

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

Ecole Nationale Polytechnique

Département Hydraulique

Laboratoire de Recherche Science de l'Eau



Mémoire de Projet de fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en
hydraulique

**Préparation du charbon actif à partir des
déchets de palmier en vue de traiter les eaux
usées chargées en colorants**

Présenté par : Kaouther Belhadj kouider

Sous la Direction de : Dr. SAHNOUN Ali Yacine (ENP)

Présentée et soutenue publiquement le (30/06/2025)

Composition du jury :

Président	M. Salim BENZIADA	MAA	ENP
Rapporteur/ Promoteur	M. Ali Yacine SAHNOUN	MCA	ENP
Co-promotrice	Mm. Safia LEMDANI	MAA	ENP
Examineur	M. Ammar SELATNIA	Pr	ENP
Examinatrice	Mme.Yamina TCHOULAK	MAA	ENP

ملخص

يُعدّ الاستخدام المكثف للملوثات في الصناعات المختلفة من بين أبرز مصادر تلوث المياه المستعملة، مما يُشكّل مشكلة بيئية خطيرة. وفي المقابل، تُخلف زراعة النخيل كميات كبيرة من النفايات الزراعية، خصوصاً على شكل جذوع وأوراق النخيل. تهدف دراستنا إلى تثمين هذه المخلفات النباتية من خلال استخدامها كمواد مازّة بعد معالجتها حراريًا (الكربنة)، لمعالجة تَمَّت دراسة تأثير مجموعة من العوامل التشغيلية المهمة على كفاءة BB41 المياه الملوثة بأصباغ عضوية مثل صبغة ، تركيز الكتلة الحيوية، زمن التلامس، درجة الحرارة، وتركيز الملّون. (pH) عملية الإمتزاز، منها: الرقم الهيدروجيني وتهدف هذه المقاربة إلى تطوير حلّ بيئي واقتصادي في آنٍ واحد، للتقليل من تلوث مياه الصرف الصناعي، مع الاستفادة من نفايات زراعة النخيل وتحويلها إلى مواد ذات قيمة مضافة.

الكلمات المفتاحية: جذوع، أوراق، نخيل، ملّون، امتزاز، كتلة حيوية

Abstract

The intensive use of dyes in various industries is a major source of wastewater pollution, posing a significant environmental threat. At the same time, date palm cultivation produces large quantities of agricultural waste, particularly in the form of trunks and leaves. This study aims to valorize these residues by using thermally treated (carbonized) palm trunks and leaves as adsorbents for treating dye-contaminated water, specifically targeting the removal of the BB41 dye. The influence of key operational parameters on adsorption efficiency was investigated, including pH, biomass concentration, contact time, temperature, and dye concentration. This approach seeks to develop an environmentally friendly and cost-effective solution for reducing industrial textile pollution, while simultaneously giving added value to agricultural waste derived from date palm cultivation.

Keywords: trunks, leaves, palm, dye, adsorption, biomass.

Résumé :

L'usage intensif des colorants dans l'industrie engendre une pollution importante des eaux usées, posant un problème environnemental majeur. Parallèlement, la production de dattiers génère d'importantes quantités de déchets sous forme de troncs et de feuilles de palmier. Notre étude a exploré la valorisation de ces composants calcinés troncs et feuilles de palmier comme adsorbants pour le traitement des eaux chargées en colorants comme le BB41. Nous avons examiné l'influence des principaux paramètres affectant l'adsorption, tels que le pH, la concentration de biomasse, le temps de contact, la température et la concentration du colorant. Cette approche vise à développer une solution écologique et économique pour réduire la pollution textile, tout en valorisant les déchets agricoles issus du palmier dattier.

Mots clés : troncs , feuilles ,palmier , colorant, adsorption, biomasse.

Dédicaces

À mes chers parents, dont l'amour inconditionnel et le soutien sans faille ont éclairé chaque étape de mon parcours académique. Vos encouragements constants et vos sacrifices silencieux ont été le socle de mes ambitions et de mes réussites.

À mes frères Abed mouniem et Ayoub et à ma sœur Khaoula, pour leur présence rassurante et leur appui indéfectible tout au long de ce chemin.

À mes encadrants, **M. Ali Yacine Sahnoun** et **Mm.Lemdani Safia** je vous exprime toute ma gratitude pour votre accompagnement éclairé. Vos enseignements ont enrichi ma pensée et élargi mes horizons bien au-delà de ce que j'aurais pu imaginer.

