

## Etude de l'applicabilité de l'oxydation électrochimique directe pour la dégradation de l'oxytétracycline

S. Belkacem\*<sup>1</sup>, S. Bouafia<sup>1</sup>, N. Oturan<sup>2</sup>, M. Chabani<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Université des Sciences et de la Technologie H. Boumediene, Faculté de G. Mécanique/ G. Procédés, Laboratoire des Sciences du Génie de la réaction, B.P. 32 El-Alia 36111, Alger, Algérie.

<sup>2</sup>Université Paris-Est, Laboratoire Géomatériaux et Environnement, 5 Bd Descartes, 77454 Marne-la-Vallée Cedex 2, France.

\*Corresponding author: sarah.belkacem@gmx.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT/RESUME
<p><b>Article History :</b> Received : 23/07/2017 Accepted : 02/03/2018</p> <hr/> <p><b>Key Words :</b> Oxytetracycline, Water treatment, Advanced oxydation processes, anodique oxydation, BDD.</p> <p><b>Mots clé:</b> Oxytetracycline, traitement des eaux, Procédés d'oxydation avancée, oxydation anodique, BDD.</p>	<p><b>Abstract:</b> The present study aims to investigate the oxytracycline degradation by means of electrochemical oxidation using boron doped diamond electrode (BDD). The electrochemical behavior of this later, examined by cyclic voltametry, showed a wave at 1.25 V/SCE which confirm the OTC oxidation. Thereby, the effect of electrolyte concentration (20, 40 and 60 mM) and current intensity (50, 150 and 300 mA), on OTC removal efficiency, was studied. The obtained results showed that OTC degradation followed a pseudo first order model and increased with the raise of current and electrolyte dose. At the optimal conditions (60 mM of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and 150 mA), the OTC degradation and mineralization reached 75% and 50% respectively, with a corresponding specific energy consumption of 0.46 kWh/kg.</p> <p><b>Resumé :</b> Au cours de ce travail on s'est intéressé à l'élimination de l'oxytétracycline (OTC), en solution aqueuse par oxydation électrochimique sur une anode en diamant dopé au bore (BDD pour «boron doped diamond»). L'étude électrochimique par voltamétrie cyclique a confirmé l'électroactivité de la molécule sur l'anode avec un pic d'oxydation aux alentours de 1,25 V/ECS. On s'est également intéressé à l'étude de l'effet de la concentration en électrolyte support (20, 40 et 60 mM) ainsi qu'à l'intensité de courant appliqué (50, 150 et 300 mA) sur l'efficacité du traitement. Les résultats ont montré que les cinétiques de dégradation étaient du pseudo premier ordre et que la vitesse de la réaction était proportionnelle à la concentration de l'électrolyte et à l'intensité du courant. Les conditions optimales de traitement ont permis d'atteindre des taux de dégradation et de minéralisation de 75% et de 50% respectivement, pour une consommation énergétique de 0,46 kWh/Kg.</p>

### I. Introduction

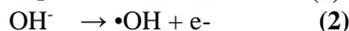
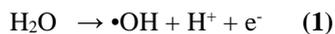
Au cours des dernières décennies la consommation des antibiotiques a fortement augmenté en médecine humaine, vétérinaire et végétale. Ces substances atteignent l'environnement naturel par diverses sources d'entrées. Elles ont été détectées à des concentrations pouvant varier de l'ordre du µg au mg

[1], selon leurs propriétés physico-chimiques et de celles du milieu récepteur [2]. Cette présence dans le milieu naturel conduit à la perturbation de la communauté bactérienne, mais également à l'apparition de gènes chez les bactéries leur permettant de résister à l'action des antibiotiques : L'antibiorésistance. Le traitement de certaines maladies infectieuses courantes devient de plus en plus difficile, voir impossible dans certains cas [3].

Il est de ce fait nécessaire de traiter les différents effluents afin que les antibiotiques n'atteignent pas l'écosystème.

