



Mohamed Khider University of Biskra

Faculty of Science and Technology

Department of Industrial Chemistry

MASTER'S THESIS

Field: Science and Technology

Program: Process Engineering

Specialization: Environmental Process Engineering

Ref. :

Presented and defended by:

Aouiche Inès

On : June 4, 2025

Synthesis of hybrid adsorbents based on organic waste for reducing water contamination

Jury :

Dr	Timedjehdine Mebarka	MCB	University of Biskra	President
Prof	Aidi Amel	Pr	University of Biskra	Examiner
Dr	Nouioua Asma	MCA	University of Biskra	Supervisor
Dr	Menasria Smail	MAA	University of Biskra	Incubator representative

Academic Year : 2024- 2025

Acknowledgments

First and foremost, I thank Almighty God, who guided my steps, strengthened my will, and granted me the strength necessary to successfully complete this work. I am deeply grateful for

His continuous support throughout my academic journey.

I would like to express my sincere gratitude to Dr. Asma Nouioua, my supervisor and thesis director, for her rigorous guidance, constant availability, and invaluable advice, which greatly contributed to the completion of this work. Her kindness and expertise were a tremendous support throughout this research.

I also extend my thanks to Dr. Dhirar Ben Salem and Professor Saadia Gargazi for their warm welcome within the LARYSS laboratory, as well as for their mentorship, scientific guidance, and trust.

I sincerely thank the members of the jury for accepting to evaluate this work and for the interest they have shown in it.

My appreciation also goes to Mrs. Radhia Naili, head of the industrial chemistry laboratory, for her availability, kindness, and valuable assistance. I would also like to thank all the engineers of the laboratory for their support and collaboration.

Finally, I warmly thank all those who contributed, directly or indirectly, to the realization of this work, as well as the faculty members of the Department of Industrial Chemistry and the students of the 2024–2025 cohort, for their companionship and support throughout this training..

Dedication

First of all, I thank ALLAH, the Most High, for giving us the strength, will, and patience to pursue our studies and to carry out and complete this modest work.

To Myself

To the one who endured, who was patient, and who kept going despite everything...

To the one who was exhausted but never defeated...

I dedicate this work to you, as a tribute to your perseverance and your unwavering belief that you deserve to succeed.

To my dear grandfather Saleh

You left before you could see the fruits of my labor, but you are always present in my prayers, in the traces of your blessings, in every joyful moment...

This achievement is a continuous charity for your soul and a reflection of the deep longing I feel for you.

To my beloved mother, Yasmina

The candle of my life, the source of love, the guiding light that illuminated my path to success.

You have always guided me with your precious advice, been my strength, and encouraged me to move forward.

Whatever I do or say, I will never be able to thank you enough.

Thank you for everything you have given me since my childhood. I hope your blessing always accompanies me.

To my dear father, Boualem

The strong shoulder, the understanding eyes, the person I respect and admire the most.

Every day, you were there to protect me, educate me, guide me.

I want to thank you for everything you've done for me and for always being by my side, supporting and encouraging me.

To my dear sisters, my source of joy and happiness: Imane, Anfel, and to my dear brother

You've always sought my happiness and my smile. I wish you a bright future full of success. May God protect you.

To my grandmother Salima, our source of happiness — may God preserve you for us.

To all my family and my in-laws, each one of you by name — I love you all.

To my fiancé

My pillar and my comfort, thank you for your love, your patience, and your presence at every stage of this journey.

You knew how to calm my doubts and rekindle my motivation.

To my dear friends, with whom I shared wonderful and unforgettable moments: Imen, Siham, Ines.

May our bond always remain strong, and may God bring us happiness and help us fulfill all our dreams. I love you deeply.

To the entire GPE2025 class

To anyone who holds feelings of love and respect for me — I say, "THANK YOU."

Table of contents

Table of contents

*Acknowledgments**Dedication**List of Tables**List of Figures**General Introduction 1**Chapter I :_Water contamination by dyes: sources, types, and study of Rhodamine B*

Introduction.....	3
I.1. Overview of water pollution	3
I.2. Classification of water pollution	4
I.2.1. Classification based on the source of pollution	4
I.2.2. Classification based on the type of pollutant.....	4
I.3. Water pollution by dyes	5
I.3.1. Definition	5
I.3.2. Classification	5
I.3.3. Overview of Rhodamine B.....	7
I.3.4. Remediation strategies for Rhodamine B removal.....	9
Conclusion	10

Chapter II: Adsorption – principles, mechanisms, and modeling

Introduction.....	12
II.1. Definition of adsorption.....	12
II.2. Adsorption mechanism.....	13
II.3. Types of adsorption.....	13
II.3.1. Physical adsorption	13
II.3.2. Chemical adsorption	14
II.4. Factors influencing adsorption	15
II.5. Adsorption modeling	15
II.5.1. Adsorption kinetics	15
II.5.2. Adsorption Isotherms	16
II.5.3. Thermodynamics of adsorption	19
II.6. Adsorbent materials.....	20
II.6.1. Biosorbents.....	20
II.6.2. Biochar	20
II.6.3. Hydrochar	20
II.6.4. Hybrid and modified biochars... ..	21

II.6.4.1. Biochar modified with natural polymers...	21
II.6.4.2. Biochar doped with metal oxides...	21
II.6.4.3. Chemically activated biochar...	21
II.6.4.4. Biochar functionalized with magnetic nanoparticles...	21
II.7. Decolorization of effluents by adsorption.....	21
Conclusion	22

Chapter III: Materials and Methods

Introduction.....	23
III.1. Preparation of the Rhodamine B solutions.....	23
III.2. Preparation of adsorbents	24
III.2.1. Activated Hydrochar (HB-Zn).....	24
III.2.2. Magnetic activated hydrochar (HB-Zn-Fe).....	25
III.3. Characterization of adsorbents.....	26
III.3.1. Determination of the Point of Zero Charge (pHpzc).....	26
III.3.2. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	26
III.3.4. Scanning Electron Microscopy (SEM)	27
III.3.5. Specific Surface Area and Porosity Analysis (BET Method)	27
III.4. Adsorption Experiments.....	27
III.5. Optimization of Operating Conditions.....	28
III.6. Quantitative analysis of Rhodamine B.....	29
Conclusion	31

Chapter IV : Results and discussion

Introduction.....	32
IV.1. Physicochemical characteristics of HB-Zn and HB-Zn-Fe.....	32
IV.1.1. Point of Zero Charge	32
IV.1.2. Qualitative Analysis by FTIR Spectroscopy of HB-Zn and HB-Zn-Fe.....	33
IV.1.3. Qualitative Analysis by X-Ray Diffraction (XRD) of HB-Zn and HB-Zn-Fe....	34
IV.1.4. SEM-EDX Analysis of HB-Zn and HB-Zn-Fe Biochars Before and After Rhodamine B Adsorption	36
IV.1.5. Textural characterization (BET) of HB-Zn and HB-Zn-Fe adsorbents	39
IV.2. Optimization study of operational conditions for Rhodamine B retention.....	40
IV.2.1. Effect of contact time	40
IV.2.2. Effect of initial concentration of the adsorbate.....	42
IV.2.3. Effect of temperature.....	44
IV.2.4. Effect of the pH of the reaction medium.....	45
IV.2.5 Effect of ionic strength	47

IV.2.6 Effect of adsorbent dose	48
IV.3 Kinetic Study of Rhodamine B adsorption.....	49
IV.4. Study of the adsorption isotherms of Rhodamine B.....	52
General Conclusion	55
References.....	56
Summary	

List of tables

List of tables

Table N°	Table Title	Page
Table I.1	Classification and characteristics of dyes according to the chromophore structure	06
Table III.1	Calibration for the determination of Rhodamine B concentration	33
Table IV.2	Kinetic equilibrium constants for the adsorption of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe	54
Table IV.3	Values of adsorption isotherm parameters for Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe	55

List of figures

List of figures

N° of Figure	Title of figure	Page
Figure I.1	Chemical structure of Rhodamine B	7
Figure II.1	Simplified diagram illustrating the adsorption phenomenon	14
Figure II.2	Physical adsorption and chemical adsorption (or chemisorption)	16
Figure II.3	The four types of adsorption isotherms	19
Figure III.1	Diluted Rhodamine B solutions	26
Figure III.2	Activated hydrochar obtained from Melia azedarach seeds	27
Figure III.3	Preparation of magnetic activated hydrochar (HB-Zn-Fe)	28
Figure III.4	pH-meter	29
Figure III.5	FTIR Spectroscopy - Shimadzu IR-8400S	30
Figure III.6	UV-Visible Spectrophotometer model.	32
Figure III.7	Calibration Curve of Rhodamine B	33
Figure IV.1	Point de zéro charge (pHpzc) de HB-Zn et HB-Zn-Fe	36
Figure IV.2	FTIR spectra of the adsorbents before and after Rhodamine B adsorption	37
Figure IV.3	X-ray diffraction (XRD) analysis of different biochars	39
Figure IV.4	Micrographies au microscope électronique à balayage (MEB) et Scanning Electron Microscopy (SEM) micrographs and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) spectra of HB-Zn before Rhodamine B adsorption.	41
Figure IV.5	Micrographies au microscope électronique à balayage (MEB) et Scanning Electron Microscopy (SEM) micrographs and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) spectra of HB-Zn after Rhodamine B adsorption.	41
Figure IV.6	Micrographies au microscope électronique à balayage (MEB) et Scanning Electron Microscopy (SEM) micrographs and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) spectra of HB-Zn-Fe before Rhodamine B adsorption.	42
Figure IV.7	Scanning Electron Microscopy (SEM) micrographs and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) spectra of HB-Zn-Fe after Rhodamine B adsorption.	42
Figure IV.8	Effect of contact time on the adsorption of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe.	44
Figure IV.9	Adsorption efficiency of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe as a function of contact time.	44
Figure IV.10	Effect of initial concentration on the adsorption of Rhodamine B	45
Figure IV.11	Retention efficiency of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe as a function of initial concentration.	46
Figure IV.12	Retention efficiency of Rhodamine B by HB-Zn as a function of temperature.	47
Figure IV.13	: Retention efficiency of Rhodamine B by HB-Zn-Fe as a function of	48

N° of Figure	Title of figure	Page
	temperature.de leur température.	
Figure IV.14	Effect of pH on the retention of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe	49
Figure IV.15	Effect of medium ionic strength on the retention of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe	50
Figure IV.16	Rhodamine B removal efficiency by HB-Zn and HB-Zn-Fe as a function of medium ionic strength	51
Figure IV.17	Effect of adsorbent dose on the retention of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe	53
Figure IV.18	Adsorption kinetics of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe	55
Figure IV.19	Adsorption isotherm of Rhodamine B by HB-Zn and HB-Zn-Fe	56

General introduction

General introduction

Water is the most essential raw material on our planet, indispensable to humans, animals, plants, and microorganisms. Nearly all vital phenomena in the biosphere are linked to the availability of water [1].

Since ancient times, humans have incorporated color into various industries such as textiles, paper, cosmetics, and food. Due to their ease of synthesis and rapid production, synthetic dyes are the most widely used. However, most of these dyes are toxic and pose numerous risks to both the environment and human health, which highlights the need to treat wastewater from these industries [2].

Environmental protection has become a major societal concern, promoting the development of processes aimed at improving decontamination methods and reducing sources of pollution. Water scarcity is now becoming a pressing global issue, largely due to the excessive use of organic and inorganic pollutants in agriculture, urban environments, and industry. Among these pollutants, synthetic dyes used in the textile industry represent a significant threat.

The sudden and large-scale discharge of dye-contaminated effluents into the natural environment leads to serious risks for the balance of ecosystems and the natural environment, as well as for humans themselves—who are both the producers of this waste and the drivers of this imbalance. Since the dawn of civilization, colors have been used in nearly all aspects of daily life to dye paper, leather, clothing, and more. These colors often contain natural or synthetic functional groups formed through chemical reactions. Most of them are difficult to biodegrade and are known to be toxic or harmful to humans and animals.

Various techniques have been developed to remove dye-contaminated effluents. These include ion exchange, liquid-liquid extraction, membrane filtration, among others. Adsorption is considered one of the most effective methods for removing organic and inorganic contaminants.

This study fits within the framework of enhancing the value of a locally available, low-cost, and underutilized material: *Melia azedarach* seeds. This biomass residue was activated and used as an adsorbent to remove dyes from aqueous solutions.

In addition to this general introduction, which presents the context, objectives, and significance of the study, and a general conclusion that summarizes the main results and research perspectives, the manuscript is structured into five complementary chapters:

➤ **Chapter I: Water contamination by dyes: sources, types, and study of Rhodamine B**

This chapter addresses the issue of water pollution caused by synthetic dyes, particularly those from industrial effluents. It outlines the various sources of contamination, the classification of dyes, their environmental and health impacts, as well as the physicochemical properties of Rhodamine B, the model dye selected for this study.

➤ **Chapter II: Adsorption – principles, mechanisms, and modeling**

This chapter presents the theoretical foundations of the adsorption process, including the physical and chemical mechanisms involved. It also explores the different factors influencing the process, adsorption isotherm models, kinetic and thermodynamic studies, and types of adsorbents, with a focus on biosourced materials.

➤ **Chapter III: Materials and Methods**

This chapter details the materials used, the preparation methods for the adsorbent, and the physicochemical characterization techniques. It also describes the experimental protocols for studying the adsorption of Rhodamine B, including operating conditions, analytical procedures, and data processing methods.

➤ **Chapter IV: Results and Discussion**

This chapter presents and analyzes the experimental results. It includes characterization data of the adsorbent, adsorption performance of Rhodamine B under various parameters, and fitting to isotherm, kinetic, and thermodynamic models. The results are critically discussed in light of previous studies.

Theoretical section

Chapter I :

*Water contamination by dyes: sources,
types, and study of Rhodamine B*

Introduction

Water pollution has become one of the major environmental challenges of our time, exacerbated by the intensification of industrial, agricultural, and urban activities. It is primarily caused by the massive introduction of organic and inorganic pollutants that disrupt the natural balance of aquatic ecosystems, posing threats to biodiversity and human health. Among the many sources of pollution, industrial dyes hold a particular place due to their high chemical stability and resistance to degradation [3].

This chapter aims to provide an overview of water pollution, its classification based on sources and types of pollutants, with a specific focus on dye pollutants. Special attention will be given to Rhodamine B, a synthetic dye from the xanthene family, widely used but also highly controversial due to its potential environmental and health impacts.

I.1. Overview of water pollution

Water pollution is now considered one of the most pressing environmental concerns, as it forms a critical link between air and soil. Water is said to be polluted when its natural balance is permanently altered by the massive introduction of more or less toxic substances of either natural or anthropogenic origin [4].

Human activities—whether industrial, urban, or agricultural—generate large amounts of pollutants responsible for various types of contamination. This pollution may be permanent, such as domestic discharges from large cities; periodic or accidental, as in the case of toxic spills from industrial or agricultural sources; or acute, due to runoff from rainwater washing over urban surfaces [5].

Water pollution is identified when changes in its natural characteristics become harmful to its uses, or to aquatic fauna and flora. During use, water may become depleted or enriched with various substances or undergo temperature variations. Pollutants ultimately spread throughout the environment, reaching rivers and seas [6].

This pollution directly impacts human health and the immediate environment. It can also have indirect effects through the food chain or more distant ecosystems [7].

I.2. Classification of water pollution

I.2.1. Classification based on the source of pollution

I.2.1.1. Domestic pollution

It consists of fats, detergents, solvents, nitrogenous organic waste, as well as various germs. This type of wastewater originates from domestic uses such as kitchen water rich in detergents and bathroom water containing organic matter, nitrogen, and phosphorus [8]

I.2.1.2. Industrial pollution

Industrial wastewater is characterized by the presence of toxic substances such as hydrocarbons, heavy metals, and various micropollutants. It can also contain organic matter [9].

I.2.1.3. Agricultural pollution

The concentration of livestock can lead to an excess of animal waste beyond the absorption capacity of agricultural land. Through runoff and infiltration into the subsoil, this waste enriches watercourses and groundwater with nitrogen derivatives and represents a source of bacteriological pollution. Furthermore, the use of chemical fertilizers (nitrates, phosphates) and phytosanitary products (herbicides, insecticides) alters the quality of surface and groundwater [10].

I.2.1.4. Natural pollution

Natural pollution comes from substances naturally present in the environment, originating from rocks surrounding surface or groundwater. These inorganic substances include barium, arsenic, fluoride, sodium, chloride, mercury, and cadmium [11].

I.2.2. Classification based on the type of pollutant

I.2.2.1. Biological pollutants

These include microorganisms (bacteria, viruses, parasites) as well as organic matter derived from living beings, such as feces, sugars, and fats. They mainly originate from domestic and industrial wastewater, as well as from animal farming (slurry, manure). Although organic matter is generally biodegradable, its excessive accumulation leads to nutrient enrichment of water, thereby promoting eutrophication of aquatic environments. In humans, the consumption of water contaminated by these microorganisms can cause digestive disorders such as diarrhea, vomiting, and parasitic diseases [12].

I.2.2.2. Physical pollutants

These include insoluble and non-degradable debris as well as the discharge of heated water from cooling systems of thermal and nuclear power plants. The accumulation of solid waste can lead to vast floating dumps, while the release of heated water raises the temperature of aquatic environments. This warming reduces the oxygen concentration in water and promotes eutrophication, a phenomenon sometimes referred to as thermal water pollution [7].

I.2.2.3. Chemical pollutants

Chemical pollutants are substances normally absent or naturally present in the environment in very low concentrations. Regardless of the type of chemical pollutant, daily consumption of water contaminated by traces of these substances can have harmful effects on human health [4].

I.3. Water pollution by dyes

I.3.1. Definition

A dye is a chemical substance that can color a material by binding to its surface. The coloring ability of a dye varies according to its chemical structure and its interactions with light [13]. Dyes absorb light in the visible spectrum (380–750 nm), producing a color observable by the human eye. This coloration is due to the selective absorption of light by certain groups of atoms called chromophores, which have the ability to trap and absorb specific wavelengths of light. Additionally, auxiliary groups called auxochromes can modify the intensity or hue of the color by acting on the chromophore's properties, thereby enhancing or altering the perceived color [14].

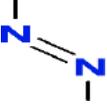
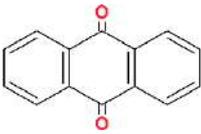
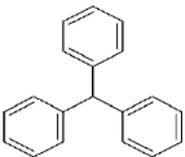
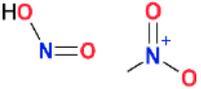
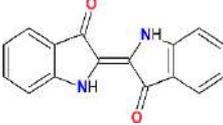
Dyes can be of natural or synthetic origin, and their presence in wastewater, due to their chemical properties and usage in various industries, constitutes a form of pollution. These dyes can be difficult to remove by conventional water treatment processes and pose a significant environmental risk, especially to aquatic ecosystems and human health [15].

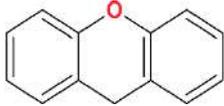
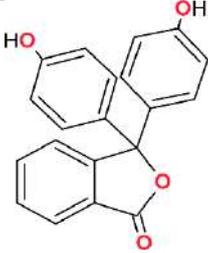
I.3.2. Classification

Dyes, whether natural or synthetic, are used in many industries (textile, pharmaceutical, food, cosmetics, etc.) to color various materials [16]. Unlike pigments, which are insoluble (1–2 μm), dyes are soluble in water and have a size ranging from 0.025 to 1.0 μm [17,18]. Synthetic dyes are valued for their chemical stability, resistance to degradation, reproducibility, and low cost [19,20].

They absorb visible light (400–700 nm) due to conjugated systems containing chromophores, including groups such as $-N=N-$, $=C=O$, $-NO_2$, $C=S$, with atoms like N, O, or S [21,22,23]. Auxochromes (e.g., $-NH_2$, $-COOH$, $-OH$, $-SO_3H$) enhance the color intensity and affinity with fibers [22,24].