À mes amies Kamel, Ibthal, Khadija et Rahma, merci pour votre amitié sincère, votre énergie inépuisable et votre soutien constant, surtout dans les moments les plus éprouvants.

Enfin, à moi-même, pour avoir su faire face aux doutes et aux épreuves avec ténacité, et pour avoir transformé chaque défi en une opportunité de croissance personnelle et professionnelle.

Remerciement

Ce Projet de Fin d'Etudes a été réalisé au sein du département Hydraulique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, **sous la direction de M.Sahnoun** .

Je remercie mes encadrants : pour la confiance qu'ils m'ont accordée, pour leur permanente disponibilité, pour leurs conseils, leurs orientations et pédagogie. C'était un immense privilège de travailler avec eux et grâce à eux j'ai pu faire mes premiers pas dans le monde de la recherche. Qu'ils trouvent dans ce travail l'expression de sincère gratitude.

Je remercie l'ingénieur de laboratoire génie minier **Mm.Benagrouba halima**.

Un grand merci à mes parents, source d'inspiration qui m'ont permis de travailler dans les meilleures conditions possibles. Mes sincères remerciements vont à tous mes camarades qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de mon projet de fin d'études...

INTRODUCTION	1
---------------------------	---

CHAPITRE I : LES PALMIERS DATTIERS

I.1 Introduction	2
I.2 Histoire des palmiers dattiers	2
I.3 Description morphologique du palmier à dattes	2
I.3.1 Le système racinaire	3
I.3.2 Système végétatif aérien	4
I.3.2.1 Le tronc stipe (le pénis)	4
I.3.2.2 Couronne	5
I.3.2.3 Pétiole (Kornaf)	5
I.3.2.4 La Palme	5
I.3.2.5 Les épines et les folioles	6
I.3.2.6 Rachis	6
I.3.2.7 Les fleurs	6
I.3.2.8 Les Fruit	7
I.4 L'origine exacte du palmier dattier	8
I.4.1 Au niveau mondial	8
I.4.2 En Algérie	8
I.5 Déchets des palmiers dattiers	9

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES BIOMASSES

II.1 Introduction :	10
II.2 Définition :	10
II.3 La production de biocarburants :	11
II.4 Les constituantes et les catégories (type de biomasse) :	11
II.4.1 La biomasse lignocellulosique, ou lignine :	11
II.4.2 La biomasse oléagineuse, riche en lipides :	12
II.4.3 La biomasse à glucide :	12
II.5 Les ressources en biomasse :	12
II.6 Les propriétés de la biomasse :	12
II.7 Application : bioénergies et électricité :	13
II.7.1 Production de biocarburant :	13
II.7.2 Production d'électricité :	13

CHAPITRE III : LES COLORANTS

III.1	Introduction :	14
III.2	Définition d'un colorant :	14
III.3	Classification des colorants :	15
III.3.1	La catégorisation chimique :	15
III.3.1.1	Colorants azoïques :	15
III.3.1.2	Colorants indigoïdes :	15
III.3.1.3	Colorants polyméthiniques :	15
III.3.2	Classification tinctoriale :	16
III.3.2.2	Colorants basiques ou cationiques :	16
III.3.2.4	Colorants de cuve :	17
III.3.2.6	Colorants directs	17
III.3.2.8	Colorants dispersés	17
III.4	Procédés de traitement des colorants :	18
III.4.1	Toxicité et dangers environnementaux des colorants	19
III.4.1.1	Cancers	19

CHAPITRE IV : ADSORPTION

IV.1	Généralités sur l'adsorption :	20
IV.2	Définition :	20
IV.3	Types d'adsorption :	20
IV.3.1	Adsorption chimique :	20
IV.3.2	L'adsorption physique	20
IV.4	Facteurs Influent	21
IV.4.1	La température	21
IV.4.2	La concentration	21
IV.4.3	Le pH du solvant	21
IV.4.4	La porosité	21
IV.4.5	L'agitation	21
IV.4.6	La nature de l'adsorbant	21
IV.4.7	La nature de l'adsorbat	22
IV.4.8	Surface spécifique	22
IV.5	Le mécanisme d'adsorption	22
IV.6	Cinétique du phénomène d'adsorption	22

