

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

N. GOUSMI^{1,2}, K. BENSADOK²

¹ Centre de recherche en technologies industrielles CRTI ex CSC, BP 64 Cheraga 1614, Alger, Algérie,
gousmin03@gmail.com

² Université des Sciences et de la Technologie H. Boumediene, B.P. 32 El - Alia 36111, Alger, Algérie.

RÉSUMÉ

Dans la présente étude, nous avons utilisé la technique d'électrocoagulation pour le traitement de rejets pétroliers (rejet synthétique), qui sont fortement chargés en matières organiques. Cette technique est appliquée pour étudier l'effet de certains paramètres opératoires, tels que l'intensité du courant, le temps d'électrolyse, la nature et la concentration de l'électrolyte. L'efficacité est suivie par la mesure de la DCO, la turbidité, et l'énergie électrique spécifique consommée. Pour un temps d'électrolyse de 60 minutes, une densité de courant de 60A/m², utilisant des électrodes en aluminium, l'élimination de la DCO et de la turbidité atteintes 83.52% et 99.59% respectivement. A ces conditions opératoires, la consommation énergétique correspond à 0.319 kWh/kg de DCO éliminée.

Mots Clés: *rejet pétrolier, électrocoagulation, DCO, énergie consommée, aluminium.*

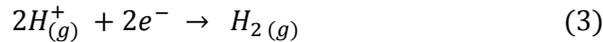
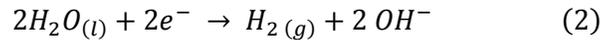
1. INTRODUCTION

Les besoins en eau sont de plus en plus importants alors que les quantités rejetées sont élevées. Les origines de la pollution des eaux sont diverses et variées. La pollution industrielle des eaux est la plus importante aussi bien du point de vue quantitatif que qualitatif. Le traitement des eaux résiduaires huileuses est d'une grande importance dans la gestion des rejets industriels usagés. Les hydrocarbures sont considérés comme des déchets dangereux pouvant avoir un important impact négatif sur l'environnement. Toutefois, l'hydrocarbure ou l'huile peuvent être valorisés, récupérés ou recyclés à condition qu'ils soient séparés de l'eau. Plusieurs techniques peuvent être appliquées à la séparation huile/eau, mais compte tenu des caractéristiques des eaux résiduaires et des conditions de rejet, certaines sont plus appropriées que d'autres. L'objectif de ce travail est d'étudier l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation au traitement d'un rejet pétrolier fortement chargé en matière organique. 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 (Poulet, 1995, Wei-Lung, 2009). 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 (Fe²⁺ ou Al³⁺). Les différentes espèces qui en sont issues, sont susceptibles de provoquer une coagulation et une floculation. Le dégagement du gaz d'hydrogène H₂ 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: (Poulet, 1995)

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.



2. METHODE EXPERIMENTALE

L'unité d'installation pour le traitement du rejet pétrolier, est composée d'un réacteur électrochimique (cellule) à fonctionnement en recirculation, sur laquelle deux électrodes en aluminium sont placées en parallèle dont leurs dimensions sont de 50 mm x100 mm. La distance inter-électrode est fixée à 10 mm. Les expériences ont été effectuées à la température ambiante.

Protocole expérimental

Dans un réacteur de forme cylindrique de volume 2L, contenant 1L de la solution, et avec une agitation sans interruption de 150 tr/min, nous avons ajouté la quantité désirée de chlorure de sodium (NaCl), afin d'augmenter la conductivité du milieu. Après avoir réglé l'intensité du courant choisie, on déclenche l'expérience qui est suivie pendant une durée déterminée (temps d'électrolyse). Après une heure de décantation, la phase aqueuse est prélevée et analysée par la mesure de la DCO ainsi que la turbidité. Toutes les expériences ont été effectuées à la température ambiante (approximativement $23 \pm 2^{\circ}C$).

3. RESULTATS

1. Effet de la densité du courant sur le temps d'électrolyse

L'efficacité de traitement des eaux généralement, et des émulsions plus particulièrement est directement liée à la concentration du coagulant. Dans notre cas, le coagulant se produit par dissolution des électrodes, il est donc important de connaître l'effet de la densité du courant appliquée aux bornes des électrodes.

