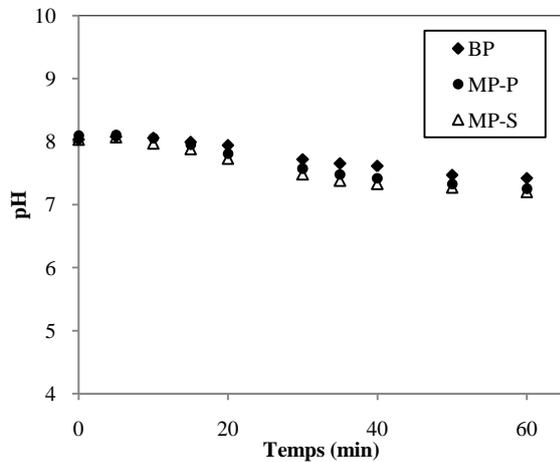


Fig.6 : Evolution du pH au cours de l'EC: $C_i = 50$ mg/L, densité de courant $j = 300$ A/m², débit d'alimentation $Q = 15$ L/h, conductivité $\kappa = 3.93$ mS/cm.

D. Evolution de la tension entre les électrodes au cours de l'EC

La Fig.7, nous résume l'effet de la densité de courant ($j = 300$ A/m²) et de la connexion électrique sur l'évolution de la tension entre les électrodes en fonction du temps.

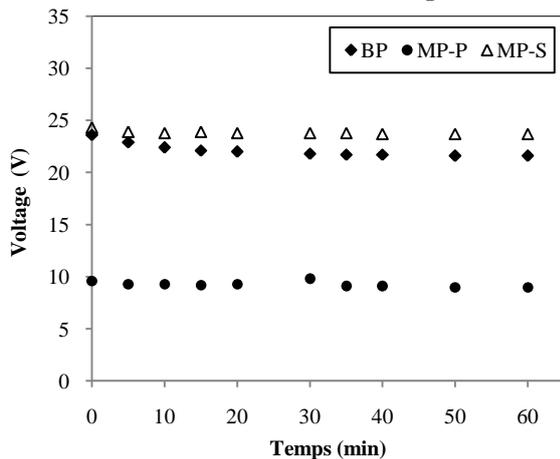


Fig.7 : Effet de la connexion électrique sur la tension entre les électrodes, $C_i = 50$ mg/L, densité de courant $j = 300$ A/m², débit d'alimentation $Q = 15$ L/h, conductivité $\kappa = 3.93$ mS/cm.

La tension de cellule représente la valeur relevée de la tension sur le générateur

stabilisé. Cette valeur de tension est fonction de l'intensité de courant, du matériau d'électrode, de l'effluent et de la connexion électrique des électrodes. Pour un effluent dont la conductivité est élevée, la tension est faible s'il n'y a pas de dépôt sur la surface des électrodes qui empêchent le passage du courant.

Comme il a été déduit lors du calcul des différentes énergies, la connexion monopolaire parallèle (MP-P) est plus efficace par rapport aux autres connexions. Ceci est dû au fait que la tension dans ce cas est presque à un tiers (1/3) des deux autres modes (BP et MP-S).

IV. CONCLUSION

L'EC est déjà connue comme un procédé efficace d'élimination de la coloration et des polluants contenus dans les rejets de l'industrie textile, et aussi pour l'élimination des polluants solubles et des colloïdes contenus dans l'eau potable.

Une série d'expériences a été réalisée afin de trouver les effets des paramètres influençant l'EC pour le traitement d'un effluent simulé constitué à base d'un colorant rouge nylosan.

Nos résultats soulignent l'opportunité d'appliquer le procédé d'EC en continu pour une réduction efficace de la couleur (absorbance) et de la turbidité pour tous les modes de connexions étudiés. Toutefois, la connexion monopolaire parallèle (MP-P) est la plus efficace sur tous les plans y compris celui de la consommation énergétique.

