



NOTE DE RECHERCHE

FÉVRIER 2014 • N°2.

ADSORPTION DES IONS DE CUIVRE PAR DES NANOFIBRES ÉLECTROFILÉES DE CHITOSANE-OXYDE DE POLYÉTHYLÈNE

Cette étude s'intéresse à l'optimisation des conditions opératoires d'adsorption, par mécanisme de « chélation », des ions de cuivre par des membranes de nanofibres de chitosane produites par le procédé d'électrofilage. L'objectif à long terme vise à concevoir un nouveau procédé d'épuration performant et économique, pour traiter les effluents d'une usine papetière et produire une eau de qualité acceptable pour permettre sa recirculation partielle dans l'usine sans affecter les opérations ni la qualité des produits fabriqués. Un plan composite à faces centrées (CCF) a été utilisé pour étudier l'influence des différentes variables liées au processus d'adsorption (température, concentration des ions de cuivre, quantité de nanofibres) sur l'efficacité de l'adsorption. Une équation de régression de second ordre exprimant la relation entre ces variables et la capacité d'adsorption a été développée. Une capacité d'adsorption optimale de 95.5% a été obtenue sous les conditions opératoires suivantes : pH: 5,5, temps de contact: 4 heures, concentration des ions de cuivre: 100 ppm, quantité de nanofibres: 75 mg, température: 60.7 °C.

INTRODUCTION

Les ions de cuivre sont des métaux lourds qui doivent être éliminés à cause de leur toxicité ainsi que leur impact néfaste sur l'environnement [1]. Plusieurs méthodes de traitement des eaux ont été adoptées comme la filtration membranaire, la précipitation chimique, l'osmose inverse et les résines échangeuses d'ions. Cependant, ces méthodes, relativement onéreuses, ne sont pas assez efficaces pour éliminer ces matières inorganiques toxiques des eaux usées [2]. Dans cette étude, nous proposons d'adsorber les ions de cuivre par chélation à l'aide de nanofibres électrofilées de chitosane. Le chitosane, un polymère polycationique chélatant connu pour sa non-toxicité, sa biocompatibilité et sa biodégradabilité, est considéré comme un excellent adsorbant grâce à ses groupements hydroxyles (-OH) et amines (-NH₂), lui permettant de complexer les ions métalliques par « chélation » [3]. Le principe de l'électrofilage est illustré à la figure 1.

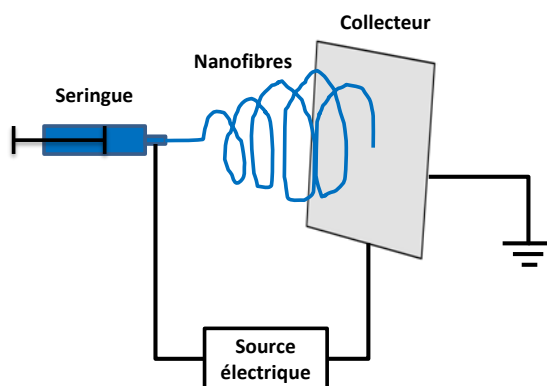


Figure1. Principe de l'électrofilage

I. MATÉRIEL ET MÉTHODE

- Des nanofibres ont été produites par électrofilage [4] à température ambiante à partir d'une solution de chitosane à 4%wt préparée dans une solution d'acide acétique à 50%, en présence d'une solution de copolymère d'oxyde de polyéthylène à 4%wt.
- Les paramètres d'électrofilage ont été fixés : Voltage: 25 kV, débit: 0,5 ml/h, distance buse-collecteur: 10 cm, diamètre de seringue: 3mm, collecteur: cylindre, vitesse de rotation: 1500 t/min.
- Les nanofibres ont été lavées ultérieurement avec une solution de carbonate de sodium (Na₂CO₃) pour améliorer leur stabilité en milieu aqueux.
- La caractérisation de la morphologie et la géométrie des nanofibres fabriquées ont été effectuées par microscopie électronique à balayage (MEB).
- La capacité d'adsorption des nanofibres électrofilées a été calculée par l'équation suivante :

$$q = (C_0 - C_{eq}) \frac{V}{m}$$

Avec: C₀: concentration initiale de cuivre dans la solution (mg/L), C_{eq}: concentration d'équilibre du cuivre dans la solution (mg/L), V: volume de la solution (L), m: quantité de nanofibres (mg).

- Dans le but d'optimiser la capacité d'adsorption de ces nanofibres vis-à-vis les ions de cuivre, un plan composite à faces centrées (CCF) avec 4 points centraux a été utilisé pour étudier l'influence des différentes variables liées au processus d'adsorption (température, concentration de cuivre, quantité de nanofibres) sur l'efficacité de l'adsorption.
- Après avoir fixé le pH à 5,5, le temps de contact à 4 heures et le rapport de masse chitosane-polyéthylène oxyde à 50:50, le plan d'expérience CCF (3 paramètres-

3 niveaux) est illustré au tableau 1. La désirabilité est de maximiser la capacité d'adsorption des nanofibres.

Tableau 1. Plan expérimental de l'adsorption des ions de cuivre sur des nanofibres de chitosane-PEO.