Durant ces dernières années, l'utilisation des procédés d'oxydation avancée (POAs) pour l'élimination des substances non-biodégradables et récalcitrantes a connu un réel essor. Ces procédés sont basés sur la génération de radicaux hautement réactifs, les radicaux hydroxyles ( $\bullet\text{OH}$ ), qui réagissent de façon non sélective avec les composés organiques et inorganiques induisant ainsi leur oxydation [4]. La génération de ces radicaux peut se faire par différentes techniques : chimiques, photochimiques, sono-chimiques ou électrochimiques.

L'oxydation anodique est le POA électrochimique, le plus simple et le plus populaire pour le traitement des eaux [5]. C'est une technologie qui nécessite, en général, moins de réactifs et est facile d'automatisation par rapport aux autres POAs. Son principe repose sur la production des  $\bullet\text{OH}$  par l'oxydation de l'eau à la surface de l'anode (réaction 1) ou par les ions hydroxyles (réaction 2) pour les pH  $\geq 10$  [6].



Toutefois, Toutes les électrodes ne produisent pas ces radicaux avec la même efficacité. Plusieurs études ont montré que les matériaux les plus efficaces sont ceux possédant de fortes surtensions de dégagement d'oxygène [7]. Le diamant dopé au bore (BDD pour «boron doped diamond»), est un nouveau matériau qui possède une surtension beaucoup plus élevée que les autres matériaux communément utilisés, ce qui permet un traitement plus efficace de la pollution de part la quantité importante de radicaux hydroxyles produite [6].

L'objectif de ce travail, concerne l'étude de l'applicabilité de l'oxydation anodique sur une anode en BDD, pour l'élimination de l'oxytétracycline (OTC) en solution aqueuse d'une part et l'étude de l'effet de certains paramètres opératoires pouvant augmenter l'efficacité du procédé d'une autre part. Le choix de la molécule d'OTC, s'est fait en raison de sa forte consommation au niveau mondial mais également en raison de sa détection fréquente dans les différents environnements aquatiques [8].

## II. Materials and methods

### II.1. Présentation de la molécule cible

La formule chimique de l'OTC est  $\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_9$ ,  $2\text{H}_2\text{O}$  et sa structure chimique est présentée sur la figure 1. La poudre d'OTC (99 % de pureté) a été fournie par le groupe pharmaceutique SAIDAL et a été utilisée sans purification préalable. Les solutions d'OTC ont été préparées à différentes concentrations

avec de l'eau ultra-pure d'une résistivité de 18  $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ .

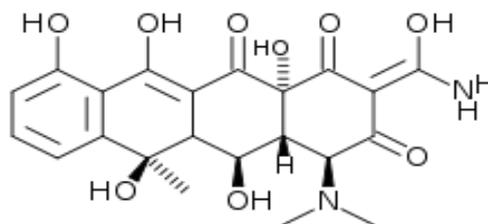


Figure 1 : Structure chimique de l'OTC

### II.2. Dispositif électrochimique

Les expériences d'électrolyse ont été réalisées à température ambiante et à un pH de 4,3 (pH naturel de la solution), au sein d'une cellule électrochimique contenant une solution de 250 ml d'OTC, à une concentration de 30 mg/L. L'anode en BDD et la cathode en titane platiné (Pt/Ti) ont été placées verticalement au centre de la cellule, séparées à une distance de 1 cm (Figure 2). Le courant électrique appliqué entre les électrodes est délivré par un générateur de courant continu (Dazheng 0-30 V; 0-5 A), équipé d'un ampèremètre et d'un voltmètre. Le  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  est utilisé comme électrolyte support afin d'améliorer la conductivité électrique de la solution.

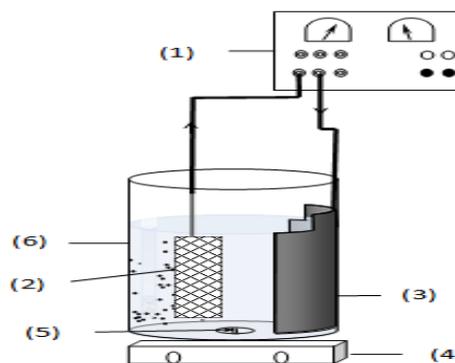


Figure 2 : Schéma du dispositif expérimental.