Table 1. Classification and characteristics of dyes according to the chromophore structure

Chemical Class of Dyes	Chromophore	Examples of dyes	Characteristics	Reference
Azo dyes		Methyl Orange, Congo Red, Orange G, Amaranth	Azo dyes are the most widely used (60%). They contain a functional group ($-N=N-$) linking two alkyl or aryl radicals, symmetrically or asymmetrically, which may be identical or different.	[25]
Anthraquinone dyes		Brilliant Blue Remazol R, Reactive Blue X-BR, Reactive Blue 4, Alizarin S	The second most widely used group of dyes due to their low cost, availability, and performance. They contain two carbonyl groups positioned on either side of a benzene ring..	[26]
Triphenylmethane dyes		Malachite Green, Crystal Violet, Bromophenol Blue, Light Green SF	These molecules contain a central sp^3 -hybridized carbon atom bonded to three aryl groups. They are widely used in the textile industry.	[27]
Nitro and nitroso dyes		Naphthol Yellow S, Disperse Yellow 26, Disperse Yellow 14	Nitro dyes possess a nitro group conjugated to an electron donor through an aromatic system. They always contain a hydroxyl group as the donor.	[28]
Indigoid dyes		Indigo Carmine, Ciba Blue 2B	Synthetic indigo is the most widely used dye in the textile industry. It is highly resistant to light and high temperatures.	[29]

Xanthene dyes		Rhodamine 6G, Rhodamine 123, Fluorescein	Used in the food, cosmetic, paper, and ink industries, they provide strong coloring capacity but are poorly biodegradable and sometimes highly toxic.	[30]
Acridine dyes		Acridine Orange, Basic Yellow 9	They are heat-resistant but have low lightfastness. Currently, they have limited commercial importance.	[31]
Phthalein dyes		o-Cresolphthalein, Thymolphthalein, Dioxylenphthalein , Phenolphthalein	They are used as indicators for the titration of weak acids. Insoluble in water but soluble in alcohol. Frequently used in the construction, coatings, electronics sectors, etc.	[32]

I.3.3. Overview of Rhodamine B

I.3.3.1. Definition

Rhodamine B (Figure I.1) is a basic dye belonging to the xanthene class, which also includes fluoresceins, eosins, and other rhodamines [33]. This dye is notably used to color natural fibers such as wool and silk in acidic media, where it demonstrates excellent affinity for protein substrates. Xanthene-type dyes can exist in two main forms, neutral or ionic, each exhibiting distinct spectral properties [34]. These spectral characteristics, particularly absorption and fluorescence emission, strongly depend on the local environmental conditions of the dye, such as pH, solvent polarity, and the presence of specific ions [35]

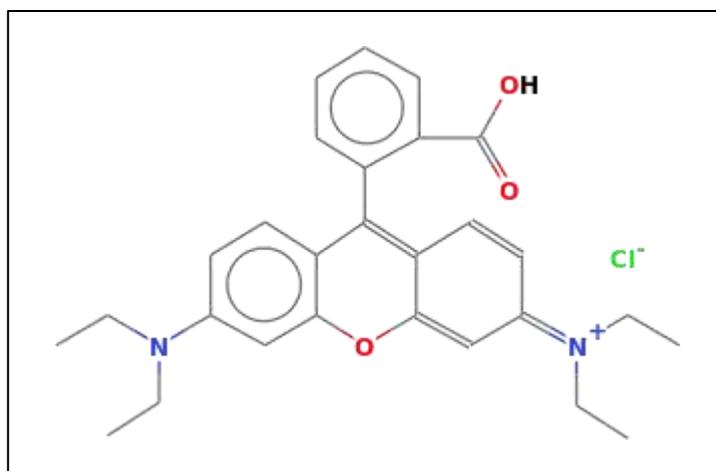


Figure I.1: Chemical structure of Rhodamine B

I.3.3.2. Physicochemical Characteristics of Rhodamine B

Rhodamine B ($C_{28}H_{31}ClN_2O_3$) is a dye belonging to the xanthene family, widely used for its fluorescent properties. This compound, with a molar mass of 479.02 g/mol, appears as a red to violet crystalline powder. It is highly soluble in water as well as in organic solvents such as ethanol and ether, and adopts a stable cationic form in solution. It has a density of approximately 1.26 g/cm³ and a melting point between 165 and 167 °C, followed by thermal decomposition. Its strong light absorption occurs around 554–556 nm, and it emits characteristic fluorescence between 570 and 580 nm, making it a preferred tracer in environmental and biological studies. In dilute aqueous solution, its pH generally ranges between 3.5 and 4.5 [36].

I.3.3.3. Applications of Rhodamine B

Rhodamine B is a synthetic dye widely used in various industries such as textile, food, and cosmetics. Although it offers advantages in terms of vivid coloration and chemical stability, its use raises significant health concerns, leading to regulatory bans in several fields. The following sections detail its main applications as well as the associated risks.

- In the textile and paper industries, Rhodamine B is commonly used to dye fabrics and papers due to its intense reddish-pink coloration, good solubility, and resistance to light and chemical agents [37]. These qualities make it a preferred agent for enhancing the visual appearance of finished products.
- In the food sector, although its use is strictly prohibited, Rhodamine B has occasionally been detected fraudulently in confectionery, beverages, or syrups to enhance their color [38]. This illegal practice poses a serious risk to human health, notably due to the compound's toxic and potentially carcinogenic effects.
- In cosmetics, Rhodamine B has been identified in certain lipsticks despite the formal ban on its use in products intended for direct contact with skin or mucous membranes [39]. Its illegal presence in cosmetic products exposes consumers to increased toxicity risks, justifying strengthened control measures by health authorities.

I.3.3.4. Environmental and Health Risks Associated with Rhodamine B

Rhodamine B (RhB), due to its widespread use as a dye and tracer agent, represents a major environmental and health concern. This compound is known for its high toxicity, impacting both aquatic ecosystems and human health.

➤ Environmental Impact

The toxicity of Rhodamine B to aquatic organisms is well documented. Several studies have revealed its harmful effects on bioindicator species such as *Daphnia magna*, showing reduced survival, development, and reproduction in these organisms [40]. Even at low concentrations, this toxicity disrupts aquatic population dynamics and can lead to significant ecological imbalances.

Moreover, RhB exhibits a strong ability to adsorb onto microplastics found in aquatic environments, which enhances its stability and persistence in ecosystems. This interaction promotes its bioaccumulation within the aquatic food chain, thereby increasing exposure risks for higher organisms, including humans [41].

Another aggravating factor is Rhodamine B's resistance to natural biodegradation. Due to its stable chemical structure, it persists for extended periods in the environment, requiring advanced wastewater treatment technologies, such as advanced oxidation processes, for effective removal [42]. RhB's non-biodegradability thus contributes to chronic contamination of aquatic environments.

➤ **Health risks**

From a health perspective, acute exposure to Rhodamine B can cause immediate effects such as skin, eye, and respiratory irritations, manifesting as burns, redness, coughing, or breathing difficulties [43]. These symptoms result from the compound's irritating nature upon contact with mucous membranes.

In the long term, Rhodamine B is classified as a potentially carcinogenic substance. Experimental studies have demonstrated its mutagenic potential and its capacity to induce toxic effects on reproduction and embryonic development in chronically exposed organisms [40]. These properties have led to progressive restrictions on its use in food and cosmetic industries in several countries.

Despite the severity of these risks, recent advances in photocatalytic treatments offer promising perspectives for the efficient degradation of RhB in aqueous effluents. K.W.P.V. et al. (2024) demonstrated that using nanocatalysts under light irradiation enables a substantial reduction in RhB concentration, thereby minimizing its environmental and health impacts [44].

I.3.4. Remediation strategies for Rhodamine B removal

Water pollution caused by Rhodamine B (RhB), a persistent organic dye, has prompted significant interest in developing effective remediation methods. Various physical, chemical, and

catalytic approaches have been proposed, each offering specific advantages but also facing certain limitations.

1.3.4.1. Photodegradation

Photodegradation is one of the most promising techniques for breaking down Rhodamine B. It relies on the use of photocatalysts activated by light, such as titanium dioxide (TiO₂). Islam et al. (2020) reported that TiO₂ sensitized with dyes achieved up to 96% degradation of RhB under optimized sunlight exposure conditions [45]. This process involves the generation of reactive oxygen species, especially hydroxyl radicals, which can decompose the complex molecular structure of Rhodamine B into less harmful compounds.

1.3.4.2. Catalytic Reduction

Catalytic reduction is another effective method based on the use of inorganic metal nanoparticles (such as gold, silver, or palladium) or hybrid catalysts like polymers impregnated with these metals. These materials facilitate electron transfer, enabling the rapid reduction of RhB into harmless products under mild conditions without the need for light. Naseem et al. (2024) and Zhou et al. (2020) reported degradation rates exceeding 97% using such catalysts [46-47].

1.3.4.3. Adsorption Techniques

Adsorption is widely adopted for removing dyes from aqueous solutions. Adsorbents derived from agricultural waste, such as activated carbon prepared from argan shells, have shown high efficiency in eliminating Rhodamine B, with removal rates reaching up to 96.84% under optimal conditions, according to Imam et al. (2020) and Ouardi et al. (2022) [48-49]. The main advantages of this method are its simplicity, low cost, and ability to treat concentrated effluents without significant energy input.

Despite promising results, several challenges remain, including scaling up to industrial applications, ensuring catalyst and adsorbent durability, and guaranteeing complete mineralization of Rhodamine B into non-toxic byproducts. Addressing these issues is crucial for safe and sustainable application in wastewater treatment.

Conclusion

Water pollution poses a serious threat to ecosystems and public health, arising from multiple sources and exhibiting diverse manifestations. Classifying the types of pollution helps to better

understand contamination mechanisms and guide treatment strategies. Among the concerning contaminants, synthetic dyes—particularly Rhodamine B—present high risks due to their chemical stability and potential for bioaccumulation. Their widespread presence across various industries, despite increasingly strict regulations, demands constant vigilance and the development of effective treatment methods to protect water resources. Therefore, thorough study of these pollutants is essential for environmental preservation and the promotion of sustainable water resource management.

Chapter II :

Adsorption – principles, mechanisms, and modeling.

Introduction

Water pollution by industrial dyes represents a major threat to aquatic ecosystems and human health. Given the limitations of conventional treatment techniques, adsorption has emerged as an effective, flexible, and economically viable method for the removal of these recalcitrant compounds. This process is based on the attachment of molecules (adsorbates) to the surface of a solid material (adsorbent) through various physicochemical mechanisms.

This chapter aims to explore in depth the theoretical foundations of adsorption, highlighting its definition, mechanisms, types (physical and chemical), as well as the main factors influencing its efficiency. It also presents kinetic and isotherm models used to describe adsorption behavior, along with thermodynamic parameters to assess its feasibility. Special attention is given to the application of this process in the decolorization of effluents, notably through the use of bio-based or waste-derived materials.

II.1. Definition of adsorption

Adsorption is an effective treatment process widely used for removing a broad range of toxic compounds present in the environment. It is mainly applied in water treatment and air purification fields [50]. Fundamentally, adsorption refers to an interaction phenomenon between a fluid phase (liquid or gas) and the surface of a solid material (Figure II.1). Molecules, ions, gases, polymers, or even microorganisms present in the fluid—called adsorbates—attach to the surface of the solid—called adsorbent—due to various physicochemical mechanisms [51]. According to several authors, adsorption can also be defined as a physical separation operation in which a substance is retained and concentrated at the interface between two phases, usually between a liquid and a solid [52].

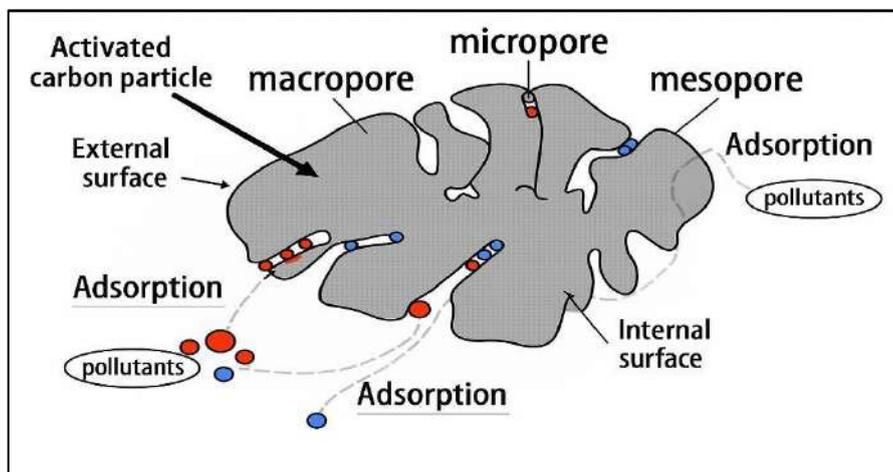


Figure II.1 : Simplified diagram illustrating the adsorption phenomenon

II.2. Adsorption mechanism

The adsorption mechanism is particularly important due to its recognized efficiency in the treatment of drinking and wastewater. It relies on the transfer of a solute dissolved in a liquid phase to a porous solid phase, called the adsorbent, which can retain the adsorbate molecules on its surface [53].

The process can be broken down into four successive steps, representing the different phases of migration and fixation of pollutants [54]:

1. **External diffusion:** The solute migrates from the bulk solution to the vicinity of the adsorbent surface.
2. **Diffusion through the liquid film (or external granular diffusion):** The solute crosses the stagnant film surrounding each adsorbent particle to reach its external surface. This step is generally rapid.
3. **Intra-particle diffusion:** The solute diffuses inside the pores of the adsorbent, either freely or adsorbed, following a concentration gradient. This phase is often rate-limiting due to the complexity of diffusion pathways.
4. **Fixation on active sites:** Finally, molecules reach the micropores and irreversibly bind to the adsorbent's active sites. At this stage, the molecules are considered immobilized.

II.3. Types of adsorption

The adsorption process can be classified into two main categories according to the nature of interactions between the adsorbent and the adsorbate (Figure II.2): physical adsorption (or physisorption) and chemical adsorption (or chemisorption). These two mechanisms differ in the strength of the forces involved, the reversibility of the process, and possible modifications undergone by the adsorbed molecules.

II.3.1. Physical adsorption

Physical adsorption, also called physisorption, is based on weak physical interactions, mainly Van der Waals forces. These forces arise from temporary fluctuations in the electronic density around molecules, creating instantaneous dipoles that can attract nearby molecules. This type of

interaction does not require major electronic rearrangement and does not involve chemical bond formation between the adsorbent and adsorbate.

Physisorption is characterized by its rapidity, reversibility, and lack of chemical effect on adsorbed molecules. Due to the low energy involved (often less than 40 kJ/mol), this type of adsorption can occur at low temperatures and allows easy desorption. It is therefore advantageous for applications requiring adsorbent recycling or simple system regeneration [55].

II.3.2. Chemical adsorption

Chemical adsorption, or chemisorption, involves the formation of strong chemical bonds between adsorbate molecules and the adsorbent surface. Unlike physisorption, it is generally specific to the chemical nature of the species involved. This type of adsorption is accompanied by charge transfer and electronic redistribution between the adsorbed entities and the surface. The bonds formed may be covalent or ionic.

Chemisorption is often irreversible, as it causes a chemical transformation or activation of the adsorbed molecules. It occurs at higher temperatures and involves significantly higher interaction energies, generally between 80 and 400 kJ/mol. This mechanism is particularly relevant for catalytic applications or treatments requiring strong and selective pollutant fixation [56].

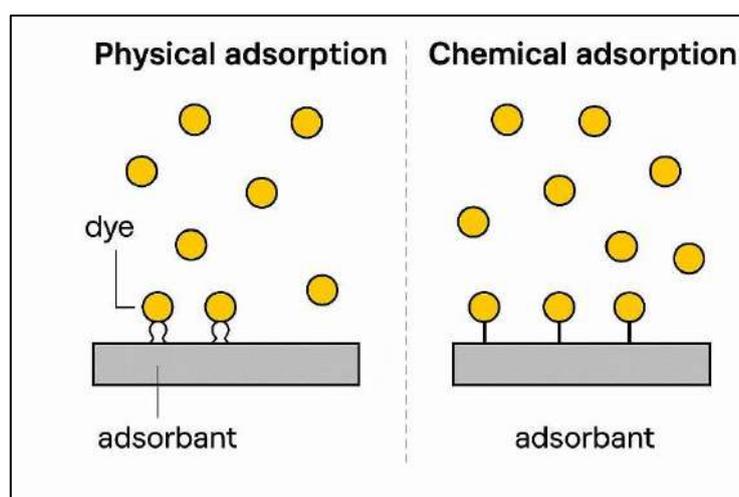


Figure II.2 : Physical adsorption and chemical adsorption (or chemisorption).

II.4. Factors influencing adsorption

The adsorption method has proven effective at both industrial and laboratory scales. However, its efficiency closely depends on several parameters that influence the kinetics and adsorption capacity. The most significant among them include: the adsorbent dose, contact time between adsorbent and adsorbate, initial dye concentration, solution pH, and temperature [57–59].

Any variation in these parameters can significantly alter the adsorption rate. Therefore, it is essential to optimize these conditions during laboratory experiments to achieve maximum retention efficiency. This optimization not only helps to better understand the mechanisms involved but also lays the groundwork for designing large-scale treatment processes for dye removal from industrial effluents.

- **Adsorbent dose** directly influences the available surface area for adsorption: a higher dose provides more active sites, thus increasing the removal rate until a saturation threshold is reached.
- **Contact time** determines the duration needed to reach adsorption equilibrium, which is usually rapid at the beginning and slows down as active sites become saturated.
- **Initial dye concentration** plays a role in the concentration gradient, which drives the diffusion of the adsorbate towards the adsorbent. A high gradient favors faster adsorption but may also lead to early saturation of the active sites.
- **Solution pH** affects both the surface charge of the adsorbent and the ionic form of the dye, thereby influencing their electrostatic interactions.
- **Temperature** can affect the rate of reactions and molecular diffusion, influencing whether the adsorption is physical or chemical in nature.

II.5. Adsorption modeling

II.5.1. Adsorption kinetics

Adsorption kinetics are of considerable practical importance for the optimal use of an adsorbent in an adsorption process. They provide insight into the nature of the physico-chemical interactions between the solute and the adsorbent and help determine the initial adsorption rate. Isotherms describe the adsorption behavior at equilibrium. They express the relationship between

the amount adsorbed (q_e , $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) and the equilibrium concentration (C_e , $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) at a constant temperature [60]. The most common mathematical models used to describe isotherms include:

- **Pseudo-first-order model**

The pseudo-first-order model is represented by the following equation (Eq. II.1):

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \quad (\text{eq II.1})$$

With:

q_e , q_t : Amounts of solute adsorbed at equilibrium and at time t , respectively ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).

k_1 : Pseudo-first-order adsorption rate constant (min^{-1}).

t : Time (min).

- **Pseudo-second-order model**

The pseudo-second-order kinetic model is represented by the following equation (Eq. II.2):

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2 \quad (\text{eq II.2})$$

With:

q_e , q_t : Amounts of solute adsorbed at equilibrium and at time t , respectively ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).

k_2 : Pseudo-second-order adsorption rate constant ($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

t : Time (min).

II.5.2. Adsorption Isotherms

The adsorption phenomenon, when it reaches an equilibrium state—which is systematic in the case of physisorption and necessary in chemisorption—is generally described using an adsorption isotherm curve. This isotherm expresses the relationship between the amount of solute adsorbed per unit mass of adsorbent (q_e in mg/g) and the residual solute concentration in solution (C_e in mg/L), all measured at constant temperature [61]. Several types of isotherms are distinguished (Figure II.3):

- **Type S (Sigmoidal):** Cooperative adsorption between polar molecules and a polar surface.
- **Type L (Langmuir):** Monolayer adsorption, indicating strong solute/adsorbent affinity.
- **Type H (High Affinity):** Strong adsorption even at low concentrations.
- **Type C (Constant Partition):** Linear adsorption with constant competition between solute and solvent [62].