Paramètre	Niveaux		
	-1	0	1
Concentration des ions de cuivre (C ₀) en ppm	100	200	300
Quantité des nanofibres (NF) en mg	25	50	75
Température (T) en °C	25	50	75

• L'analyse des résultats d'optimisation a été effectuée en utilisant le logiciel statistique JMP® 10.

II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

• Les résultats de la microscopie électronique à balayage sont illustrés à la figure 2. Les résultats confirment que des nanofibres continues, uniformes et non perlées avec un diamètre moyen nanométrique (d=293nm) et une surface spécifique extrêmement développée ont été obtenues.

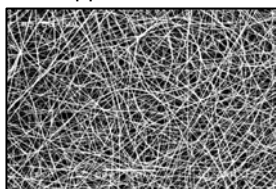


Figure 2. Microscopie électronique à balayage

• L'analyse du modèle quadratique adopté montre que la distribution des données est normale. L'ajustement du modèle montre un R²=0.9962. Le test Fisher révèle un rapport F=235.24 et une probabilité <0.0001 ce qui confirme que le modèle est significatif. L'effet des différents paramètres sur la capacité d'adsorption est illustré sous forme de représentation en 3D par l'analyse du profileur de surface (figure 3).

• Les résultats de profileur de surface montrent que la capacité d'adsorption augmente proportionnellement avec la quantité de nanofibres et est inversement proportionnelle à la concentration initiale des ions de cuivre. La température n'a pas un effet significatif sur la réponse désirée.

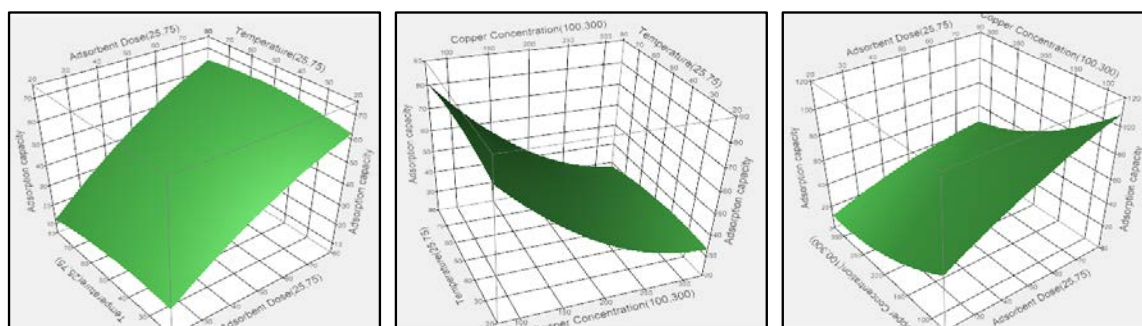


Figure 3. Résultats du profileur de surface (3D)

• L'équation de régression du modèle épuré est :

$$\text{Adsorption} = 47.05 + 19.91 \text{ NF} - 19.81 \text{ C}_0 - 4.48 \text{ NF} * \text{C}_0 - 4.21 \text{ NF}^2 + 6.28 \text{ C}_0^2$$

• La solution optimale permettant d'obtenir une capacité d'adsorption égale à 95.5% a été obtenue sous les conditions opératoires suivantes : pH: 5,5, temps de contact: 4 heures, masse de nanofibres: 75mg, concentration initiale de cuivre:100ppm, température: 60.7°C.

III. CONCLUSIONS

• Les résultats démontrent que des nanofibres de chitosane continues, non perlées, de diamètre moyen de l'ordre de 293nm peuvent être obtenues par électrofilage en présence d'un copolymère synthétique le PEO.

• Les analyses du plan expérimental révèlent que seules la dose d'adsorbant et la concentration initiale des ions de cuivre ont un effet significatif sur la réponse (capacité d'adsorption). La température n'a pas d'effet significatif sur l'adsorption du cuivre.

• Une capacité d'adsorption optimale de 95.5% a été obtenue sous les conditions opératoires suivantes : pH: 5,5, temps de contact: 4 heures, masse de nanofibres: 75mg, concentration initiale de cuivre:100ppm, température: 60.7 °C.

- Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. RAPPORT261, (2000-2001).
- C. Teodosiu, Advanced treatment and recycling options for industrial effluents, in Water in Europe, Danube River: Life Line of Greater Europe (Eds: P. Wilderer, B. Huba, T. Kotzle), Annals of the European Academy of Sciences and Arts, Vol. 34, No. XII, Georg Olms Verlag, Hildesheim (Germany) 2002, 265-289.
- I.M.N. Vold, K.M. Varum, E. Guibal, O. Smidsrod, Binding of ions to chitosan selectivity studies, Carbohydrate Polymers 54 (2003) 471-477.
- J. Yang, S. Zhan, N. Wang, X. Wang, Y. Li, Y. Li, W. Ma, H. Yu, "A Mini Review: Electrospun Hierarchical Nanofibers", Journal of Dispersion Science and Technology, 31:760-769, 2010.

Auteurs: Ichrak Lakhthar, Patrice Mangin Ph.D. et Bruno Chabot Ph.D.

Pour plus d'informations: Bruno Chabot, professeur titulaire
Bruno.Chabot@uqtr.ca; (819) 376-5011 poste 4510

Centre de recherche sur les matériaux lignocellulosiques, Université du Québec à Trois-Rivières,
 3351 boul. des Forges, C.P. 500, Trois-Rivières, Qc, Canada G9A 5H7

www.uqtr.ca