(1) Générateur de courant ; (2) cathode en Pt/Ti ; (3) anode en BDD ; (4) agitateur magnétique ; (5) barreau magnétique ; (6) cellule électrochimique

### II.3. Techniques analytiques

#### II.3.1. Analyse électrochimique

Les mesures électrochimiques par voltamétrie cyclique ont été réalisées moyennant une cellule en verre Pyrex à double enveloppe, d'une capacité

volumique de 50 ml, munie d'un couvercle à orifices permettant l'introduction de notre électrode de travail, en BDD, une contre électrode en platine et une électrode de référence en calomel saturé (ECS). Le montage est relié à un potentiostat (EC-Lab® Software Techniques and Application) et le voltamogramme est directement enregistré sur un micro-ordinateur.

### II.3.2 Mesure de la dégradation

Les différents échantillons prélevés au cours du traitement par oxydation anodique, ont été analysés par mesure spectrophotométrique (JENWAY 6305 UV/Vis) à une longueur d'onde de 354 nm, correspondant à l'absorbance maximale de la molécule. Dans le souci d'uniformiser les valeurs de départ, les concentrations de l'OTC en fonction du temps de traitement seront présentées en valeurs relatives par rapport à la concentration initiale ( $C/C_0$ ). L'efficacité de la dégradation est calculée selon la relation suivante:

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

Où  $C_t$  et  $C_0$  sont respectivement les concentrations de l'OTC aux instants  $t$  et  $t_0$ , mesurées par UV-Vis et  $R$  est le rendement de la dégradation.

### II.3.3 Suivi de la minéralisation

L'efficacité de la minéralisation de l'OTC a été suivie par mesure du carbone organique total (COT), sur un analyseur TOC-VCSH-SHIMADZU, selon la relation suivante:

$$COT(\%) = \frac{COT_0 - COT_t}{COT_0} \times 100 \quad (4)$$

$COT_0$  représente la teneur en matière organique de la solution avant le traitement et  $COT_t$  la teneur en matière organique de la solution traitée à un temps  $t$  d'électrolyse.

## III. Résultats et discussion

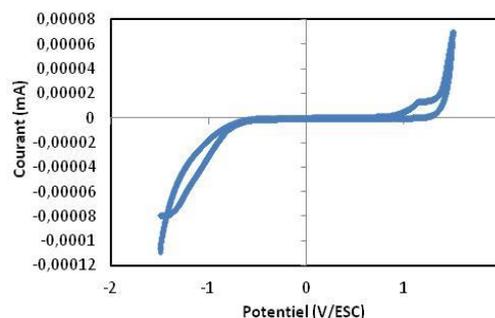
### III.1 Etude du comportement électrochimique de l'OTC

La voltamétrie cyclique est habituellement la première expérience exécutée avant d'entamer un traitement électrochimique d'oxydation. L'électroactivité de l'OTC a été étudiée sur une électrode de travail en BDD, en utilisant 40 mM de

$Na_2SO_4$  comme électrolyte support. La gamme de potentiel sélectionnée varie de -2 à 2 Volts et la vitesse de balayage a été fixée à 100 mV/s. Le voltamogramme enregistré met en évidence l'apparition d'un pic à un potentiel aux alentours de 1,25 V/ECS (Figure 3). Ce pic est attribué à l'oxydation de l'OTC sur l'anode en BDD, ce qui confirme la faisabilité du traitement électrochimique.

### III.2 Effet de la concentration de l'électrolyte

La conductivité de la solution désigne le passage des ions en solution et elle représente l'un des facteurs qui influe fortement sur l'efficacité des procédés électrochimiques. Ce paramètre dépend de la nature et de la concentration de l'électrolyte ajouté. Le sulfate de sodium ( $Na_2SO_4$ ) est l'électrolyte le plus communément utilisé, en raison de sa solubilité élevée, son faible coût et du fait qu'il soit non nocive pour l'environnement. Afin d'étudier l'influence de la concentration en électrolyte support, différentes concentrations en  $Na_2SO_4$  (20, 40 et 60 mM) ont été testées au cours de cette étude.



