



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:

Alouani Zahia

On : June 4, 2025

Development of an Alternative Coagulant from Iron Ore and Its Synergy with Adsorption for the Treatment of Water Contaminated by Pharmaceutical Compound

Jury :

Dr	Timedjghdine Mebarka	MCB	University of Biskra	President
Pr	Aidi Amel	Pr	University of Biskra	Examiner
Dr	Nouioua Asma	MCA	University of Biskra	Supervisor 1
Pr	Guergazi Saadia	Pr	University of Biskra	Supervisor 2
Dr	Menasria Smail	MAA	University of Biskra	Incubator Representative

Academic Year : 2024- 2025

Acknowledgments

First and foremost, I thank God, who enlightened my path and granted me the courage and determination to accomplish this modest work. I am deeply grateful for His guidance throughout my academic journey.

I would like to express my sincere gratitude to **Dr. Asma Nouioua** and **Prof. Saadia Gargazi**, my thesis supervisors, for their guidance, genuine interest, and invaluable assistance throughout this research.

My heartfelt thanks go to **Miss Boudoumi Barkahoum** for her significant contribution to the completion of this study. Her expertise, dedication, and support were essential throughout the project, and her collaboration greatly contributed to the success of this research.

I also wish to thank the members of the jury for accepting to evaluate this work.

A special thanks to **Mrs. Naili Radhia**, head of the pedagogical laboratory of industrial chemistry, as well as all **the engineers** of the pedagogical laboratory, for their availability and kindness.

Finally, I would like to thank all those who contributed, directly or indirectly, to the realization of this work, as well as all the professors of the Department of Industrial Chemistry and the students of the 2024–2025 class.

Dedication

With the help of Almighty God, I have finally been able to reap the fruit of many years of hard work. I dedicate this achievement to:

My mother

Thank you for your support and your patience, which have pushed me toward success. You have always been the most important person in my life.

My brother Abde Alrazak

My sisters Siham & Manel

My aunt Houria

My dear friends: Ibtissam, Chaima, Imen, Razene, Fatima, and Zahra.

And to all those who supported me and offered their advice.

Thank you.

Zahia Alouani

Table of contents

Table of contents

Acknowledgments

Dedication

List of Tables

List of Figures

General introduction..... 01

Theoretical section

Chapter I : Water pollution by pharmaceutical products: sources, impacts, and challenges

Introduction	04
I.1. Presence of pharmaceuticals in the environment	04
I.2. Sources of pharmaceutical pollutants.....	04
I.2.1. Industrial and pharmaceutical effluents	05
I.2.2. Veterinary practices.....	05
I.2.3. Domestic and hospital wastewater discharges	06
I.3. General information on ibuprofen	07
I.3.1. Physicochemical Properties	08
I.3.2. Mechanisms of degradation and transformation in water	08
I.3.2.1. Photodegradation	08
I.3.2.2. Hydrolysis	09
I.3.2.3. Biodegradation	09
I.3.3 Presence and concentrations in wastewater	09
I.4. Fate and persistence in aquatic environments	10
I.5. Impact of Pharmaceutical Residues on the Environment and Human Health	12
I.5.1. Ecotoxicological Effects	12
I.5.2. Consequences for Human Health.....	14
I.6. Wastewater treatment techniques for pharmaceutical residues	15
I.6.1 Biological Treatment.....	15
I.6.2 Physico-Chemical Treatment	15
I.6.2.1. Adsorption Treatment	15
I. 6.2.2. Advanced Oxidation Processes (AOPs).....	16
I.6.2.3. Treatment by Coagulation and Flocculation	18
Conclusion.....	18

Chapter II: Coagulation-Flocculation in water treatment: principles and factors influencing effectiveness

Introduction	200
--------------------	-----

II.1. Principle of Coagulation-Flocculation	20
II.2. Coagulation Mechanism	22
II.3. Flocculation mechanism	23
II.4. Role of coagulants and flocculants in water treatment	25
II.5. Types of coagulants used in water treatment	25
II.5.1. Traditional coagulants.....	25
II.5.2. Natural and Eco-friendly Coagulants.....	25
II.6. Factors influencing Coagulation-Flocculation efficiency.....	26
II.6.1. Influence of pH and Ionic Strength.....	26
II.6.2. Effect of coagulant dose.....	26
II.6.3. Temperature and hydrodynamic conditions.....	27
II.6.4. Agitation speed and time	27
II.6.5. Influence of turbidity	27
II.6.6. Dissolved salts	28
II.7. Advantages and disadvantages of Coagulation-Flocculation	28
II.7.1. Advantages.....	28
II.7.2. Disadvantages	28
II.8. Method for the Preparation of Commercial Ferric Chloride (FeCl ₃).....	29
II.9. Potential for Ferric Chloride Production from Iron Oxide via Acid Leaching.....	29
Conclusion.....	30

Chapter III: Adsorption in water treatment: mechanisms and applications

Introduction	31
III.1. General concepts of adsorption	31
III.1.1. Definition of adsorption	31
III.1.2. Types of adsorption	31
III.1.2.1. Physical Adsorption (Physisorption).....	32
III.1.2.2. Chemical adsorption (Chemisorption).....	32
III.1.3. Adsorption mechanism and kinetics.....	33
III.1.4. Factors influencing adsorption	34
III.2. Adsorption isotherm modeling	35
III.2.1. Langmuir adsorption isotherm	35
III.2.2. Freundlich isotherm.....	36
III.2.3. Temkin isotherm.....	36
III.3. Adsorption on biochar	37
III.3.1. Definition of biochar	37

III.3.2. Biochar Production	37
III.3.3. Environmental and functional benefits of biochar adsorption.....	39
Conclusion	40

Experimental section

Chapter IV: Materials and methods

Introduction	41
IV.1. Synthesis of Ferric Chloride.....	41
IV.1.1. Sampling.....	41
IV.1.2. Preparation of iron ore.....	41
IV.1.3. Acid leaching.....	41
IV.2. Preparation of biochar	41
IV.3. Material characterization.....	42
IV.3.1. Elemental analysis (XRF).....	42
IV.3.2. pH Point of Zero Charge (pHpzc)....	42
IV.3.3. FTIR Analysis	42
IV.4. Preparation of diluted solutions.....	42
IV.5. Préparation des solutions diluées	43
IV.6. Coagulation-Flocculation tests	43
IV.7. Adsorption tests.....	44
IV.8. Combined Coagulation-Flocculation and adsorption tests.....	44
IV.8.1. Sequential combination	45
IV.8.2. Simultaneous combination (One-Step Process)	45
IV.9. Quantitative Analysis of Residual Ibuprofen	45
IV.9.1. Ibuprofen Determination Method.....	45
IV.9.2. Calibration Curve	47

Chapter V: Results and discussion

Introduction.....	48
V.1. Material characterization	48
V.1.1. Elemental analysis of ouenza iron ore by XRF	48
V.1.2. Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy analysis.....	49
V.1.2.1. FTIR analysis of the ore	49
V.1.2.2. FTIR analysis of the biochar	49
V.1.3. pH at the Point of Zero Charge (pHpzc).....	50
V.2. Study of ibuprofen removal by coagulation-flocculation.....	51
V.2.1. Effect of coagulant dose	51

V.2.2. Effect of ibuprofen concentration	52
V.2.3. Effect of reaction medium pH	53
V.3. Adsorption study of ibuprofen	54
V.3.1. Effect of contact time on ibuprofen adsorption	54
V.3.2. Effect of adsorbent dose on ibuprofen removal.....	56
V.3.3. Effect of initial ibuprofen concentration.....	57
V.3.4. Effect of pH of the reaction medium on ibuprofen adsorption.....	59
V.4. Study of the combined coagulation-flocculation and adsorption process for ibuprofen retention	61
V.4.1. Ibuprofen retention with commercial FeCl ₃	60
V.4.1.1 Simultaneous combination	60
V.4.1.2 Cascade combination	61
V.4.2. Ibuprofen retention with synthesized FeCl ₃	62
V.4.2.1. Simultaneous combination	62
V.4.2.2. Cascade combination	62
Conclusion.....	63
General conclusion.....	64
References	66
Summary	

List of tables

List of tables

Table N°	Table title	Page
Table I. 1:	Presence of antibiotic residues in water bodies in several countries..0	Erreur ! Signet non défini.
Table I. 2:	General characteristics of ibuprofen according to the European Commission (2009) and two of its metabolites	08
Table I. 3:	Concentrations of ibuprofen measured in aquatic environments. Erreur ! Signet non défini.	
Table I. 4:	Removal of various pharmaceutical compounds by adsorption on different activated carbons and graphene	16
Table I. 5:	Main advanced oxidation processes	17
Table IV. 1:	Absorbance of ibuprofen diluted solutions measured by UV/Visible spectrophotometry.	47

List of figures

List of figures

N° of Figure	Title of figure	Page
Figure I. 1:	Fate of hospital pharmaceuticals.....	07
Figure I. 2:	Pathways of contamination of aquatic environments by pharmaceutical substances.	11
Figure II. 1:	Representation of a colloid.....	21
Figure II. 2:	Representation of the double layer of a colloidal particle.....	22
Figure II. 3:	Coagulation – Flocculation Phenomena.....	24
Figure III. 1:	Physical and chemical adsorption.....	32
Figure III. 2:	Transport mechanism of adsorbate within a particle.....	33
Figure IV. 1:	Infrared spectroscopy- SGIMADZU-8400S.....	42
Figure IV. 2:	Coagulation-flocculation tests for ibuprofen.....	43
Figure IV. 3:	UV/Vis spectrophotometer (photoLab 7600 UV-VIS).....	46
Figure IV. 4:	Ibuprofen calibration curve.....	47
Figure V. 1:	FTIR analysis of the Ouenza ore.....	49
Figure V. 2:	pH at the point of zero charge (pHpzc) of the biochar.....	50
Figure V. 3:	Effect of coagulant dose on ibuprofen retention (10 mg/L).....	52
Figure V. 4:	Effect of ibuprofen concentration on its removal using the two coagulants.....	52
Figure V. 5:	Effect of pH on ibuprofen retention through coagulation-flocculation using commercial and synthesized FeCl ₃	53
Figure V. 6:	Effect of contact time on the adsorption of ibuprofen (10 mg/L).....	54
Figure V. 7:	Adsorption efficiency of ibuprofen (10 mg/L) as a function of contact time.....	55
Figure V. 8:	Effect of biochar dose on ibuprofen adsorption (10 mg/L).....	56
Figure V. 9:	Adsorption efficiency of ibuprofen (10 mg/L) as a function of biochar dose.....	56
Figure V. 10:	Effect of initial ibuprofen concentration on adsorption (0.5 g/L).....	58
Figure V. 11:	Adsorption efficiency as a function of initial ibuprofen concentration.....	58
Figure V. 12:	Effect of biochar dose on the adsorption of ibuprofen.....	59
Figure V. 13:	Adsorption efficiency of ibuprofen (10 mg/L) as a function of biochar dose.....	61
Figure V. 14:	Ibuprofen removal by commercial FeCl ₃ and biochar – simultaneous combination mode.....	61
Figure V. 15:	Ibuprofen removal by commercial FeCl ₃ and biochar – cascade combination mode.....	61
Figure V. 16:	Ibuprofen removal by synthesized FeCl ₃ and biochar – simultaneous combination mode.....	62
Figure V. 17:	Ibuprofen removal by synthesized FeCl ₃ and biochar – cascade combination mode	63

General introduction

General introduction

Water pollution has become a global scourge, affecting every corner of the planet and significantly impacting all aspects of life. The continuous degradation of water quality, combined with insufficient wastewater treatment, discharges of industrial and domestic effluents, and infiltration of agricultural fertilizers and pesticides, are major causes of this pollution. These nuisances vary depending on population density, agricultural and industrial practices, and the existence (or absence) of effective wastewater recovery and treatment systems [1].