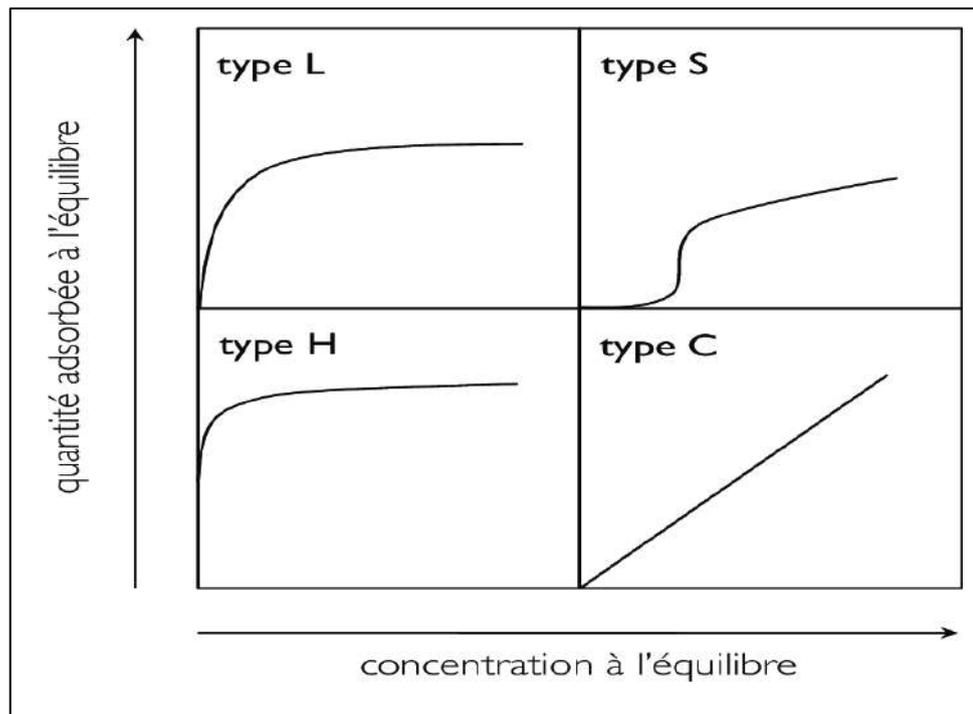


Figure II.3. The four types of adsorption isotherms

Several mathematical models have been developed to describe adsorption isotherms. Among them, the Langmuir and Freundlich models are the most commonly used due to the simplicity of their equations and their ability to satisfactorily represent equilibrium adsorption isotherms in aqueous phase in most cases. Other models have also been developed to predict the simultaneous adsorption of multiple compounds. Notably, the Langmuir, Freundlich, and Temkin models can be mentioned [63].

▪ **The Langmuir Model**

The first fundamental theory of solute adsorption on solids was proposed by Langmuir in 1918. The development of Langmuir's representation for an adsorption isotherm is based on the following assumptions [64]:

- The adsorbed species is fixed on a single well-defined site.
- Each site is capable of binding only one adsorbed species.
- The adsorption energy is identical for all sites and independent of the presence of adsorbed species on neighboring sites (homogeneous surface and no interactions between adsorbed species).

It describes isotherms well according to the equation (eq II.3):

$$q_e = q_{max} \frac{KL Ce}{1 + KL Ce} \quad (\text{eq II.3})$$

With:

qe: Amount adsorbed at equilibrium per unit mass ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

qmax: Maximum amount adsorbed per unit mass ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

KL: Langmuir constant ($\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$)

Ce: Concentration of the adsorbate at equilibrium in the liquid phase ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

- **Freundlich Theory**

This is an empirical model that allows modeling adsorption isotherms on heterogeneous surfaces where adsorption sites are not all equivalent [64]. This model is described by the following equation (eq II.4):

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (\text{eq II.4})$$

qe : Amount adsorbed at equilibrium per unit mass ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

Kf: Freundlich constant ($(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) (\text{L} \cdot \text{mg}^{-1})^{1/n}$)

Ce : Equilibrium concentration in the liquid phase ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

1/n : Constant measuring the adsorption intensity or surface heterogeneity.

- **Temkin Theory**

It assumes that the decrease in the heat of adsorption is linear rather than logarithmic. The Temkin isotherm is presented by the following equation (eq II.5) [65] :

$$Q_e = \frac{RT}{bT} \ln (A C_e) \quad (\text{eq II.5})$$

With:

R: Universal gas constant (8.314 J·mol⁻¹·K⁻¹)

T: Temperature (K)

A: Temkin constant (L·g⁻¹)

bT: Constant related to the heat of adsorption (J·mol⁻¹)

C_e: Equilibrium concentration of the adsorbate (mg·L⁻¹)

II.5.3. Thermodynamics of adsorption

To evaluate the feasibility and better understand the nature of the adsorption process, it is essential to determine the key thermodynamic parameters, namely: Gibbs free energy (ΔG°), enthalpy change (ΔH°), and entropy change (ΔS°). These quantities help characterize the spontaneity, endothermic or exothermic nature of the phenomenon, as well as the evolution of disorder within the system during adsorption [66].

The Gibbs free energy ΔG° (kJ·mol⁻¹) of the adsorption reaction can be determined from the following equation (eq II.6):

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad (\text{eq II.6})$$

With:

K_c: Thermodynamic equilibrium constant

T: Absolute temperature

R: Universal gas constant

The relationship between ΔG° , ΔH° , and ΔS° is given by the Van 't Hoff equation (eq II.7) [67].

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{R.T} \quad (\text{eq II.7})$$

II.6. Adsorbent materials

The choice of an adsorbent material is based on several fundamental criteria, including its adsorption capacity and kinetics, selectivity towards target molecules, as well as its physical, chemical, thermal, and economic properties. The adsorption capacity is strongly influenced by the concentration of the adsorbate, temperature, pH, pressure, and composition of the reaction medium. Mechanical properties (compressive strength), thermal properties (stability at high temperature), and thermal conductivity must also be considered to ensure sustainable and efficient use. The acquisition or production cost is also a determining factor. In practice, the most commonly used materials in adsorption processes are porous solids such as activated carbons, activated aluminas, silica gels, activated clays, and zeolites, which mainly operate by physical adsorption in industrial applications [67].

II.6.1. Biosorbents

Biosorbents, or bio-adsorbent materials, are materials of biological origin, mainly derived from agricultural residues, plant waste, or other renewable resources. They are characterized by their low cost, biodegradability, and effectiveness in adsorbing organic and inorganic pollutants without prior chemical transformation. Various lignocellulosic wastes, such as banana peels, green tea residues, or rice husks, have been successfully used for the removal of heavy metals and dyes in aqueous media due to the presence of functional groups (hydroxyl, carboxyl, etc.) on their surface [68].

II.6.2. Biochar

Biochar is a carbonaceous solid residue produced by pyrolysis of organic biomass, i.e., its thermal degradation in an inert atmosphere (absence of oxygen). Its adsorptive properties mainly depend on the nature of the original biomass and the pyrolysis conditions (temperature, duration, heating rate). Lignocellulosic materials such as wood, crop residues, or organic sludge are commonly used for its production. Biochar possesses high chemical stability, a developed specific surface area, and good affinity for various pollutants [69].

II.6.3. Hydrochar

Hydrochar is a carbonaceous material obtained by hydrothermal carbonization (HTC) at moderate temperatures (180–250 °C) in an aqueous medium. This recent technology is particularly suited for treating wet biomass without prior drying, making it a cost-effective and energy-saving method. It offers good yield and low ash content [70]. However, hydrochar generally has a relatively low specific surface area and porosity, along with a predominance of

polar functional groups, which limits its effectiveness for adsorbing hydrophobic organic compounds [71]. Post-treatment strategies are therefore necessary to optimize its performance.

II.6.4. Hybrid and modified biochars

To improve the adsorption performance of biochar, various modification strategies have been developed:

II.6.4.1. Biochar modified with natural polymers

The incorporation of natural polymers such as sodium alginate enhances the mechanical stability of biochar and increases its adsorption capacity. This type of modification promotes electrostatic interactions with pollutants, particularly dyes, by increasing the active surface and diversifying binding sites [72].

II.6.4.2. Biochar doped with metal oxides

The addition of metal oxides such as TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO_x , MgO , or Al_2O_3 , in the form of nanoparticles or thin layers, introduces catalytic or photocatalytic properties to the biochar. These dopings improve the adsorption of organic or inorganic contaminants through surface complex formation or advanced oxidation reactions [73].

II.6.4.3. Chemically activated biochar

Chemical activation of biochar using agents such as phosphoric acid (H_3PO_4), potassium hydroxide (KOH), or zinc chloride (ZnCl_2) significantly increases porosity, specific surface area, and the number of available active sites. This modification enhances biochar's adsorption capacity by altering its surface chemistry, thereby strengthening interactions with target pollutants [74].

II.6.4.4. Biochar functionalized with magnetic nanoparticles

Incorporation or coating of biochar with magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles imparts magnetic properties to the material, facilitating its separation after adsorption by simple application of a magnetic field. This functionalization also allows easy recovery and reuse of biochar over successive cycles [75].

II.7. Decolorization of effluents by adsorption

Among the numerous techniques developed to remove dyes from effluents, adsorption has established itself as one of the most effective methods, notably due to its ability to eliminate a

wide variety of dyes regardless of their type [76]. It is commonly used for treating industrial wastewater as well as purifying drinking water.

Conventional methods often prove ineffective at completely removing synthetic dyes, which are generally highly resistant to degradation [77]. Adsorption thus allows for treated effluents of better quality compared to other processes [78].

Although the high cost of adsorbents has long been a barrier, the emergence of low-cost adsorbent materials, notably based on biosorbents or valorized wastes, has significantly reduced costs, making this method economically viable [79].

One major advantage of this method is that it requires neither complex pretreatment nor specialized equipment. It can be used alone or as a complementary treatment following a conventional process for more complete dye removal. Furthermore, when porous materials are used, the process efficiency is significantly improved [80].

Conclusion

Adsorption is a particularly suitable treatment solution for the depollution of colored effluents due to its ease of implementation, high efficiency, and low environmental impact. The mechanisms involved, whether physical or chemical, allow selective retention of pollutants on solid surfaces, provided that operational parameters such as pH, adsorbent dose, and contact time are optimized.

A thorough understanding of adsorption isotherms, kinetics, and thermodynamic parameters not only enables modeling of the process but also the design of efficient systems for large-scale treatment. Moreover, the emergence of new adsorbents based on biomaterials opens promising prospects for sustainable and economically competitive adsorption. This theoretical framework thus provides a solid foundation for the experimental work presented in the following chapters.

Experimental section

Chapter III:
Materials and methods

Introduction

This chapter presents in detail the various materials used and the experimental protocols implemented to evaluate the adsorption efficiency of Rhodamine B by hydrochars derived from *Melia Azedarach* seeds. It sequentially describes the preparation of the adsorbents, the preparation of the solutions, the physico-chemical characterization methods of the materials, the adsorption experiment protocols, the optimization of operating parameters, as well as the analytical method adopted for the assay of Rhodamine B.

III.1. Preparation of the Rhodamine B solutions

For the adsorption experiments, a Rhodamine B stock solution was prepared at a concentration of 1 g/L. To do this, 1 g of dye was carefully dissolved in one liter of distilled water, with stirring for five minutes to ensure thorough homogenization of the mixture. This step is essential to guarantee the reliability and reproducibility of the adsorption tests. Solutions of different concentrations (Figure III.1) were then obtained by diluting the stock solution according to the dilution law (eq III.1).:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (\text{eqIII.1})$$

Où :

- C_1 is the concentration of the stock solution (mg/L)
- V_1 is the volume of the stock solution to be taken (L)
- C_2 is the desired concentration (mg/L)
- V_2 is the final desired volume (L)



Figure III .1 : Diluted Rhodamine B solutions

III.2. Preparation of adsorbents

III.2.1. Activated Hydrochar (HB-Zn)

The *Melia azedarach* seeds (Figure III.2), selected as the raw material for adsorbent synthesis, were first carefully washed with distilled water to remove surface impurities such as dust, residual organic matter, and soluble salts. After this purification step, the seeds were dried in a ventilated oven at 105 °C for 24 hours to eliminate residual moisture. Once dried, they were ground using a mechanical mill and then sieved to obtain a uniform particle size between 190 and 250 µm, ensuring a specific surface area suitable for carbonization.

The conversion of this biomass into hydrochar was carried out by hydrothermal carbonization. The treatment was performed in a water bath at 190 °C for 2 hours, with a solid-to-liquid mass ratio of 1:10 (g/mL), allowing controlled hydrolysis of lignocellulosic components. The obtained solid (raw hydrochar) was then dried at 105 °C for 24 hours to remove residual water.

The next step consisted of chemically activating the hydrochar by impregnation in a zinc chloride (ZnCl_2) solution, with a solid/chemical agent/distilled water mass ratio of 1:1:10 (g/g/mL). The impregnation was performed under continuous stirring for 24 hours at room temperature, promoting good diffusion of ZnCl_2 into the material's structure.



Figure III .2 : Activated hydrochar obtained from *Melia azedarach* seeds.

After filtration of the mixture, the impregnated material underwent pyrolysis at 500 °C for 1 hour in a controlled atmosphere furnace to develop a porous structure and increase the specific surface area of the adsorbent. The resulting activated carbon was then thoroughly washed with distilled water until complete removal of chloride residues, verified by the absence of a white precipitate

during the silver nitrate (AgNO_3) test. Finally, the material was dried at $105\text{ }^\circ\text{C}$ and stored in a desiccator to prevent any rehydration prior to adsorption tests.

III.2.2. Magnetic activated hydrochar (HB-Zn-Fe)

The synthesis of magnetic activated hydrochar (HB-Zn-Fe) (Figure III.3) was carried out using a co-precipitation method of ferrous (Fe^{2+}) and ferric (Fe^{3+}) ions in the presence of hydrochar (HB-Zn). For this purpose, 3 g of ferric chloride hexahydrate ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) and 1.5 g of ferrous sulfate heptahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) were separately dissolved in 50 mL of distilled water under magnetic stirring to ensure complete dissolution. The two solutions were then combined in a flat-bottom flask containing 4 g of previously dried hydrochar.

The mixture was heated to $80\text{ }^\circ\text{C}$ under constant stirring to promote interaction between the metal ions and the hydrochar surface. Subsequently, 50 mL of sodium hydroxide (NaOH) solution at 18% w/v (i.e., 9 g of NaOH dissolved in 50 mL of distilled water) was added dropwise to the reaction mixture. This gradual addition controls the precipitation of iron oxides (Fe_3O_4) onto the surface of HB-Zn, thereby favoring the formation of a composite material with magnetic properties.



Figure III.3 : Preparation of magnetic activated hydrochar (HB-Zn-Fe)

Stirring was continued for 2 hours at constant temperature to ensure good distribution of magnetic nanoparticles on the carbon matrix. At the end of the reaction, the obtained black solid was separated by decantation, then washed several times with distilled water until neutral pH and complete removal of the brown coloration, indicating elimination of residual ions. Finally, the material was dried in an oven at $105\text{ }^\circ\text{C}$ for 12 hours and stored in a desiccator for further analyses.

III.3. Characterization of adsorbents

To better understand the physicochemical properties of adsorbents derived from *Melia azedarach* seeds, several characterization techniques were employed.

III.3.1. Determination of the Point of Zero Charge (pHpzc)

The point of zero charge (pHpzc), defined as the pH at which the adsorbent surface has no net charge, was determined using the pH drift method. This method consists of adding 25 mg of adsorbent to 25 mL of a 0.01 M NaCl solution, serving as an inert electrolyte. The initial pH (pHi) of the solution was adjusted between 2 and 11 using 0.1 M HCl or NaOH solutions. The suspensions were then stirred for 6 hours at room temperature to reach equilibrium. The final pH (pHf) was measured using a pH meter (Figure III.4), and the pHpzc value was determined from the intersection of the curve plotted as $\Delta\text{pH} = (\text{pHf} - \text{pHi})$ versus pHi.



Figure III .4 : pH-meter

III.3.2. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

FTIR spectroscopy (Figure III.5) was used to identify functional groups present on the adsorbent surface that could interact with Rhodamine B. Analyses were carried out at the Materials Science Laboratory of the University of Biskra, using a Shimadzu IR-8400S spectrophotometer. Infrared spectra were recorded in the wavelength range of 400 to 4000 cm^{-1} , with a spectral resolution of 2 cm^{-1} . Samples were prepared by mixing 1 mg of charcoal with 200 mg of potassium bromide (KBr) to form translucent pellets.



Figure III .5 : FTIR Spectroscopy - Shimadzu IR-8400S

III.3.3. X-ray Diffraction (XRD)

X-ray diffraction was performed to identify the crystalline phases present in the adsorbents and to evaluate their degree of crystallinity. This technique analyzes the internal structure of carbon materials by comparing diffraction patterns before and after Rhodamine B adsorption. XRD provides valuable information about atomic organization and the possible presence of amorphous or crystalline phases.

III.3.4. Scanning Electron Microscopy (SEM)

The surface morphology of the adsorbents was examined by scanning electron microscopy (SEM), allowing visualization of texture, pore size and distribution, as well as particle surface structure. This analysis provides a direct insight into the material topography, highlighting changes induced by thermochemical treatments or pollutant adsorption.

III.3.5. Specific Surface Area and Porosity Analysis (BET Method)

The specific surface area, pore volume, and pore size distribution were determined using the Brunauer–Emmett–Teller (BET) method based on nitrogen adsorption/desorption isotherms. This technique estimates the potential adsorption capacity of the material related to its porous microstructure. The obtained results are key parameters for interpreting the adsorption performance of the studied hydrochars.

III.4. Adsorption Expérimentes

Adsorption experiments of Rhodamine B were conducted in batch mode using tightly sealed flasks containing a known volume of dye aqueous solution and a measured mass of adsorbent prepared from *Melia azedarach* seeds. The solid/liquid ratio was fixed at 1 g/L unless otherwise specified during optimization studies.

The mixtures were continuously stirred at 450 rpm using an orbital shaker and maintained at controlled temperature with a thermostatic bath. At predetermined time intervals, aliquots were taken and immediately filtered through 45 μm pore size filters to separate the adsorbent. Residual Rhodamine B concentrations in the filtrates were analyzed by UV-Visible spectrophotometry.

In batch adsorption experiments, evaluating the adsorbent material's performance requires equations to quantify the adsorption process at various contact times and at equilibrium. The following equations are essential to characterize the adsorption system :

- Quantify adsorption at time (q_t) (eqIII.2)
- Determine the maximum adsorption capacity at equilibrium (q_e) (eqIII.3)
- Evaluate the overall removal efficiency ($R\%$) (eqIII.4)

$$q_t = (C_0 - C_t) \times V / m \quad (\text{eqIII.2})$$

$$q_e = (C_0 - C_e) \times V / m \quad (\text{eqIII.3})$$

$$R\% = [(C_0 - C_t) / C_0] \times 100 \quad (\text{eqIII.4})$$

III.5. Optimization of Operating Conditions

To determine the optimal adsorption conditions of Rhodamine B on the studied hydrochars, the influence of several physicochemical parameters was systematically examined using a "one-factor-at-a-time" approach, where only one factor is varied while others are kept constant. The contact time was studied over a range from 5 to 300 minutes to evaluate the adsorption kinetics and the time required to reach equilibrium. The initial dye concentration was varied between 5 and 150 mg/L to determine the adsorption capacity depending on the pollutant load. Experiments were conducted at three different temperatures (17 °C, 30 °C, and 60 °C) to analyze the thermal effect and establish the thermodynamic parameters of the process. The adsorbent dose was varied from 0.5 to 3 g/L to assess the impact of biosorbent quantity on adsorption efficiency. The solution pH was adjusted between 3 and 11 using 0.1 M HCl or NaOH solutions to study the influence of medium acidity on the interactions between adsorbent and adsorbate. Finally, the

effect of ionic strength was examined by adding NaCl at concentrations ranging from 0.05 to 1 M to simulate aqueous media containing dissolved salts and observe their influence on adsorption performance.

III.6. Quantitative analysis of Rhodamine B

To evaluate the residual concentration of Rhodamine B after adsorption experiments, UV-Visible spectrophotometry (Figure III.6) was used, a reference method to quantify colored compounds in a solution.



Figure III .6 : UV-Visible Spectrophotometer model.

The analysis was performed at the maximum absorption wavelength (λ_{\max}) of Rhodamine B, which is 552 nm. This value corresponds to the maximum dye absorption, ensuring optimal sensitivity and improved accuracy in measuring the residual concentration.

The quantification of Rhodamine B concentration in the filtered samples was carried out by applying the Beer-Lambert law, which describes the relationship between absorbance (A), solute concentration (C), and the optical path length (ℓ). This law is expressed by the following equation (eqIII.5):

$$A = \epsilon \times C \times \ell \quad (\text{eqIII.5})$$

Where:

- A is the measured absorbance (unitless),
- ϵ is the molar absorption coefficient of the dye at the analysis wavelength (L/mol.cm),
- C is the solute concentration in solution (mol/L),

- ℓ is the optical path length of the cuvette (in cm), which was fixed at 1 cm in our experiments to ensure consistent results.