**Figure 3 :** Courbe potentiel-courant de l'OTC sur l'anode en BDD.

Les résultats de la figure 4, illustrent l'évolution de la dégradation de l'OTC au cours du temps pour les différentes concentrations en  $Na_2SO_4$ . D'après cette figure, nous observons que la dégradation de l'OTC croît avec l'augmentation de la concentration de l'électrolyte. Pour 20, 40 et 60 mM, les rendements de dégradation après 180 min sont de 56, 67 et 75%, respectivement. Ceci s'explique par le fait qu'une concentration élevée, améliore la conductivité du milieu et cela a pour conséquence d'augmenter la production des radicaux hydroxyles formés à l'anode par la réaction (1). De plus, le potentiel appliqué aux bornes de la cellule (Figure 5) décroît, avec l'augmentation de la concentration de l'électrolyte. Ceci se traduit par la diminution de la consommation énergétique du procédé [9].

D'autre part, l'utilisation du Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en électrochimie, peut être associée à la génération de l'ion persulfate S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> (réaction 5). En raison de leur grande réactivité, les ions persulfates peuvent contribuer à la dégradation de la matière organique. Une concentration plus élevée en électrolyte, permet donc d'améliorer l'efficacité du traitement de l'OTC [10]. Cependant, il n'est pas recommandé d'utiliser de plus fortes concentrations en électrolyte, du fait de la possible formation d'une couche de sel à la surface de l'électrode, réduisant la quantité de radicaux hydroxyles formés et entravant la migration de la matière organique à la surface de l'électrode [11]. En raison de ces résultats obtenus, nous retiendrons une concentration de 60 mM en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, qui s'avère être une valeur rationnelle.

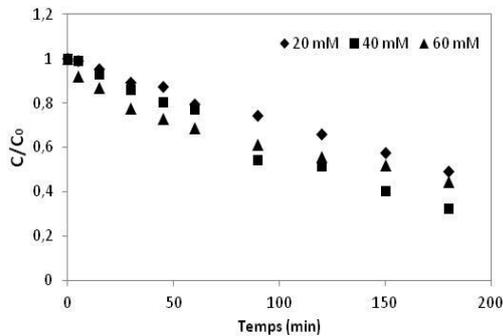
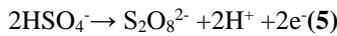


Figure 4 : Effet de la concentration de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur la dégradation de l'OTC. [OTC]<sub>0</sub>=30 mg/L, I=150 mA, pH=4,3.

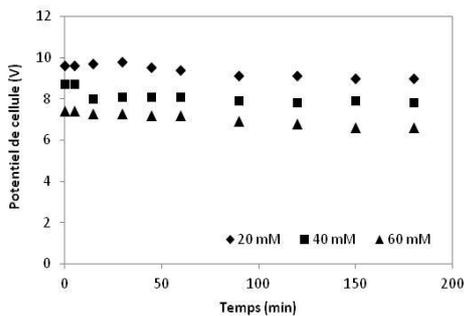


Figure 5 : Evolution du potentiel de la cellule électrochimique au cours du traitement. [OTC]=30 mg/L, I=150 mA, pH=4,3.

### III.3 Effet de l'intensité du courant

Pour les procédés électrochimiques, l'intensité du courant est jugée comme étant un paramètre essentiel, spécifiquement pour l'abatement des paramètres de pollution considérés. Pour cela, nous avons traité notre solution d'OTC à différentes

intensités de courant, en utilisant 60 mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> comme électrolyte support.