Each year, more than 100,000 tons of pharmaceutical products are consumed worldwide. During their manufacture, use, and disposal, active pharmaceutical ingredients (APIs) become a significant source of environmental pollution that requires appropriate management by companies and public authorities.

The presence of pharmaceutical residues in aquatic environments is an increasingly concerning public health issue, drawing the attention of both scientists and public authorities. One of the main sources of this contamination is the effluents from hospitals and healthcare facilities, which contain highly biologically active pharmaceutical molecules and a wide chemical diversity. Unfortunately, these effluents are often discharged into urban sewage systems without any prior treatment [2].

Unlike traditional pollutants, pharmaceutical residues are often resistant to conventional wastewater treatment processes. The presence of anti-inflammatory drugs, antibiotics, antidepressants, and hormones in wastewater poses real challenges for their removal. Ibuprofen, a widely used non-steroidal anti-inflammatory drug, has frequently been detected in various aquatic environments [3].

To address this contamination, several processes have been explored, including advanced oxidation, membrane filtration, adsorption, and coagulation-flocculation [4]. Coagulation, one of the most commonly used techniques for water treatment, is based on the addition of chemical coagulants that neutralize the charges of suspended particles, promoting their aggregation into flocs. Among the most widely used coagulants in water treatment plants are ferric chloride (FeCl_3), aluminum sulfate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), and ferrous sulfate (FeSO_4) [5].

However, the development of alternative coagulants derived from abundant and low-cost natural resources represents a promising path for sustainable water treatment.

In this context, the present project proposes the development of an alternative coagulant from iron ore (hematite) via a chemical leaching reaction using hydrochloric acid (HCl). The objective is to evaluate the effectiveness of this coagulant for the retention of ibuprofen in aqueous solution.

In addition, a combined approach will be implemented by coupling coagulation with adsorption. The adsorption process will be carried out using a biochar synthesized from pumpkin peels—an organic waste that can be valorized into an adsorbent material. This synergy between coagulation and adsorption will not only enhance the removal of pharmaceutical contaminant but also reduce the amount of coagulant required.

By integrating coagulation and adsorption in a combined approach, this project may also lower the operational costs of water treatment plants by reducing the quantity of chemicals needed and optimizing the process efficiency. In the long term, such an approach could represent a cost-effective and sustainable alternative for water treatment companies, while helping reduce the environmental impacts associated with the use of conventional chemicals.

The main objective of this project is to propose a sustainable and efficient alternative for the treatment of water contaminated with pharmaceutical residues, by combining coagulation and adsorption techniques. Specifically, this work aims to:

- Synthesize an alternative coagulant from iron ore (hematite) via acid leaching using HCl.
- Evaluate the effectiveness of this coagulant in retaining ibuprofen in aqueous solution.
- Synthesize an adsorptive biochar from pumpkin peels and characterize its adsorption properties.
- Study the performance of the coagulation-adsorption coupling by combining the synthesized coagulant (FeCl_3 from hematite) and the biochar to enhance the removal of pharmaceutical residues.
- Propose an approach for valorizing natural resources and organic waste in a more ecological and economically viable water treatment strategy.

In addition to the introduction and general conclusion, this manuscript is structured into five chapters:

Chapter I: This chapter is dedicated to a literature review on water pollution by pharmaceutical residues, discussing their sources, environmental and health impacts, and the challenges associated with their removal.

Chapter II: It presents a synthesis of coagulation-flocculation as a water treatment technique, detailing its principles, the factors influencing its effectiveness, and existing alternatives.

Chapter III: This chapter explores the principles of adsorption in water treatment, with a focus on its mechanisms, key influencing factors, and its application for the removal of organic contaminants.

Chapter IV: It describes the materials and experimental methods used in this study, including operating protocols, reagents, characterization and analysis techniques, and the preparation steps for the coagulant and the adsorbent.

Chapter V: The final chapter presents and analyzes the results obtained, evaluating the effectiveness of the developed products for ibuprofen removal and discussing the performance of the coagulation-adsorption combination.

Theoretical section

Chapter I :

Water pollution by pharmaceutical products: sources, impacts, and challenges

Introduction

The contamination of water by pharmaceutical residues is an increasing environmental concern. These substances, originating from industrial, hospital, and domestic effluents, persist in aquatic ecosystems and can have harmful effects on fauna, flora, and human health. Among these contaminants, ibuprofen is one of the most frequently detected compounds in wastewater. Its presence, even at low concentrations, raises concerns due to its ecotoxicological impact. This chapter explores the sources and fate of pharmaceutical residues in the environment, as well as the main treatment methods used to limit their spread.

I.1. Presence of pharmaceuticals in the environment

The discharge of pharmaceutical effluents is becoming increasingly significant. Pharmaceuticals are molecules with curative or preventive properties, or used for diagnostic purposes. They are classified based on:

- The effect they are designed for (e.g., antibiotics, analgesics).
- Their chemical structure (e.g., among antibiotics: quinolones, cephalosporins).
- Their mode of action (e.g., antimetabolites or alkylating agents) [6].

Their physicochemical properties allow them to cross biological membranes [7]. They are generally considered emerging pollutants, classified as micropollutants due to the recent attention they have garnered and because they are often found in aquatic environments at concentrations in the nanogram or microgram per liter range [6]. Since the 1980s, many pharmaceutical compounds have been detected in the environment—their presence in the effluents and sludge of urban wastewater treatment plants (WWTPs), aquatic systems, and soils has been established globally. The first evidence of pharmaceuticals in water dates back to 1976 [8]. Numerous studies have since confirmed the ubiquity of these substances in rivers and groundwater [9]. By the early 2000s, more than 80 pharmaceutical substances had been measured in WWTP effluents and surface waters [10,11].

In WWTPs, biodegradation varies greatly between molecules. For example, ibuprofen is degraded at rates between 60 and 96% [12], while carbamazepine shows biodegradation rates of less than 10 to 30% [13]. The treatment efficiency is particularly limited for clofibrate, with elimination rates between 6 to 50%, according to Stumpf et al. (1999) in Brazil. More concerning, Vieno et al. (2006) found higher concentrations of carbamazepine in effluents than in influents. These findings align with data from Berlin, where high maximum concentrations

were measured in WWTP influents and effluents: caffeine (640 µg/L vs 3 µg/L), carbamazepine (3.80 µg/L vs 5.00 µg/L), clofibric acid (0.95 µg/L vs 0.73 µg/L), and diclofenac (7.10 µg/L vs 4.70 µg/L) [10].

Calculating the ratio between the average effluent and influent concentrations also reveals notable differences in WWTP efficiency: 0% for clofibric acid, 8% for carbamazepine, 17% for diclofenac, and 99.9% for caffeine (still present at 180 ng/L in effluents). The analysis of pharmaceutical effluents requires identifying their sources and origins [11].

I.2. Sources of pharmaceutical pollutants

I.2.1. Industrial and pharmaceutical effluents

The pharmaceutical industry can be a point source of contamination of aquatic environments, even though it adheres to good manufacturing practices, ISO 14000 standards, and environmental protection regulations (ICPE in France). Nonetheless, discharges can still occur—either accidentally during manufacturing or more regularly, as economically feasible treatment technologies cannot guarantee 100% removal. For example, pharmaceutical industries have been partly responsible for contaminating Lake Geneva, and several production sites have been reported to discharge up to 45 kg per day into the Rhône River [14,7].

I.2.2. Veterinary practices

Veterinary medicines are used for treating domestic animals and, more significantly, in agriculture. Like in humans, they are metabolized and excreted by animals, entering the environment directly via treatment and excreta, or indirectly through manure and slurry spreading. They then reach aquatic systems through runoff and water infiltration into soils. This represents a diffuse source of pollution. The most used classes of substances in agriculture are antibiotics (tetracyclines, sulfonamides, macrolides), antiparasitics, and hormones.

In aquaculture, antibiotics are usually administered via feed. About 70 to 80% of administered antibiotics are not consumed or are excreted and end up in the aquatic environment [7]. The precise amounts of veterinary pharmaceuticals used and released into the environment remain largely undetermined [15].

Antibiotics have been detected in effluents from industrial livestock farming, which is not surprising since up to several milligrams of tetracyclines can be found per gram of slurry [12]. This is also the case for fluoroquinolones [11].

Table I.1: Presence of antibiotic residues in water bodies in several countries [16].

Matrices	Molécules	Gamme de concentration
Surface water	Trimethoprim, Dihydro-erythromycin, Roxithromycin, Clarithromycin, Tetracycline, Chlortetracycline, Oxytetracycline, Ionophore, Sulfadimethoxine, Sulfamethoxazole, Sulfadiazine, N4-acetylsulfamethoxazole	7 – 15 ng/L
Groundwater	Chloramphenicol, sulfamethoxazole, sulfadimethoxine, sulfamethazine, oxytetracycline, tetracycline, lincomycin, and dihydro-erythromycin	0,05 – 1,4 µg/L
Drinking water	Sulfamethoxazole	< 25 ng/L
Wastewater treatment plant (WWTP)	Sulfamethoxazole, trimethoprim, N4-acetylsulfamethoxazole, sulfadiazine, sulfacetamide, sulfisoxazole, sulfamethazine, sulfapyridine, roxithromycin, ciprofloxacin, clarithromycin, azithromycin, ofloxacin, norfloxacin, chloramphenicol, dihydro-erythromycin, lincomycin, doxycycline, tetracycline, spiramycin, cephalixin, amoxicillin, and tylosin	10 – 6000 ng/L
Hospital wastewater	Gentamicin, ciprofloxacin, sulfamethoxazole, trimethoprim, and doxycycline	0,4 – 125 µg/L

I.2.3. Domestic and hospital wastewater discharges

Healthcare facilities host a large number of patients, leading to massive use of various medications and the generation of significant volumes of liquid effluents rich in chemical wastes. These effluents are generally not subject to strict treatment regulations. Hospitals are notably the main sources of discharges of so-called CMR substances, meaning Carcinogenic, Mutagenic, and Reprotoxic compounds, including anticancer drugs.

Moreover, these effluents are usually discharged directly into the collective wastewater network without prior treatment, thus mixing with domestic wastewater.

Three types of hospital liquid effluents can be distinguished:

- **Domestic-origin discharges**, corresponding to water from kitchens and waste generated by hygiene activities of non-contagious patients and staff.
- **Effluents similar to industrial wastewater**, generated by specific hospital equipment such as laundries, boilers, and air conditioning systems.
- **Healthcare-specific effluents**, resulting from medical care activities, laboratory analyses, and research.

Within the last category, two main sources of pharmaceutical discharges are identified: unused or partially used medications from care units or hospital pharmacies, and drug residues excreted by treated patients [2].

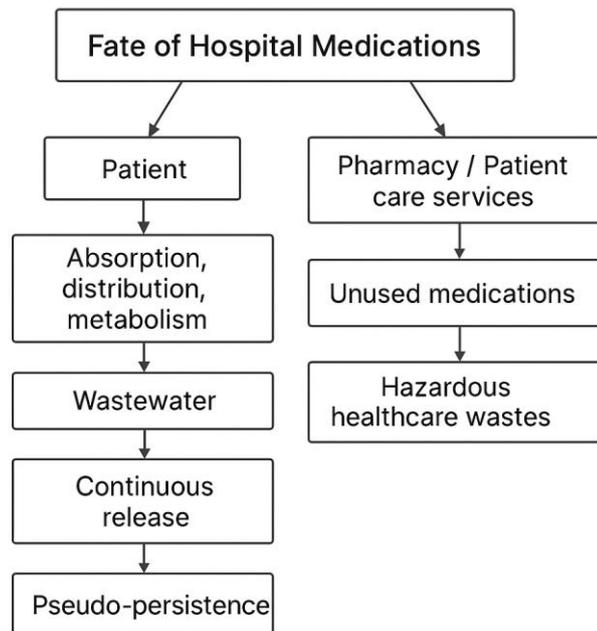


Figure I.1: Fate of hospital pharmaceuticals [2].