To accurately determine the residual concentration of Rhodamine B, a calibration curve was established using standard solutions prepared with known dye concentrations. These solutions were measured at $\lambda_{\max} = 552$ nm to determine the absorbance corresponding to each concentration.

Table III .1 : Calibration for the determination of Rhodamine B concentration

Ci(mg/l)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abs	0.195	0.377	0.552	0.716	0.919	1.105	1.281	1.453	1.629	1.79

The resulting calibration curve represents the linear relationship between the absorbance and the dye concentration.

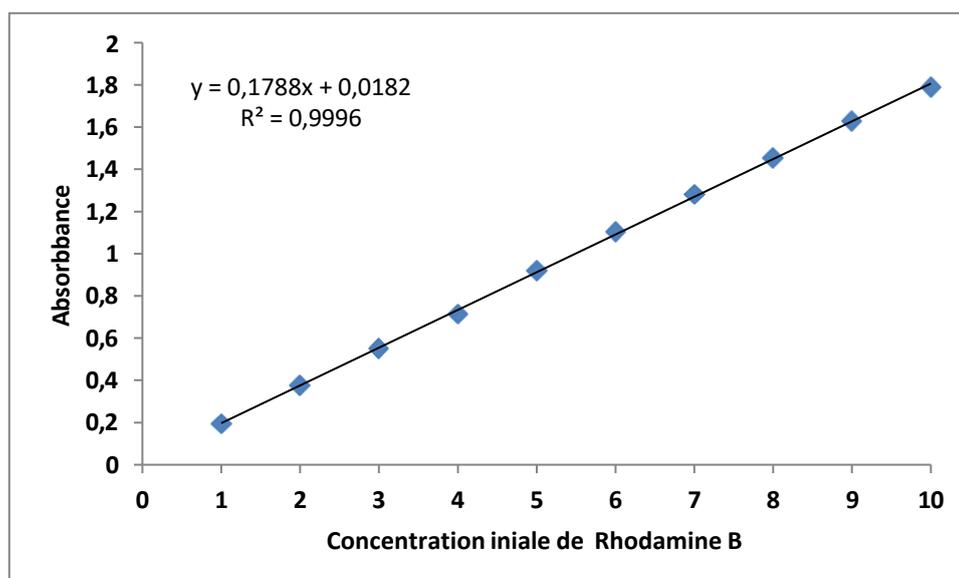


Figure III .7 : Calibration Curve of Rhodamine B

The obtained calibration curve (Figure III.7) shows a perfect linear relationship between absorbance and concentration, with a very high correlation coefficient, $R^2 = 0.9996$, demonstrating the reliability and accuracy of the method. This excellent correlation indicates that the Beer-Lambert law is fully applicable within the studied concentration range and confirms the validity of the spectrophotometric measurements used for quantifying Rhodamine B. The calibration curve thus allows calculating the residual concentration of Rhodamine B in solutions after adsorption using the measured absorbance. A linear relationship $A = f(C)$ was

obtained with a correlation coefficient $R^2 = 0.9996$, indicating the reliability of the quantification method.

Conclusion :

This chapter presented the methodological steps necessary for the study of Rhodamine B adsorption by hydrochars derived from *Melia azedarach* kernels. The preparation of adsorbents, including activated hydrochar (HB-Zn) and magnetic activated hydrochar (HB-Zn-Fe), was detailed, as well as the preparation of dye solutions. Physicochemical characterization techniques (pHpzc, FTIR, XRD, SEM, BET) were implemented to analyze the materials' properties. Adsorption tests were conducted in batch mode, studying the influence of various operational parameters (contact time, concentration, temperature, pH, adsorbent dose, ionic strength). The quantification of residual Rhodamine B was performed by UV-Visible spectrophotometry at 552 nm. These methods lay the foundation for the kinetic, isotherm, and thermodynamic analyses of the adsorption process in the following chapter.

Chapter IV :
Results and discussion

General conclusion

General conclusion

This research was part of an eco-innovative approach to valorize a local agricultural residue, *Melia azedarach* seeds, as a raw material for producing hybrid adsorbents for polluted water treatment. The main objective was to develop efficient materials for the removal of Rhodamine B (RhB), a synthetic dye widely used in the textile industry, whose presence in effluents poses a significant environmental threat.

Two adsorbent materials were developed: HB-Zn, a hydrochar activated with ZnCl_2 , and HB-Zn-Fe, further modified by iron impregnation. Comprehensive characterization (FTIR, XRD, SEM-EDX, and BET) revealed porous structures rich in oxygen-containing functional groups. HB-Zn exhibited a high specific surface area ($1128.15 \text{ m}^2/\text{g}$) and favorable mesoporosity (2.62 nm), while HB-Zn-Fe, although with a lower surface area ($818.26 \text{ m}^2/\text{g}$), demonstrated better ionic stability due to the presence of iron. The point of zero charge (pH_{pzc}) was determined to be 5.8 for HB-Zn and 5.2 for HB-Zn-Fe, helping to clarify the role of pH in surface charge and dye interaction.

Adsorption experiments showed equilibrium was reached after 300 minutes, with maximum adsorption capacities of 46.34 mg/g for HB-Zn and 27.69 mg/g for HB-Zn-Fe. Removal efficiencies exceeded 99% for initial dye concentrations $\leq 20 \text{ mg/L}$. The process was found to be endothermic, with increased efficiency at $60 \text{ }^\circ\text{C}$ (up to 98% for HB-Zn). The pH response varied: HB-Zn performed better under basic conditions (pH 9), while HB-Zn-Fe was more efficient under acidic conditions (pH 3), suggesting different interaction mechanisms. In saline environments, HB-Zn was more affected by ionic strength (NaCl), whereas HB-Zn-Fe showed greater resistance. The optimal adsorbent dose was found to be 1 g/L , balancing high specific capacity and removal efficiency.

Kinetic analysis indicated that the adsorption followed a pseudo-second-order model, implying a chemisorption mechanism, likely involving electrostatic interactions or coordination bonding. Adsorption isotherms fitted well with the Langmuir model for HB-Zn (monolayer adsorption), and the Freundlich model for HB-Zn-Fe (heterogeneous surface). Theoretical maximum adsorption capacities reached 88.34 mg/g for HB-Zn and 67.65 mg/g for HB-Zn-Fe at $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

The proposed adsorption mechanisms support these findings. HB-Zn operates through both physical interactions (van der Waals forces, π - π interactions) and chemical interactions (hydrogen bonding, electrostatic attraction). In contrast, HB-Zn-Fe benefits from metal sites ($\text{Fe}^{3+}/\text{Zn}^{2+}$) that facilitate dye complexation, despite having lower accessible porosity.

In conclusion, hybrid biochars derived from *Melia azedarach* seeds exhibit strong potential for sustainable environmental applications. Future work should focus on optimizing synthesis protocols to improve stability and adsorption capacity in complex environments (e.g., saline or multi-component waters), evaluating adsorbent regeneration, expanding use to other emerging contaminants (e.g., heavy metals, pharmaceuticals), and testing integration in pilot or industrial-scale treatment systems.

References

References

- [1] Hassi, Z., & Lechelah, S. (2011). *Synthèse des hydrotraites et leurs applications dans le traitement des eaux* [Master's thesis, Université d'El Oued].
- [2] Squib, M., & Muneer, M. (2003). Dyes and Pigments, *56*(1), 37–49.
- [3] Panshin, A. J., & De Zeeuw, C. (1980). *Textbook of wood technology* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [4] Mahala, K. R. (2024). Impact of water pollution on human health and environment and its remedial techniques: A review. *International Journal of Research and Review*, 11(12), 674–683. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20241274>
- [5] Rodier, J. (2005). *L'analyse de l'eau: Eaux résiduaires, eaux de mer* (8th ed.). Dunod.
- [6] Djermakoye, H. (2005). *Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries: Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines* [Doctoral dissertation, Université de Bamako].
- [7] Mohamed Ben Ali, R. (2014). *Évaluation de la pollution des eaux issue de la Zone industrielle de Skikda*.
- [8] Etsuyankpa, M. B., Augustine, A. U., Musa, S. T., Mathew, J. T., Ismail, H., Salihu, A. M., & Mamman, A. (2024). An overview of wastewater characteristics, treatment and disposal: A review. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 28(5), 1553–1572. <https://doi.org/10.4314/jasem.v28i5.28>
- [9] Abir, K. (2022). *Élimination d'un colorant cationique par adsorption sur charbon synthétisé à partir d'un déchet animal* [Master's thesis, Université Mohamed Khider de Biskra].
- [10] OECD. (2017). *Diffuse pollution, degraded waters: Emerging policy solutions*. OECD Publishing.
- [11] Boumelta, Z., Boubekour, H., Bouali, Y., & Chebab, S. E. (2021). *Évaluation de la contamination métallique de certaines sources d'eau potable dans la wilaya de Jijel* [Master's thesis, Université Mohamed-Seddik Benyahia-Jijel].
- [12] World Health Organization. (2011). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). WHO Press.
- [13] André, J. M. (2012). Couleurs et sons. *Bulletins de l'Académie Royale de Belgique*, 23(1), 21–45.
- [14] Chetioui, S., & Bouchoul, A. (2010). *Structures et propriétés physico-chimiques de substances colorantes de synthèse*.
- [15] Srivatsav, P. (n.d.). *Colorants in water and toxicity*. Encyclopedia. Retrieved April 29, 2025, from <https://encyclopedia.pub/entry/7019>
- [16] Chequer, F. M. D., Oliveira, G. A. R., Ferraz, E. R. A., Cardoso, J. C., Zanoni, M. V. B., & Oliveira, D. P. (2013). Textile dyes: Dyeing process and environmental impact. In *Eco-friendly textile dyeing and finishing*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/53659>

- [17] Braun, H. (1983). Particle size and solubility of disperse dyes. *Coloration Technology*, 13(2), 62–72. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1983.tb03728.x>
- [18] Esteves Torres, F. A., Zaccarim, B. R., de Lencastre Novaes, L. C., Jozala, A. F., Alves dos Santos, C., Simas Teixeira, M. F., & Carvalho Santos-Ebinuma, V. (2016). Natural colorants from filamentous fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100, 2511–2521. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7274-x>
- [19] Paz, A., Carballo, J., Pérez, M. J., & Domínguez, J. M. (2017). Biological treatment of model dyes and textile wastewaters. *Chemosphere*, 181, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.046>
- [20] Zucca, P., Cocco, G., Sollai, F., & Sanjust, E. (2015). Fungal laccases as tools for biodegradation of industrial dyes. *Biocatalysis*, 1(1), 82–108. <https://doi.org/10.1515/boca-2015-0007>
- [21] Kuenemann, M. A., Szymczyk, M., Chen, Y., Sultana, N., Hinks, D., Freeman, H. S., Williams, A. J., Fourches, D., & Vinueza, N. R. (2017). Weaver's historic accessible collection of synthetic dyes: A cheminformatics analysis. *Chemical Science*, 8, 4334–4344. <https://doi.org/10.1039/C7SC00567A>
- [22] Pereira, L., & Alves, M. (2011). Dyes—Environmental impact and remediation. In A. Malik & E. Grohmann (Eds.), *Environmental protection strategies for sustainable development* (pp. 111–162). Springer.
- [23] Berradi, M., Hsissou, R., Khudhair, M., Assouag, M., Cherkaoui, O., Bachiri, A., & Harfi, A. (2019). Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. *Heliyon*, 5(11), e02711. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02711>
- [24] International Agency for Research on Cancer. (2010). *Some aromatic amines, organic dyes, and related exposures* (IARC Monographs, Vol. 99).
- [25] Benkhaya, S., M'Rabet, S., & Harfi, A. (2020). Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes. *Heliyon*, 6(1), e03271.
- [26] Li, H. H., Wang, Y. T., Wang, Y., Wang, H. X., Sun, K. K., & Lu, Z. M. (2019). Bacterial degradation of anthraquinone dyes. *Journal of Zhejiang University Science B*, 20, 528–540.
- [27] Monez, N., Lepre, L., & Ando, R. (2019). Unraveling the solvatochromism of a triarylmethane dye by resonance Raman spectroscopy. *Química Nova*, 42(1), 116–121.
- [28] Raue, R., & Corbett, J. F. (2000). Nitro and nitroso dyes. In *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Wiley.
- [29] Steingruber, E. (2004). Indigo and indigo colorants. In *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Wiley.
- [30] Apostol, L. C., Pereira, L., Pereira, R., Gavrilescu, M., & Alves, M. M. (2012). Biological decolorization of xanthene dyes by anaerobic granular biomass. *Biodegradation*, 23, 725–737.
- [31] Gessner, T., & Mayer, U. (2000). Triarylmethane and diarylmethane dyes. In *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Wiley.

- [32] Sabnis, R. W. (2018). Developments in the chemistry and applications of phthalein dyes. Part 1: Industrial applications. *Coloration Technology*, 134(3), 187–205.
- [33] Sharifzade, G., Asghari, A., & Rajabi, M. (2017). Highly effective adsorption of xanthene dyes (rhodamine B and erythrosine B) from aqueous solutions onto lemon citrus peel active carbon: Characterization, resolving analysis, optimization and mechanistic studies. *RSC Advances*, 7(9), 5362–5371. <https://doi.org/10.1039/C6RA23157H>
- [34] Mcheik, A. H., & El Jamal, M. M. (2013). Kinetic study of the discoloration of rhodamine B with persulfate, iron activation. *Journal of Chemical Technology & Metallurgy*, 48(4).
- [35] Guan, Y., Wu, W., Su, J., & Zhang, L. (2025). Synthesis of rhodamine B amine derivatives with improved light resistance and its application in thermochromic materials. *Dyes and Pigments*, 233, 112529. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2024.112529>
- [36] Yadav, P., & Srivastava, V. C. (2023). Rhodamine B dye: Physicochemical properties, environmental concerns, and remediation strategies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(1), 109268. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.109268>
- [37] Della Rosa, S., & Okzelia, S. D. (2023). Analisis zat warna rhodamin B dalam lipstik yang beredar di pasar Setu Bekasi. *JEDCHEM (Journal Education and Chemistry)*, 5(1), 49–56. <https://doi.org/10.36378/jedchem.v5i1.2794>
- [38] Sulastri, S., Riani, R., & Farikha, S. (2023). Review artikel: Analisis kandungan rhodamin B dalam makanan dan minuman. *COMSERVA Indonesian Journal of Community Services and Development*, 2(10), 2429–2435. <https://doi.org/10.59141/comserva.v2i10.701>
- [39] Setiyanto, H., Ferizal, F., Saraswaty, V., Rahayu, R. S., & Zulfikar, M. A. (2021). Carbon paste electrode modified poly-glutamic acid (PGA) with molecularly imprinted for detection of rhodamine B. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1088(1), 012113. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1088/1/012113>
- [40] Rochat, J., Demenge, P., & Rerat, J. C. (1978). Toxicologic study of a fluorescent tracer: Rhodamine B. *Toxicology*, 1(1), 23–26.
- [41] Du, H.-T., Zhang, Y., Jiang, H., & Wang, H. (2022). Adsorption of rhodamine B on polyvinyl chloride, polystyrene, and polyethylene terephthalate microplastics in aqueous environments. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102495. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102495>
- [42] Lee, H., Park, S., Park, Y.-K., Kim, B.-H., Kim, S.-J., & Jung, S.-C. (2013). Rapid destruction of the rhodamine B using TiO₂ photocatalyst in the liquid phase plasma. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 156. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-156>
- [43] Dire, D. J., & Wilkinson, J. A. (1987). Acute exposure to rhodamine B. *Clinical Toxicology*, 25(7), 603–607. <https://doi.org/10.3109/15563658708992660>
- [44] Jayasinghe, K. W. P. V., Palliyaguru, L., & Jayaweera, P. M. (2024). Photocatalytic degradation of rhodamine B under UV light catalyzed by alpha titanium phosphate and metal modified titanium phosphate. *Proceedings of the International Forestry and Environment Symposium*. <https://doi.org/10.31357/fesympo.v27.6618>

- [45] Islam, M. M., Ahmed, A. Z., Kabir, S. F., Islam, R., & Islam Molla, M. A. (2020). Optimization of photodegradation conditions of rhodamine B in water with dye-sensitized titanium dioxide. *Journal of CleanWAS*, 4(1), 28–31. <http://doi.org/10.26480/jcleanwas.01.2020.28.31>
- [46] Naseem, K., Abrar, E., Khalid, A., & Ismail, M. A. (2024). Inorganic nanoparticles as a potential catalyst for the reduction of rhodamine B dye: A critical review. *Inorganic Chemistry Communications*, 112367. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112367>
- [47] Zhou, S., Kong, L., Yan, C., Zhou, Y., Qiu, X., & Liu, C. (2020). Rhodamine B dye is efficiently degraded by polypropylene-based cerium wet catalytic materials. *RSC Advances*, 10(45), 26813–26823. <https://doi.org/10.1039/D0RA03965A>
- [48] Imam, S. S., & Babamale, H. F. (2020). Low-cost biosorbents for the removal of rhodamine B from wastewater: Synthesis, characterization, and performance evaluation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 20990–21000. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08591-w>
- [49] Ouardi, Y. E., Aissouq, A. E., Chennah, A., Ouammou, A., & Laatikainen, K. (2024). Synthesis, characterization, and DFT investigation of rhodamine B dye removal by activated carbon produced from argan nutshell. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(13), 15107–15118. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03706-4>
- [50] El Azzouzi. (1999). *Préparation des composites bentonite-dérivés de P4VP: Application à la rétention des colorants textiles*.
- [51] Crini, G., Badot, P.-M., & Morin-Crini, N. (2009). Traitement des eaux par du chitosane: Intérêts, méthodes et perspectives. *Technologies de l'eau, RE126*, 1–13.
- [52] Daoud, T. (2007). *Bio sorption simultanée du plomb et du fer sur une biomasse morte « La Streptomyces Rimousus »* [Doctoral dissertation, Ecole Nationale Polytechnique].
- [53] Barka, N. (2007). *L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté* [Doctoral dissertation, Université Ibn Zohr Agadir].
- [54] Larakeb, A. (2015). *Élimination du zinc par adsorption et par coagulation-floculation* [Doctoral dissertation, Université de Biskra].
- [55] Yahiaoui, N. (2012). *Étude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif* [Master's thesis, Université de Tizi Ouzou].
- [56] Bamba, D. (2007). *Élimination du diuron des eaux par des techniques utilisant les ressources naturelles de la Côte d'Ivoire, photocatalyse solaire et charbon* [Doctoral dissertation, Université d'Abidjan].
- [57] Ballav, N., Das, R., Giri, S., Muliwa, A. M., Pillay, K., Maity, A. (2018). L-Cysteine doped polypyrrole (PPy@L-Cyst): A super adsorbent for the rapid removal of Hg²⁺ and efficient catalytic activity of the spent adsorbent for reuse. *Chemical Engineering Journal*, 345, 621–630. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.093>

- [58] Wang, J., Wang, X., Zhao, G., Song, G., Chen, D., Chen, H., Xie, J., Hayat, T., Alsaedi, A., & Wang, X. (2018). Polyvinylpyrrolidone and polyacrylamide intercalated molybdenum disulfide as adsorbents for enhanced removal of chromium(VI) from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 334, 569–578. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.068>
- [59] Zhou, Y., Hu, Y., Huang, W., Cheng, G., Cui, C., & Lu, J. (2018). A novel amphoteric β -cyclodextrin-based adsorbent for simultaneous removal of cationic/anionic dyes and bisphenol A. *Chemical Engineering Journal*, 341, 47–57. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02227>
- [60] Guesmia Cherifa Yasmine. (2017). *Étude de la cinétique de l'adsorption du vert de malachite sur un adsorbant à base de grains de citrouille* [Master's thesis, Université d'Annaba].
- [61] Guechi El-Khamssa. (2013). *Enlèvement de colorants à partir de solutions aqueuses par des matériaux sorbants non conventionnels et à faible coût* [Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar-Annaba].
- [62] Giles, C. H., MacEwan, T. H., Nakhwa, S. N., & Smith, D. (1960). A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 1960, 3973–3993.
- [63] Choumane, F. Z. (2015). *Élimination des métaux lourds et pesticides en solution aqueuse par des matrices argileuses* [Doctoral dissertation, Université de Tlemcen].
- [64] Atmani, S., & Abderrahmane, M. (2022). *Élimination de la rhodamine B par adsorption sur les déchets de nêfles* [Master's thesis, Université A. Mira – Bejaïa].
- [65] Luz. (2014); Sharma et al. (2017); Silva et al. (2017); Belhaine. (2017).
- [66] Kumar, K. V., & Sivanesan, S. (2010). Thermodynamic and kinetic studies of cadmium adsorption from aqueous solution onto rice husk. *Journal of Hazardous Materials*, 123(1–3), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.03.041>
- [67] Ettlili, N. (2008). *Procédé d'adsorption avec régénération électrothermique pour la capture du dioxyde de carbone en post-combustion* [Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine].
- [68] Zhao, L. (2016). *Développement et mise en œuvre de nouveaux matériaux adsorbants d'anions à base de ferrihydrite ou d'hydroxydes doubles lamellaires intégrés dans un gel d'alginate* [Doctoral dissertation, Université de Limoges].
- [69] Brewer, C. E., Schmidt-Rohr, K., Satrio, J. A., & Brown, R. C. (2011). Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 30(4), 711–721.
- [70] Zhang, J., Liu, J., Liu, R., & Zeng, Z. (2019). Hydrothermal carbonization of biomass for energy and environmental applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 660–682.

