



Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales

Avis de Soutenance

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Monsieur MOUHSSINE BENHADJ

Discipline : Chimie physique

Spécialité : Sciences et Génie des Matériaux et des procédés

Sujet de la thèse

Approche intégrée de valorisation de biomasses lignocellulosiques en charbons actifs biosourcés : élaboration, caractérisation, mécanismes d'adsorption, régénération et apport de l'intelligence artificielle

Formation Doctorale " Sciences et Génie de la Matière, de la Terre et de la Vie "

Thèse présentée et soutenue le **samedi 24 octobre 2026 à 10h** à la Faculté des Sciences Appliquées de Taza, devant le jury composé de :

NOM ET PRÉNOM	TITRE	ÉTABLISSEMENT	
KHALIL HAMMANI	PES	Faculté Polydisciplinaire de Taza	Président
FOUAD KHALIL	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
ABDESSAMAD TOUNSI	PES	Faculté Polydisciplinaire de Beni Mellal	Rapporteur
RACHID TOUZANI	PES	Faculté des Sciences d'Oujda	Rapporteur
ALLAL CHALLIOU	PES	Faculté des Sciences d'Oujda	Examineur
MOHAMED YASSINE AMAROUCH	PES	Faculté Polydisciplinaire de Taza	Examineur
MOHAMED SENNOUNE	PES	Faculté Polydisciplinaire de Taza	Co-Directeur de thèse
DRISS MAZOUZI	PES	Faculté Polydisciplinaire de Taza	Directeur de thèse

Laboratoire de recherche : Laboratoire Ressources Naturelles et Environnement

Etablissement : Faculté Polydisciplinaire de Taza



Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales

Résumé de la Thèse

Cette thèse porte sur la valorisation de résidus agricoles céréaliers marocains en adsorbants biosourcés destinés au traitement des eaux contaminées. Trois biomasses lignocellulosiques, à savoir la paille de blé, la paille de farine et la paille d'orge, ont été utilisées comme précurseurs pour la préparation de charbons actifs notés respectivement CAB, CAF et CAO par une activation chimique suivie d'une pyrolyse. Les matériaux obtenus ont été caractérisés afin d'établir les relations entre la nature du précurseur, les propriétés texturales et chimiques de surface, ainsi que leurs performances d'adsorption. Les charbons actifs élaborés ont été évalués pour l'élimination de polluants de natures différentes : le bleu de méthylène, le rouge de méthyle, le bisphénol A et le chrome hexavalent Cr(VI). L'étude a permis d'examiner l'influence des principaux paramètres opératoires, notamment le pH, le temps de contact, la concentration initiale et la masse d'adsorbant. Les résultats cinétiques, isothermiques et thermodynamiques ont permis d'identifier les mécanismes dominants d'adsorption et de mettre en évidence le rôle de la porosité, des interactions électrostatiques, des liaisons hydrogène et des interactions π - π . Le charbon actif issu de la paille de blé a ensuite été immobilisé dans une matrice d'alginate de sodium afin de former des billes composites alginate-charbon actif, notées BCA. Cette mise en forme a permis d'améliorer la récupération du matériau après traitement, sa stabilité mécanique et son potentiel de régénération. L'élimination du Cr(VI) par les billes BCA a été optimisée à l'aide d'un plan de Box-Behnken. Le matériau composite a conservé plus de 81 % de son efficacité initiale après cinq cycles adsorption-désorption et a montré une bonne robustesse en milieu multi-métallique, avec des rendements d'élimination du Cr(VI) supérieurs à 85 %. Les performances des adsorbants ont également été examinées dans des effluents réels de tannerie, confirmant l'intérêt des matériaux biosourcés développés pour la réduction de la charge polluante. Enfin, une modélisation intégrée de l'adsorption a été menée à partir de 396 observations expérimentales. Les modèles d'apprentissage automatique Random Forest, Extra Trees, Gradient Boosting et XGBoost ont été comparés. Le modèle Gradient Boosting Regressor a présenté les meilleures performances prédictives. Les analyses SHAP et PDP ont montré que la concentration initiale constitue le facteur le plus influent, suivie du type de charbon actif, du temps de contact, de la masse d'adsorbant et du pH. Cette étude démontre ainsi la faisabilité de convertir des résidus céréaliers locaux en matériaux adsorbants performants,



Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques et Sciences Médicales

réutilisables et compatibles avec une démarche d'économie circulaire pour le traitement durable des eaux contaminées.

Mots clés : biomasses lignocellulosiques, charbon actif, activation chimique, adsorption, alginate de sodium, effluents de tannerie, Machine Learning.