

## Etude de l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation pour le traitement de rejets textiles

M. Tiaiba<sup>(1)\*</sup>, B. Merzouk<sup>(2)</sup>, M. Mazour<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement, Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain Témouchent, Ain Témouchent, 46000, Algérie

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

\*Corresponding author: tiaibamohammed@hotmail.com ; Tel.: +213 657 21 52 08

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received : dd/mm/yyyy

Accepted : dd/mm/yyyy

#### Key Words:

Electrocoagulation;  
Color; Turbidity;  
wastewater; Electrode  
connection modes.

#### Mots clés:

Electrocoagulation;  
Couleur ; Turbidité ;  
Effluent ; modes de connexion  
des électrodes.

### ABSTRACT/RESUME

**Abstract :** In this study, the electrocoagulation technique was used for the treatment of a synthetic textile wastewater. This technique is applied to study the effect of certain operating parameters, such as initial pH, residence time ( $\tau$ ), current density ( $j$ ) and electrode connection systems on the removal of a nylosan red dye (Acid Red 336) by using aluminum electrodes in a continuous electrochemical reactor. Removal rates of 97 and 95% for absorbance and turbidity respectively were observed, when the current density  $j = 300 \text{ A/m}^2$ , the electrode connection is monopolar parallel (MP-P), the initial concentration ( $C_i$ ) is 50 mg/L, inlet flow rate  $Q = 15 \text{ L/h}$ , treatment time  $t = 35 \text{ min}$  and the initial pH = 8.06. The specific electrical energy consumption was 18.3 kWh per kilogram of dye removed. For the influence of the electrodes connection modes, the results showed that the monopolar parallel connection (MP-P) is the most efficient on all planes, including that of energy consumption.

**Résumé :** Dans la présente étude, nous avons utilisé la technique d'électrocoagulation pour le traitement d'un effluent synthétique de textile. Cette technique est appliquée pour étudier l'effet de certains paramètres opératoires, tels que le pH initial, le temps de séjour ( $\tau$ ), 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. Des taux d'élimination de 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'écoulement  $Q = 15 \text{ L/h}$ , 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 éliminé.

Pour l'influence des modes de connexion des électrodes, les résultats ont montré que la connexion monopolaire parallèle (MP-P) est la plus efficace sur tous les plans y compris celui de la consommation énergétique.

## I. Introduction

Dans les industries de textile, 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]. Ces rejets organiques sont toxiques et nécessitent une technique de dépollution adaptée [2-4]. Afin d'éviter la pollution des milieux aquatiques, l'Algérie est dotée d'une réglementation stricte, Loi 06-141, fixe les limites de rejet pour différents paramètres représentatifs de la qualité, bonne ou mauvaise, des effluents aqueux de textile [5].

Les méthodes conventionnelles, généralement utilisées pour l'élimination des colorants des eaux polluées industrielles, sont principalement les traitements biologiques et physicochimiques ainsi que leurs diverses combinaisons [6]. 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/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/TiO<sub>2</sub>, etc.) [7]. Cependant, ces méthodes de traitement consomment habituellement une quantité importante de produits chimiques, qui conduisent parfois à une pollution secondaire et à un volume énorme de boues [8]. Il s'est récemment avéré que les techniques de traitement des eaux polluées, basées sur la technique d'électrocoagulation, 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 [9]. La prise en compte de ces difficultés entre dans l'objectif de notre étude.

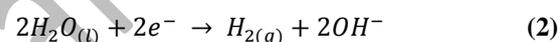
L'électrocoagulation consiste à générer directement en solution les réactifs nécessaires, par une oxydation d'une électrode (anode) dite sacrificielle. Néanmoins, ce procédé présente des limitations liées principalement au coût d'investissement initial élevé par rapport aux autres technologies de traitement, à l'utilisation d'un courant continu et de la durée de vie des électrodes [10]. 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 [11, 12]. 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<sup>2+</sup> ou Al<sup>3+</sup>). Les différentes espèces qui en sont issues, sont susceptibles de provoquer une coagulation et une floculation. Le dégagement du gaz d'hydrogène H<sub>2</sub> 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, la réaction (3) décrit le mieux l'évolution de l'hydrogène à la cathode.