- [71] Nizamuddin, S., Baloch, H. A., Griffin, G. J., Mubarak, N. M., Bhutto, A. W., Abro, R., & Mazari, S. A. (2019). An overview of effect of process parameters on hydrothermal carbonization of biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *105*, 267–280.
- [72] Papini, M., Cerra, S., Feraud, D., Pettiti, I., Lorini, L., & Fratoddi, I. (2024). Biochar/biopolymer composites for in-situ groundwater remediation. *Separation and Purification Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127142>
- [73] Arar, Ö. (2023). Preparation of nano-metal-oxide incorporated biochar for remediation of water pollution. *Current Nanomaterials*, *8*.
<https://doi.org/10.2174/2405461508666230512160837>
- [74] Faldu, D. J., Lakhani, A. L., Gojiya, M. J., & Chauhan, P. M. (2024). Biochar activation: A sustainable carbon production from biomass. *Journal of Scientific Research and Reports*, *30*(5). <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i51954>
- [75] Rios-Hurtado, J. C., Múzquiz-Ramos, E. M., Dávila-Pulido, G. I., González-Ibarra, A. A., & Pat-Espadas, A. M. (2023). Magnetic biochar obtained by chemical coprecipitation and pyrolysis of corn cob residues: Characterization and methylene blue adsorption. *Materials*, *16*(8), 3127. <https://doi.org/10.3390/ma16083127>
- [76] Mohamad Amran Mohd Salleh, Dalia Khalid Mahmoud, Abdul Karim Wan Azlina Wan, & Azni Idris. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. *Desalination*, *280*(1–3), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.019>
- [77] Rodríguez-Couto, S., Osma, J. F., & Toca-Herrera, J. L. (2009). Removal of synthetic dyes by an eco-friendly strategy. *Engineering in Life Sciences*, *9*(2), 116–123. <https://doi.org/10.1002/elsc.200800088>
- [78] Zhou, Y., Hu, Y., Huang, W., Cheng, G., Cui, C., & Lu, J. (2018). A novel amphoteric β -cyclodextrin-based adsorbent for simultaneous removal of cationic/anionic dyes and bisphenol A. *Chemical Engineering Journal*, *341*, 47–57. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02227>
- [79] Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, *4*(1), 22–26. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>
- [80] Ganiyu, S. A., Ajumobi, O. O., Lateef, S. A., Sulaiman, K. O., Bakare, I. A., Qamaruddin, M., & Alhooshani, K. (2017). Boron-doped activated carbon as efficient and selective adsorbent for ultra-deep desulfurization of 4,6-dimethyldibenzothiophene. *Chemical Engineering Journal*, *321*, 651–661. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.132>

- [81] Stadnik, J., Giusti, E. D., & Borges, A. R. (2023). Investigation of the zero-charge point of orange biomass for further use as a metal biosorbent. *Seven Editora*. <https://sevenpublicacoes.com.br/editora/article/view/1625>
- [82] Khan, M. N., & Sarwar, A. (2007). Determination of points of zero charge of natural and treated adsorbents. *Surface Review and Letters*, 14(3), 461-469. <https://doi.org/10.1142/S0218625X07009517>
- [83] Hino, M. (1977). Infrared studies on water adsorption systems with the use of HDO. I. Molecular sieves 13X and 4A. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 50(3), 574-579. <https://doi.org/10.1246/BCSJ.50.574>
- htt [84] Rao Voonna, T. (2024). Infrared spectroscopy. In *Futuristic trends in chemical material sciences & nano technology* (Vol. 3, Book 9, pp. 173–184). IIP Series. <https://www.doi.org/10.58532/V3BECS9P6CH2>
- [85] Fierro, J. L. (1990). Infrared spectroscopy. In *Studies in surface science and catalysis* (Vol. 57, pp. 67–96). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(08\)61513-X](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(08)61513-X)
- [86] Magana, M. (2023). IR spectroscopy in qualitative and quantitative analysis. *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106625>
- [87] Bazan-Wozniak, A., Jędrzejczak, A., Wolski, R., Kaczmarek, S., Nosal-Wiercińska, A., Cielecka-Piontek, J., Yagmur-Kabas, S., & Pietrzak, R. (2024). A study on the adsorption of Rhodamine B onto adsorbents prepared from low-carbon fossils: Kinetic, isotherm, and thermodynamic analyses. *Molecules*, 29(6), 1412. <https://doi.org/10.3390/molecules29061412>
- [88] Yang, Z. A., Feng, L. J., Wang, X., Ma, R., & Song, X. C. (2012). Adsorptive removal of Rhodamine B from aqueous solutions by carbonaceous microspheres. *Advanced Materials Research*, 535–537, 337–340. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.535-537.337>
- [89] Barnakov, Ch. N., Khokhlova, G. P., Popova, A. N., Sozinov, S. A., & Ismagilov, Z. R. (2015). XRD characterization of the structure of graphites and carbon materials obtained by the low-temperature graphitization of coal tar pitch. **Eurasian Chemico-Technological Journal*, 17*(2), 87–93. <https://doi.org/10.18321/ECTJ198>
- [90] Marahatta, A. B. (2024). XRD studies on metamorphic changes of the dissimilarly graphitized carbonaceous materials. *Asian Journal of Applied Chemistry Research*, 15(4), 194–215. <https://doi.org/10.9734/ajacr/2024/v15i4306>
- [91] Cabiellas, M., Montes-Morán, M. A., & García, A. B. (2008). Structural study of graphite materials prepared by HTT of unburned carbon concentrates from coal combustion fly ashes. *Energy & Fuels*, 22(2), 1239–1243. <https://doi.org/10.1021/ef700603t>

- [92] Shell, K. M., Amar, V. S., Bobb, J. A., Hernandez, S., Shende, R., & Gupta, R. B. (2022). Graphitized biocarbon derived from hydrothermally liquefied low-ash corn stover. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *61*(8), 3034–3044. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c03820>
- [93] Maiti, P., Mangsatabam, M., Chatterjee, A., Siddiqi, H., Mishra, A., & Meikap, B. (2023). In-situ synthesis of efficient ZnCl₂ doped pyrolyzed biochar for adsorptive remediation of organic dyes: Performance evaluation, mass transfer and mechanism. *Separation and Purification Technology*, *313*, 125096. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125096>
- [94] Carrier, A. J., Abdullahi, I., Hawboldt, K., Fiolek, B., & MacQuarrie, S. (2017). Probing surface functionality on amorphous carbons using X-ray photoelectron spectroscopy of bound metal ions. *Journal of Physical Chemistry C*, *121*(47), 26300–26307. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b06311>
- [95] El-Naggar, A., Jiang, W., Tang, R., Cai, Y., & Chang, S. X. (2023). Biochar and soil properties affect remediation of Zn contamination by biochar: A global meta-analysis. *Chemosphere*, *337*, 140983. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140983>
- [96] Keiluweit, M., Nico, P. S., Johnson, M., & Kleber, M. (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental Science & Technology*, *44*(4), 1247–1253. <https://doi.org/10.1021/es9031419>
- [97] Hao, Z., Dou, B., Li, J., Wang, H., & Li, P. (2011). Adsorption resin with large specific surface area and large pore volume for removing volatile organic pollutants. *Journal of Applied Polymer Science*, *120*(5), 2599–2605.
- [98] Schwanke, A. J., Balzer, R., & Pergher, S. B. C. (2018). Mesoporous materials for reduction of air pollutants: Volatile organic compounds. In *Comprehensive energy systems* (pp. 908–915). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00051-1>
- [99] Fairen-Jimenez, D. (2022). How reproducible are surface areas calculated from the BET equation? *Advanced Materials*, *34*(27), 2201502. <https://doi.org/10.1002/adma.202201502>
- [100] Ghaedi, M., Hossainian, H., Montazerzohori, M., Shokrollahi, A., & Shojaipour, F. (2011). A novel acorn based adsorbent for the removal of brilliant green. *Desalination*, *281*, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.066>
- [101] Gao, X., Zheng, M., Zhao, X., Song, S., & Gao, Z. (2021). Ultra-high-capacity adsorption of Rhodamine B in a carboxyl-functionalized metal–organic framework via surface adsorption. *Journal of Chemical & Engineering Data*, *66*(1), 669–676. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.0c00818>
- [102] Saadati, Z., & Gilani, M. (2017). Kinetics, isotherms, and thermodynamic modeling of liquid-phase adsorption of Rhodamine B dye onto Fe/ZnO-shrimp shell nanocomposite. *Desalination and Water Treatment*, *85*, 175–183. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21070>

- [103] Marciniak, M., Goscianska, J., Norman, M., Jesionowski, T., Bazan-Wozniak, A., & Pietrzak, R. (2022). Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies on adsorption of Rhodamine B from aqueous solutions using oxidized mesoporous carbons. *Materials*, *15*(16), 5573. <https://doi.org/10.3390/ma15165573>
- [104] Vijayakumar, G., Yoo, C. K., Gounder, K. P., & Dharmendirakumar, M. (2010). Adsorption characteristics of Rhodamine B from aqueous solution onto baryte. *Clean-Soil Air Water*, *38*(2), 202–209. <https://doi.org/10.1002/clen.200900125>
- [105] Dada, A. O., Inyinbor, A. A., Tokula, B. E., Ajanaku, C. O., Ayo-Akere, S., Latona, D. F., & Ajanaku, K. O. (2024). Sustainable chitosan supported magnetite nanocomposites for sequestration of Rhodamine B dye from the environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1342*(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1342/1/012013>
- [106] Suárez-García, F., Martínez-Alonso, A., & Tascón, J. M. D. (2001). Porous texture of activated carbons prepared by phosphoric acid activation of apple pulp. *Carbon*, *39*(7), 1103–1116. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(00\)00225-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(00)00225-4)
- [107] Joshi, M., Bhatt, D. A., & Srivastava, A. (2023). Enhanced adsorption efficiency through biochar modification: A comprehensive review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *62*(30), 11673–11692. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c02368>
- [108] Chen, J. P., & Wu, S. (2004). Acid/base-treated activated carbons: Characterization of functional groups and metal adsorptive properties. *Langmuir*, *20*(6), 2233–2242. <https://doi.org/10.1021/la0348463>
- [109] Zhang, H. (2010). Research progress on mechanisms about the effect of ionic strength on adsorption. *Environmental Chemistry*, *29*(6), 1009–1015.
- [110] Al-Hazmi, G. H., Adam, A. M. A., El-Desouky, M. G., El-Bindary, A. A., Alsuhaibani, A. M., & Refat, M. S. (2022). Efficient adsorption of Rhodamine B using a composite of Fe₃O₄@ZIF-8: Synthesis, characterization, modeling analysis, statistical physics and mechanism of interaction. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, *37*(1), 211–229. <https://doi.org/10.4314/bcse.v37i1.17>
- [111] Badieli, A., Mirahsani, A., Shahbazi, A., Younesi, H., & Alizadeh, M. (2014). Adsorptive removal of toxic dye from aqueous solution and real industrial effluent by tris(2-aminoethyl)amine functionalized nanoporous silica. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, *33*(4), 1242–1250. <https://doi.org/10.1002/ep.11923>
- [112] Hailu, S. L., Nair, B. U., Redi-Abshiro, M., & Tessema, M. (2017). Preparation and characterization of cationic surfactant modified zeolite adsorbent material for adsorption of organic and inorganic industrial pollutants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *5*(4), 3319–3329. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.06.039>

- [113] Anwar, C., & Santosa, S. J. (2023). Penjerapan kation Fe^{3+} , Pb^{2+} menggunakan TBKA dan TBMTKA sebagai bahan penjerap: Kajian variasi pH, kapasitas adsorpsi, dan waktu kontak [Adsorption of Fe^{3+} , Pb^{2+} cations using TBKA and TBMTKA as adsorbents: Study of pH variation, adsorption capacity, and contact time]. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(1), 50–57. <https://doi.org/10.55981/jtl.2023.242>
- [114] Kuśmierk, K., Fronczyk, J., & Świątkowski, A. (2023). Adsorptive removal of Rhodamine B dye from aqueous solutions using mineral materials as low-cost adsorbents. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(7), 428. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06511-5>
- [115] Ezzati, R. (2023). Exact solution of the Langmuir rate equation: New insights into pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetics models for adsorption. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4589000>
- [116] Tien, C., & Ramarao, B. V. (2017). On the significance and utility of the Lagergren model and the pseudo second-order model of batch adsorption. *Separation Science and Technology*, 52(6), 975–986. <https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1274327>
- [117] Fowler, R. H. (1936). Adsorption isotherms. Critical conditions. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 32(1), 144–151. <https://doi.org/10.1017/S0305004100018946>
- [118] Chen, X. (2015). Modeling of experimental adsorption isotherm data. *Information*, 6(1), 14–22. <https://doi.org/10.3390/info6010014>
- [119] Palmisano, G., Al Jitan, S., & Garlisi, C. (2022). Adsorption models, surface reaction, and catalyst architectures. In *Heterogeneous catalysis* (pp. 63–99). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89845-4.00005-9>
- [120] Yaseen, M., Ahmad, N., & Hannan, A. (2008). Zinc adsorption behavior of different textured calcareous soils using Freundlich and Langmuir models. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 45(1), 42–47. <https://doi.org/10.1246/BCSJ.50.574>

Summary

Summary

This work focused on valorizing *Melia azedarach* seeds to develop hybrid adsorbents effective in removing Rhodamine B, a pollutant dye found in industrial wastewater. Two materials, HB-Zn and HB-Zn-Fe, were synthesized and characterized, revealing porous surfaces favorable for adsorption, with distinct properties related to their composition. Experimental studies showed that adsorption is optimal after 300 minutes, with high efficiency at low concentrations and improved performance at 60 °C. HB-Zn performs better in basic conditions, while HB-Zn-Fe is more effective in acidic media and more resistant to the presence of ions in solution. The kinetics follow a pseudo-second-order model, and the isotherms vary according to the material, reflecting different adsorption mechanisms. These results confirm the sustainable environmental potential of these hybrid biochars. Future perspectives include optimizing synthesis protocols, evaluating adsorbent regeneration, extending applications to other pollutants, and scaling up for industrial use.

Résumé

Ce travail a porté sur la valorisation des graines de *Melia azedarach* pour développer des adsorbants hybrides efficaces dans l'élimination de la Rhodamine B, un colorant polluant des eaux industrielles. Deux matériaux, HB-Zn et HB-Zn-Fe, ont été synthétisés et caractérisés, révélant des surfaces poreuses favorables à l'adsorption, avec des propriétés distinctes liées à leur composition. L'étude des conditions expérimentales a montré que l'adsorption est optimale après 300 minutes, avec un rendement élevé à faible concentration et une meilleure efficacité à 60 °C. HB-Zn fonctionne mieux en milieu basique, HB-Zn-Fe en milieu acide, et ce dernier résiste mieux à la présence d'ions en solution. Les cinétiques suivent un modèle pseudo-second ordre, et les isothermes diffèrent selon le matériau, traduisant des mécanismes d'adsorption variés. Ces résultats confirment le potentiel environnemental durable de ces biochars hybrides. Les perspectives incluent l'optimisation des synthèses, l'évaluation de la réutilisation, l'extension à d'autres polluants, et leur application à grande échelle industrielle.

ملخص

ركز هذا العمل على استغلال بذور شجرة *Melia azedarach* لتطوير مواد ماصة هجينة فعالة في إزالة صبغة الرودامين B، وهي صبغة ملونة توجد في مياه الصرف الصناعي. تم تحضير وتوصيف مادتين، HB-Zn و HB-Zn-Fe، أظهرتا أسطحاً مسامية مناسبة للامتصاص، مع خصائص مميزة مرتبطة بتكوينه كل منهما. أظهرت الدراسات التجريبية أن الامتصاص يكون مثالياً بعد 300 دقيقة، مع كفاءة عالية عند التركيزات المنخفضة وأداء محسّن عند درجة حرارة 60 درجة مئوية. تعمل مادة HB-Zn بشكل أفضل في الوسط القاعدي، بينما تكون HB-Zn-Fe أكثر فعالية في الوسط الحمضي وأعلى مقاومة لوجود الأيونات في المحلول. تتبع الحركيات نموذج PSO، وتختلف منحنيات الامتصاص حسب المادة، مما يعكس آليات امتصاص مختلفة. تؤكد هذه النتائج الإمكانيات البيئية المستدامة لهذه المواد الحيوية الهجينة. تشمل الأفاق المستقبلية تحسين بروتوكولات التصنيع، تقييم إمكانية إعادة استخدام المواد الماصة، توسيع التطبيقات لتشمل ملوثات أخرى، وتطوير استخدامها على نطاق صناعي.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد خيضر بسكرة

عنوان المشروع:

Synthèse d'adsorbants hybrides à base de déchets organiques pour la ..
réduction de la contamination de l'eau

تصنيع مواد مازة هجينة تعتمد على النفايات العضوية للحد من تلوث المياه

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في اطار القرار الوزاري 1275



الاسم التجاري

Green Attract

بطاقة معلومات:

حول فريق الاشراف وفريق العمل

1- فريق الاشراف:

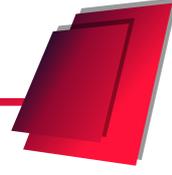
فريق الاشراف	
المشرف الرئيسي (01):	التخصص:
أسماء نويوة	هندسة الطرائق للبيئة

2- فريق العمل:

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالب: عويش ايناس	هندسة الطرائق للبيئة	علوم و تكنولوجيا

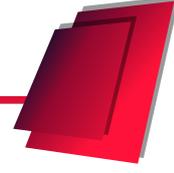


فهرس المحتويات

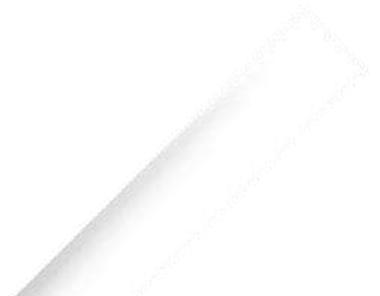


1	المحور الأول: تقديم المشروع.....
2	1. فكرة المشروع (الحل المقترح).....
2	2. القيم المقترحة.....
3	3. فريق العمل.....
3	4. اهداف المشروع.....
4	5. جدول زمني لتحقيق المشروع.....
5	المحور الثاني: الجوانب الابتكارية.....
6	1. طبيعة الابتكارات.....
6	2. مجالات الابتكارات.....
7	المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق.....
8	1. عرض القطاع السوقي.....
8	2. قياس شدة المنافسة.....
8	3. التحليل الاستراتيجي للسوق.....
12	المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم.....
13	1. الموقع.....
13	2. احتياجات المشروع.....
15	3. مراحل الإنتاج.....
16	4. التمويل.....
17	5. اليد العاملة.....
18	6. الشراكات الرئيسية.....
19	المحور الخامس: الخطة المالية.....
20	1. التكاليف والأعباء.....
22	المحور السادس: النموذج الأولي التجريبي.....
23	1. مراحل انجاز النموذج الأولي.....
25	قائمة الملحقات.....
26	نموذج العمل التجاري.....