Dans la présente étude, nous avons examiné l'effet de ce paramètre sur l'électrocoagulation. Pour cela, cinq densités de courant ont été examinées, en l'occurrence 20, 40, 60, 80 et 100A/m². Les figures 2, 3.a et 3.b représentent respectivement l'évolution de pH de la solution, d'abattement de la DCO et de la turbidité, en fonction du temps.

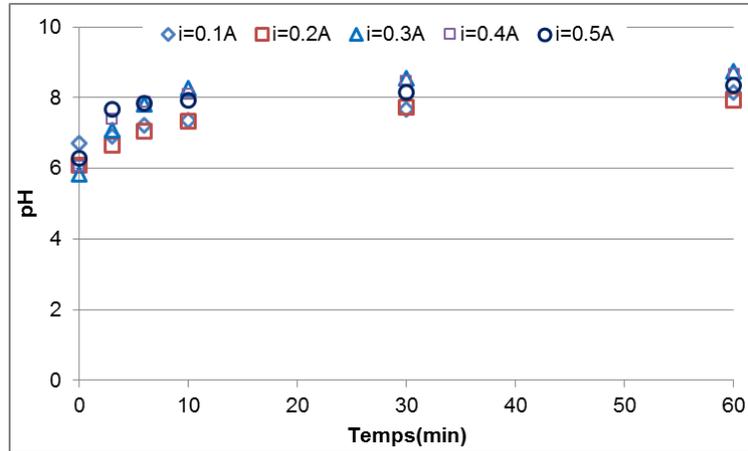


FIGURE 2: Evolution du pH en fonction du temps d'électrolyse.

Nous remarquons une légère augmentation de pH au cours du processus d'électrocoagulation. Cette augmentation due à la formation des ions hydroxydes produits à la cathode par la réduction de l'eau ou par la libération des ions OH^- issus de l'échange partiel des Cl^- avec les OH^- de $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Feng et al., 2007). Par ailleurs, nous avons suivi l'évolution des abattements de DCO et de turbidité en fonction de temps d'électrolyse. Les résultats sont représentés sur les figures 3.a et 3.b.

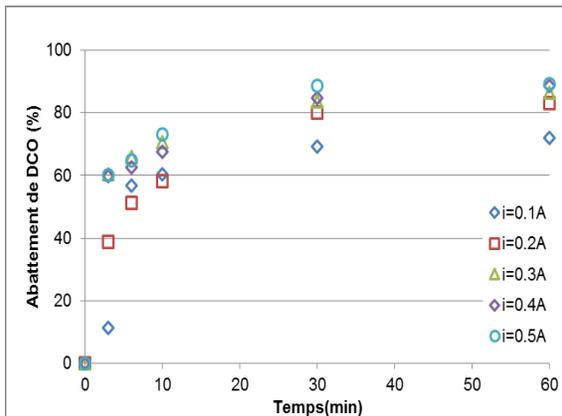


FIGURE 3.a : Evolution des abattements de DCO en fonction du temps

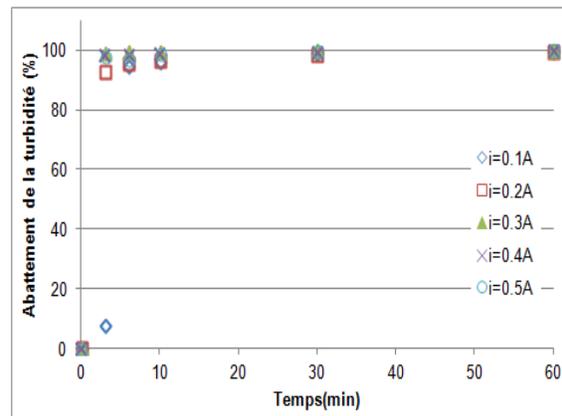


FIGURE 3.b: Evolution des abattements de turbidité en fonction du temps

D'après la figure 3.a, Nous constatons que, quel que soit la densité du courant, les abattements de la DCO présentent deux phases : (i) Une phase réactive, dans laquelle l'abattement de la DCO augmente rapidement en fonction du temps. (ii) Une phase stationnaire au bout de laquelle l'abattement de la DCO est quasi nul. Cette phase indique que, une dissolution supplémentaire de l'aluminium n'a pas d'effet sur le procédé.

Nous observons que, durant la phase réactive, l'abattement de la DCO croît avec la densité du courant. Ceci s'explique par le fait que la quantité d'ions Al^{3+} produites par dissolution de l'anode, augmente avec la densité de courant. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus par différents auteurs (Khemis et al. 2006), plus la quantité d'aluminium produite est élevée, plus la coagulation est importante, donc la déstabilisation est plus significative. Le taux d'élimination maximum est observé à une intensité du courant de 0.5A.