REFERENCES

- [1] Jarmany A., Kheribech A., Montadar M. (2002). la décoloration des rejets liquides de textile par électrocoagulation. Phys. Chem. News 6, p.101-109.
- [2] Peters R.W., Walker T.J., Eriksen J.E., Cheng T.K., Ku Y., et Lee W.M. (1985). Wastewater treatment -physical and chemical methods, J. Water Pollut. Control Fed., Vol. 57, pp. 503-517.



Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement

12 - 14 Mars 2019, Ouargla (Algérie)



- [3] Greaves A.J., Phillips D.A.S. et Taylor J.A. (1999). Correlation between the bioelimination of anionic dyes by an activated sewage sludge with molecular structure, Part 1: Literature review, *JSDC*, Vol. 115, pp. 363–365.
- [4] Thebault P., Cases J.M. et Fiessinger F. (1981). Mechanism underlying the removal of organic micropollutants during flocculation by an aluminum or iron salt, *Water Res.*, Vol. 15, pp. 183–189.
- [5] Zielinska B., Grzechuska J. et Morawski A.W. (2003). Photocatalytic decomposition of textile dyes on TiO₂ Tytanpol A11 and TiO₂ Degussa P25, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, Vol. 157, pp. 65–70.
- [6] Kim T.H., Park C., Shin E.B. et Kim S. (2002). Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process, *Desalination*, Vol. 150, pp. 165–175.
- [7] Bayramoglu M., Eyvaz M. et Kobya M. (2007). Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation: economical evaluation, *Chem. Eng. J.*, Vol. 128, pp. 155–161.
- [8] Poulet M. F. and Grasmick A. (1995). Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water science and technology*, 31 (3-4), 275-281.
- [9] Chou W.L., Huang Y.H. (2009). Electrochemical removal of indium ions from aqueous solution using iron electrodes, *Journal of Hazardous Materials*, 172, 46–53.
- [10] Gousmi N., Bensadok K. (2016). étude de l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation pour le traitement de rejets pétroliers, Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution ICEMAEP 30-31, Constantine, Algeria.
- [11] Merzouk B., Madani K., Sekki A. (2010). Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies, *Desalination*, 250, 573–577.
- [12] Chen G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment, *Sep. Purif. Technol.*, 38, 11–41.
- [13] F. Edeline. (1996). L'épuration physico-chimique des eaux, théorie et technologie, Cebedoc Editeur Lavoisier Tec. et Doc.
- [14] Amour A, Merzouk B, Leclerc J.P, Lopicque F. (2016). Removal of reactive textile dye from aqueous solutions by electrocoagulation in a continuous cell, *Desal. Water Treat.* 57, 22764–22773.
- [15] Bayramoglu M, Kobya M, Can O.T, Sozbir M. (2004). Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Sep. Purif. Technol.* 37, 117-125.
- [16] Ghosh D, Medhi C.R, Purkait M.K. (2008). Treatment of fluoride containing drinking water by electrocoagulation using monopolar and bipolar electrode connections, *Chemosphere*, 73, 1393–1400.
- [17] Attour A, Grich N.B, Tlili M.M, Amor M.B, Lopicque F, Leclerc J.P. (2016). Intensification of phosphate removal using electrocoagulation treatment by continuous pH adjustment and optimal electrode connection mode, *Desal. Water Treat.* 57(28), 13255–13262.
- [18] Sengil I.A., Özdemir A. (2012). Simultaneous decolorization of binary mixture of blue disperse and yellow basic dyes by electrocoagulation, *Desal. Water Treat.*, 46, 215–226.
- [19] El-Ashtoukhy E-S.Z., Amin N.K. (2010). Removal of acid green dye 50 from wastewater by anodic oxidation and electrocoagulation - A comparative study, *J. Hazard. Mater.*, 179, 113–119.
- [20] Merzouk B., Gourich B., Sekki A., Madani K., Vial Ch., Barkaoui M. (2009). Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process, *Chem. Eng. J.* 149, 207-214.