مقدمة



تُعدّ أزمة تلوث المياه من أخطر التحديات البيئية التي تواجه العالم في العصر الحديث، نظراً لما تسببه من آثار مدمّرة على صحة الإنسان واستقرار النظم البيئية، إذ تسهم الملوّثات بمختلف أنواعها – الكيميائية، والعضوية، وتلك الناتجة عن الصرف الصحي والصناعي – في التدهور المستمر لجودة الموارد المائية، مما يُفضي إلى اختلالات بيئية حادّة ويهدد التنوع الأحيائي بشكل مباشر. ولا تقتصر تداعيات هذا التلوث على البيئة فحسب، بل تمتد لتتطال صحة الإنسان، حيث تؤدي إلى الإصابة بأمراض حادة ومزمنة، بما في ذلك اضطرابات الجهاز العصبي، وأمراض الكلى، والتسممات الناتجة عن تراكم المعادن الثقيلة والمركبات السامة. في ضوء ذلك، تبرز الحاجة الماسّة إلى تبني حلول علمية مبتكرة وفعّالة لمعالجة المياه الملوّثة، وفي مقدمتها تقنيات الامتزاز باستخدام مواد صديقة للبيئة مشتقة من نفايات عضوية، والتي لا توفر وسيلة اقتصادية ومستدامة لتنقية المياه فحسب، بل تسهم أيضاً في إدارة النفايات الصلبة والحد من أثارها البيئية، محققة بذلك فائدة مزدوجة. وتُعزز هذه المنهجيات من قدرة المجتمعات على استعادة جودة المياه والحفاظ على توازن الأنظمة البيئية، مما ينعكس إيجاباً على الصحة العامة والاقتصاد المحلي. ومع ذلك، فإن حماية الموارد المائية من التلوث تتطلب جهداً جماعياً يتجاوز المبادرات الفردية، ويستدعي تعاوناً مؤسسياً ومجتمعياً واعتماد سياسات بيئية صارمة وبرامج توعية شاملة ترسخ ثقافة الاستدامة البيئية وتضمن حق الأجيال القادمة في موارد مائية آمنة ونظيفة.



المحور الأول

تقديم المشروع

1. فكرة المشروع:

تصنيع مواد مازة هجينة تعتمد على النفايات العضوية للحد من تلوث المياه

■ مجال النشاط :

المجال البيئي والتقني – ابتكار مواد حديثة لتنقية المياه باستخدام تقنيات مستدامة ومصادر متجددة.

■ كيف بدأت الفكرة وكيف تطورت:

. بدأت الفكرة من ملاحظة التزايد الخطير في تلوث المياه في المناطق الزراعية والصناعية، خصوصًا في المناطق التي تفتقر لحلول فعالة ومنخفضة التكلفة لمعالجة المياه. ومن خلال أبحاث أكاديمية وتجارب أولية، وُجد أن بعض النفايات العضوية تحتوي على خصائص امتصاص عالية تتيح إعادة توظيفها في تصنيع مواد مازة. تطورت الفكرة لتصبح مشروعًا ناشئًا يدمج التكنولوجيا النظيفة بالاقتصاد الدائري. و ذلك من خلال:

- التحكم في مصادر التلوث من خلال توظيف النفايات العضوية الناتجة عن الأنشطة الزراعية، الصناعية والمنزلية كمادة أولية لإنتاج مواد قادرة على إزالة ملوثات المياه بفعالية. وبهذا، يتم تحويل مصدر مسبب للتلوث إلى عنصر فاعل في معالجته، ما يعكس تبنياً فعلياً لمبادئ الاقتصاد الدائري.
- الابتكار المحلي في مجال التقنيات البيئية حيث يدفع نحو تطوير حلول تعتمد على الموارد المحلية وملائمة للخصوصيات البيئية والاقتصادية للمنطقة. كما يتيح الفرصة لبناء منظومة بحث وتطوير في مجال المواد البيئية المعالجة، تُشرك فيها الجامعات، المخابر والمؤسسات الناشئة.
- تطوير قطاع ناشئ للصناعات البيئية: من خلال خلق سلسلة قيمة جديدة تبدأ من جمع وفرز النفايات، مرورًا بعمليات المعالجة الفيزيائية والكيميائية، وصولاً إلى استخدام المنتج النهائي في محطات معالجة المياه أو الأنظمة اللامركزية. هذا بدوره يوفر فرصًا اقتصادية جديدة، ويُعزز من القدرة التنافسية للمؤسسات الصغيرة والمتوسطة في هذا المجال.
- تعزيز الأمن المائي عبر تقديم حلول لمعالجة المياه تسمح بإعادة استخدامها لأغراض فلاحية أو صناعية، مما يخفف من الضغط على الموارد المائية التقليدية، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة.

- دعم الانتقال نحو الاقتصاد الأخضر: هذا النوع من المشاريع يُعدّ نموذجًا واقعيًا وملموماً للانتقال الاقتصاد نحو أنشطة منخفضة الانبعاثات، صديقة للبيئة، ودائرية،
- ما الذي سوف تقوم به :

سنعمل على إعداد مواد مازة فعالة باستخدام نفايات عضوية متنوعة (نباتية وحيوانية)، تتم معالجتها وتحويلها إلى فحم معالج ذي قدرة عالية على الامتصاص بالإضافة إلى تحسين بنيتها. ثم نستخدم هذه المواد في تنقية المياه الملوثة من الملوثات الكيميائية والبيولوجية، مما يحسن من جودة المياه ويجعلها صالحة للاستعمالات المختلفة.

▪ كيف سيكون ذلك:

- 1. استرجاع الموارد العضوية الحيوية يتم في هذه المرحلة تحديد وتجميع المخلفات العضوية ذات القيمة العالية، والمستخلصة من مصادر متعددة مثل الفواض الزراعية، بقايا الأسواق الغذائية، والمخلفات الحيوانية الناتجة عن المسالخ. يُراعى في هذه المرحلة فرز المواد الأولية حسب نوعها وخصائصها الكيميائية والفيزيائية لضمان ملاءمتها لعمليات التحويل اللاحقة.
- 2. تحويل الكتلة الحيوية إلى مواد مازة فعالة: تُعالج هذه الموارد العضوية باستخدام عمليات حرارية كربونية (Pyrolyse) تحت شروط خاضعة للمراقبة (درجة حرارة، غياب الأكسجين)، ما يؤدي إلى إنتاج فحم نباتي/عضوي عالي المسامية. تُتبع هذه الخطوة بمرحلة تنشيط كيميائي أو فيزيائي، باستخدام املاح و مواد قلوية، بهدف تحسين الخصائص الامتزازية للمواد المازة الناتجة.
- 3. توظيف المواد المازة في أنظمة معالجة المياه: بعد تحضير المادة، يتم دمجها في أنظمة معالجة مائية تجريبية، إما على مستوى وحدات نصف صناعية أو نماذج مخبرية، بهدف اختبار قدرتها على إزالة ملوثات معينة مثل المعادن الثقيلة، المركبات العضوية، أو الكائنات الدقيقة.
- 4. تقييم الأداء والتحسين التقني: يتم إجراء تحليل كيميائي وفيزيائي مفصل للمياه قبل وبعد المعالجة (قياس الأس الهيدروجيني، الموصلية، تركيز العناصر الملوثة...).
- بناءً على النتائج، تُعاد صياغة خصائص المادة أو تعديلات على ظروف التشغيل (الزمن، الكمية، درجة الحرارة) لتحسين كفاءة الامتزاز وإطالة عمر الاستخدام.

■ من الذي سينجز ذلك:

هذا المشروع سينجز من طرفنا مع الاستعانة بـ

- -الفريق البحثي: أساتذة وباحثون جامعيون متخصصون في الكيمياء والهندسة البيئية
- مهندسون وفنيون: للإشراف على عمليات التصنيع والاختبار.
- متطوعون وشركاء محليون: لمهام جمع النفايات، المراقبة البيئية، نشر الوعي
- مخبر جامعي أو مركز بحث: لتجربة وتحليل النتائج.
- شركات ناشئة صديقة للبيئة: قد تكون شريكة في التوسع التجاري لاحقاً.

■ أين سيتم إنجازه:

اختيار ولاية بسكرة للأسباب التالية

توفر النفايات العضوية بكميات كبيرة بفضل النشاط الزراعي والحيواني المكثف غياب مشاريع مماثلة على المستوى المحلي، ما يوفر فرصة ريادية، احتياجات ملحة لمعالجة المياه في بعض المناطق الريفية والصناعية.

2. القيم المقترحة:

■ القيمة بالأداء:

1. فعالية تقنية عالية في معالجة الملوثات المواد المازة الهجينة المنتجة من مصادر عضوية (نباتية وحيوانية) تُظهر كفاءة ممتازة في امتزاز وإزالة طيف واسع من الملوثات، بما في ذلك: المعادن الثقيلة (مثل الرصاص، الكاديوم)، الملونات، المركبات العضوية السامة (مثل المبيدات والأسمدة) العكارة والبكتيريا في بعض الحالات. هذا الأداء العالي يجعلها خياراً فعالاً لتحسين نوعية المياه بشكل ملحوظ، سواء لأغراض الشرب أو الاستخدام الزراعي والصناعي.

2. تعزيز الاستدامة البيئية المشروع يُسهم بشكل مباشر في:

- تقليص حجم النفايات العضوية المتجهة إلى المكبات أو الحرق.
- تحويل هذه النفايات إلى مورد بيئي قيم من خلال تدويرها.
- تقليل الاعتماد على المواد المازة التجارية ذات الأثر البيئي العالي أو المستوردة.

بهذا، يتم دعم منظومة الاقتصاد الدائري من خلال إعادة دمج المخلفات في دورة الإنتاج والمعالجة البيئية



3. أثر إيجابي على الصحة العامة

تحسين جودة المياه عبر إزالة الملوثات ينعكس مباشرة على تقليل الأمراض المنقولة عبر المياه مثل:

- الإسهال والأمراض المعوية
 - التسممات الناتجة عن المعادن الثقيلة
 - أمراض الجلد والحساسية الناتجة عن المياه الملوثة
- وهذا يُساهم في تحسين الظروف الصحية والمعيشية للسكان، خاصة في المناطق الريفية أو المهمشة.

4. مرونة في التطبيقات واختلاف مجالات الاستخدام

تتميز المواد المازة المطورة بإمكانية استخدامها في عدة سيناريوهات، مثل:

- معالجة مياه الشرب في أنظمة ترشيح بسيطة أو وحدات منزلية.
 - تنقية مياه الري الزراعي لتحسين الإنتاجية الزراعية.
 - معالجة المياه الصناعية التي تحتوي على ملوثات كيميائية معقدة.
- هذا التنوع يُعزز من قيمة المنتج في السوق، ويوسع من نطاق الاستفادة منه على المستويين المحلي والوطني.

4. فريق العمل:

- الطالبة عويش ايناس تخصص هندسة الطرائق للبيئة قامت بدورة في مجال معالجة المياه الملوثة.

■ توزيع المهام والمسؤوليات:

- يتمثل دور الطالبة عويش بالتكفل في إدارة المصنع وتسيير مجريات المصنع.
- بالتنسيق مع مسيرين مشرفين على التسويق للمنتجات وجلب الزبائن وتنسيق مع الشركات وهيكل التسيير الخارجي للشركة بالاستعانة بكفاءة مختصة في هذا المجال.

■ طرق التفاعل والتواصل بين الفريق:

يعتمد الفريق في تسييره لمهام المشروع على آليات تواصل فعّالة تهدف إلى تعزيز التنسيق وتحقيق الانسجام في العمل. من بين أهم طرق التفاعل المعتمدة:

- تنظيم ورشات عمل دورية: تُعقد بشكل أسبوعي أو نصف شهري، بهدف متابعة سير الأشغال، مناقشة التحديات المستجدة، وتوزيع المهام حسب الأولويات.
- استخدام وسائل التواصل الرقمية: يتم الاعتماد على منصات إلكترونية مثل البريد الإلكتروني، مجموعات الواتساب أو تطبيقات العمل الجماعي، لتبادل المستجدات بشكل سريع وتوثيق القرارات المتخذة.
- اجتماعات تقييم الأداء: تُعقد نهاية كل مرحلة تشغيلية لتقييم النتائج، تحديد نقاط القوة والضعف، واقتراح تحسينات للعملية.

- تقارير دورية: تلتزم الطالبة المسؤولة عن التسيير بإعداد تقارير أسبوعية موجزة تُعرض على الفريق وتُستخدم كأداة مرجعية لاتخاذ قرارات مدروسة.

أهداف المشروع:

نسعى إلى أن نصبح من بين الشركات الرائدة في مجال تصنيع مواد مازة (الفحم المعالج) من النفايات العضوية النباتية و الحيوانية و الموجهة لاستعمالها في مجال معالجة المياه الملوثة في الخمسة سنوات الأولى وذلك من خلال استخدام طرق عصرية للحفاظ على البيئة و كذا الوصول إلى حصة سوقية معتبرة واحتمالية توسيع المشروع لعدة مناطق في الجزائر بالإضافة إلى التصدير.

3 5. جدول زمني لتحقيق المشروع:

السنوات

7	6	5	4	3	2	1		
						✓	الدراسات الأولية: إختيار مقر الوحدة الإنتاجية، تجهيز الوثائق المطلوبة	1
						✓	طلب التجهيزات من الخارج	2
					✓		بناء مقر للإنتاج (المصنع)	3
				✓			تركيب المعدات	...
				✓			اقتناء المواد الأولية	ن
			✓				بداية انتاج أول منتج	...

4



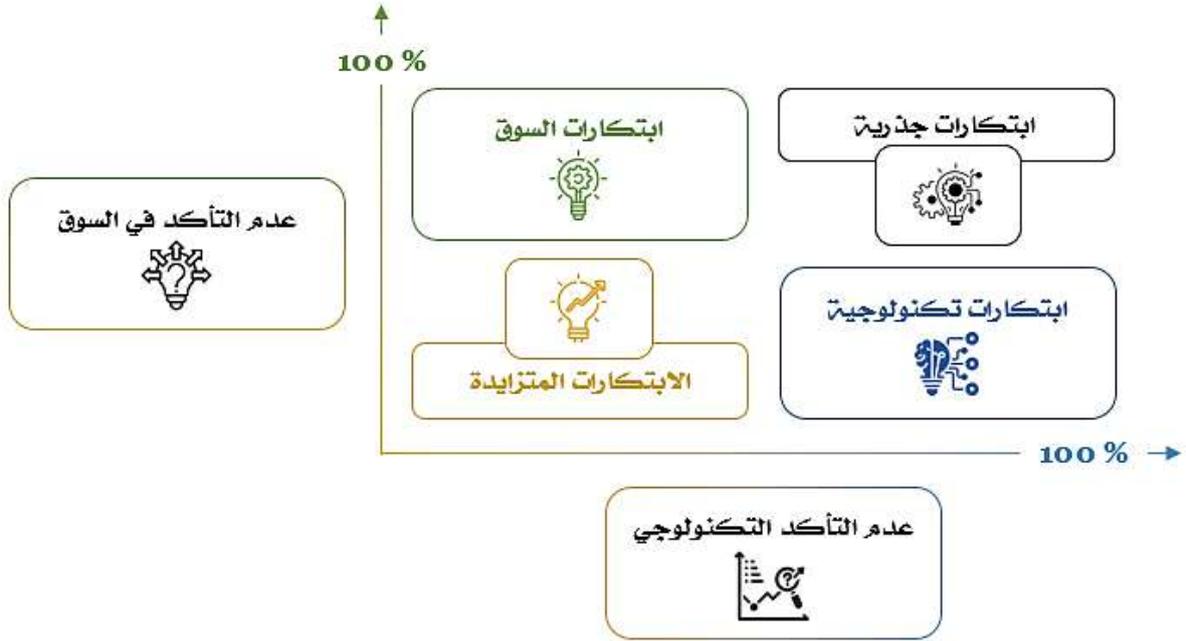
المحور الثاني الجوانب الابتكارية



المحور الثاني

الجوانب الابتكارية

1. طبيعة الابتكارات:



تنتمي فكرتنا إلى الابتكارات المتزايدة و ذلك راجع لان فكرة تصنيع مواد مازة (الفحم المعالج) من النفايات العضوية النباتية و الحيوانية و الموجهة لاستعمالها في مجال معالجة المياه الملوثة متداولة في السوق من قبل و كذا الطريقة و التكنولوجيا المستخدمة موجودة أيضا.

2. مجالات الابتكارات:

- يُعد هذا المشروع أول مبادرة من نوعها على مستوى ولاية بسكرة تعتمد على إنتاج فحم منشط مطور من نفايات عضوية نباتية وحيوانية، مخصص لاستعماله في مجال معالجة المياه الملوثة. يتم تصنيع هذا الفحم المعالج وفق معايير مدروسة وباستخدام تقنيات تضمن كفاءة الامتزاز وفي الوقت ذاته تحافظ على البيئة من التلوث الثانوي.

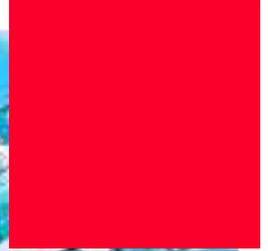


- يركز المشروع على تطوير نموذج اقتصادي دائري يقوم على إعادة تدوير النفايات العضوية وتحويلها إلى مواد وظيفية ذات قيمة مضافة، بما يساهم في تقليص حجم النفايات وتحقيق الاستدامة البيئية.
- وفي إطار الابتكار التقني، يعتمد المشروع على تقنية المعالجة المائية الحرارية و تنشيط باستخدام $ZnCl_3$ و الدعم المغناطيسي كبديل صديق للبيئة وأكثر اقتصادية مقارنة بالمعالجة الكيميائية التقليدية. تتيح هذه الطريقة تحويل الكتلة الحيوية إلى فحم منشط فعال.
- كما يتميز النظام المعتمد بقدرته على إنتاج كميات كبيرة من الفحم المعالج في فترات زمنية قصيرة، ما يُعزز من قابلية التطبيق الصناعي وفعالية التوسع في الاستخدام الميداني لمعالجة المياه.



المحور الثالث

التحليل الاستراتيجي للسوق



المحور الثالث

التحليل الاستراتيجي للسوق

1. عرض القطاع السوقى:

✓ السوق المحتمل:

- ولاية بسكرة مبدئياً مع ضرورة التوسع الى ولايات جديدة
- إمكانية تصدير المنتجات إلى الدول المجاورة بهدف تفتح أسواقاً جديدة.

✓ السوق المستهدف (الشريحة):

. في إطار مشروع إنتاج الفحم المعالج انطلاقاً من نفايات عضوية نباتية وحيوانية، والمصمّم خصيصاً لاستخدامه في معالجة المياه، يُمكن تحديد السوق المستهدف من خلال دراسة الفئات التي تعتمد على حلول فعّالة لتنقية المياه، خصوصاً تلك التي تُراعي الجانب البيئي والاقتصادي.

تشمل الشرائح المستهدفة لهذا المشروع:

1. القطاع الفلاحي: حيث تبرز الحاجة إلى مياه معالجة للري، خاصة في المناطق الزراعية التي تعاني من نقص المياه أو تعتمد على مصادر غير تقليدية تحتاج إلى تنقية قبل الاستخدام.
2. القطاع الصناعي: لا سيما الصناعات التي تنتج مياه صرف صناعي تحتوي على ملوثات عضوية أو غير عضوية، وتبحث عن حلول امتزاز فعالة منخفضة التكلفة للمعالجة قبل إعادة التصريف أو إعادة الاستخدام.
3. محطات معالجة المياه المحلية والبلدية: والتي تسعى إلى تحسين كفاءة المعالجة باستخدام مواد طبيعية صديقة للبيئة في مراحل الامتزاز لإزالة الملوثات الدقيقة.
4. المؤسسات التعليمية والبحثية: كمخابر الجامعات ومراكز البحث، التي تحتاج إلى نماذج عملية ومبتكرة لاستخدامها في الدراسات والتجارب التطبيقية في مجال تنقية المياه والبيئة.
5. المنظمات البيئية والمجتمع المدني: التي تعمل في مشاريع التنمية المستدامة، خاصة في المناطق الريفية وشبه الحضرية، حيث يمكن اعتماد هذه التقنية في مبادرات لتحسين جودة المياه.
6. الشركات الناشئة والمتخصصة في حلول البيئة: التي قد تعتمد هذا الفحم المعالج كمنتج وسيط ضمن حلولها التقنية الموجّهة لمعالجة المياه أو تطوير الفلاتر المنزلية والبيئية.