D'autre part, d'après la figure 3.b, les résultats montrent que quelque soit la densité du courant, la turbidité est totalement éliminée, les taux d'élimination atteintes le maximum. Cette élimination due à l'agglomération des matières en suspension et à la formation de complexes hydroxydes qui jouent le rôle de coagulant dans l'élimination de polluants qui décantent ou flottent en surface (Ahlawat et al. 2008). Au bout de 3 minutes, pour une intensité du courant de 0.5 A, le taux d'élimination de la turbidité est de 97.6 %.

2. Effet de la densité de courant sur la consommation énergétique

Les électrodes en aluminium consommées dans le procédé d'EC, les frais d'exploitation du processus sont considérés comme directement reliés à la consommation énergétique pendant l'électrocoagulation (Şengil et Ozacar, 2006 ; Alaton et al, 2008). La consommation d'énergie électrique est définie comme étant la quantité d'énergie électrique consommée par la masse d'unité de la quantité de matière enlevée.

Après 30 minutes d'électrolyse, nous avons calculé l'EESC pour différentes intensités de courant, les résultats sont regroupés dans le tableau 2.

| Intensité du courant (A) | Abatement de DCO (%) | Énergie consommé (kwh/kg) |
|--------------------------|----------------------|---------------------------|
| 0.1 | 69.33 | 0.083 |
| 0.2 | 79.91 | 0.212 |
| 0.3 | 83.52 | 0.319 |
| 0.4 | 84.64 | 0.505 |
| 0.5 | 88.64 | 0.936 |

D'après les valeurs de l'EESC calculée, nous remarquons que cette dernière augmente avec l'intensité du courant. D'autre part nous pouvons considérer que 0.3A est l'intensité optimale, dont le rendement atteint 83.52%.

2. Effet de la nature et la concentration de l'électrolyte

L'influence de la nature et de la concentration de l'électrolyte dans les procédés d'EC a été étudié (Daneshvar et al, 2007 ; Alaton et al, 2008). Dans le cas de l'utilisation d'électrodes en aluminium, plusieurs types d'électrolytes ont été utilisés, tels que NaCl (Kabdas et al, 2009), Na₂SO₄ (Tezcan et al, 2009) et CaCl₂ (Yilmaz et al, 2007)...etc.

Souvent, l'utilisation du chlorure de sodium (NaCl) est privilégiée du fait que les ions chlorures réduisent de manière significative les effets indésirables d'autres anions tels que HCO₃⁻ et SO₄²⁻, en évitant la précipitation du carbonate de calcium contenu dans une eau calcaire, qui pourrait former une couche isolante sur la surface des électrodes et augmenter la résistance de la cellule.

Pour une densité de courant de 0.3A, nous avons varié la concentration de NaCl dont le but de voir son effet sur l'élimination de la DCO. Les résultats sont reportés sur les figure 4.a et 4.b.