I.3. General information on ibuprofen

Ibuprofen is a non-steroidal anti-inflammatory drug (NSAID) with analgesic and blood-thinning properties. It is used to treat headaches, muscle and menstrual pain, fever, and arthritis [17]. The general characteristics of ibuprofen and two of its frequently detected metabolites in aquatic environments are presented in Table I.2 below.

Table I.2: General characteristics of ibuprofen according to the European Commission (2009) and two of its metabolites [18].

Chemical substance	N° CAS	N° EINECS
Ibuprofen (±)-2-(4-isobutylphenyl)propionic acid	15687-27-1	239-784-6
1-hydroxy-ibuprofen (metabolite of ibuprofen)	53949-53-4	-
2-hydroxy-ibuprofen (metabolite of ibuprofen)	51146-55-5	-

I.3.1. Physicochemical Properties

- Pharmaceutical substance
- Common name: ibuprofen
- Chemical name: α -methyl-4-(2-methylpropyl)benzeneacetic acid
- Other names: p-isobutylhydratropic acid, 2-(4-isobutylphenyl)propionic acid
- Molecular formula: C₁₃H₁₈O₂
- Molecular weight: 206.28
- Physical characteristics: White or off-white powder or crystals with a characteristic odor.
- Solubility: Poorly soluble in water (water solubility 21 mg/L); alcohol 1/1.5, chloroform 1/1, ether 1/2, acetone 1/1.5. Ibuprofen is also soluble in aqueous solutions of alkali hydroxides and carbonates.
- High octanol-water partition coefficient (log K_{ow} = 3.97)
- pKa and pH: pH 4.6–6.0 (1/20 solution).
- Melting point: 75–77 °C [19].

I.3.2 Mechanisms of degradation and transformation in water

I.3.2.1. Photodegradation

Photodegradation is the main degradation pathway for photosensitive molecules, resulting from the absorption of light energy that promotes the breaking of weak chemical bonds in molecular structures.

Direct and indirect photolysis mechanisms are the primary abiotic transformation pathways for pharmaceutical products in surface waters. Direct photolysis of chemical species occurs

through direct absorption of sunlight, while indirect photolysis involves natural photosensitizers such as nitrate and humic acids. Under solar irradiation, these natural constituents can generate strong oxidant species such as hydroxyl radicals and singlet oxygen. Photolysis is the main elimination process for diclofenac in surface waters [20].

1.3.2.2. Hydrolysis

Since pharmaceuticals are mainly designed for oral absorption, they are typically resistant to chemical reactions like hydrolysis. However, for some compounds such as penicillins, hydrolysis is a major degradation pathway in natural environments, which is why they are rarely detected in the environment [21].

1.3.2.3. Biodegradation

In natural environments, biodegradation of pharmaceuticals can occur but generally at lower rates than those in wastewater treatment plants (WWTPs). Some pharmaceutical compounds tend to degrade faster by biodegradation than by photodegradation in river waters, such as ketoprofen, ibuprofen, propranolol, and gemfibrozil [22].

The half-life of ibuprofen in water varies significantly depending on environmental conditions. Studies report half-lives ranging from 1 day [23,24] to 15–20 days and up to 50 days [23]. Variations in pH, dissolved oxygen, and suspended solids cause these differences.

I.3.3 Presence and concentrations in wastewater

Many monitoring campaigns and research projects have evaluated the presence of pharmaceutical residues in the environment. Surface waters, the primary recipients of pharmaceuticals from domestic and hospital discharges, are the most studied. A mixture of unchanged pharmaceutical compounds and degradation products is found in raw and treated wastewater at concentrations ranging from ng/L to a few µg/L [25]. However, as previously noted, terrestrial environments can also be significantly impacted by the presence of ibuprofen [26].

Table I.3: Concentrations of ibuprofen measured in aquatic environments [26].

Location	Ibuprofen concentration	References
-----------------	--------------------------------	-------------------

		[ng/L]	
Surface water and groundwater	France (Hérault)	n.d. à 4,5	[27]
	France (Artois-Picardie Basin)	non détecté (limites de quantification des laboratoires trop hautes)	[28]
	Germany (Rhine)	70	[29]
	Europe	395 (moyenne) 6 (médiane) 31 323 (max)	[30]
	Germany (Berlin)	n.d. à 200	[31]
	France	109 (moyenne) 5 600 (maximale)	[32]
Drinking water	France (drinking water)	19 (max eaux brutes) traces (eaux traitées)	[33]
	France (Seine-Normandy Basin)	non détecté	[34]
Wastewater treatment plants	France (wastewater treatment plants)	entrée : 97 (moy) et 2 191 (max) sortie : 101 (moy) et 1 820 (max)	[32]
	Literature review (international literature)	entrée : 14 600 (moy), 3 200 (med) et 83 500 (max) sortie : 1960 (moy), 800 (med) et 240 (max)	[35]
Estuaries	France (estuaries)	entre 0 et 45 (Seine)	[36]
Marine waters	France (marine waters)	0 (moy) et 21 (max)	[32]
	United Kingdom (marine waters)	< 8 et 2 370 avec 247 (med)	[37]

n.d : not detected.

I.4. Fate and persistence in aquatic environments

The fate of pharmaceutical compounds in the environment depends on their physicochemical properties and interactions with the medium. Their behavior is influenced by several parameters [38].

- **pKa and pH of the medium:** These determine whether a molecule exists in acidic, basic, or amphoteric form, thus influencing its interaction with the environment.
- **Octanol-water partition coefficient (Kow):** Reflects the solubility of a substance in water or its liposolubility. A molecule with a $\log Kow > 3$ is considered lipophilic, favoring its accumulation in organic matter.
- **Organic carbon-water partition coefficient (Koc):** Indicates the tendency of a compound to adsorb onto soils, sediments, or sludge. A molecule with a high Koc will be more adsorbable and less mobile in water.
- **Water solubility:** Defines the maximum concentration of a dissolved substance. A molecule is considered poorly soluble if its solubility is below 1 mg/L.
- **Vapor pressure and Henry's constant:** Influence the volatility of a compound, determining its ability to transfer from water to air. A vapor pressure > 100 Pa or a Henry's constant $> 1 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ indicates high volatility.

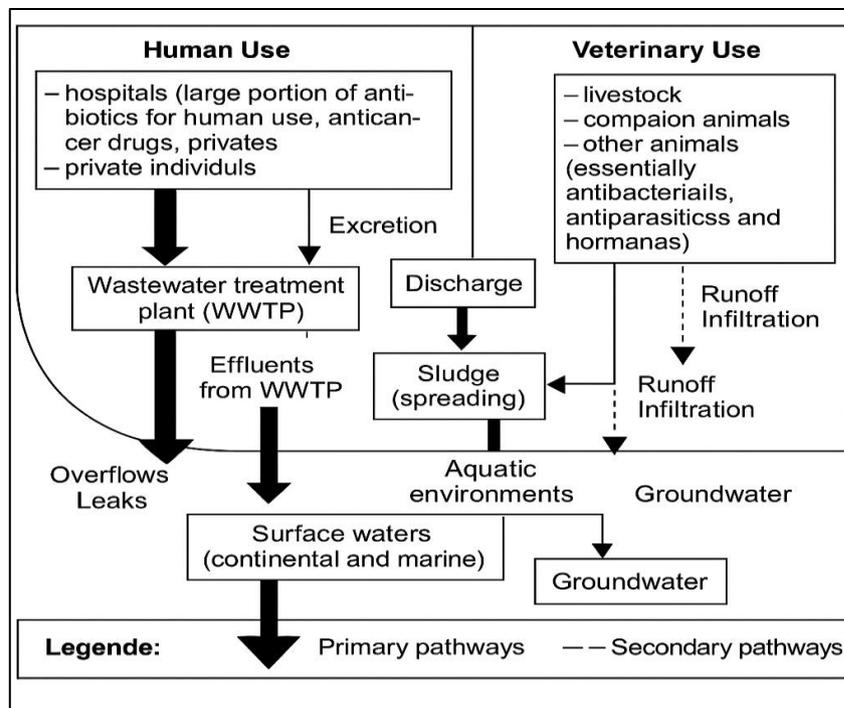


Figure I.2: Pathways of contamination of aquatic environments by pharmaceutical substances [39].

During their dispersion in the environment, the concentrations of these compounds decrease through three main processes:

- **Sorption:** Attachment of molecules to sediments and organic matter, limiting their mobility.
- **Dilution:** Progressive dispersion into receiving environments.
- **Degradation:** Chemical or biological transformation, which may lead to more or less persistent by-products.

The presence of pharmaceutical residues in the environment mainly originates from their use by patients and the insufficient treatment of domestic and hospital effluents in wastewater treatment plants.

I.5. Impact of Pharmaceutical Residues on the Environment and Human Health

Pharmaceuticals are biologically active substances. While their properties and mechanisms of action are well understood in humans, their fate in the environment remains poorly known. The targeted action of pharmaceuticals on specific biological receptors raises concerns about the ecological and health risks associated with their presence in the environment. One major difficulty in monitoring pharmaceuticals in the environment is the vast diversity of these compounds, both in terms of pharmacological properties and chemical structures and physico-chemical characteristics. The fate of these substances after being released into the environment depends on their biodegradation, transformation, and distribution across environmental compartments [40].

Pharmaceuticals, although essential for treating and preventing diseases in humans and animals, can pose significant risks. If they are not stored, handled, or applied correctly, some can have harmful effects on the environment. Moreover, in their soluble form, they can pollute water by altering its physico-chemical properties. They may also disturb natural ecosystems and the species within them, and hinder the proper functioning of wastewater treatment plants (WWTPs) by damaging microbial communities involved in purification [41].

I.5.1. Ecotoxicological Effects

Pharmaceutical molecules are designed to be biologically active, targeting receptors in humans or animals, or acting as toxic agents against infectious organisms.

❖ Acute toxicity:

Acute toxicity is assessed using standardized methods (ISO, OECD, etc.) on various aquatic species (algae, zooplankton, fish, etc.). These tests determine the lethal dose 50 (LD50), the dose at which 50% of the population dies. However, many studies agree that the median effective concentration (EC50)—which impacts growth or reproduction in 50% of test organisms—is much higher than concentrations found in the aquatic environment. For example, non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) inhibit cyclooxygenase enzymes (COX-1 and COX-2), which are involved in the synthesis of prostaglandins. These prostaglandins also play a role in bird eggshell formation, and shell thinning has been observed. Diclofenac is considered the most acutely toxic NSAID. Phytoplankton shows greater sensitivity (EC50 at 96h: 14.5 mg/L) compared to zooplankton (EC50 at 96h: 22.43 mg/L) [42].

❖ **Chronic toxicity**

There is a significant lack of chronic ecotoxicological studies specifically targeting pharmaceuticals, their metabolites, and transformation products. Chronic toxicity assessments aim to determine the No Observable Adverse Effect Level (NOAEL), the highest concentration with no significant adverse effects on test populations. For example, in Asia, the decline of vulture populations that fed on livestock treated with diclofenac has been attributed to its toxicity. Aspirin affects the reproduction of *Daphnia magna* and *Daphnia longispina* at concentrations of 1.8 mg/L. Diclofenac causes histopathological alterations (kidney damage and gill lesions) in rainbow trout after 28 days of exposure. Naproxen is toxic at concentrations ranging from 0.33 mg/L for the crustacean *Ceriodaphnia dubia* to 31.82 mg/L for the alga *Pseudokirchneriella subcapitata*, highlighting the importance of species selection in toxicity tests [22].

❖ **Mixture effects**

Risk assessments typically consider individual effects of pharmaceuticals on aquatic organisms, which does not reflect environmental reality. Evaluation protocols may reveal antagonistic or synergistic effects between pharmaceutical residues or with other pollutants. For example, a mixture of 13 pharmaceutical compounds at concentrations found in the environment (ng/L) inhibited the growth of human embryonic cells [22].

