



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية – الحراش- الجزائر

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE
EL-HARRACH-ALGER

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD en Sciences Agronomiques

Département : Génie rural

Spécialité : Sciences de l'hydraulique

Thème :

**Développement et mise en œuvre des
biomatériaux pour le traitement des eaux usées**

Présenté par : BOULAHIA Nadjiba

Soutenue le : 09/07/2024

Devant le jury :

Président :	M. Hartani Tarik	Professeur, ENSA
Directrice de thèse :	Mme. Hank Dalila	Professeur, ENSA
Examineurs :	Mme. Lardjane Nadia	Professeur, Univ. Tizi ouzou
	Mme. Chekir Nadia	MCA, USTHB
	Mme. Bouras-Chekired Fatima Zohra	MCA, ENSA
Invité :	M. Chergui Abdelmalek	Professeur, ENP

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1
Partie I : Synthèse bibliographique	
Chapitre 1 : Pollution de l'eau	4
I.1.1. Introduction	4
I.1.2. Sources de pollution.....	4
I.1.2.1. Eau usée urbaine	4
I.1.2.2. Eau usée industrielle	5
I.1.2.3. Eau usée agricole	5
I.1.3. Types de pollution.....	5
I.1.4. Paramètres de pollution.....	6
I.1.5. Composés phénoliques	8
I.1.5.1. Définition	8
I.1.5.2. Structure	9
I.1.5.2.1. Forme simple	9
I.1.5.2.2. Forme complexe	10
Chapitre 2 : Traitement des eaux usées	11
I.2.1. Introduction	11
I.2.2. Procédés du traitement	11
I.2.3. Adsorption	13
I.2.3.1. Définition	13
I.2.3.2. Mécanisme d'adsorption	13
I.2.3.3. Types d'adsorption	14
I.2.3.4. Facteurs influençant l'adsorption	15
I.2.3.5. Les adsorbants	17
I.2.3.6. La cinétique d'adsorption	17
I.2.3.7. Les isothermes d'adsorption	18
I.2.4. Coagulation-floculation	20
I.2.4.1. Définition	20

I.2.4.2. Mécanisme de coagulation-floculation	21
I.2.4.3. Les coagulants	24
I.2.4.4. Les flocculants	24
I.2.4.5. Facteurs influençant la coagulation-floculation	25
Chapitre 3 : La réutilisation des eaux usées épurées	27
I.3.1. Introduction	27
I.3.2. Domaines de réutilisation	27
I.3.3. Utilisation des eaux usées épurées en agriculture	28
I.3.3.1. Introduction	28
I.3.3.2. Conditions de l'usage des eaux usées épurées	28
I.3.3.3. Avantages de la réutilisation	29
I.3.3.4. Risques liés à la réutilisation	29
I.3.3.5. La réutilisation en Algérie	30

Partie II : Matériels et Méthodes

II.1. Introduction	31
II.2. Généralités sur les biomatériaux utilisés	31
II.2.1. Le gland	31
II.2.2. Le figuier de Barbarie	32
II.2.3. Le cyprès	33
II.2.4. L'eucalyptus	33
II.3. Préparation des biomatériaux	34
II.4. Caractérisation du biosorbant	34
II.4.1 Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)	34
II.4.2. Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	35
II.5. Les échantillons d'eau	35
II.5.1. Eau synthétique	35
II.5.2. Eau usée	36
II.6. Les procédés du traitement	37
II.6.1. L'adsorption	37
II.6.2. La coagulation-floculation	38
II.7. Analyses de l'eau	38
II.8. Optimisation de procédé du traitement	39

II.8.1. Principe des plans d'expériences	39
II.8.2. Terminologie	40
II.8.3. Types des plans d'expériences	41
II.9. Etude expérimentale des effets des eaux usées épurées en irrigation	42
II.9.1 Présentation du site expérimental	42
II.9.1.1 Localisation et tendances climatiques	42
II.9.1.2 Protocole de mesures effectuées	44