## II. Matériels et méthodes

### II.1. Effluent synthétique

Le colorant rouge nylosan N-2RBL (sodium 6-amino-5-[[4-chloro-3-[(2,4-diméthylphényl)amino]sulphonyl]phényl]azo]-4-hydroxynaphthalène-2 sulphonate) a été utilisé pour la préparation de l'effluent synthétique. Sa structure chimique est représentée sur la Fig. 1. Les principales caractéristiques de ce composé sont données dans le tableau 1.

L'eau usée synthétique a été préparée en dissolvant le colorant dans de l'eau de robinet et a été diluée 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.

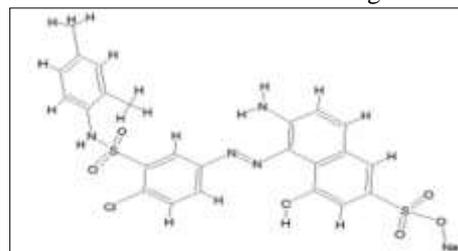


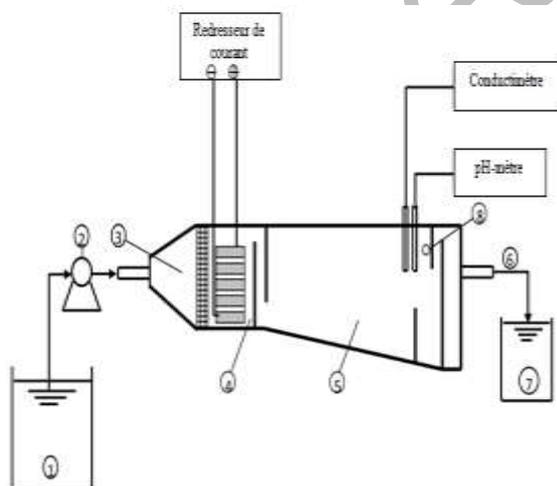
Figure 1. La structure chimique du colorant rouge nylosan

**Tableau 1.** Principales caractéristiques du colorant rouge nylosan

Index de Couleur : C.I.	Acid Red 336
Formule chimique	$C_{24}H_{21}ClN_4O_6S_2Na$
Poids moléculaire	587.97 g mol <sup>-1</sup>
absorption UV	$\lambda_{max}$ 502 nm

## II.2. 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\*20\*1 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<sub>3CH</sub>) fournissant un courant dans la gamme de 0-3A et de 30V.



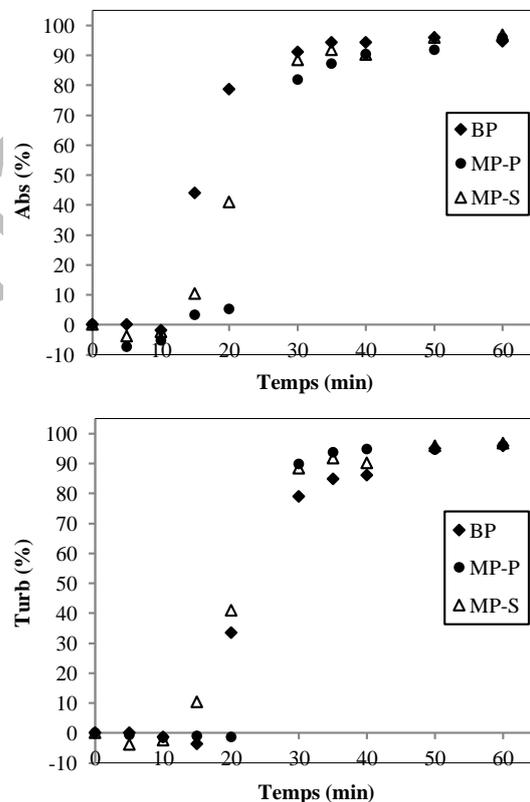
**Figure 2.** Unité d'électrocoagulation en régime continu. (1) Réservoir de stockage de l'eau à traiter, (2) pompe péristaltique, (3) section d'entrée, (4) cellule d'EC, (5) Chambre de séparation (décantation - flottation), (6) Section de sortie, (7) Réservoir de stockage d'eau traitée, (8) Goulotte d'évacuation des boues