➤ **Bioaccumulation of Pharmaceuticals**

Few studies have investigated the bioaccumulation of pharmaceuticals, except for monitoring antibiotic residues in aquaculture, where bioaccumulation in aquatic species is well

established. For instance, fluoxetine, sertraline, and their metabolites have been detected in farmed fish in the United States. Other studies confirm the bioaccumulation of estrogens and certain antibiotics in aquatic organisms.

In 2004, Schwaiger et al. exposed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to various concentrations of diclofenac, showing significant accumulation in the liver (up to 6000 ng/g after exposure to 500 µg/L) [43]. Laboratory studies by Togola also revealed accumulation after 14 days of exposure.

Polycyclic musks have been shown to accumulate in fatty fish: 220 µg/kg of Musk xylene (MX) in eel lipids, 360 µg/kg of Musk ketone (MK), and up to 6470 µg/kg of Hexa-hydro-hexamethyl-cyclopentabenzopyran (HHCB). Lipophilic UV filters (log Kow of benzophenone = 3; homosalate = 6.16) were also detected at concentrations around 2 mg/kg of lipids in certain freshwater fish [44, 45].

I.5.2. Consequences for Human Health

❖ Antibiotic Resistance

A major public health threat is the rise of antibiotic-resistant pathogenic organisms. The presence of antimicrobials in the intestines of treated humans and animals contributes to the development of resistant genes and bacteria, which can be excreted in feces and spread into wastewater, sludge, manure, or soil. Resistance genes can also develop directly in the environment when antibiotic residues are present, and may then be transferred to pathogenic bacteria. Studies have also shown that resistance gene exchange occurs between environmental bacteria and clinical isolates. Therefore, strategies aimed at reducing the release of antibiotics into the environment can also help control antimicrobial resistance [46].

❖ Endocrine and Mutagenic Effects

Some pharmaceutical products have endocrine functions, meaning they affect the hormonal system. These include contraceptives, certain cancer treatments, drugs used for nervous system and thyroid disorders, and several veterinary medicines. It has been found that some endocrine-disrupting pharmaceuticals have harmful effects on wildlife even at very low concentrations, such as the feminization of male fish, prevention of reproduction, or triggering of population collapse. These pharmaceuticals are part of the broader class of endocrine-disrupting chemicals (EDCs), which have been addressed as a policy issue by SAICM (Strategic Approach to International Chemicals Management) since 2012 [46].

1.6. Wastewater treatment techniques for pharmaceutical residues

Conventional wastewater treatment plants typically combine primary physico-chemical treatment with secondary biological treatment (activated sludge). While these steps reduce overall pollution, they are not specifically designed to effectively remove pharmaceutical residues, many of which persist in the environment. To address these limitations, tertiary and quaternary treatments have been developed, incorporating biological, physico-chemical, and advanced oxidation processes [47].

1.6.1 Biological Treatment

The biological removal of micropollutants is a secondary wastewater treatment process that combines biological and biochemical mechanisms. The activated sludge process, widely used in wastewater treatment plants, primarily targets the removal of macropollutants to reduce oxygen demand. However, it can also partially eliminate pharmaceutical micropollutants through volatilization, adsorption, and biodegradation. This method is cost-effective and operable under mild conditions, and can be optimized by incorporating specific bioreactors.

This combined process has proven effective in treating a wide range of pharmaceutical micropollutants such as amoxicillin, ciprofloxacin, and sulfamethoxazole, achieving removal efficiencies over 80% at concentrations of 0.1 g/L. In contrast, some compounds, such as carbamazepine, exhibit resistance to this treatment, with removal rates below 40% [48]

1.6.2 Physico-Chemical Treatment

1.6.2.1. Adsorption Treatment

Adsorption is one of the most effective methods for removing pharmaceutical residues. Activated carbons, graphene, and carbon nanotubes are the most widely studied adsorbents. This technique is generally applied as a tertiary or quaternary treatment to avoid rapid saturation of the adsorbent by dissolved organic matter. Its efficiency depends on the properties of both the pollutant and the adsorbent material, as well as operational conditions (pH, temperature, contact time). However, competition among micropollutants can reduce the overall efficiency of the process [49–50].

Table I.4: Removal of various pharmaceutical compounds by adsorption on different activated carbons and graphene [47].

Molecules	Material	S _{BE} T (m ² /g)	Pore Diameter	Water Type	Concentration	Adsorption Rate
Paracetamol	PAC* (5mg/L)	Ø	Ø	Surface	100ng/L	70%
	Graphene (0,1g/L)	570	Ø	Synthetic	1mg/L	46%
Tetracycline	PAC (1g/L)	1524	2,5	Synthetic	600mg/L	70%
Carbamazepine	PAC (5mg/L)	Ø	Ø	Surface	100ng/L	70%
	Graphene (with quantity not specified)	875	5 mm (diamètre des particules)	Synthetic	100mg/L	97%
Sulfamethoxazole	PAC (5mg/L)	Ø	Ø	Surfaces	100ng/L	35%
	Graphene (0,1g/L)	570	Ø	Synthetic	100µg/L	34%

PAC refers to powdered activated carbon and Ø (pore diameter)

I. 6.2.2. Advanced Oxidation Processes (AOPs)

AOPs are emerging technologies capable of degrading recalcitrant pollutants through the generation of hydroxyl radicals ($\bullet\text{OH}$), which are highly reactive oxidants. These processes offer several advantages: high efficiency, low toxicity, and the absence of harmful secondary residues. Their effectiveness depends on various parameters, such as oxidant concentration, UV intensity, and pH. Although AOPs allow effective degradation of pharmaceutical residues, their cost and energy consumption remain challenges to be addressed [51].

Table I.5: Main advanced oxidation processes [52]

Process	Reaction	Comment
Fenton	$H_2O_2 + Fe^{2+} + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + H_2O + \bullet OH$	OH radicals are produced from the decomposition of H ₂ O ₂ catalyzed by ferrous or ferric salts (Fenton or Fenton-like reactions)
Peroxonation: O₃/H₂O₂	$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + HO\bullet + \bullet OH$	The hydroxyl radicals (•OH) are formed by the reaction between ozone and hydrogen peroxide. This process is more effective than ozonation alone due to the high reactivity of hydroxyl radicals. Like ozonation, its efficiency depends on several parameters such as pH, temperature, side reactions that consume radicals, and the type of pollutant.
Photolysis of H₂O₂: UV/H₂O₂	$H_2O_2 \xrightarrow{h\nu} 2 \bullet OH$	The absorption of photons ($\lambda < 330$ nm) induces the photolysis of hydrogen peroxide (H ₂ O ₂), which decomposes to form hydroxyl radicals (•OH). An advantage of this process is that H ₂ O ₂ is soluble in water, allowing it to be well-distributed throughout the medium.
Photolysis of Ozone: UV/O₃	$O_3 \xrightarrow{h\nu} O^1(D) + O_2$ $O^1(D) + H_2O \rightarrow H_2O_2$	Ozone absorbs wavelengths below 300 nm; its photolysis in aqueous solution generates H ₂ O ₂ , which initiates the decomposition into highly reactive hydroxyl radicals (•OH). Thus, ozone promotes the degradation of pollutants that are resistant to direct oxidation. The efficiency of this process depends on the wavelength used and the applied irradiation conditions.
Heterogeneous photocatalysis	$TiO_2 + h\nu \rightarrow eCB^- + hVB^+$	A light source induces the excitation of a semiconductor or photocatalyst (e.g., TiO ₂); this generates positive and negative charges that migrate to the surface to produce reactive species and ensure the complete mineralization of oxidized and reduced forms.
Sonochemistry	$H_2O + \text{ultrasound (20-1000 kHz)} \rightarrow \bullet H + \bullet OH$	Hydroxyl radicals (•OH) are produced in water by applying sound waves at frequencies above the human hearing threshold ($f > 20$ kHz). This process generates reactive species through acoustic cavitation that can degrade pollutants.

<p>Photo- peroxonation: O₃/H₂O₂/UV</p>	$O_3 + H_2O_2 \xrightarrow{UV(254nm)} \cdot OH$	<p>Irradiation at 254 nm simultaneously induces the photolysis of both H₂O₂ and ozone. H₂O₂ and UV light are used to activate ozone in water at neutral pH. The molar absorption coefficient of ozone at 254 nm (300 L·mol⁻¹·cm⁻¹) is much higher than that of H₂O₂ (18.6 L·mol⁻¹·cm⁻¹). This system thus helps reduce undesirable effects caused by compounds such as aromatics, compared to the H₂O₂/UV system.</p>
<p>Radiolyse</p>	$H_2O_2 \rightarrow H_2O^* \rightarrow \cdot H + H_2O$	<p>Des espèces HO et H sont produites par un rayonnement de forte énergie exposé aux solutions à traiter; ces espèces sont obtenues après excitation de la molécule d'eau et phénomène d'ionisation.</p>
<p>UV-V Photolysis of Water: UV/H₂O</p>	$H_2O_2 \xrightarrow{hv} \cdot H + H_2O$	<p>Water absorbs light at wavelengths below 190 nm, producing hydrogen radicals (·H) and hydroxyl radicals (·OH). However, vacuum ultraviolet (UV-V) photolysis is rarely used due to the complexity of the equipment required (liquid nitrogen cooling, vacuum conditions, etc.) to access this optical spectrum.</p>
<p>Photo-Fenton</p>	$Fe^{3+} + hv \rightarrow Fe^{2+}$	<p>Irradiation increases the reaction rates and mineralization efficiency compared to the classical Fenton process. This enhancement is explained by the photochemical reduction of Fe³⁺ back to Fe²⁺, allowing continuous generation of hydroxyl radicals.</p>
<p>Sonophotocatalysis</p>		<p>This system combines several processes, for example photocatalysis and sonochemistry, synergistically used to accelerate the formation of hydroxyl radicals (·OH).</p>

1.6.2.3. Treatment by Coagulation and Flocculation

Coagulation-flocculation, mainly used to reduce turbidity and pathogens, shows limited effectiveness on pharmaceutical residues. However, some coagulants such as polyaluminum chloride or ferric chloride (Fe³⁺) have demonstrated partial removal of certain antibiotics, with removal rates ranging from 20% to 90%, depending on the nature of the molecules [53].

Conclusion

Pharmaceutical residues, including ibuprofen, represent a persistent threat to aquatic ecosystems. Their removal by conventional treatment processes is often insufficient, making the

development of alternative solutions such as coagulation-flocculation and adsorption essential. This chapter has highlighted the challenges associated with this pollution and introduced the treatment approaches discussed in the following chapters.

Chapter II:

*Coagulation-Flocculation in water
treatment: principles and factors
influencing effectiveness*

Introduction

The increasing presence of emerging pollutants, such as pharmaceutical residues, in wastewater represents a major environmental challenge. Among the most commonly used treatment techniques, coagulation-flocculation stands out due to its simplicity, efficiency, and widespread application in water treatment. This physico-chemical process relies on the addition of coagulants and/or flocculants to destabilize colloidal particles and promote their aggregation into flocs that can be easily separated. This chapter aims to explore the operating principles of coagulation-flocculation, the mechanisms involved at each stage, and the crucial role played by coagulants and flocculants.

II.1. Principle of Coagulation-Flocculation

Coagulation-flocculation facilitates the removal of suspended solids (SS) and colloids by gathering them into flocs that can be separated through sedimentation, flotation, and/or filtration. This physico-chemical process allows partial or total removal of particulate pollutants, especially SS and colloids [54].

The term “colloid” was introduced by Thomas Graham in 1861. It originates from the Greek words *kolla* meaning glue, and *eido* or *eidomei* meaning like or resembling. Colloids commonly refer to very small particles in solution with sedimentation times ranging from short to long [55]. These particles are very small, typically ranging from 0.001 to 1 μm [56]. They may originate from soil erosion, mineral dissolution, or organic matter decomposition.

Colloids carry surface charges, often negative, which induce inter-colloidal repulsions [56]. These surface charges cause the attraction of a dense layer called the Stern layer, composed of oppositely charged particles (positive if the colloid surface charge is negative). A second layer forms downstream, composed of ions with the same charge as the colloid and some ions of opposite charge. This is known as the diffuse layer or Gouy layer.