IV.6.1	Cinétique du pseudo premier ordre	23
IV.6.2	Cinétique du pseudo-seconde ordre	24
IV.6.3	Modèle d'elovich :	24
IV.6.4	Modèle de Ritchie :	24
IV.7	Isotherme d'adsorption	25
IV.8	Classes isothermes	25
IV.8.1	Classification de Giles	25
IV.8.2	Classification de l'UIPAC	26
IV.9	Les modèles d'isothermes	27
IV.9.1	Le modèle d'isotherme de Langmuir	27
IV.9.2	L'isotherme de Freundlich	28
IV.9.3	L'isotherme de khan	28
IV.9.4	L'isotherme de Temkin	28
IV.10	Les principaux adsorbants :	29
IV.10.1	Les charbons actifs	29
IV.10.2	Les gels de silice	29
IV.10.3	Les zéolithes	29
IV.10.4	Les argiles activées	29
IV.10.5	Les tamis moléculaires	29

CHAPITRE V : LE CHARBON ACTIF

V.1	Introduction :	30
V.2	Définition :	30
V.3	Les caractéristiques du charbon actif :	30
V.3.1	La surface spécifique :	30
V.4	Comment est fabriqué le charbon actif ?	31
	La carbonisation	31
V.5	Les utilisations du charbon actif dans la filtration :	32
V.6	Formes de produits de charbon actifs :	32
V.6.1	Charbons en pellets extrudés :	32
V.6.2	Charbons actifs granulaires (CAG) :	33
V.6.3	Charbon actif en poudre (CAP) :	33

CHAPITRES VI : PARTIE EXPERIMENTALE

VI.1	Matériels et méthodes.....	35
VI.2	Caractéristiques du colorant utilisé	35
VI.3	Préparation des déchets du palmier	36
VI.4	Essais d'adsorption.....	38
VI.5	Spectrophoto- mètre UV-visible.....	39
	Présentation	39
VI.5.1	Principe de la spectroscopie UV – Visible :	39
VI.5.2	Appareillage et fonctionnement	39
VI.6	La courbe d'étalonnage.	42
VI.7	Détermination de la capacité d'adsorption	43
VI.7.1.1	Concentration de l'adsorbant	43
VI.7.1.2	Cinétique.....	43
VI.7.1.3	Isotherme	44
VI.7.1.4	Le rendement d'adsorption.....	44
VI.8	Résultats et interprétations.....	44
VI.8.1	Présentation de logiciel jmp 14	44
VI.8.1.2	Définition et Objectif :	45
VI.8.1.3	Structure du PCC.....	45
VI.8.1.4	Organisation du plan d'expérience composite centré (PCC)	45
VI.8.1.5	Points factoriels ($2^4 = 16$ essais).....	45
VI.8.1.6	Points axiaux (8 essais)	46
VI.8.1.7	Points centraux (2 essais)	46
VI.8.1.8	Graphique des valeurs observe en fonction des valeurs prévus :	47
VI.8.1.9	Graphique des résidus en fonction des valeurs prévues	51
VI.8.1.10	Profil de prévision	52
VI.8.1.11	Profil de surface :	52
VI.8.2	Résultats et discussions	54
VI.8.3	Feuilles calcinées :	54
VI.8.3.1	Concentration de l'adsorbant	54
VI.8.3.2	Cinétique	55
VI.8.3.3	Isotherme :	56
VI.8.3.4	Thermodynamique :	57
VI.8.4	Les troncs calcinés	58

VI.8.4.1	Concentration de l'adsorbant	58
VI.8.4.2	Cinétique	59
VI.8.4.3	L'isotherme.....	60
VI.8.4.4	Thermodynamique	61
VI.9	Modélisation :.....	62
VI.9.1	Les feuilles calcinées	63
VI.9.1.1	Cinétique :	63
VI.9.1.2	Isotherme :	64
VI.9.2	Les troncs calcinés :	65
VI.9.2.1	La cinétique :	65
VI.9.2.2	L'isotherme :	66

CONCLUSION GENERALE

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : LES PALMIERS DATTIERS

Figure I. 1:Schéma présentatif du palmier dattier.	2
Figure I. 2:Schéma Présentatif du système racinaire du palmier dattier.	3
Figure I. 3:Le tronc du palmier dattier.	4
Figure I. 4:La couronne de palmier.	5
Figure I. 5:Représentation de la palme.	6
Figure I. 6:Représentation des fleurs de palmier.	7
Figure I. 7:Représentation des fruits de palmier.	7
Figure I. 8:Représentation de l'origine du palmier dans le monde.	8
Figure I. 9:Représentation de l'origine du palmier en Algérie.	9

