Développent d'un matériel d'électrode biosourcé pour la dégradation de micropolluants dans le procédé Galvano-Fenton

Jesús David Ramírez Páez[1,2], Naoufel Haddour[1], Arnaud Breard[1], Pascal Fongarland[2], David Edouard[2]

Affiliation 1 : Université de Lyon, École Centrale de Lyon, INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, Ampère, UMR5005, 69130 Ecully, France.

Affiliation 2 : Laboratoire de Catalyse, Polymérisation, Procédés et Matériaux, Université Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, CNRS, BP 82077, 69616 Villeurbanne, France.

Introduction

La réutilisation des eaux usées est un enjeu politique et socio-économique pour le développement de la ville durable du futur. Ce développement nécessite la réduction des substances micropolluantes (pesticides, perturbateurs endocriniens, métaux lourds, plastifiants, antibiotiques...) présentes dans les eaux traitées à la sortie des stations d'épuration. Dans ce contexte, les procédés de traitement des micropolluants, tels que les procédés d'oxydation avancés (POA), connaissent un essor depuis quelques années. Ces procédés ne sont pas encore sélectionnés comme solution de traitement complémentaire dans les stations d'épuration à cause de leur surcoût élevé et de leur importante consommation d'énergie. La technologie Galvano-Fenton (GF) est un procédé d'oxydation avancée breveté au laboratoire Ampère et qui emploi des déchets ferreux pour traiter les eaux usées en dégradant les micropolluants tout en produisant de l'énergie électrique [1, 2]. Ce procédé se base sur l'utilisation d'électrodes bon marché en fer (ou des déchets ferreux) et du cuivre en présence de H2O2 pour catalyser la réaction de Fenton et générer des radicaux OH* capables de dégrader des polluants récalcitrants dans des eaux usées. L'étude présentée dans ce travail vise à explorer la faisabilité d'une nouvelle approche systémique favorisant la bio-économie circulaire, pour combiner dégradation des micropolluants, production d'énergie et valorisation des déchets de biomasse de manière durable et avec une faible empreinte écologique. Afin de remplacer l'utilisation du cuivre dans le procédé GF, la solution technologique proposée dans ce travail consiste à employer des matériaux à base de biochar. Le biochar est un sous-produit de la décomposition thermique de la biomasse résiduelle qui est généralement produit à partir de déchets biologiques disponibles localement, tels que des résidus agricoles et forestiers avec des coûts très réduits. Plusieurs études récentes ont démontré la possibilité d'utiliser du biochar comme matière première pour la production d'électrodes. Ainsi, les performances du procédé GF employant des cathodes en BC, ont été étudiées pour la dégradation d'un modèle de polluant, le vert de malachite.

Résultats et discussion

Les différents paramètres d'opération pour le procède de traitement Galvano-Fenton à base du biochar ont été étudiés en priorisant la performance de dégradation d'un polluant modèle, le vert de malachite (VM). La dégradation du VM par le procédé GF a été suivi par spectrophotométrie, dans un réacteur en batch de 100 ml et avec une concentration initiale de H_2O_2 de 2 mM. L'étude de l'effet de la température de pyrolyse sur les propriétés du BC a montré une meilleure conduction électronique du BC fabriqué à 900°C. De plus, le BC préparé à 900 °C présente un potentiel de production énergétique supérieur au BC préparés à des plus faibles température, et une cinétique de dégradation plus rapide (r_o=6.55 µmol.L^{-1}.min^{-1}, en appliquant le modèle cinétique de Chu) [3]. Ces bonnes performances sont attribuées à la faible résistivité électrique (16±3x10^{-3} Ω.m) et surface spécifique importante (136 m^2.g^{-1}) du BC qui faciliterait le transport de charges avec le milieu électrolytique. L'étude de l'effet du rapport des surfaces entre la cathode et l'anode (BC/Fe) a permis de trouver un

rapport de 3 pour l'obtention d'une cinétique de dégradation optimale. Ce rapport permet un maximum de libération des ions ferreux vers le milieu. Enfin, l'étude de l'effet de différents paramètres physicochimiques sur la cinétique de dégradation, a permis de déterminer les paramètres optimaux suivants : pH 3, température ambiante et une concentration initiale de H_2O_2 de 3 mM. La concentration initiale du VM a également été étudiée comme montré dans la Figure 1. Cette étude a permis une comparaison plus rigoureuse des performances du procédé GF avec le cuivre et le BC comme matériaux de cathode.

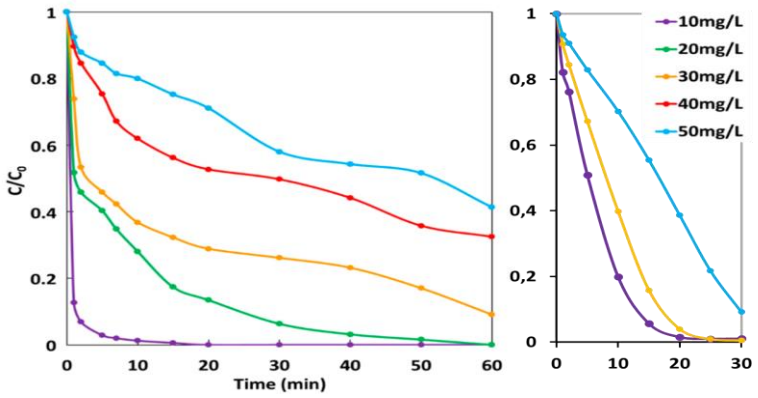

Figure 1 : Effet de la concentration initial du VM sur la vitesse de dégradation lors du traitement par GF, en utilisant du cuivre (à gauche) [1] et en utilisant du BC (à droite).

À partir du graphique précédant il est possible d'argumenter que la vitesse initiale du traitement est supérieure avec le cuivre comme matériel de cathode. Toutefois, il existe un important désavantage quand il s'avère de traiter des solutions plus concentrées, où le procédé avec du BC montre une meilleure efficacité. En effet, le procédé GF à base de BC permet le traitement d'une quantité plus importante de polluant avec un temps de réaction de seulement 30 minutes. Ce résultat permet de prouver que le BC est valable comme matériaux cathodique apportant une amélioration du temps de traitement.

Conclusion

La méthodologie employée dans cette étude a permis de valider la possibilité de remplacer dans le procédé GF, le cuivre, un métal couteux et provenant des mines, par du BC, un matériau issu des déchets de biomasse. Ceci permet d'envisager la possibilité d'améliorer les couts d'investissement du procédé ainsi que sa durabilité. De manière complémentaire, les différents paramètres d'opération ont été étudiés de façon à obtenir des valeurs optimales pour améliorer la performance du traitement au niveau de la dégradation de micropolluants.

Références bibliographiques

Gasmi, I.; Haddour, N.; Hamdaoui, O.; Kerboua, K.; Alghyamah, A.; Buret, F. A Novel Energy-from-Waste Approach for Electrical Energy Production by Galvano–Fenton Process. *Molecules*, 2021, 26 (13), 4013.

Bataillou, G.; Lee, C.; Monnier, V.; Gerges, T.; Sabac, A.; Vollaire, C.; Haddour, N. Cedar Wood-Based Biochar: Properties, Characterization, and Applications as Anodes in Microbial Fuel Cell. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2022, 1-18.

Chu, W.; Kwan, C. Y.; Chan, K. H.; & Chong, C. An unconventional approach to studying the reaction kinetics of the Fenton's oxidation of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid. *Chemosphere*, 2004, 57 (9), 1165-1171.