The double-layer theory describes a rapid and linear decrease of the Nernst potential along the Stern layer up to the Helmholtz external plane, where a bend (inflection) can be observed, followed by a slower decrease of the potential to zero, which corresponds to the baseline of electrically neutral water [57].

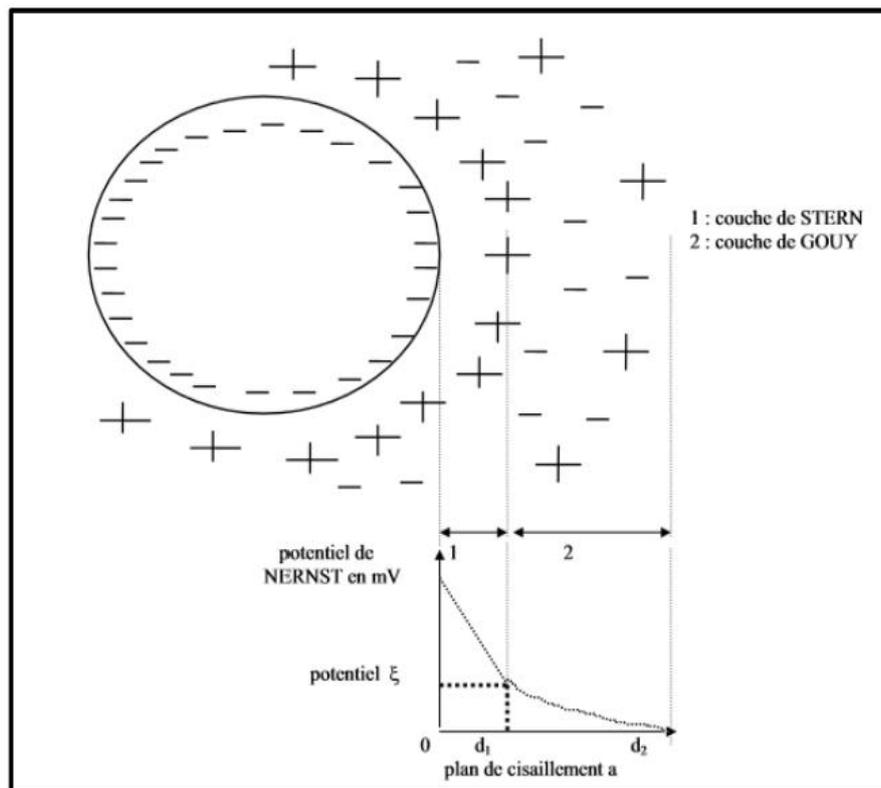


Figure II. 1: Representation of a colloid [56].

Within the bound layer itself, one can differentiate between the ionic part truly “attached” to the colloid and the more mobile part. The plane that separates these two parts is called the shear plane and corresponds to the zeta potential. The zeta potential is generally very close to the Helmholtz potential, which can cause confusion between the two in the case of natural waters.

It is important to note that this stable entity — particle plus ionic double layer — generates the zeta potential, which is of great importance in water treatment. It determines the electrophoretic mobility of the particle [58], and theoretically, the neutralization of the zeta potential corresponds to the optimal coagulation-flocculation condition [57].

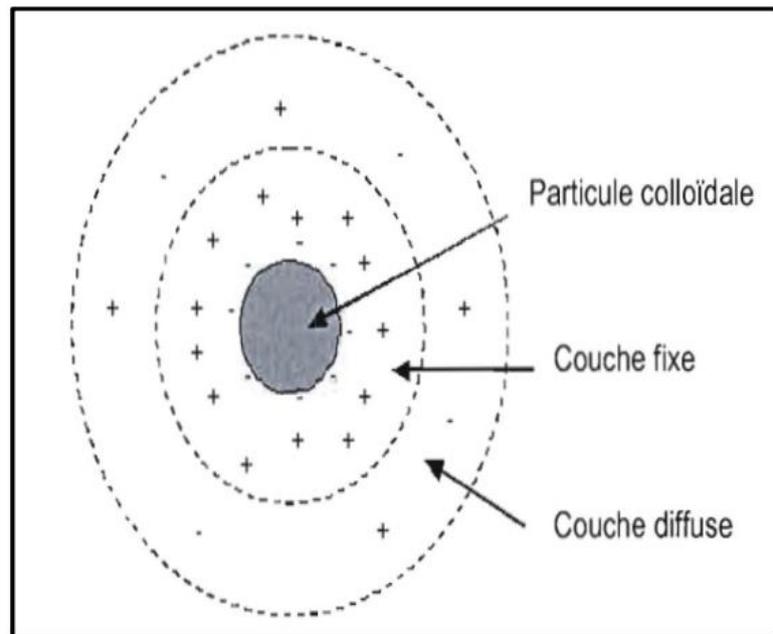


Figure II. 2: Representation of the double layer of a colloidal particle [59].

II.2. Coagulation Mechanism

The complex process of coagulation aims to destabilize suspended colloidal particles to promote their agglomeration into flocs dense enough to settle by sedimentation. To overcome the electrostatic repulsion forces between these particles, two main mechanisms are employed:

- **Reduction of the zeta potential:** This is achieved by adding mineral reagents containing multivalent cations (Fe^{3+} , Al^{3+}), which adsorb onto the surface of the colloids, thereby neutralizing the electric charges responsible for colloidal stability. This enables proper coagulation.
- **Use of organic polymers (flocculating agents):** These act through a dual mechanism, partially reducing the colloidal charge and, more importantly, forming bridges between particles via their long macromolecular chains, creating a network that traps and aggregates the particles.

The term *coagulation* is generally reserved for the electrostatic destabilization phase, whereas *flocculation* refers to the grouping of particles into flocs, particularly through the action of polymers [60].

Four basic mechanisms for colloidal particle destabilization:

1. Compression of the electrical double layer (electrostatic coagulation)

- Reduction of electrostatic repulsive forces between particles by compressing the ionic cloud surrounding the particles using electrolytes (ions).
- This leads to a decrease in the repulsive potential, facilitating particle aggregation.
- Aggregation can also be enhanced by increasing the kinetic energy (particle movement).

2. Adsorption and charge neutralization

- Ions with opposite and strong charges (often trivalent or divalent cations from the coagulant) adsorb onto the particle surfaces, neutralizing their electric charge.
- This neutralization reduces colloidal stability and enables coagulation.
- Overdosing the coagulant can reverse particle charge, making it positive.
- The diffuse electrical double layer around pollutant particles is compressed, removing the stabilizing barrier.

3. Entrapment of particles in a precipitate (sweep coagulation)

- Mainly occurs in dilute suspensions where rapid formation of insoluble coagulant precipitates captures colloidal particles.
- These precipitates form large flocs called “sweep flocs” that act like a net trapping pollutant particles.
- This mechanism combines adsorption and physical trapping within the precipitate.

4. Adsorption and bridging (flocculation by polymers)

- Use of polymers (anionic, cationic, or non-ionic) with high molecular weight and long chains.
- One end of the polymer adsorbs onto a colloidal particle, while the other end remains free to bind other particles.
- This forms bridges between particles, creating an aggregated network.
- Overdosing polymers can reduce efficiency (re-stabilization phenomenon).

II.3. Flocculation mechanism

The flocculation phase corresponds to the slow aggregation of coagulated particles; in other words, it is the phase during which the floc grows in size. Flocculation is the process that enables the floc to enlarge so that it becomes easier to separate. The floc formed by the aggregation of several colloids may not initially be large enough to settle or dewater at the desired rate. Flocculation can be improved either by purely hydraulic or mechanical processes or enhanced by the addition of chemical reagents called flocculants. Generally, a flocculant is effective only once the coagulation phase is complete.

When choosing flocculants, factors such as the size, cohesion, and settling velocity of the floc must be considered. Similar to coagulants, the optimal treatment dosage is determined through flocculation tests [54].

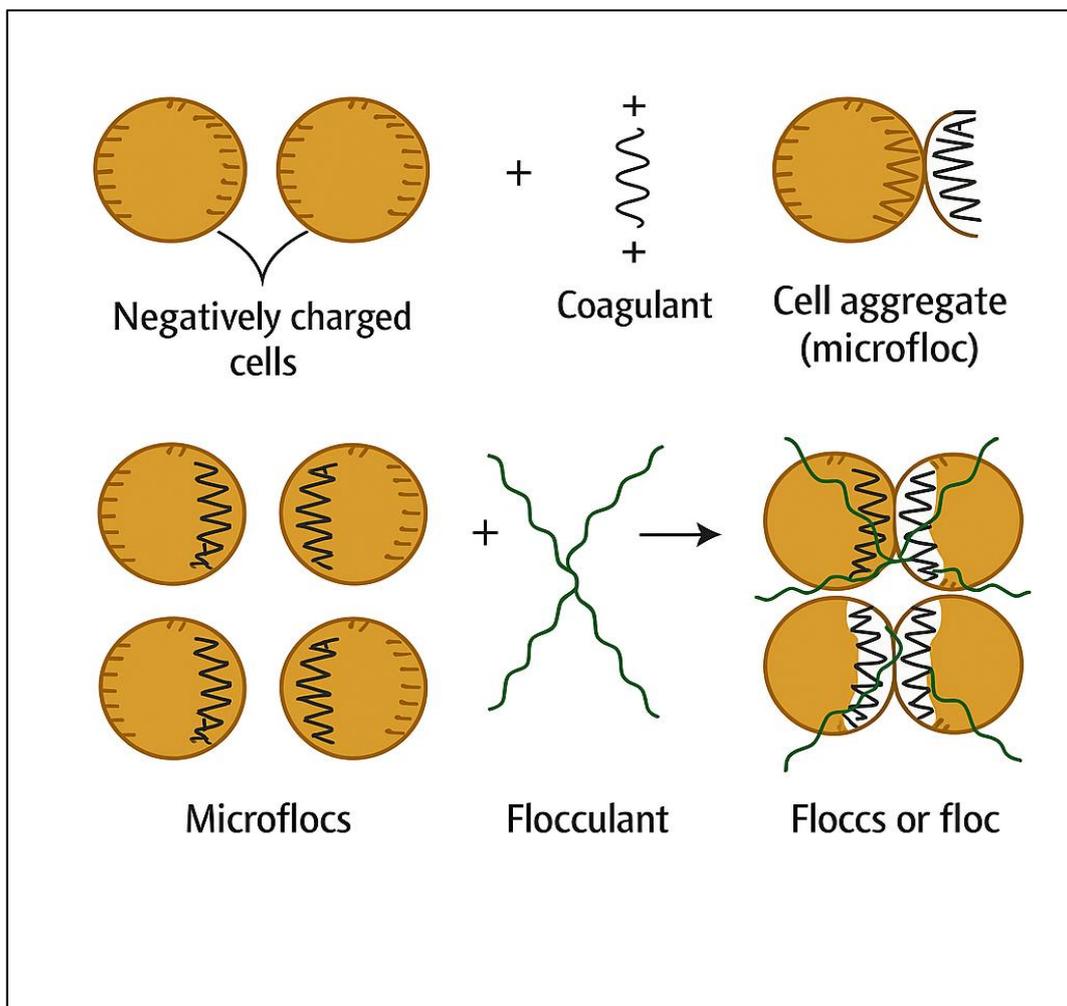


Figure II.3: Coagulation – Flocculation Phenomena [62].

II.4. Role of coagulants and flocculants in water treatment

Coagulants play a crucial role in water treatment by reducing color, turbidity, and organic matter present in water. The two primary functions of a coagulant are the destabilization of particles and the strengthening of flocs. When a coagulant is added, it neutralizes the electrical charge of colloidal particles, enabling their aggregation into larger flocs that can be easily separated from the water.

Coagulants should meet practical criteria such as reasonable cost, ease of handling, and chemical stability during storage. The selection of a coagulant depends on the characteristics of the particles to be treated and the water quality. However, it is still not possible to predict the optimal coagulant for every water type, which necessitates laboratory testing followed by large-scale validation.