## III. Résultats et discussion

### III.1. Effet de la densité de courant et du mode 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 [13].

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/m<sup>2</sup>) 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  $C_i = 50$  mg/L, pH initial aux alentours de 8 et un débit d'écoulement  $Q = 15$  L/h. Les résultats trouvés sont représentés sur les figures suivantes.



**Figure 3.** Effet du mode de connexion sur l'élimination de l'absorbance et de la turbidité :  $C_i = 50$  mg/L,  $j = 100$  A/m<sup>2</sup>, pH initial = 7.79,  $Q = 15$  L/h,  $\kappa = 2.9$  mS/cm.

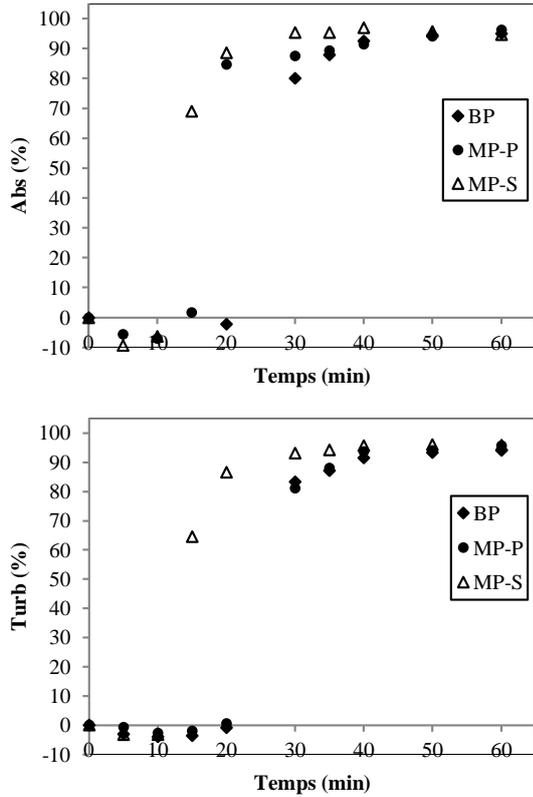


Figure 4. Effet du mode de connexion sur l'élimination de l'absorbance et de la turbidité :  $C_i = 50 \text{ mg/L}$ ,  $j = 200 \text{ A/m}^2$ ,  $\text{pH initial} = 8.06$ ,  $Q = 15 \text{ L/h}$ ,  $\kappa = 3.90 \text{ mS/cm}$