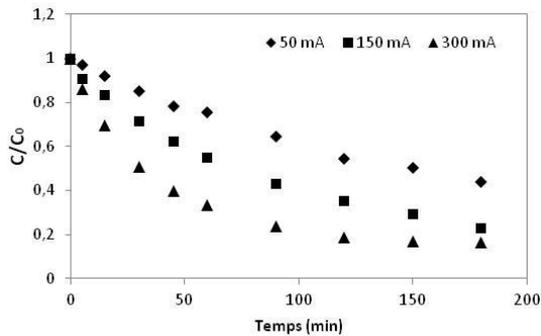
Nous observons d'après la figure 6, que la dégradation est plus rapide avec l'augmentation de l'intensité de courant. Pour 50, 150 et 300 mA, les rendements de dégradation sont de 56, 75 et 83 %, respectivement. En effet, l'augmentation de l'intensité de courant permet d'améliorer la vitesse des réactions électrochimiques, et donc une production plus importante des radicaux hydroxyles (réaction 1) et des radicaux persulfates (réaction 5) [12]. Néanmoins, l'augmentation de l'intensité de courant au-delà d'une certaine valeur, augmenterait de façon significative la quantité d'oxygène produite, et réduirait donc le nombre de sites actifs de l'anode. Il est donc préconisé de limiter les valeurs des intensités de courant [13].

Par ailleurs, le coût constitue l'un des facteurs les plus importants pour l'applicabilité de tout procédé. En plus des électrodes, les frais d'exploitation des procédés électrochimiques sont directement liés à l'efficacité du courant appliqué. Pour cela, nous avons considéré l'énergie électrique spécifique consommée (EESC), qui se définit comme étant la quantité d'énergie électrique consommée pour éliminer une quantité de la matière donnée. Cette énergie est calculée selon l'équation (6) [14].

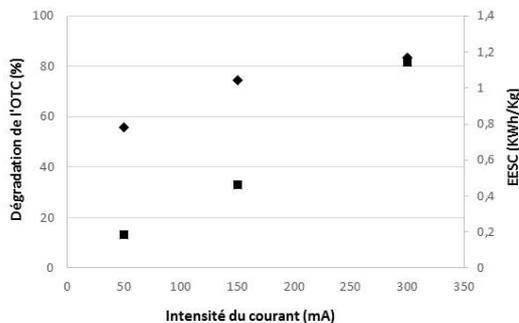
$$EESC \left( \frac{kWh}{kg} \right) = \frac{I \cdot U \cdot T}{(C_0 - C_t) \cdot V} \quad (6)$$

Où U est le potentiel de cellule (Volts), I est le courant appliqué (A), t le temps d'électrolyse (h) et V le volume réactionnel (L).

Les résultats, illustrés par la figure 7, montrent que l'EESC croît avec l'augmentation de l'intensité de courant appliquée. D'autre part, nous remarquons que lorsque le courant augmente de 50 à 150 mA, le taux d'élimination de l'OTC passe de 56 à 75 %, soit une augmentation du rendement de dégradation de 19 %, pour une augmentation de l'EESC de 0,18 à 0,46 kWh/Kg. En revanche, lorsque l'intensité de courant passe de 150 à 300 mA, l'EESC augmente de 0,46 à 1,14 kWh/Kg, pour une amélioration du taux de dégradation de l'OTC peu significative (9%). De ce fait, une intensité de courant de 150 mA peut être considérée, dans notre cas, comme étant une valeur plus adéquate. Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus par Dai et al., [11], qui préconisent de limiter les valeurs de l'intensité du courant appliqué.



**Figure 6 :** Effet de l'intensité du courant sur la dégradation de l'OTC.  
 $[OTC]_0 = 30 \text{ mg/L}$ ,  $[Na_2SO_4] = 40 \text{ mM}$



**Figure 7 :** Effet de l'intensité du courant appliquée sur le rendement de la dégradation de l'OTC (♦) et l'EESC (■) après 180 min de traitement.  
 $[OTC]_0 = 30 \text{ mg/L}$ ;  $pH \text{ libre} = 4,3$ ;  $[Na_2SO_4] = 60 \text{ mM}$ .

### III.4 Cinétique de la dégradation

Les tracés de  $\ln(C_0/C_t)$  en fonction du temps (figure 8), montrent que pour l'ensemble des résultats obtenus les courbes sont linéaires. Ce qui traduit une cinétique du pseudo-premier ordre.