The effectiveness of coagulants is directly related to the valence of the cations used: monovalent ions are less effective than divalent or trivalent ions. According to the Schulze-Hardy rule, the coagulation efficiency increases with the ion valence [63]. The most effective coagulants are metal salts, particularly those based on aluminum or iron.

Once colloidal particles are destabilized, they tend to aggregate upon contact, leading to the formation of larger flocs and a reduction in the number of suspended particles [64]. This destabilization phase is followed by flocculation, during which flocculating agents may be used to reinforce this aggregation.

II.5. Types of coagulants used in water treatment

In the water treatment process, different types of coagulants are used to enhance treatment efficiency by facilitating the removal of suspended particles, colloidal matter, and microorganisms. However, the wastewater must contain dissolved oxygen for the reaction to occur. The efficiency of these coagulants, with or without coagulant aids, depends on the water's pH and temperature [65]. The most commonly used coagulants are :

II.5.1. Traditional coagulants

In water treatment, various coagulants improve the removal of suspended particles, colloids, and microorganisms. The most common traditional coagulants include aluminum sulfate and iron

salts such as ferric chloride and ferric sulfate. These coagulants are particularly effective due to their ability to rapidly neutralize the charge on colloidal particles.

- **Aluminum sulfate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$):** Mainly used for water clarification, it is effective in coagulating both organic and inorganic matter.
- **Ferric chloride (FeCl_3) and ferric sulfate ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$):** These iron salts are particularly effective in treating waters containing organic matter and heavy metals [66].

II.5.2. Natural and Eco-friendly Coagulants

Bio-coagulation is an emerging technology that enables the collection of extremely fine particles and differs from well-known processes such as biosorption, bioaccumulation, and biotransformation: in bio-coagulation, particles are very small and solid, whereas in other processes, minerals dissolve and ions are adsorbed or accumulated [67]. Common natural coagulants used in water treatment include [68]:

- **Chitosan:** Derived from crustacean shells
- **Indupa:** Derived from Indupa seeds
- **Moringa oleifera:** Derived from Moringa oleifera seeds

II.6. Factors influencing Coagulation-Flocculation efficiency

II.6.1. Influence of pH and Ionic Strength

pH is considered one of the most important factors during coagulation-flocculation operations. It has a major effect on coagulation. It is also important to note that adding a coagulant often alters the water's pH. This change must be managed to keep the pH within the optimal coagulation range, where coagulation occurs rapidly. Coagulation at a non-optimal pH can significantly increase coagulation time [57] and affect the flocculation time [69]

II.6.2. Effect of coagulant dose

The dosage of coagulant is a critical parameter. Since coagulants are typically strongly acidic, they tend to lower the water's pH. To maintain optimal pH, acids or bases may be added. Excessive coagulant dosing causes restabilization of particles and increases operational costs,

while insufficient dosing leads to poor treated water quality. The optimal dose cannot be easily determined.

Practically, the optimal coagulant dose can be determined either by measuring the zeta potential (which requires expensive equipment) or by a laboratory test known as the “Jar Test” [57].

II.6.3. Temperature and hydrodynamic conditions

Temperature is a crucial physical factor influencing coagulation and flocculation efficacy. Lower temperatures increase water viscosity, which reduces floc formation rate. In winter, flocs tend to be more fragile and less dense, complicating their separation from water.

Temperature also significantly reduces chemical reaction rates, including coagulation reactions. Additionally, water pH tends to decrease as temperature drops, especially when coagulant doses are low.

To overcome challenges related to low temperatures, it is generally recommended to keep the water pH as close as possible to the optimal coagulation pH. This can be achieved by increasing the coagulant dose, which not only enhances particle collision probability but also compensates for the pH variation effect, thereby improving coagulation efficiency despite low temperatures [70].

II.6.4. Agitation speed and time

When coagulant is introduced into water, rapid mixing is performed to disperse and homogenize the solution. However, prolonged agitation leads to re-stabilization of the aggregated system by breaking the bonds between the coagulant and particle surfaces and causing the collapse of extended particle segments [71]

II.6.5. Influence of turbidity

Turbidity is also a significant parameter influencing coagulation efficiency. Within a certain turbidity range, an increase in particle concentration should be followed by an increase in coagulant dose. When water turbidity is too low, particle concentration can be increased by adding clays. During heavy rainfall, increased suspended solids promote better settling. Finally, to enlarge and weigh down the floc, a flocculation aid is added [72].

II.6.6. Dissolved salts

Salts present in water influence coagulation by causing:

- A change in the optimal pH range.
- A change in the required coagulant dose.

II.7. Advantages and disadvantages of Coagulation-Flocculation

Chemical coagulation-flocculation systems are generally automated, requiring minimal supervision and maintenance. Highly skilled labor is often not necessary. Significant reductions are achieved for micropollutants, heavy metals, bacteria, and viruses [73].

II.7.1. Advantages

- **High efficiency:** Coagulation-flocculation is one of the most effective techniques for removing suspended solids and colloids, especially micropollutants.
- **Simplicity:** The process is relatively simple to implement and can be easily integrated into existing water treatment systems.
- **Versatility:** Effective for treating a wide range of pollutants, including pharmaceutical residues, heavy metals, organic matter, and other common contaminants.
- **Cost-effectiveness:** Coagulants and flocculants are generally inexpensive, and operating costs are relatively low.

II.7.2. Disadvantages

- **Sludge production:** The process generates sludge that requires further treatment, potentially increasing operational costs and environmental impact.
- **Variable efficiency:** Process efficiency can be influenced by factors such as pH, temperature, and water composition.
- **Chemical usage:** The use of chemicals such as aluminum sulfate or ferric chloride can pose environmental concerns, although natural alternatives exist.

II.8. Method for the Preparation of Commercial Ferric Chloride (FeCl₃)

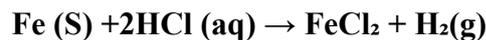
Ferric chloride (FeCl₃) is widely used as a coagulant in water treatment. It is typically produced by reacting metallic iron with concentrated hydrochloric acid. The manufacturing process involves the following steps [74]:

1. Preparation of Hydrochloric Acid Solution

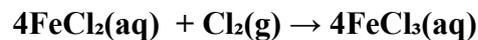
Concentrated hydrochloric acid is diluted with water to prepare a suitable aqueous solution.

2. Reaction with Metallic Iron

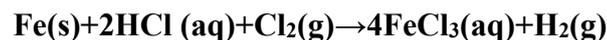
Metallic iron (Fe) is introduced into the hydrochloric acid solution, producing ferrous chloride (FeCl₂) and releasing hydrogen gas:



Then, FeCl₂ is oxidized to ferric chloride (FeCl₃) by exposure to chlorine gas (Cl₂):



The overall reaction can be summarized as:

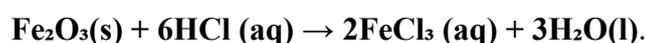


3. Filtration and Concentration

The resulting ferric chloride solution is filtered to remove impurities and concentrated to obtain a commercially viable product.

II.9. Potential for Ferric Chloride Production from Iron Oxide via Acid Leaching

An alternative and simpler method to produce FeCl₃ is by directly reacting iron oxide (Fe₂O₃) with hydrochloric acid. Since iron is already in the +3 oxidation state in Fe₂O₃, there is no need for the intermediate FeCl₂ formation. The reaction is:



This method offers several advantages over the one based on the use of solid metallic iron. First, the reaction is more direct and simpler, as it does not require an additional oxidation step nor the use of gases such as chlorine. Since the iron is already in its oxidized form, the formation of FeCl_3 is accelerated, making the process faster and more efficient. Second, this method significantly reduces safety risks, because the attack of Fe_2O_3 by HCl does not generate hazardous gases, unlike the metallic iron-based method which produces flammable hydrogen gas (H_2) and sometimes requires chlorine gas. Finally, this synthesis route has the advantage of requiring fewer processing steps, making it economically attractive, especially in regions where Fe_2O_3 ore (such as hematite) is abundantly available. After leaching, the ferric chloride (FeCl_3) concentration in the solution is about 140 g/L, with a mass content of 10%.

Conclusion

Coagulation-flocculation is an effective and versatile method for water treatment, particularly in removing suspended solids, colloids, and, to some extent, micropollutants such as pharmaceutical residues. This process relies on well-established mechanisms of charge neutralization and particle aggregation, with its efficiency strongly influenced by the physicochemical parameters of the medium and the nature of the coagulants used.

Recent advances in alternative coagulants, especially those derived from natural resources or iron ores, offer promising perspectives for more sustainable and environmentally friendly treatment. However, coagulation-flocculation also has limitations when dealing with dissolved or less reactive pollutants, which justifies the need to combine or compare it with other techniques such as adsorption or membrane processes. Overall, a better understanding of the factors influencing this process will allow for optimizing its efficiency and expanding its applications, particularly in the context of emerging contaminant treatment.

Chapter III:

*Adsorption in water treatment: mechanisms
and applications*

Introduction

Adsorption is a key process in wastewater treatment, enabling the effective removal of various pollutants. This chapter presents the types and mechanisms of adsorption, the influencing factors, and the modeling through classical isotherms. Special attention is given to biochar, a promising adsorbent material derived from biomass, due to its environmental and economic performance.

III.1. General concepts of adsorption

III.1.1. Definition of adsorption

Adsorption is a physicochemical surface phenomenon that occurs through a change in concentration at the interface between two immiscible phases, typically gas/solid or liquid/solid. This process involves a mass transfer of the adsorbate (a compound present in the gaseous or aqueous phase) to the surface of a solid material, known as the adsorbent, where it becomes fixed. This fixation is accompanied by the release of energy in the form of adsorption heat, characteristic of the system under study.

Adsorption imparts specific surface properties to the solid (hydrophilic or hydrophobic), which can influence the surrounding medium's equilibrium, notably by promoting phenomena such as dispersion or flocculation. Thus, the solid on which adsorption occurs is referred to as the *adsorbent*, while the compound being adsorbed, whether liquid or gaseous, is called the *adsorbate* [75].

III.1.2. Types of adsorption

The fixation of a dissolved element in water onto the surface of a solid particle involves several mechanisms and types of interactions, including covalent bonds, electrostatic interactions, and Van der Waals forces. Depending on the nature of these interactions, two main types of adsorption are distinguished:

- Physical adsorption (physisorption), dominated by weak forces, primarily Van der Waals forces;
- Chemical adsorption (chemisorption), characterized by the formation of stronger and generally irreversible chemical bonds [76].

III.1.2.1. Physical Adsorption (Physisorption)

Physical adsorption is a reversible process resulting from weak physical interactions between solute molecules (adsorbate) and the surface of the solid (adsorbent). These interactions are mainly ensured by Van der Waals forces, which do not involve any alteration of molecular entities and have relatively low interaction energy (on the order of a few kJ/mol). This type of adsorption corresponds to a surface condensation of molecules and is favored at low temperatures due to its exothermic nature [77].

III.1.2.2. Chemical adsorption (Chemisorption)

Chemical adsorption, on the other hand, is based on the formation of strong chemical bonds, often covalent, between the adsorbate and the surface of the adsorbent. This phenomenon is generally irreversible and is characterized by significantly higher adsorption energies, ranging from 40 to 200 kJ/mol, compared to less than 40 kJ/mol for physisorption.

Unlike physisorption, chemisorption is favored at higher temperatures and involves a more significant release of heat, making it a highly exothermic process. However, both types of adsorption often coexist in practice [78].