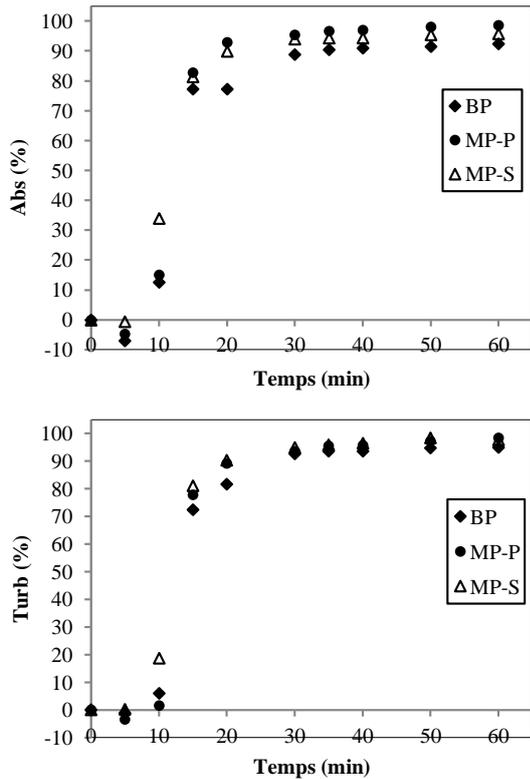


Figure 5. Effet du mode de connexion sur l'élimination de l'absorbance et de la turbidité :  $C_i = 50 \text{ mg/L}$ ,  $j = 300 \text{ A/m}^2$ ,  $\text{pH initial} = 8.06$ ,  $Q = 15 \text{ L/h}$ ,  $\kappa = 3.93 \text{ mS/cm}$ .

Les Figures (3 à 5) montrent que le temps requis pour atteindre les valeurs optimales, correspondant aux valeurs sur le plateau, diminue lorsque  $j$  augmente de 100 à 300  $\text{A/m}^2$ , 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  $\text{A/m}^2$  pour les trois modes de connexion a donné les résultats suivants (tableau 2).

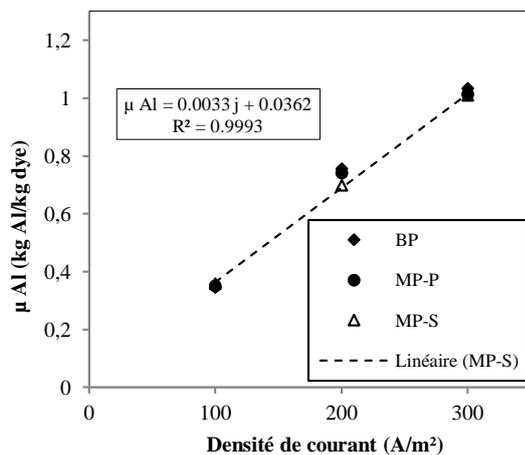
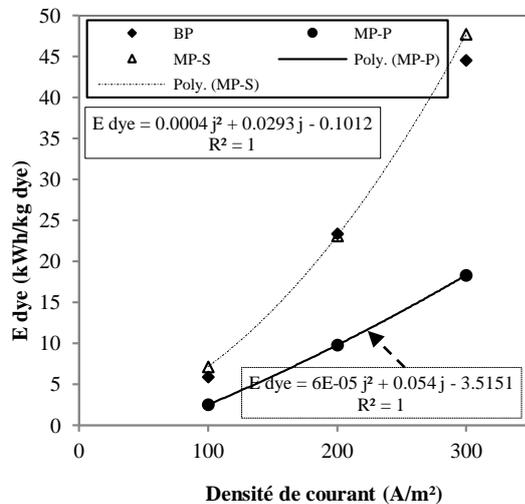
On constate que le pourcentage d'abattement maximal est obtenu pour une densité de courant élevée (200 et 300  $\text{A/m}^2$ ) avec les connexions monopolaire en parallèle (MP-P) et monopolaire en série (MP-S). En augmentant  $j$ , la quantité de cations d' $\text{Al}^{3+}$  libérée par l'anode et donc 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 [14] l'aluminium dissous se polymérise sous la forme d'hydroxyde d'aluminium et augmente ainsi la turbidité.

### III.2. 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 ( $E_{\text{dye}}$ ) [15]. Cette énergie a souvent été étudiée en fonction des paramètres de l'EC d'une façon générale. L'énergie électrique spécifique consommée  $E_{\text{dye}}$ , la consommation spécifique des électrodes par kg de colorant éliminée ( $\mu_{\text{Al}}$ ) sont représentés sur la Figure 6.