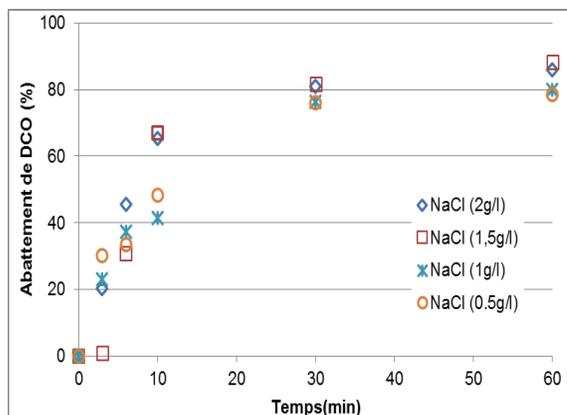


FIGURE 4.a : Evolution des abatements de DCO en fonction du temps

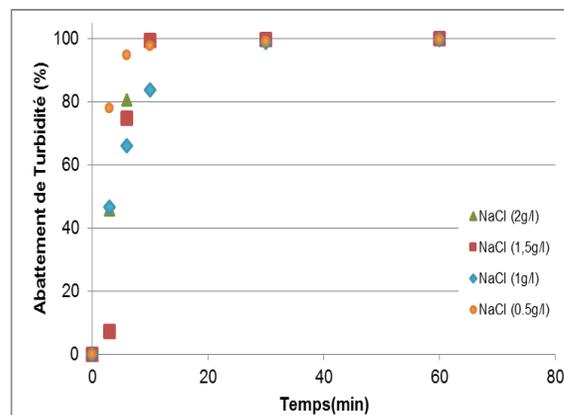


FIGURE 4.b: Evolution des abatements de turbidité en fonction du temps

Les résultats présentés dans la figure 4.a, montrent que le taux d'élimination de la DCO est croît avec l'augmentation de la concentration en électrolyte. Après une heure d'électrolyse l'abatement atteint 88.38%. Les ions chlorures étant corrosifs, ils attaquent les électrodes et de ce fait augmente la dissolution de ces dernières, ce qui a pour effet une augmentation de l'efficacité du procédé (Chih-TaWanga. 2009).

Par ailleurs, nous avons suivi l'évolution de l'abatement de la turbidité en fonction du temps. Les résultats sont représentés sur la figure 4.b. Après 10min d'électrolyse, l'ajout de l'électrolyte de 0.5 à 1.5 g/L, a conduit à une augmentation de l'efficacité de traitement qui atteint 99.43%. Lorsque la concentration de 2 g/L en NaCl, l'efficacité d'élimination de la turbidité a légèrement diminuée ; ceci s'explique par l'excès de l'ajout de NaCl.

4. CONCLUSIONS

Les résultats obtenus dans ce travail, nous a permis de déduire que le procédé d'électrocoagulation a une bonne efficacité de traitement. Pour une intensité du courant de 0.5 A, et une concentration de 1.5 g/L de NaCl, l'élimination de la DCO et de turbidité atteintes 83.52% et 99.59% respectivement. En effet, l'électrocoagulation a permis une réduction effective de la turbidité. Donc une meilleure pour la séparation des émulsions huile-eau par électrocoagulation.

REFERENCES

- R. Ahlawat, V.C. Srivastava, I.D. Mall, S. Sinha, Investigation of the electrocoagulation using mild steel electrodes, *Journal of Hazardous Materials*, 137, 1197-1205. 2008.
- I. Arslan-Alaton, I. Kabdasli, D. Hanbaba, E. Kuybu, Electrocoagulation of a real reactive dyebath effluent using aluminum and stainless steel electrodes, *Journal of Hazardous Materials*, 150, 166–173. 2008.
- W. Chih-Ta, C. Wei-Lung, K. Yi-Ming, Removal of COD from laundry wastewater by electrocoagulation, *Separation and Purification Technology*, 19, 65-76. 2009.

N. Daneshvar, A.R. Khataee, A.R.A. Ghadim, M.H. Rasoulifard, Decolorization of C.I. Acide yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC), *Journal of Hazardous Materials*, 148, 566-572. 2007.

Feng Qi-yan, Li Xiang-dong, Cheng Yu-jie, Meng Lei, Meng Qing-jun. Removal of Humic Acid from Groundwater by Electrocoagulation, *Journal of China University of Mining & Technology*, 17, 513-515, 2007.

I. Kabdas, T. Arslan, T. Ölmez-Hanc, I. Arslan-Alaton, O. Tünay, Complexing agent and heavy metal removals from metal plating effluent by electrocoagulation with stainless steel electrodes, *Journal of Hazardous Materials*, 165, 838–845. 2009.

M. Khemis, J.P. Lecter, G. Tanguy, G. Valentin, F. Lapique, Treatment of industrial liquide wastes by electrocoagulation. Experimental investigation and interpretaton model, *Chemical Engineering Science*, 61, 3602-3609. 2006.

M. F. Poulet, and A. Grasmick, Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water science and technology*, 31 (3-4), 275-281.1995.

Şengil, Mahmut özacar, Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes, *Journal of Hazardous Materials*, 137. 1197-1205. 2006.

U. Tezcan, A. Savas Koparal, U. Bakir Ogutveren, Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes, *Journal of Environmental Management* 90, 428-433. 2009.

Wei-Lung Chou, Yen-Hsiang Huang, Electrochemical removal of indium ions from aqueous solution using iron electrodes, *Journal of Hazardous Materials*, 172 (2009) 46–53.

A. E. Yilmaz, R. Boncukcuoglu, M. Kocakerim, A quantitative comparison between electrocoagulation and chemical coagulation for boron removal from boron containing solution, *Journal of Hazardous Materials*, 149,475-481. 2007.