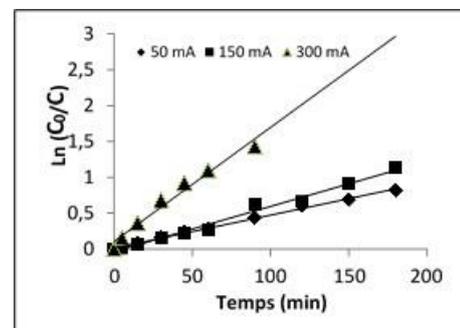
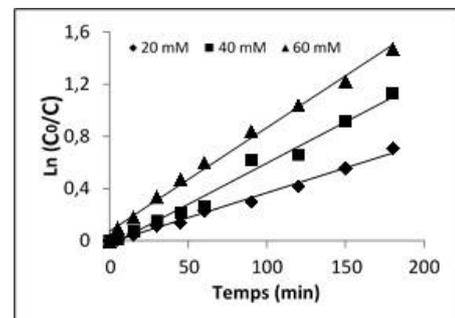
Quantitativement la vitesse de la dégradation est proportionnelle à la concentration de l'OTC et à la concentration des radicaux hydroxyles (équation 7). Par ailleurs, les radicaux hydroxyles ont des durées de vie très courtes et sont non cumulatifs dans le milieu réactionnel. Etant donné, qu'ils sont continuellement produits dans la solution, et comme nous opérons à des conditions galvanostatiques (I constant), nous pouvons admettre que leur concentration est constante au cours de l'électrolyse, le principe de l'état quasi-stationnaire peut donc leur être appliqués. La vitesse de la réaction peut s'écrire

alors selon l'équation 8. Ce qui nous permet de déterminer les constantes de vitesse apparentes ( $k_{app}$ ) sous diverses conditions opératoires.

$$-d[OTC]/dt = k \cdot [OH] \cdot [OTC] \quad (7)$$

$$-d[OTC]/dt = k_{app} \cdot [OTC] \quad (8)$$

Le tableau 1 regroupe l'ensemble des valeurs des ( $k_{app}$ ) et des coefficients de corrélation  $R^2$ . L'analyse de ce tableau montre que les valeurs des  $k_{app}$  augmentent avec l'augmentation de la concentration de l'électrolyte et de l'intensité du courant, ce qui confirme que la vitesse de la dégradation est proportionnelle à ces derniers. Ceci est en accord avec les résultats obtenus par Ozcan et al., [6] et Guinéa et al., [15].



**Figure 8 :** Détermination des constantes cinétiques de dégradation de l'OTC.

### III.5 Etude de la minéralisation

Afin d'évaluer l'efficacité du procédé, nous nous sommes également intéressés à l'évolution de la minéralisation de l'OTC au cours du traitement pour les conditions opératoires optimisées ( $[Na_2SO_4] = 60 \text{ mM}$  et  $I = 150 \text{ mA}$ ). D'après la figure 9, nous observons que l'abattement du TOC est de 50 % après 8h d'électrolyse. Cette minéralisation incomplète peut s'expliquer par la production d'intermédiaires réactionnels difficiles à dégrader tels que les acides carboxyliques [16], ce qui peut nécessiter une durée de traitement plus longue, or une durée de traitement longue augmenterait les

coûts opératoires associés. Donc, le procédé étudié, peut être utilisé comme un moyen de prétraitement couplé à un traitement biologique. L'efficacité du courant de la minéralisation (MCE, mineralization current efficiency, en pourcentage) au cours de l'électrolyse, a été calculée à partir des valeurs de COT, en utilisant la relation (9) [12].

$$MCE(\%) = \frac{nFV_s \Delta COT_0}{4,32 \cdot 10^7 m \cdot I \cdot t} \times 100 \quad (9)$$