CHAPITRES VI : PARTIE EXPERIMENTALE

Figure IV. 1:Formule semi-développée du colorant BB41.	35
Figure IV. 2:Préparation du colorant BB41.	36
Figure IV. 3: Troncs.	36
Figure IV. 4: Feuilles.	36
Figure IV. 5: Feuilles séchés.	37
Figure IV6 .:Troncs séchés.	37
Figure IV. 7: Balance.	37
Figure IV. 8: Broyeur.	37
Figure IV. 9: Feuilles brutes broyée.	38
Figure IV. 10: Tronc brutes broyé.	38
Figure IV. 11:Tronc calcinées.	38
Figure IV. 12:Feuilles calcinées.	38
Figure IV. 13: Filtrat.	39
Figure IV. 14:Spectrophoto- mètre UV-visible.	39
Figure IV. 15:Principe de fonctionnement d'un spectromètre UV-visible.	40
Figure IV. 16:Schéma illustrant la notion de transmittance.	41
Figure IV. 17: Dispositif expérimental.	42
Figure IV. 18: Schéma représentatif courbe d'étalonnage.	43
Figure IV. 19: Graphique des valeurs observe en fonction des valeurs prévus.	48
Figure IV. 20: Surface de Réponse avec Paramètres pH et Temps de Contact.	49
Figure IV. 21:Surface de Réponse avec Paramètres C0 et pH.	49
Figure IV. 22:Surface de Réponse avec Paramètres C0 et Cb.	50
Figure IV. 23:Surface de réponse avec paramètres C0 et Temps de Contact.	50
Figure IV. 25:Graphique des résidus en fonction des valeurs prévues.	51
Figure IV. 26:Interface d'Optimisation par Profils de Réponse et Désirabilité.	52
Figure IV. 27:Surface de réponse avec paramètres C0 et Temps de Contact.	52
Figure IV. 28:Surface de réponse avec paramètres C0 et PH.	52
Figure IV. 29:Surface de réponse avec paramètres Cb et Temps de ContacT.	52

<u>Figure IV. 30: Surface de réponse avec paramètres PH et Temps de Contact.</u>	53
<u>Figure IV. 31:La concentration de l'adsorbant des feuilles calcinées.</u>	54
<u>Figure IV. 32:La cinétique d'adsorption des feuilles.</u>	55
<u>Figure IV. 33: L'isotherme d'adsorption des feuilles.</u>	56
<u>Figure IV. 34: Etude thermodynamique.</u>	57
<u>Figure IV. 35 : La capacité d'adsorption des troncs.</u>	58
<u>Figure IV. 36: La cinétique d'adsorption des troncs.</u>	59
<u>Figure IV. 37:L'isotherme d'adsorption des troncs.</u>	60
<u>Figure IV. 38:La variation de la capacité d'adsorption Q_e en fonction de C_e, à différentes températures.</u>	61
<u>Figure IV. 39:Modélisation cinétique de la biomasse feuille.</u>	65
<u>Figure IV. 40:Modélisation isotherme de la biomasse feuille.</u>	66
<u>Figure IV. 41: Modélisation cinétique de la biomasse tronc.</u>	67
<u>Figure IV. 42: Modélisation isotherme de la biomasse tronc.</u>	68

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I I I : LES COLORANTS

Tableau III. 1: Les différents groupes chromophores et aux-chromes.	14
Tableau III. 2: Les différents procédés de traitement.	18

CHAPITRES VI : PARTIE EXPERIMENTALE

<u>Tableau VI. 1: Caractéristiques du colorant</u>	35
<u>Tableau VI. 2: Niveau des facteurs étudiés.</u>	46
<u>Tableau VI. 3: Matrice des expériences avec rendement pour les feuilles calcinées.</u>	47
<u>Tableau VI. 4: Matrice des expériences avec rendement pour les troncs calcinés.</u>	52
<u>Tableau VI. 5: Les Paramètres pour calculer les erreurs de cinétique de la biomasse feuille calcinée.</u>	65
<u>Tableau VI. 6: Les Paramètres pour calculer les erreurs de l'isotherme de la biomasse feuille calcinée.</u>	66
<u>Tableau VI. 7: Les Paramètres pour calculer les erreurs de cinétique de la biomasse tronc calcinée.</u>	67
<u>Tableau VI. 8: Les Paramètres pour calculer les erreurs de l'isotherme de la biomasse tronc calcinée.</u>	69

Confidentielle