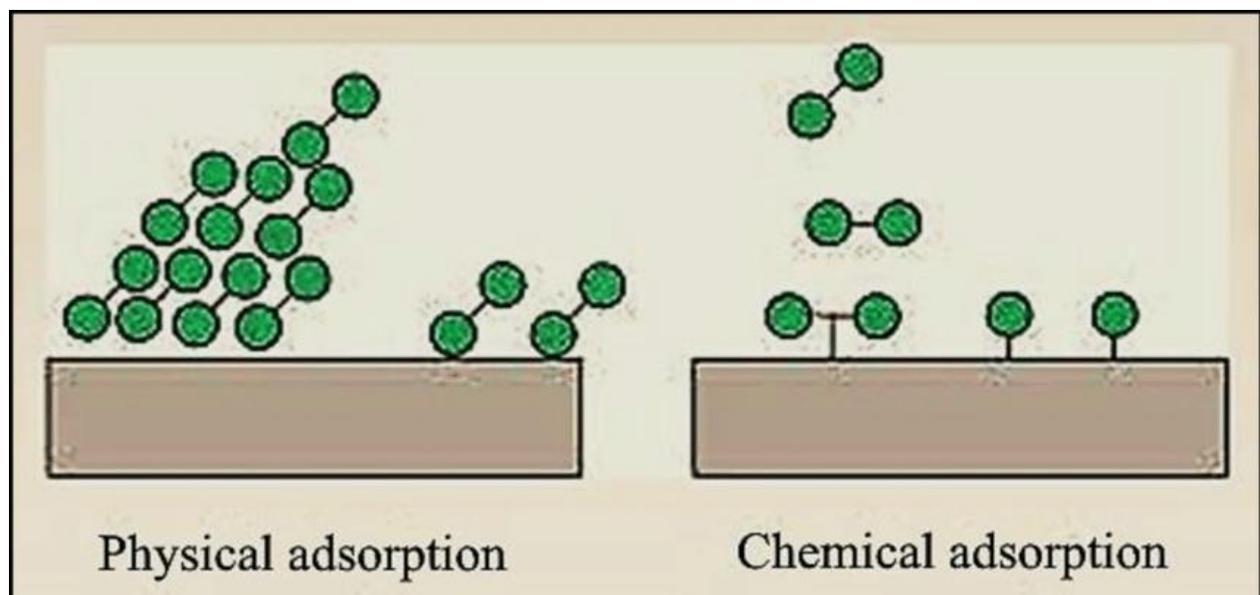


Figure III. 1: Physical and chemical adsorption [79].

III.1.3. Adsorption mechanism and kinetics

The transfer of a solute from a liquid phase containing the adsorbate to a solid phase (the adsorbent), with retention of the solute on the surface of the latter, occurs through several successive steps (Figure III.2). One or more of these steps may be the rate-limiting factor in the overall kinetics of the adsorption process:

1. External mass transfer (or film diffusion):

This step corresponds to the movement of adsorbate molecules from the bulk of the solution to the external surface of the adsorbent particles. It mainly depends on agitation and surface concentration.

2. Internal mass transfer (or intraparticle diffusion):

Once the molecules reach the surface of the adsorbent, they penetrate into the pores of the solid particle. They then diffuse through the interstitial fluid within the pores, from the outer edge toward the internal zones.

3. Surface diffusion:

In some cases, additional migration of the adsorbed molecules may occur along the inner pore walls. This diffusion at the solid scale can influence the distribution of the adsorbate on the adsorbent.

4. Actual adsorption:

This is the final step, during which the solute molecules attach to the active surface of the adsorbent via physical or chemical interactions [80].

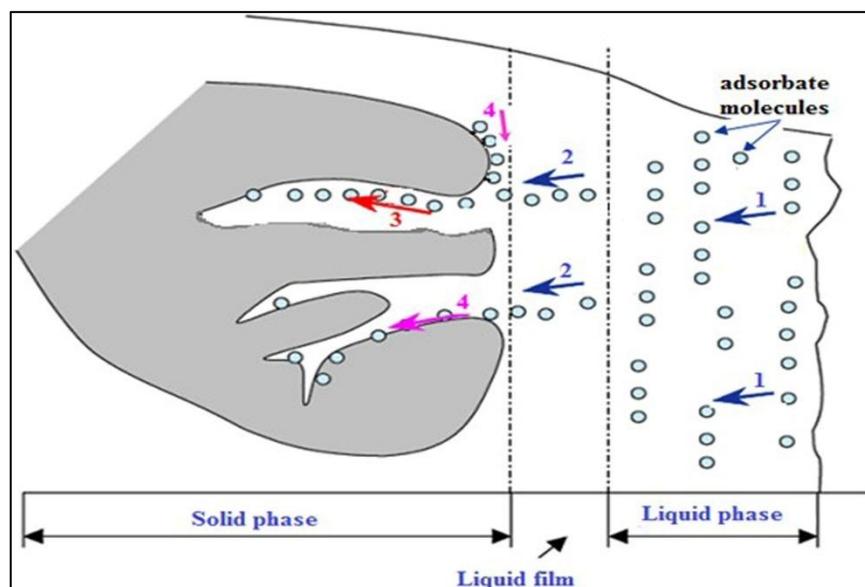


Figure III. 2: Transport mechanism of adsorbate within a particle [80].

III.1.4. Factors influencing adsorption

The effectiveness of the adsorption process depends on several physicochemical parameters that influence both the retention capacity of the adsorbent and the process rate. These factors must be carefully controlled to optimize adsorption performance, particularly in water treatment applications. The main influencing factors are [81]:

❖ Nature of the Adsorbent

The physical and chemical properties of the adsorbent play a key role in the adsorption process. This includes:

- **Specific surface area:** A higher surface provides more active adsorption sites.
- **Porosity:** The pore size, volume, and distribution influence molecule diffusion and accessibility to internal sites.
- **Surface chemical composition:** The presence of functional groups (e.g., hydroxyl, carboxyl, carbonyl) can enhance specific interactions (hydrogen bonding, electrostatic interactions, etc.).
- **Hydrophilic or hydrophobic nature of the surface:** Determines the ability to retain polar or nonpolar molecules.

❖ Characteristics of the Adsorbate

The physicochemical properties of the adsorbate also significantly affect its interaction with the adsorbent:

- **Molecular size:** Bulky molecules may struggle to enter micropores.
- **Polarity and solubility:** These affect competition with water molecules and the ability to interact with adsorbent sites.
- **Electric charge:** Determines electrostatic interactions with the adsorbent, especially depending on the pH of the medium.

❖ Solution pH

The pH affects:

- **The surface charge of the adsorbent** (through its point of zero charge, pH_{pzc})
- **The ionization state of the adsorbate**, and thus the electrostatic interactions between them.

For example, an acidic pH may enhance adsorption of basic molecules and vice versa.

❖ Temperature

Temperature influences both the kinetics and thermodynamics of adsorption:

- In **physisorption**, high temperature may reduce efficiency by favoring desorption.

- In **chemisorption**, increasing temperature may enhance adsorption capacity. Thermodynamic studies can determine whether the process is endothermic or exothermic.

❖ Initial Concentration of Adsorbate

A higher solute concentration increases the probability of collision with active sites, though saturation may occur beyond a certain threshold. This factor is also crucial for adsorption isotherm modeling.

❖ Contact Time

Time affects the amount of adsorbate fixed on the adsorbent. Sufficient duration is required to reach adsorption equilibrium, beyond which maximum capacity is attained.

❖ System Agitation

Agitation helps reduce resistance to external mass transfer and improves access to the active sites of the adsorbent, thus enhancing process kinetics.

III.2. Adsorption isotherm modeling

Various mathematical models have been developed to represent adsorption equilibrium. The most commonly used models are:

III.2.1. Langmuir adsorption isotherm

Established in 1918, this monolayer adsorption model is based on the following assumptions:

- The molecule is adsorbed on a well-defined site of the adsorbent (localized adsorption),
- Each site can hold only one molecule,
- The adsorption energy is the same for each site and is independent of the presence of molecules on neighboring sites (no interactions between adsorbed molecules) [82].

$$q_e = \frac{x}{m} = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad \text{(III.1)}$$

where

- q_e : amount of adsorbate adsorbed per unit mass of adsorbent ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).
- X : mass of adsorbed adsorbate (mg).
- m : mass of adsorbent (g).

- q_m : maximum adsorption capacity of the adsorbent, also called ultimate capacity ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).
- b : Langmuir constant related to the affinity of the binding sites ($1/\text{mg}$).
- C_e : equilibrium concentration of the adsorbate in the liquid phase ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) [82].

The linearized form of this equation is (Equation III.2):

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m b} \quad (\text{III.2})$$

III.2.2. Freundlich isotherm

In 1926, Freundlich established a highly satisfactory isotherm that can be successfully applied to gas adsorption but has been primarily used for adsorption in diluted solutions. He observed that the mechanism of this process is rather complex due to surface heterogeneity, which causes the heat of adsorption to vary. The Freundlich equation is written as follows: (Equation III.3)

$$Q_e = \frac{x}{m} = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (\text{III.3})$$

K_f and n are Freundlich constants that must be evaluated for each solution and each temperature, and they are unique for a given compound. K_f characterizes the adsorptive capacity of the support, while $1/n$ indicates the affinity of the solute for the adsorbent [80].

The Freundlich equation is especially useful in its logarithmic form: (Equation III.4)

$$\log(Q_e) = \log(K_f) + \frac{1}{n} \log C_e \quad (\text{III.4})$$

III.2.3. Temkin isotherm

The Temkin isotherm considers the fact that the heat of adsorption of all the molecules in the adsorption layer decreases linearly with surface coverage due to decreasing adsorbate–adsorbent interactions. Therefore, adsorption is characterized by a uniform distribution of binding energies on the surface. The Temkin isotherm is expressed as (Equation III.5) [79]:

$$q_e = (RT / b) \ln(Kt \cdot C_e) \quad (\text{III.5})$$

Or in its linear form:(Equation III.6)

$$q_e = B1 \ln Kt + B1 \ln C_e q \quad (\text{III.6})$$

Where: $B1 = RTbt'$ (J/mol), is the Temkin constant related to the heat of sorption and Kt (L/g), is the equilibrium binding constant corresponding to the maximum binding energy.

III.3. Adsorption on biochar

III.3.1. Definition of biochar

The term "biochar" comes from the English combination of "bio" (plant-based) and "charcoal", but it should not be confused with traditional charcoal. Unlike the latter, biochar is intended for agricultural and environmental uses rather than combustion. It has a large porous surface but a variable surface composition and lacks PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons), making it safer for the environment [83].

III.3.2. Biochar Production

Biochar is produced via a process known as **pyrolysis**, which involves heating biomass in the absence or near-absence of oxygen. This thermal treatment generates a carbon-rich solid residue (biochar). The main steps in biochar production are as follows [84]:

1. Preparation of Biomass

- The raw material may come from plant waste (wood, straw, agricultural residues), organic sludge, or animal waste.
- It is usually dried and ground to obtain uniform particle size and reduce moisture content.

2. Pyrolysis

- The biomass is heated between 300 °C and 700 °C in a sealed reactor (e.g., pyrolysis furnace, rotary kiln).
- The absence of oxygen prevents combustion and allows transformation into biochar.
- The temperature and duration of pyrolysis greatly influence biochar quality (porosity, surface area, chemical composition, etc.).

3. Cooling and Collection

- After pyrolysis, biochar is cooled in an oxygen-free environment to avoid oxidation.
- It is then sieved, stored, or activated depending on its intended use (agriculture, adsorption, pollution control...).

4. Activation of Biochar

Biochar production can be optimized by adjusting several operating parameters such as temperature, pyrolysis duration, treatment atmosphere, and biomass type. Chemical or thermal activation significantly improves its adsorption properties by increasing surface area and porosity and by modifying surface functional groups. These modifications enhance biochar's performance in pollution control applications, especially for adsorbing dyes, heavy metals, and pharmaceuticals. Two main activation methods exist:

- **Thermal (or Physical) Activation:**

Biochar is heated to high temperatures (700–900 °C) in the presence of activating gases such as steam or carbon dioxide (CO₂). This process improves porosity, removes volatile matter, and increases surface area. It is a simple method that requires no chemicals but has a major drawback: high energy consumption, which raises production costs.