**Tableau 1:** Constantes de vitesse apparente pour les différentes expériences réalisées.

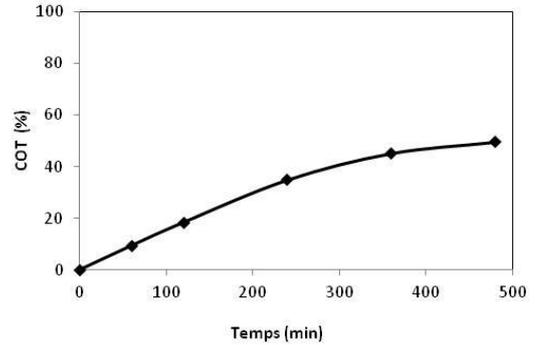
[Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ] (mM)	Intensité de courant (mA)	K <sub>app</sub> (min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
20	150	0,0037	0,997
40	150	0,006	0,982
60	150	0,0086	0,982
60	50	0,0047	0,994
60	300	0,0177	0,976

où n est le nombre d'électrons consommés dans le procédé de minéralisation de la molécule OTC, F est la constante de Faraday (96487 C.mol<sup>-1</sup>), V est le volume de la solution (L), Δ(COT)<sub>exp</sub> est la décroissance expérimentale du COT (mg.L<sup>-1</sup>), 4,32\*10<sup>7</sup> est un facteur de conversion (3600 s.h<sup>-1</sup> × 12000 mg.mol<sup>-1</sup>), m est le nombre d'atomes de carbone dans une molécule d'OTC (22), I est le courant appliqué (A) et t est le temps d'électrolyse (h). La valeur n a été prise comme 96 considérant que chaque molécule d'OTC est complètement minéralisée en CO<sub>2</sub> selon la réaction suivante :

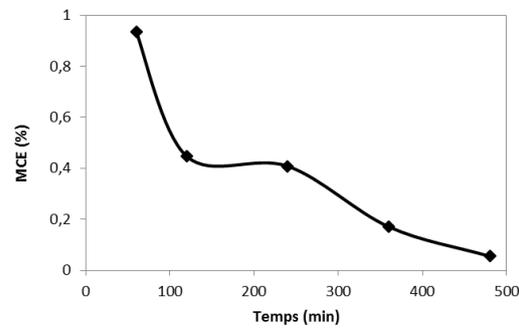


La figure 10 montre que la plus grande valeur de MCE a été obtenue après 60 min de traitement. Au-delà de ce temps ce paramètre subit une chute avec le temps d'électrolyse. Cette tendance peut être liée à une diminution progressive de la concentration de l'OTC dans la solution dans une première étape et à l'accumulation d'intermédiaires plus difficiles à

détruire par l'oxydation anodique dans une seconde étape [16].



**Figure 9 :** Evolution de la minéralisation de l'OTC au cours du traitement.



**Figure 10 :** Evolution de l'efficacité de minéralisation de l'OTC au cours du traitement.

#### IV. Conclusion

Dans cette étude nous avons démontré la faisabilité du procédé d'oxydation anodique, sur une anode en BDD pour la dégradation de l'OTC. L'efficacité du traitement peut être améliorée avec l'augmentation de la concentration de l'électrolyte et l'intensité du courant. Toutefois, afin d'éviter une consommation importante de l'énergie électrique, 150 mA a été considérée comme étant une valeur plus adéquate. Par ailleurs, l'étude cinétique a montré que la dégradation de l'OTC suit une cinétique du pseudo-premier ordre et les conditions opératoires optimisées ont permis d'atteindre des taux de dégradation et de minéralisation de 75% et de 50%, respectivement. L'oxydation anodique peut être une voie prometteuse pour améliorer la biodégradabilité des composés réfractaires. Son couplage avec un traitement biologique permettrait de réduire considérablement le temps de traitement.