**Tableau 2.** Comparaison des performances de traitement en fonction du mode de connexion et de la densité de courant

Densité de courant $j$ (A/m <sup>2</sup> )	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



**Figure 6.** Effet de la densité de courant  $j$  sur l'énergie électrique spécifique consommée ( $E_{dye}$ ) et la consommation des électrodes ( $\mu_{Al}$ ) :  $C_i = 50$  mg/L,  $j = 300$  A/m<sup>2</sup>,  $pH$  initial = 8,  $Q = 15$  L/h,  $\kappa = 2.9$  mS/cm.

La Figure 6, montre que  $E_{dye}$  et  $\mu_{Al}$  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]. Selon

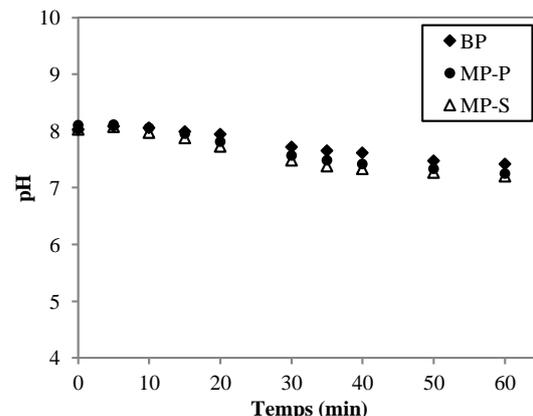
Bayramoglu *et al.* [16], le coût principal est dû à la consommation du matériau des électrodes.

Une densité de courant élevée conduit à une consommation élevée du métal des électrodes ( $\mu_{Al}$ ) 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 ont été obtenus par d'autres auteurs [17, 18].

### III.3. Evolution du pH au cours de l'EC

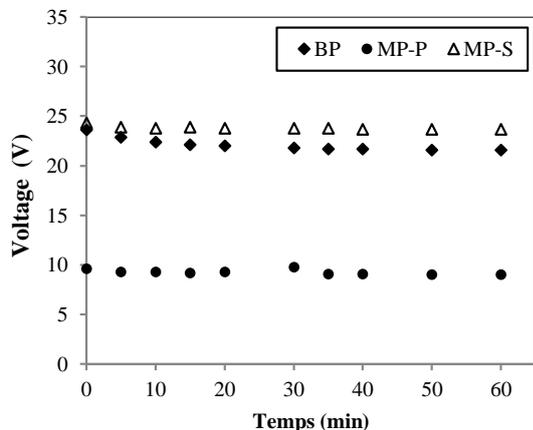
Il a déjà été établi que le pH est un facteur de fonctionnement clé influençant la performance du procédé d'EC [19, 20]. Son évolution dépend du pH initial. Le procédé de l'EC montre un certain pouvoir tampon en raison d'une balance entre la production et la consommation de  $OH^-$  et du besoin de la neutralisation de la charge avant la transformation finale des composés solubles d'aluminium sous forme d' $Al(OH)_3$  [21], 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).



**Figure 7.** Evolution du pH au cours de l'EC:  $C_i = 50$  mg/L,  $j = 300$  A/m<sup>2</sup>,  $Q = 15$  L/h,  $\kappa = 3.93$  mS/cm.

### III.4. Evolution de la tension entre les électrodes au cours de l'EC

La Figure 8 nous résume l'effet de la densité de courant ( $j = 300 \text{ A/m}^2$ ) et de la connexion électrique sur l'évolution de la tension entre les électrodes en fonction du temps.



**Figure 8.** Effet de la connexion électrique sur la tension entre les électrodes,  $C_i = 50 \text{ mg/L}$ , densité de courant  $j = 300 \text{ A/m}^2$ , débit d'alimentation  $Q = 15 \text{ L/h}$ , conductivité  $\kappa = 3.93 \text{ mS/cm}$

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.