Partie III : Résultats et discussions

III.1. Introduction	46
III.2. Adsorption	46
III.2.1. Capacité d'adsorption des biomatériaux	46
III.2.2. Caractérisation des écorces de gland	47
III.2.2.1. Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)	47
III.2.2.2. Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	48
III.2.3. Effet de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption	48
III.2.3.1. Effet de la structure de la molécule	49
III.2.3.2. Effet du pH	50
III.2.3.3. Effet de la masse d'adsorbant	51
III.2.3.4. Effet de la concentration initiale	52
III.2.4. Modélisation de la cinétique d'adsorption	53
III.2.5. Les isothermes d'adsorption	56
III.3. Coagulation-floculation	59
III.3.1. Effet de quelques paramètres sur rendement d'élimination	59
III.3.1.1. Effet de la structure de la molécule	59
III.3.1.2. Effet du pH	60
III.3.1.3. Effet de la dose du coagulant	61
III.3.1.4. Effet de la concentration initiale	62
III.4. Système hybride : Combinaison sulfate d'Aluminium/Ecorces de gland activées	63
III.4.1. Optimisation du système hybride pour l'élimination de l'acide gallique	64
III.5. Application du système hybride sur un mélange de composés organiques	69
III.5.1. Optimisation du système hybride pour l'élimination de composés organiques	70
III.6. Application du système hybride sur un rejet urbain	74

III.7. Essai des eaux usées épurées sur une culture irriguée	75
III.7.1. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation	76
III.7.2. Evaluation des paramètres physico-chimiques du sol	77
III.7.3. Evaluation des paramètres de croissance de la plante	79
Conclusion générale.....	83
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

Résumé:

L'objectif de notre travail s'articule autour du développement de nouveaux biomatériaux peu coûteux et efficaces pour l'élimination des composés organiques dans les eaux usées. Nous avons d'abord étudié l'élimination de trois composés organiques (phénol, acide gallique et les substances humiques) par deux procédés de traitement : l'adsorption sur les écorces de gland activées, et la coagulation-floculation par le sulfate d'aluminium. Le système hybride a été ensuite étudié et les conditions optimales de fonctionnement ont été déterminées par la méthodologie de plan factoriel. L'application de ces conditions sur des eaux usées urbaines pour l'élimination de la matière organique a montré la performance de ce système hybride.

Les eaux usées épurées par le traitement physico-chimique (système hybride) ont été ensuite utilisées dans l'irrigation d'une culture de haricot vert (*phaseolus vulgaris L.*) selon un dispositif permettant de réaliser une comparaison avec les eaux usées épurées à la STEP par un traitement biologique ainsi que les eaux issues d'un forage.

Mots clés : Adsorption, coagulation-floculation, biomatériau, matière organique, système hybride, plan factoriel, eau usée urbaine.

Abstract:

The aim of our work is the development of a new low-cost and effective biomaterials for the removal of organic compounds from wastewater. We first studied the removal of three organic compounds (phenol, gallic acid and humic substances) by two treatment processes: the adsorption on activated acorn barks, and coagulation-flocculation by aluminum sulfate. The hybrid system was then studied and the optimum operating conditions were determined using factorial design methodology. The application of these conditions to urban wastewater for the removal of organic matter has shown the performance of this hybrid system. Wastewater treated by physico-chemical treatment (hybrid system) was then used to irrigate a green bean (*phaseolus vulgaris L.*) in comparison with wastewater treated at the waste water treatment plant by biological treatment and borehole water.

Key words: Adsorption, coagulation-flocculation, biomaterial, organic matter, hybrid system, factorial design, urban wastewater.

ملخص:

الهدف من عملنا هو تطوير مواد بيولوجية جديدة غير مكلفة وفعالة للتخلص من المركبات العضوية في مياه الصرف الصحي. قمنا أولاً بدراسة إزالة ثلاثة مركبات عضوية (الفينول وحمض الغاليك والمواد الدبالية) من خلال عمليتين: الامتزاز على قشور البلوط، والتخثر والتلبد بواسطة سولفات الألومنيوم. بعد ذلك تمت دراسة النظام الهجين وتم تحديد الشروط المثلى من خلال المنهجية التجريبية. أظهر تطبيق هذه الشروط على مياه الصرف الصحي للتخلص من المواد العضوية فعالية هذا النظام الهجين. تم بعد ذلك استخدام مياه الصرف الصحي التي تمت تنقيتها بهذا النظام الهجين في ري الفاصوليا الخضراء (*phaseolus vulgaris L.*) وفق بروتوكول يسمح بالمقارنة مع مياه الصرف الصحي التي تم تنقيتها في محطة تصفية المياه وكذلك مياه البئر.

الكلمات المفتاحية: الامتزاز، التخثر، التلبد، المادة البيولوجية، المادة العضوية، النظام الهجين، المنهجية التجريبية، مياه الصرف الصحي.