## V. Références bibliographiques

1. Larsson, D.G.J., De Pedro, C., Paxeus, N., Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals, *Journal of Hazardous Materials* (2007), 148,751-755.
2. Kemper N., Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment, *Ecological indicator* (2008), 18-13.
3. Arabpour N., Ejhieh, A.N., Photodegradation of cotrimaxazole byclinoptilolite-supported nickel oxide, *Process Safety and Environmental Protection* (2016), 102, 431-440.
4. Das, L., Maity U., Basu, J.K., The photocatalytic degradation of carbamazepine and prediction by artificial neural networks, *Process Safety and Environmental Protection* (2014), 92, 888-895.
5. Brillas, E., Arias, C., Cabot P.L., Centellas, F., Carrido, J.A., Rodriguez, R.M., Degradation of organic contaminants by advanced electrochemical methods, *Portugaliae Electrochimica Acta* (2006), 24, 159-189.
6. Ozcan, A.O., Sahin, Y., Koparal, A.S., Oturan, M.A., Protham mineralization in aqueous medium by anodic oxidation using boron-doped diamond anode: Influence of experimental parameters on degradation kinetics and mineralization efficiency, *Water Research* (2008), 42, 2889-2898.
7. Barrera-Diaz, C., Canizares, P., Fernandez, F.G., Natividad, R., Rodrigo, M.A., *Electrochemical Advanced Oxidation Processes : An Overview of the Current Applications to Actual Industrial Effluents*, *Journal of the Mexican Chemical Society* (2014), 58(3), 256-275.
8. Pailler, J.,Y., Krein, A., Pfister, L., Hoffmann, L., Guignard, C., Solid phase extraction coupled to liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of sulfonamides, tetracyclines, analgesics and hormones in surface water and wastewater in Luxembourg, *Science of The Total Environment* (2009), 407, 4736-4743.
9. Palma-Goyes, R.E., Guzman-Duque, F.L., Penuela, G., Gonzalez, I., Nava, J.L., Torres-Palma, R.A., Electrochemical degradation of crystal violet with BDD electrodes: Effect of electrochemical parameters and identification of organic by-products, *Chemosphere* (2010), 81, 26-32.
10. Chachou, L., Gueraini, Y., Bouhalouane, Y., Poncin, S., LiK, H.Z. Bensadok, K., Application of the electro-Fenton process for cutting fluid mineralization, *Environmental Technology* (2015), 36, 1924-1932.
11. Dai, Q., Zhou, J., Weng, M., Luo, X., Feng, D., Chen, J., Electrochemical oxidation metronidazole with Co modified PbO<sub>2</sub> electrode: Degradation and mechanism, *Separation and Purification Technology* (2016), 166, 109-116.
12. Zazou, H., Oturan, N., Sonmez-Celebi, M., Hamdani, M., Oturan, M.A., Mineralization of chlorobenzene in aqueous medium by anodic oxidation and electro-Fenton processes using Pt or BDD anode and carbon felt cathode, *Journal of Electroanalytical Chemistry* (2016), 774, 22-30.
13. Dai, Q., Xia, Y., Sun, C., Weng, M., Chen, J., Wang, J., Chen, J., Electrochemical degradation of levodopa with modified PbO<sub>2</sub> electrode: parameter optimization and degradation mechanism, *Chemical Engineering Journal* (2014), 245, 359-365.
14. Bensadok, K., El-Hanafi, N., Lapique, F., Electrochemical treatment of dairy effluent using combined Al and Ti/Pt electrodes system, *Desalination* (2011), 280, 244-251.
15. Guinea, E., Arias, C., Cabot, P.L., Garrido, J.A., Rodriguez, R.M., Centellas, F., Brillas, E., Mineralization of salicylic acid in acidic aqueous medium by electrochemical advanced oxidation processes using platinum and boron-doped diamond as anode and cathodically generated hydrogen peroxide, *Water Research* (2008), 42, 499-511.
16. Wu J., Zhang H., Oturan N., Wang Y., Chen L., Oturan M.A., Application of response surface methodology to the removal of the antibiotic tetracycline by electrochemical process using carbon-felt cathode and DSA (Ti/RuO<sub>2</sub> -IrO<sub>2</sub>) anode, (2012), *Chemosphere*, 87, 614-620.

**Please cite this Article as:**

Belkacem S., Bouafia S., Oturan N., Chabani M, Etude de l'applicabilité de l'oxydation électrochimique directe pour la dégradation de l'oxytétracycline, *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 4:1 (2018) 664-670