7. القطاعات الصحية والمستشفيات:

- 6 و المتمثلة في المستشفيات والمرافق الصحية، بهدف تنقية المياه المستخدمة في العمليات الطبية وغرف المرضى، ومعالجة مياه الصرف الصحي الطبي.
8. مجال صناعة الأدوية والمستحضرات الطبية
والتي تتمثل في شركات صناعة الأدوية ومصانع المستحضرات الطبية، لاستعمله في تنقية المياه المستخدمة في عمليات الإنتاج لضمان نقاء المواد الخام.
9. مجال الطاقة:
كمحطات توليد الطاقة الحرارية والكهربائية و شركات النفط والغاز، من اجل تنقية المياه المستخدمة في عمليات التبريد والتشغيل، وإعادة تدوير مياه الصرف. و كذا معالجة المياه المستخدمة في الحفر والاستخراج، وتنقية مياه الصرف الصناعي.

قياس شدة المنافسة:

يُعدّ فهم بيئة المنافسة عاملاً محورياً في تحديد فرص نجاح مشروع إنتاج الفحم العضوي المعالج باستعمال نفايات نباتية وحيوانية، والموجه خصيصاً لمعالجة المياه. ويمكن تقييم شدة المنافسة في السوق الجزائرية استناداً إلى عدد من المؤشرات الرئيسية، تشمل عدد المنافسين، حجم الطلب، العوائق السوقية، والفرص المتاحة.

❖ الشركات المحلية

تُعتبر شدة المنافسة المحلية حالياً معتدلة، نظراً لوجود عدد محدود من المؤسسات الوطنية التي تنشط في مجال إنتاج الفحم المنشط. ورغم هذا العدد المحدود، إلا أن بعض هذه الشركات تمتلك نقاط قوة تتمثل في خبرة سابقة في السوق، شبكة توزيع قائمة، وقوة نسبية في علامتها التجارية. غير أن مشروعنا يتميز باستخدام موارد محلية منخفضة التكلفة (نفايات عضوية) وتقنيات إنتاج مستدامة، مما يُعد عاملاً تنافسياً من حيث الابتكار والسعر.

❖ الشركات العالمية

قد تتواجد علامات تجارية أجنبية تقوم بتصدير الفحم المعالج إلى السوق الجزائرية، غير أن تكاليف النقل، والرسوم الجمركية، وتعقيدات الاستيراد تُشكّل عوائق اقتصادية وتقنية أمام انتشار هذه المنتجات على نطاق واسع، ما يمنح المنتج المحلي ميزة تنافسية واضحة من حيث السعر والتوافر السريع.

2. التحليل الاستراتيجي للسوق

PESTEL Analysis

1. العوامل السياسية: (Political)

- استقرار سياسي نسبي في الجزائر يوفر بيئة مشجعة للاستثمار، خاصة في المشاريع ذات الطابع البيئي.
- دعم حكومي متزايد للمشاريع التي تندرج ضمن الاقتصاد الأخضر والتحول الطاقوي.
- السياسات البيئية والبرامج الوطنية لتقليل التلوث تعزز من فرص هذا النوع من المشاريع.
- قد تؤثر البيروقراطية في الإجراءات الإدارية والترخيص، مما يتطلب إدارة فعالة للعلاقات المؤسسية.

2. العوامل الاقتصادية: (Economic)

- وجود فجوة كبيرة في سوق معالجة المياه، ما يوفر فرص نمو حقيقية.
- توفر المواد الخام (نفايات عضوية) بتكلفة منخفضة يعزز الجدوى الاقتصادية للمشروع.
- تقلبات في أسعار الصرف وتكاليف الاستيراد تمنح الأفضلية للمنتجات المحلية.
- إمكانية الوصول إلى تمويل حكومي أو دعم من صناديق دعم المؤسسات الناشئة والصناعات البيئية.

3. العوامل الاجتماعية: (Social)

- تزايد الوعي المجتمعي بأهمية المياه النظيفة وتأثير التلوث على الصحة العامة.
- قبول متزايد لدى المستهلكين للحلول البيئية المحلية الصنع.
- إمكانية خلق فرص عمل للشباب في مجالات الجمع، التصنيع، والتوزيع.

4. العوامل التكنولوجية: (Technological)

- توفر التكنولوجيا الملائمة (مثل المعالجة المائية الحرارية) يُمكن من تصنيع الفحم بكفاءة وبتكاليف أقل.
- تطوّر تقنيات الامتزاز وتحليل المياه يوفر فرصاً لتحسين أداء المنتج وتطويره باستمرار.
- ضعف البنية التحتية التكنولوجية في بعض المناطق قد يُحد من القدرة على التوسع السريع دون استثمارات إضافية.

5. العوامل البيئية: (Environmental)

- المشروع يساهم مباشرة في تقليل النفايات وتحسين جودة المياه، مما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة.
- يندرج ضمن إطار الاقتصاد الدائري وإعادة التدوير، ما يزيد من قبوله البيئي.
- التغيرات المناخية وندرة المياه تعزز الحاجة إلى حلول محلية لمعالجة المياه الملوثة.

6. العوامل القانونية: (Legal)

- وجود قوانين بيئية تلزم الصناعات بمعالجة المياه قبل تصريفها يمكن أن يخلق طلباً إجبارياً على هذا النوع من المنتجات.
- الحاجة لاحترام معايير الصحة والسلامة والامتثال للأنظمة البيئية الوطنية.
- حقوق الملكية الفكرية مهمة لحماية الابتكار في تصنيع الفحم المعالج إذا تم تطوير تركيبة أو عملية متميزة.

SWOT :

8

لإجراء تحليل SWOT لمشروع إنتاج الفحم العضوي المعالج باستخدام نفايات عضوية نباتية وحيوانية، سنستعرض نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات التي تواجه المشروع. هذا التحليل يمكن أن يساعد في توجيه الاستراتيجيات وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين.

❖ نقاط القوة

- وفرة المواد الخام توفر النفايات العضوية بكثرة (نفايات زراعية وحيوانية) يقلل من تكاليف الإنتاج ويضمن استدامة التوريد.
- تقنية صديقة للبيئة استخدام المعالجة المائية الحرارية بدلاً من الكيميائية يجعل العملية نظيفة ومواتية للتشريعات البيئية.
- منتج محلي بسعر تنافسي قدرة المشروع على تقديم منتج محلي أقل تكلفة من المستورد يجذب شرائح واسعة من الزبائن.
- تلبية حاجة بيئية ملحة يعالج مشكلتين في آن واحد: إدارة النفايات ومعالجة المياه، ما يحقق فائدة مزدوجة للمجتمع والبيئة.
- مادة متميزة سهلة الفصل

❖ نقاط الضعف

- لاستثمارات الأولية المرتفعة: يتطلب المشروع تجهيزات متطورة وتحاليل دقيقة، ما يستلزم رأسمال كبير عند الانطلاق.
- تحديات تقنية: يحتاج المشروع إلى كفاءات متخصصة وتكوين مستمر لضمان جودة الإنتاج.
- الاعتماد على سلسلة التوريد: التزود المنتظم بالمواد الخام قد يتأثر بتقلبات السوق أو غياب اتفاقيات ثابتة.

- الامتثال للمعايير: يتطلب المشروع التقيد بتشريعات صارمة وتحاليل دورية للحصول على شهادات المطابقة.

❖ الفرص

- دعم الدولة للمشاريع البيئية وجود برامج حكومية وتمويلات موجهة للاقتصاد الأخضر ومشاريع الاستدامة.
- نمو الوعي البيئي النمو المتسارع في قطاع معالجة المياه: يشهد السوق الجزائري طلبًا متزايدًا على حلول فعّالة لمعالجة المياه، ما يُوفر بيئة خصبة لتوسيع نطاق المشروع وزيادة الحصّة السوقية.
- وجود برامج دعم حكومي: توفر الدولة آليات تمويل وتحفيز للمشاريع الخضراء والمستدامة، ما يُمكن أن يُساهم في تقليص التكاليف الأولية وتعزيز القدرة التنافسية.
- إمكانية التوسع نحو التصدير: تُمثل الأسواق الإقليمية في شمال إفريقيا والشرق الأوسط مجالاً واعدًا لتسويق المنتج وتوسيع نشاط المؤسسة دوليًا.
- تصاعد الوعي البيئي لدى المستهلك: يدعم توجه المستهلكين نحو المنتجات الصديقة للبيئة زيادة الطلب على الفحم العضوي المعالج كخيار مستدام.
- فرص الابتكار والتطوير: يُتيح المجال التقني تطوير منتجات متخصصة جديدة من الفحم المعالج لتلبية احتياجات صناعات مختلفة مثل الزراعة أو الصناعات الغذائية.

❖ التهديدات

- ❖ المنافسة السوقية: دخول فاعلين جدد أو توسع الشركات الحالية قد يؤدي إلى ضغط على الأسعار وتحديات في الحفاظ على الحصّة السوقية.
- ❖ التقلبات الاقتصادية: قد تؤثر التغيرات الاقتصادية والمالية على القدرة الشرائية للمستهلكين وكلفة الإنتاج
- عدم استقرار أسعار المواد الخام: رغم أن المواد الأولية متوفرة محليًا، فإن تقلب الأسعار أو تكاليف التجميع والنقل قد تؤثر سلبيًا على هوامش الربح.
- العوائق اللوجستية: تواجه المشاريع الناشئة تحديات في البنية التحتية للنقل وسلاسل الإمداد، مما قد يؤثر على انتظام الإنتاج والتوزيع.
- تغير الإطار القانوني والتنظيمي: يمكن أن تؤدي المستجدات في القوانين البيئية أو معايير الصحة إلى ضرورة تحديث العمليات وزيادة النفقات للامتثال.



:4P Analysais

❖ المنتج

- الجودة: يعتمد المنتج على معايير دقيقة تشمل نسبة الكربون المنشط، السطح النوعي، والخواص الفيزيائية مثل المسامية والقدرة على الامتزاز، مما يضمن فعالية عالية في إزالة الملوثات.
- التنوع: يُمكن تطوير مجموعة متنوعة من المنتجات تشمل الفحم العضوي لمعالجة المياه الصالحة للشرب، مياه الصرف الصناعي، وحتى للاستخدامات الزراعية أو البيطرية.
- الابتكار: يركز المشروع على تطوير منتجات متقدمة تقنيًا بقدرة امتزاز مرتفعة، مع تقليل الأثر البيئي لعملية الإنتاج باستخدام تقنية المعالجة الحرارية المائية بدلاً من الطرق الكيميائية التقليدية.

❖ السعر

- ❖ تسعير مدروس: يتم تحديد الأسعار بناءً على تحليل دقيق لتكاليف الإنتاج، مع مقارنة الأسعار في السوق المحلي والدولي لتقديم منتج تنافسي يجمع بين الجودة والسعر المعقول.
- ❖ عروض ترويجية: اعتماد خصومات دورية أو أسعار مميزة للزبائن المؤسسين (محطات معالجة، مصانع، بلديات)، مما يعزز الإقبال ويرفع من حجم الطلبات في مراحل التوسع الأولى.

❖ المكان

- قنوات التوزيع
- اختيار قنوات التوزيع: تحديد القنوات الأمثل لضمان وصول المنتج إلى العملاء، سواء عبر المبيعات المباشرة، أو التعاون مع موزعين محليين، أو الاستفادة من منصات التجارة الإلكترونية.
- المواقع الاستراتيجية: اختيار مواقع مثالية لتوزيع المنتج، مثل المناطق الصناعية أو المناطق ذات الاستهلاك المرتفع للمياه، لتعزيز الكفاءة والتأثير.
- التسويق
- استراتيجيات التسويق: وضع خطط تسويقية مبتكرة لتعزيز انتشار العلامة التجارية، تشمل الإعلانات التلفزيونية، والحملات الرقمية، والتسويق عبر وسائل التواصل الاجتماعي.
- تعزيز العلاقات العامة: بناء شراكات قوية مع الجهات المعنية والعملاء المحتملين من خلال المشاركة في الفعاليات الصناعية، ودعم المبادرات البيئية المحلية، والمشاركة الفاعلة في النقاشات البيئية.

نوع الترويج	تكلفة الترويج
لافتات اشهارية	500000 دج
مقابلات شخصية	10000 دج
الترويج في مواقع التواصل الاجتماعي	10000 دج
المجموع	520000 دج

: PORTER Analyses

■ قوة تهديد المنافسة الجديدة

- دخول منافسين جدد إلى السوق تحديًا حقيقيًا، خاصة بسبب الاستثمارات الأولية المرتفعة المرتبطة بتجهيزات الإنتاج والتقنيات المستعملة في المعالجة الحرارية المائية.
- -الحصول على التراخيص التنظيمية والبيئية عقبة محتملة قد تحد من سرعة دخول فاعلين جدد، مما يمنح المشروع ميزة تنافسية مؤقتة يجب استغلالها.

■ قوة تهديد المنافسة الحالية

- عدد المنافسين وحجمهم: كلما زاد عدد الشركات العاملة في نفس المجال، خاصةً تلك التي تمتلك موارد مالية وتشغيلية كبيرة، ارتفعت حدة المنافسة.
- ضغوط التسعير والتكاليف: قد يؤدي وجود منافسين أقوياء إلى حرب أسعار، مما يضغط على هوامش الربح ويزيد من أهمية تحسين الكفاءة التشغيلية.

■ قوة قوى المشترين

يعتمد المشروع على توفر النفايات العضوية كمادة أولية، ما يجعل الموردين عاملاً حاسماً في استقرار الإنتاج. بناء علاقات شراكة طويلة الأمد يساهم في تقليل تقلبات الأسعار وضمان التوريد المنتظم.

- العملاء الكبار مثل المؤسسات الصناعية قد يمتلكون قوة تفاوض عالية على الأسعار.
- تقديم منتج فعال بسعر تنافسي وجودة معتمدة يعزز موقع المشروع في السوق. قوة قوى الموردين
- قوة التهديد من المنتجات البديلة

تتنافس مواد كيميائية وتقنيات أخرى مع الفحم المعالج في معالجة المياه. وبذلك يجب تقديم منتج ذو جودة عالية وتقنية متقدمة لتفوق على هذه البدائل.



تقدير الطلبات:

العام الأول:

Min طن	Moy طن	Max طن	الثلاثي (ثلاث أشهر)
50	75	100	1
100	150	200	2
150	225	300	3
200	300	400	4
500	900	1000	المجموع للسنة

تقدير المبيعات:

العام الأول:

المبيعات (طن)	الثلاثي (ثلاث أشهر)
75	1
150	2
225	3
300	4
900	المجموع للسنة

الطاقة الإنتاجية القصوى: يمكننا أن نلبي جميع الطلبات دون أي نقصان لان الطاقة الإنتاجية للمشروع عالية.



المحور الرابع

خطة الإنتاج والتنظيم



المحور الرابع

خطة الإنتاج والتنظيم

1. الموقع:

قمنا باختيار ولاية بسكرة كمقر لإنجاز مشروعنا وذلك راجع لعدة مزايا:

1. توفر المواد الأولية: تُعد بسكرة منطقة فلاحية بامتياز، ما يضمن وفرة النفايات العضوية النباتية والحيوانية اللازمة كمواد خام لإنتاج الفحم المعالج.
2. موقع جغرافي استراتيجي: تقع بسكرة في موقع مركزي شرق الجزائر، مما يتيح سهولة الوصول إلى الأسواق الزراعية والصناعية المحيطة.
3. موارد طبيعية غنية: تتمتع الولاية بوفرة في الموارد الطبيعية، خاصة الأراضي الواسعة والمياه الجوفية، مما يدعم استدامة العمليات الصناعية.
4. بنية تحتية ملائمة: تتوفر بسكرة على شبكة نقل واتصالات وكهرباء متطورة، تُسهّل عمليات الإنتاج، النقل، والتوزيع.
5. فرص الدعم الحكومي: تحظى المشاريع البيئية والتنمية في الولاية بدعم من السلطات المحلية والوطنية، من خلال التسهيلات الإدارية والمساعدات المالية.
6. الأثر المجتمعي والاقتصادي: سيساهم المشروع في خلق فرص عمل جديدة وتعزيز التنمية المحلية، بما يدعم الاقتصاد الاجتماعي للمنطقة ويرفع من مستوى المعيشة.

2. احتياجات المشروع:

عملية الإنتاج:

المنتج واحد كلغ من الفحم العضوي المعالج

السعر دج	الكمية	المادة
250 دج	1 كغ	ملح $ZnCl_2$
مجانا و في اطار اتفاقيات	5.5 كغ	النفايات العضوية النباتية
400 دج	0,750 كغ	حمض كلور الحديد $FeCl_3$
82 دج	0,375 كغ	كبريتات الحديد $FeSO_4$
200 د.ج	1 كغ	هيدروكسيد الصوديوم $NaOH$
استغلال الموارد الطبيعية	/	المياه
932 دج		المجموع



13

احتياجات المعدات والآلات:

Machine de fabrication de biochar rotative en continu ligne de production de carbonisation de charbon noir en poudre

CARBON CARBONIZATION PRODUCTION LINE



wood chips, corn sticks, coconut shell, palm shell, etc.



Shredder



Rotary dryer



Charcoal briquette



Hydraulic press machine



Rotary carbonization furnace

السعر:

€ 2130321

310669398.56 دج

المورد: Henan Kunteng Machinery Manufacturing Co., Ltd.

الأرض:

14

المبلغ في العام	المساحة	
200000.00 دج	5000 متر	مستودع

بناء المستودع:

5000000.00 دج	سعر تفصيل المستودع
---------------	--------------------

سعر السجل التجاري : 40000 دج

النقل:

2000000.00 دج	وسائل النقل (شاحنة)
---------------	---------------------

لوازم المكتبية:

المادة	العدد	التكلفة للوحدة (دج)	التكلفة (دج)	التكلفة الاجمالية (دج)
المكتب ولوازمه	2	30000.00	60000.00	507000.00 (دج)
الطابعة	1	45000.00	45000.00	
الفاكس	1	12000.00	12000.00	
حاسوب	2	45000.00	90000.00	
مكيف	2	150000.00	300000.00	

تكييف المنتج:

وذلك بإعطاء الزبون نماذج واقتراحات لمنتجاتنا حسب الطلب والرغبة.

التعبئة والتغليف:

نقوم بجمع المنتج في اكياس بلاستيكية كبيرة وصغيرة حسب الطلب الزبون تخزينها في مستودع المنتجات .

النقل:

توفر الشركة الخاصة بنا عمليات التوصيل للزبائن حسب الكمية.