### V. Références bibliographiques

- Jarmany, A.; Kheribech, A.; Montadar, M. la décoloration des rejets liquides de textile par électrocoagulation. *Phys. Chem. News* 6 (2002), p.101-109.
- DEPA (Danish Environmental Protection Agency), Survey of azo-colorants in Denmark. Toxicity and fate of azo dyes, (2000).
- Zollinger, H. color chemistry, syntheses, properties and application of organic dyes and pigments. Wiley-VCH, New York, 1987, pp. 543-566.
- EPA, Integrated Risk Information System, Azobenzene CASRN 103-33-3, may 1998.
- Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril (2006).
- Merzouk, B.; Madani, K.; Sekki, A. Epuration des effluents industriels par électroflottation, Université Badji Mokhtar - Annaba (Algérie). *Revue Synthèse* N° 20, Juin 2009, p.73-82.
- Zielinska, B.; Grzechuska, J.; Morawski, A.W. Photocatalytic decomposition of textile dyes on  $\text{TiO}_2$  Tytanpol A11 and  $\text{TiO}_2$  Degussa P25, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, Vol. 157 (2003), pp. 65-70.
- Bayramoglu, M.; Eyvaz, M.; Kobya, M. Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation: economical evaluation, *Chem. Eng. J.*, Vol. 128 (2007), pp. 155-161.
- Bennajah, M. Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation/électroflottation en réacteur airlift, Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse (2007), pages 200p.
- Gousmi, N.; Bensadok, K. Etude 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 (2016), Constantine, Algeria.
- Poulet, M.F.; Grasmick, A. Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water science and technology*, 31 (3-4) (1995), 275-281.
- Chou, W.L.; Huang, Y.H. Electrochemical removal of indium ions from aqueous solution using iron electrodes, *Journal of Hazardous Materials*, 172 (2009), 46-53.
- Tiaïba, M.; Merzouk, B.; Amour, A.; Mazour, M.; Leclerc, J.P.; Lapique, F. Influence of electrodes connection mode and type of current in electrocoagulation process on the removal of a textile dye. *Desal. Water Treat.* 73 (2017) 330-338.
- Edeline, F. L'épuration physico-chimique des eaux, théorie et technologie, Cebedoc Editeur Lavoisier Tec. et Doc (1996) pages 283p.
- Amour, A.; Merzouk, B.; Leclerc, J.P.; Lapique, F. Removal of reactive textile dye from aqueous solutions by electrocoagulation in a continuous cell, *Desal. Water Treat.* 57 (2016), 22764-22773.
- Bayramoglu, M.; Kobya, M.; Can, O.T.; Sozbir, M. Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Sep. Purif. Technol.* 37 (2004), 117-125.
- Ghosh, D.; Medhi, C.R.; Purkait, M.K.; Treatment of fluoride containing drinking water by electrocoagulation using monopolar and bipolar electrode connections, *Chemosphere*, 73 (2008), 1393-1400.
- Attour, A.; Grich, N.B.; Tlili, M.M.; Amor, M.B.; Lapique, F.; Leclerc, J.P. Intensification of phosphate removal using electrocoagulation treatment by continuous pH adjustment and optimal electrode connection mode, *Desal. Water Treat.* 57(28) (2016), 13255-13262.
- Sengil, I.A.; Özdemir, A. Simultaneous decolorization of binary mixture of blue disperse and

- yellow basic dyes by electrocoagulation, Desal. Water Treat., 46 (2012), 215–226.
20. El-Ashtouky, E.S.Z.; Amin, N.K. Removal of acid green dye 50 from wastewater by anodic oxidation and electrocoagulation - A comparative study, J. Hazard. Mater., 179 (2010), 113–119.
  21. Merzouk, B.; Gourich, B.; Sekki, A.; Madani, K.; Vial, Ch.; Barkaoui, M. Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process, Chem. Eng. J. 149 (2009), 207-214.

**Please cite this Article as:**

Tiaiba M., Merzouk B., Mazour M., Etude de l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation pour le traitement de rejets textiles, *Algerian J. Env. Sc. Technology*, X:X (YYYY) XX-XX

accepted manuscript