15

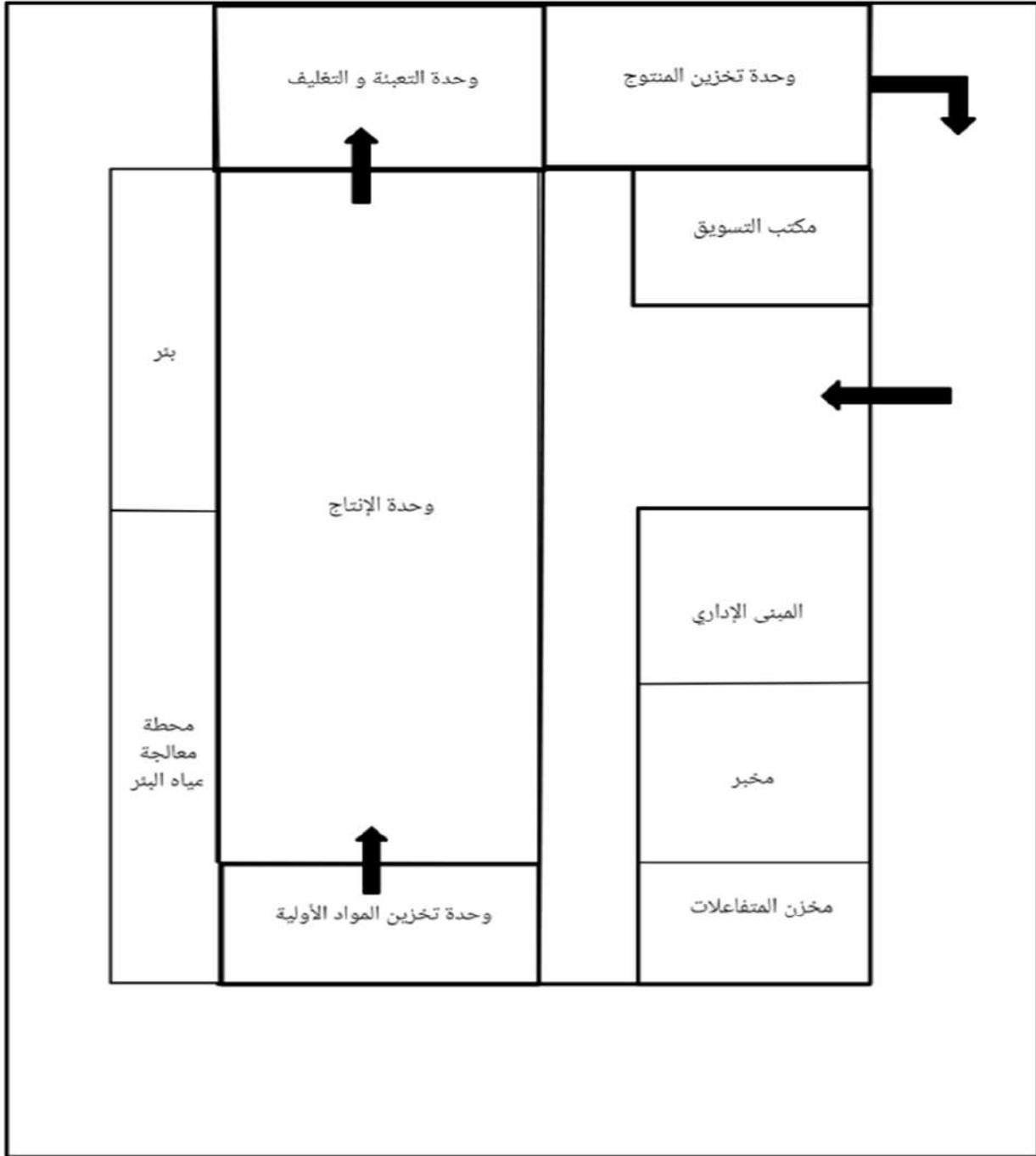
-مراحل الانتاج:

16





مخطط مراحل انتاج الفحم العضوي المعالج



مخطط شركة انتاج الفحم العضوي المعالج

4_ التموين:

نقوم بإبرام اتفاقية مع منتجي النفايات العضوية النباتية و الحيوانية والحصول عليه مجانا.

أهم الموردین:

اسم المورد	الموقع	المادة	معايير المفاضلة
شركات انتاج و تحويل التمور الفلاحين مذابح البلدية	غير محدد	نفايات عضوية نباتية و حيوانية	مجانا
بائعي المواد الكيميائية	غير محدد	الاحماض	متخصصين في هذا المجال
النصر	بسكرة	اللوازم المكتبية	قرب المسافة
Henan Kunteng Machinery Manufacturing .Co., Ltd	الصين	ماكينات التصنيع	لتوفير المعدات
فرع شركة كوندور	بسكرة	أجهزة كهر ومنزلية	سعر جيد

سياسة الدفع : عن طريق

- ✓ إبرام عقود مع الموردین وذلك بالدفع لهم بعد بيع المنتجات .
- ✓ الدعم
- ✓ المشتلة
- ✓ دار المقاولاتية

5_ اليد العاملة:

▪ عدد المناصب التي يمكن أن يخلقها المشروع. :

مشروعنا يخلق حوالي 42 مناصب شغل مباشر و 50 غير مباشر.

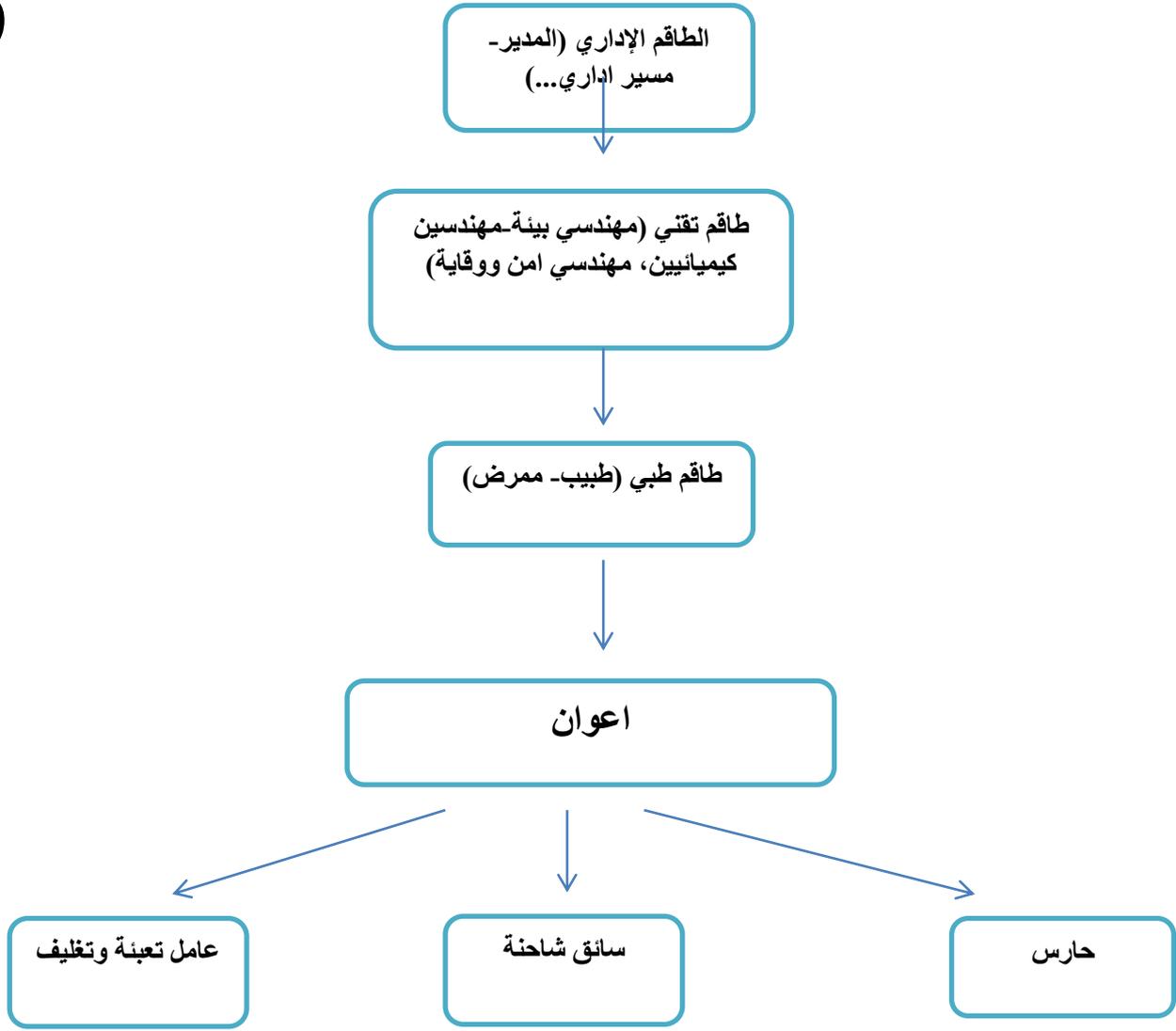
▪ طبيعة ونوعية اليد العاملة :

المدير و 5 عمال في الإدارة و 10 عمال تقني سامي في الكيمياء الصناعية والميكانيك والية 2 مهندسي بيئة، 4 مهندسي كيمياء صناعية و 2 مهندسي امن ووقاية و 8 عامل تعبئة وتغليف 1 طبيب وممرضين 4 حراس و 3 سائق شاحنة.

تكاليف أجور العمال في السنة :

مجموع الأجر في السنة (دج)	الأجر (دج)	مهامه	خصائصه	العدد	نوع العمل
600000	50000	إدارة الشركة	ماستر إدارة أعمال	1	المدير
360000	30000	نقل المنتج	رخصة سيطرة	3	سائق الشاحنة
300000	25000	التنسيق مهام الإدارة	تكوين إدارة	5	عمال إدارة
540000	45000	معالجة نفايات صادرة من المصنع	خبرة في المجال	2	مهندسي بيئة
540000	45000	متابعة سير وحدة المعالجة	خبرة في المجال	4	مهندسي الكيمياء الصناعية
420000	20000	تعبئة وتغليف البراميل	خبرة في المجال	8	عامل تعبئة وتغليف
480000	40000	قيام بالإسعافات الأولية	خبرة في المجال	3	طاقم طبي
		تحليل المخاطر	خبرة في المجال	2	مهندسي امن ووقاية
360000	30000	الصيانة-تصميم وتنفيذ التركيبات الالية- عمليات الانتاج	خبرة في المجال	10	عمال تقني سامي
240000	20000	الحفاظ على الامن العام لشركة	خبرة في المجال	4	حراس
3540000	359000	/	/	42	المجموع

19



مخطط العمال

20

6-الشراكات الرئيسية :

أهم الشراكات في مشروعنا كانت من الموردين لأهميتهم في إنجاح المشروع منهم:

- جامعي النفايات العضوية النباتية و الحيوانية
- الوكالة الوطنية للمقاول الذاتي ANAD
- الصندوق الوطني لدعم مؤسسات الناشئة
- الوكالة الوطنية لدعم تشغيل الشباب ANSEJ
- شركة البركة البركة STB لانتاج و تحويل التمور
- شركة GARDEN ZIBAN لانتاج و تحويل التمور
- شركة AGRO DATTE لانتاج و تحويل التمور



المحور الخامس

الخطة المالية



المحور الخامس

الخطة المالية

1. التكاليف والأعباء:

التكاليف الاستثمارية:

الأصول	التكلفة بدينار جزائري للسنة
المعدات والآلات	310669398.56
اللوازم المكتبية	507000.00
النقل (شاحنة)	2000000.00
المباني	5000000.00
السجل التجاري	4000.00
المجموع	318180398.00

التكاليف التشغيلية:

الأصول	التكلفة بدينار جزائري للسنة
المواد الأولية	838800.00
أجور العمال	3540000.00
الكهرباء والغاز والماء	1000000.00
مواد التغليف	700000.00
الوقود	500000.00
سعر كراء الأرض	200000.00
الترويج	520000.00
المجموع	11978800.00

2. الهيكل التمويلي

البيان	النسبة	القيمة بالدينار جزائري
أموال خاصة	1 بالمئة	33015919,8
القروض	99 بالمئة	297083218,2
المجموع	100 بالمئة	330159198

3. طرق ومصادر الحصول على التمويل :

- حاضنة الأعمال لجامعة بسكرة
- الصندوق الوطني لدعم المؤسسات الناشئة ASF.
- الوكالة الوطنية لدعم تشغيل الشباب ANSEJ

	Réalisation	Prévision				
		N	N+1	N+2	N+3	N+4
Produit A destiné client	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Quantité produit A (طن)	900	1000	1200	1300	1400	1500
prix HT produit A (دج/طن)	18000 00	20000 00	25000 00	30000 00	35000 00	40000 00
Ventes produit A	16200 00000	20000 00000	30000 00000	39000 00000	49000 00000	60000 00000
Chiffre d'affaires global	16080 21200	19880 21200	29880 21200	38880 21200	38880 21200	59880 21200



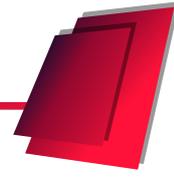
المحور السادس

النموذج الأولي التجريبي



المحور السادس

النموذج الأولي التجريبي



1- مراحل انجاز النموذج الأولي :

• إعداد دراسة الجدوى:

- قمنا بتحليل الجوانب المالية والاقتصادية للتأكد من قابلية المشروع للنجاح.
- تم تقييم السوق المحلي والإقليمي لتحديد مدى الطلب على الفحم المعالج في مجال معالجة المياه.

• تصميم النموذج الأولي:

- تم إعداد الرسومات الهندسية والتصورات الأولية لوحدة الإنتاج.
- جرى اختيار التقنية الأنسب، وهي المعالجة المائية الحرارية، كبديل نظيف واقتصادي للطرق الكيميائية.

• تجهيز المواد الأولية:

- تم جمع النفايات العضوية النباتية والحيوانية، وتحضيرها للمعالجة.
- استُخدمت بعض المواد المساعدة لتحسين جودة الفحم الناتج.

• بدء العملية الإنتاجية:

- جهزنا المعدات الأساسية لعملية الإنتاج.
- تم تنفيذ عمليات التحويل الحراري لإنتاج الفحم العضوي المعالج.
- تَمَّت تعبئة المنتج في عبوات مناسبة وجاهزة للتوزيع.

• مراقبة الجودة:

- أُجريت تحاليل مخبرية دقيقة لقياس جودة الفحم المنتج.
- تمت مقارنة النتائج بالمعايير المعتمدة لضمان فعالية المنتج في إزالة الملوثات.

• تحسين وتطوير:

- استُخدمت النتائج والملاحظات لتعديل وتحسين طريقة الإنتاج.

- تم التركيز على تقليل التكاليف مع الحفاظ على جودة عالية.

• استراتيجية التسويق والتوزيع:

- وُضعت خطة ترويجية للتعريف بالمنتج لدى الجهات المهتمة (مزارع، مصانع، محطات معالجة المياه...).

- بدأنا في البحث عن شركاء تجاريين لتوزيع المنتج محليًا وإقليميًا.

• تقييم شامل للنموذج الأولي:

- قمنا بتحليل شامل للأداء الفعلي للنموذج الأولي.

- تم تحديد نقاط القوة والضعف واتخاذ قرارات تطوير الجيل الثاني من المنتج

2. ملصق العلامة التجارية الخاصة بمنتوجنا.





قائمة الملاحق



نموذج العمل التجاري

شرائح العملاء	العلاقات مع العملاء	القيمة المقترحة	الانشطة الرئيسية	الشركات الرئيسية
<p>شركات معالجة المياه:</p> <ul style="list-style-type: none"> المؤسسة الجزائرية للمياه (ADE) شركة المياه والتطهير للجزائر (SEAAL) محطات معالجة المياه العمومية والخاص <p>الشركات الصناعية:</p> <p>شركات النفط والغاز: بحاجة إلى معالجة مياه الصرف الصناعي الناتج عن عمليات الحفر والاستخراج</p> <p>شركات التعدين: تعاني من مشكلة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة</p> <p>المصانع الكيماوية والغذائية: تتطلب معالجة فعالة لمياه الصرف لتفادي التأثيرات البيئية وضمان الامتثال التنظيمي</p>	<p>. خدمة عملاء ممتازة:</p> <ul style="list-style-type: none"> - تقديم دعم فني وتدريب للشركات والمؤسسات التي تستخدم المواد المازة. - منح العملاء الدائمين تخفيضات خاصة مع توفير النقل وتخزين . التواصل المستمر: - متابعة دورية مع العملاء لضمان رضاهم وتحسين المنتج بناءً على ملاحظاتهم. <p>قنوات التوزيع</p> <p>المبيعات المباشرة: تزويد شركات معالجة المياه والمؤسسات الصناعية مباشرة بالمنتج.</p> <p>البيع الإلكتروني: توفير المواد المازة عبر منصات التجارة الإلكترونية المحلية.</p> <p>المعارض والمؤتمرات: المشاركة في الفعاليات الصناعية والبيئية لزيادة انتشار المنتج.</p>	<p>القيمة بالأداء جودة عالية: فحم عضوي معالج بخصائص ممتازة للامتصاص والتقية.</p> <p>حماية البيئة: حل بيئي مستدام بتحويل النفايات العضوية إلى مادة فعالة لمعالجة المياه.</p> <p>فعالية مرتفعة: قدرة عالية على إزالة الملوثات والمواد الكيميائية الضارة.</p> <p>تكلفة تنافسية: إنتاج اقتصادي أقل تكلفة</p>	<p>البحث والتطوير: تعاون مع الجامعات والمراكز البحثية لتطوير وتحسين تقنيات تصنيع الفحم العضوي.</p> <p>إنتاج الفحم المعالج: تجهيز المواد الخام وتحويلها باستخدام التكنولوجيا الحرارية المائية لإنتاج مواد مازة عالية الجودة.</p> <p>اختبارات الجودة: إجراء تحاليل معملية مستمرة لضمان مطابقة المنتج للمعايير الوطنية والدولية. التسويق والمبيعات: الترويج للمنتج لدى شركات معالجة المياه، المصانع الصناعية، والبلديات.</p> <p>الشراكات والتوزيع: إقامة علاقات قوية مع الموردين وعملاء لضمان توافر المواد وتوزيعها بكفاءة.</p> <p>الموارد الرئيسية</p> <p>المواد الخام: النفايات العضوية النباتية والحيوانية المتوفرة محلياً.</p> <p>الكفاءات العلمية: خبراء وباحثون من الجامعات والمراكز البحثية.</p> <p>البنية التحتية: معامل، معدات التحويل الحراري، مراكز اختبار الجودة.</p> <p>الدعم المالي: تمويل حكومي، استثمارات خاصة، ومنح من منظمات غير حكومية</p>	<p>1. مؤسسات البحث العلمي: الجامعات والمراكز البحثية للمساعدة في تطوير وتحسين المواد المازة.</p> <p>2. شركات إدارة النفايات:</p> <ul style="list-style-type: none"> - الشركة الوطنية لتسيير النفايات (EPIC GEP) - الشركة الجزائرية لتسيير النفايات (AGDS) <p>3. الهيئات الحكومية:</p> <ul style="list-style-type: none"> - وزارة البيئة والطاقات المتجددة - وزارة الموارد المائية والأمن المائي - الوكالة الوطنية للنفايات (AND) - الوكالة الوطنية للمقاول الذاتي ANAD - الصندوق الوطني لدعم مؤسسات الناشئة - الوكالة الوطنية لدعم تشغيل الشباب ANSEJ <p>4. شركات معالجة المياه:</p> <ul style="list-style-type: none"> - المؤسسة الجزائرية للمياه (ADE) - شركة المياه والتطهير للجزائر (SEAAL) <p>5. المنظمات غير الحكومية:</p> <ul style="list-style-type: none"> - الجمعية الوطنية لحماية البيئة - منتدى الجزائر للبيئة والتنمية <p>6. الشركات الاقتصادية المتخصصة في تحويل التمرور وكذا الفلاحين:</p> <ul style="list-style-type: none"> - STB البركة طولقة - ZIBAN GARDEN



AGRO DATTE -

هيكل التكاليف

تكاليف ثابتة: شراء المعدات، بناء البنية التحتية للمصنع.
تكاليف متغيرة: جمع المواد الخام، عمليات التصنيع، تكاليف الصيانة، الطاقة، مواد التعبئة، تكاليف البحث والتطوير.
تكاليف تسويق: الترويج، الحملات الإعلانية، المشاركة في المعارض والمؤتمرات.

مصادر الإيرادات

- بيع الفحم العضوي المعالج: الإيرادات الأساسية من مبيعات المواد المازة لشركات ومعامل معالجة المياه.
- الخدمات الاستشارية: تقديم استشارات للشركات والمؤسسات حول تحسين عمليات معالجة المياه.
- شراكات بحث وتطوير: عقود تعاون مع جهات بحثية وشركات لتطوير منتجات جديدة متخصصة.



ملحق القرار رقم: 933 المؤرخ في: 28 جويلية 2016

الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

مؤسسة التعليم العالي: جامعة محمد خيضر بسكرة

نموذج التصريح الشرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيدة: عديتة إيناس... الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: طالب المسبب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 206.873767. والصادرة بتاريخ: 2021/08/14

المسجل بكلية العلوم والميكانيكا... قسم... كيمياء... صناعية.....

و المكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، (مذكرة ماستر) مذكرة ماجستير، أطروحة

دكتوراه)، عنوانها:..... synthesis of... dydrich... adsorbents... based... on.....

..... organic... waste... for... reducing... water... contamination.....

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2025/06/15

امضاء المعني

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

بسكرة في: 16/06/2022

جامعة محمد خيضر - بسكرة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الكيمياء الصناعية

إذن بإيداع مذكرة الماستر بعد التصحيحات

أنا الممضي أسفله الأستاذة: نويوة أسعاء

الرتبة: أستاذة محاضرة قسم (9)

أستاذ مشرف على مذكرة ماستر - للطالب (ة): عويشة اينام

الشعبة: هندسة الطرائف

التخصص: هندسة الطرائف للبيئة

بعنوان: Synthesis of hybride adsorbents based on organic

waste for reducing water contamination.

أرخص بإيداع المذكرة المذكورة.

رئيس لجنة المناقشة

الأستاذ المشرف