- **Chemical Activation:**

This involves impregnating biochar with chemical agents (acids, bases, or metal salts), either before or after pyrolysis. It significantly enhances porosity and introduces functional groups on the biochar surface, improving interactions with pollutants. Although effective, this method requires thorough washing to remove residual chemicals and prevent contamination.

III.3.3. Environmental and functional benefits of biochar adsorption

Biochar adsorption offers many advantages, making it a preferred choice for various environmental and industrial applications. Key benefits of using biochar for pollutant adsorption include [85]:

1. Excellent Adsorption Capacity:

Biochar has a highly developed porous structure, which can be further enhanced through thermal or chemical activation. This gives it a high specific surface area, allowing efficient adsorption of a wide range of pollutants such as dyes, heavy metals, and pharmaceuticals.

2. Eco-Friendly and Sustainable Solution:

Biochar is made from biomass, often derived from agricultural waste or organic residues, making it a renewable and eco-friendly resource. Moreover, its use contributes to carbon sequestration, helping to reduce the carbon footprint of industrial processes while improving soil quality.

3. Low Cost:

Compared to other adsorbent materials like activated carbon, biochar is relatively inexpensive to produce, especially when made from abundant biomass. Its low cost makes it an economical option for large-scale wastewater and soil treatment.

4. Reusability and Regeneration:

A major advantage of biochar is its ability to be regenerated. After adsorbing pollutants, it can be reused following a relatively simple regeneration process, which lowers long-term costs and reduces environmental impact by avoiding material waste.

5. Soil Quality Improvement:

Beyond its pollutant-removal properties, biochar can enhance soil quality. It improves water retention, soil structure, and nutrient-holding capacity, thereby supporting better agricultural productivity and sustainable land management.

6. Safety and Non-Toxicity:

Biochar is a stable and non-toxic material, making it particularly suitable for sensitive applications such as drinking water treatment or agricultural environments. Its safety profile is a key factor in its growing adoption.

Conclusion

Adsorption, supported by appropriate models, is a reliable method for water pollution control. Biochar, as an eco-friendly and cost-effective adsorbent, strengthens this sustainable approach. Its use paves the way for innovative and environmentally respectful solutions in wastewater treatment.

Experimental section

Chapter IV:
Materials and methods

Introduction

This chapter describes the various experimental steps implemented in this work. It includes the preparation of solutions, the synthesis of ferric chloride from iron ore, the preparation and characterization of pumpkin peel-derived biochar, as well as the protocols for coagulation-flocculation and adsorption tests.

IV.1. Synthesis of Ferric Chloride

IV.1.1. Sampling

For this research, the iron ore sample was obtained from the El Ouenza mine, Chagora Sud sector. Samples weighing approximately 01 to 05 kg were collected exclusively from the mineralized body, with a 50-meter spacing between each sampling point. The sample batches were labeled, stored in double plastic bags, and sent to the laboratory for preparation and preliminary determination of average major element content (iron). No preservative agents were added.

IV.1.2. Preparation of iron ore

The raw iron ore was first dried in an oven at 100 °C for 24 hours to eliminate residual moisture. After cooling, it was crushed and homogenized to ensure a uniform chemical composition. The crushed material was then sieved to obtain a fine particle size fraction ≤ 0.063 mm, considered favorable for efficient leaching.

IV.1.3. Acid leaching

Leaching was carried out by contacting 10 g of prepared ore with 100 mL of hydrochloric acid (HCl) of predetermined molarity in a 250 mL conical flask. The mixture was stirred using a magnetic stirrer at 80 °C for 120 minutes under a glass lid to minimize evaporation. After the reaction, the mixture was allowed to settle, then filtered using a Büchner system with 0.45 μm porosity filter paper. The resulting solution was stored for use as a coagulant.

IV.2. Preparation of biochar

Pumpkin peels were carefully washed with deionized water, cut into small pieces, and air-dried. They were then pyrolyzed in a DAIHAN furnace at 500 °C for 1 hour under low-oxygen conditions, with a heating rate of 10 °C/min. The resulting material was soaked in 0.05 M HCl to neutralize residual basic ashes, then rinsed until a pH between 6.5 and 7 was achieved. The

sample, designated PB-500, was dried at 80 °C for 24 h, ground, and sieved using a 1 mm electronic sieve (KARP MACHINERY).

IV.3. Material characterization

IV.3.1. Elemental analysis (XRF)

The chemical composition of the ore was determined by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) to identify major and minor elements.

IV.3.2. pH Point of Zero Charge (pHpzc)

The pH_{pzc} of the biochar was determined using the pH drift method. 25 mg of biochar were added to 25 mL of 0.01 M NaCl solution, adjusted to an initial pH between 2 and 11. After 6 hours of stirring, the final pH was measured. The pH_{pzc} value was identified at the intersection of the $\Delta\text{pH} = f(\text{pHi})$ curve

IV.3.3. FTIR Analysis

FTIR spectroscopy (Shimadzu-8400S) was used to analyze the functional groups present on the biochar before and after adsorption. Samples were prepared by compressing 1 mg of biochar with 200 mg of KBr, and spectra were recorded in the range 400–4000 cm^{-1} .



Figure IV. 1: Infrared spectroscopy- SGIMADZU-8400S.

IV.4. Preparation of the ibuprofen solution

A stock solution of ibuprofen was prepared by dissolving one commercial tablet containing 600 mg of active ingredient in distilled water under magnetic stirring until complete dissolution.

The pH of the solution was adjusted to 7 using HCl or NaOH (0.1 M) to simulate neutral environmental conditions.

IV.5. Preparation of diluted solutions

Diluted solutions of ibuprofen, commercial ferric chloride, and synthesized ferric chloride were prepared from the stock solution according to the dilution law using distilled water:

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

C_1 : Concentration of the stock solution (mg/L).

V_1 : Volume of stock solution to be taken (L).

C_2 : Concentration of the diluted (working) solution (mg/L).

V_2 : Volume of the diluted (working) solution (L).

IV.6. Coagulation-Flocculation tests

The coagulation-flocculation tests were carried out in 500 mL beakers containing the ibuprofen solution to be treated. The protocol followed was as follows:

- **Coagulation:** Rapid stirring at 200 rpm for 3 minutes after the addition of the coagulant (synthesized ferric chloride)
- **Flocculation:** Slow stirring at 45 rpm for 15 minutes
- **Sedimentation:** Resting for 30 minutes to allow the flocs to settle
- **Filtration:** The supernatant was filtered using a 0.45 μm pore filter for analysis

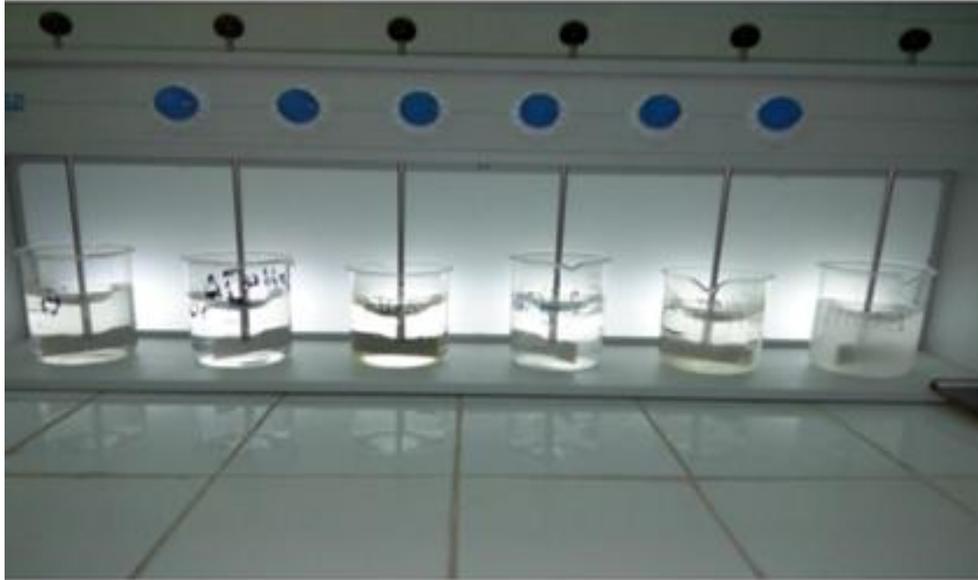


Figure IV. 2: Coagulation-flocculation tests for ibuprofen.

IV.7. Adsorption tests

The adsorption experiments were conducted in batch mode using 100 mL beakers containing 50 mL of ibuprofen solution and $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ of biochar. Stirring was maintained at 1000 rpm at $20 \text{ }^\circ\text{C}$ for a specified time. After adsorption, the solutions were vacuum filtered through $0.45 \text{ }\mu\text{m}$ filters and analyzed.

The studied parameters included:

- **Contact time** (2 to 180 min)
- **Solution pH** (2 to 12)
- **Initial ibuprofen concentration** (2 to $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
- **Adsorbent dosage** (0.2 to $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)

The amount of ibuprofen adsorbed at a given time (q_t) and at equilibrium (q_e) in mg/g, as well as the removal efficiency ($R\%$), were determined using the following equations, where C_0 , C_t , and C_e represent the ibuprofen concentrations (mg/L) at initial time, at time t , and at equilibrium respectively. V (L) is the volume of the ibuprofen solution and m (g) is the mass of biochar used:

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

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

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

IV.8. Combined Coagulation-Flocculation and adsorption tests

To optimize ibuprofen retention in wastewater, experiments were conducted combining both studied processes: coagulation-flocculation with synthesized ferric chloride and adsorption using pumpkin peel biochar. Two application modes were explored: sequential combination and simultaneous combination.

IV.8.1. Sequential combination

This mode involves applying both treatments successively to benefit from the specific advantages of each process. The procedure was as follows:

Step 1 – Coagulation-Flocculation:

- 200 mL of ibuprofen solution with known concentration was placed in a 500 mL beaker.
- The synthesized ferric chloride coagulant was added, followed by rapid stirring at 200 rpm for 3 minutes (coagulation), then slow stirring at 45 rpm for 15 minutes (flocculation).
- The suspension was left to settle for 30 minutes.

Step 2 – Adsorption on Biochar:

- The clear supernatant obtained was transferred into another beaker containing a precise dose of biochar ($0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$).
- Stirring was maintained at 1000 rpm for a specified time at room temperature.
- After adsorption, the solution was filtered through a $0.45 \mu\text{m}$ filter for residual ibuprofen analysis.

This process aims to first remove the easily coagulable organic matter, followed by adsorption of remaining residues, enabling a more advanced treatment.

IV.8.2. Simultaneous combination (One-Step Process)

In this approach, both treatments are applied concurrently in a single reaction system to investigate potential synergistic effects and optimize treatment time:

- 200 mL of ibuprofen solution was placed in a 500 mL beaker.
- The coagulant (synthesized ferric chloride) and the required amount of biochar were added simultaneously.

- Rapid stirring was applied at 200 rpm for 3 minutes, followed by slow stirring at 45 rpm for 15 minutes.
- A 30-minute sedimentation period was respected.
- Finally, the clarified solution was vacuum filtered through a 0.45 μm system, and the sample was analyzed.

This method aims to benefit from potential interactions between coagulation flocs and adsorbent particles to improve overall ibuprofen retention efficiency in a single treatment cycle.

IV.9. Quantitative Analysis of Residual Ibuprofen

IV.9.1. Ibuprofen Determination Method

The residual concentrations of ibuprofen were determined by UV/Visible spectrophotometry.

UV-Vis spectrophotometry is based on the interaction of light radiation and matter in the near-ultraviolet (UV) to near-infrared (IR) range (180–1100 nm). While this range provides little structural information, it is very important for quantitative analysis. Absorbance calculations of compounds in the UV-Vis range, based on the Beer-Lambert law, form the basis of the method generally known as colorimetry when recorded in the visible range.

Analysis by UV-Vis spectrophotometer relies on the fact that a colored solution traversed by a light beam transmits a fraction of the incident light. The amount of light absorbed is proportional to the concentration of the colored compound, as expressed by the Beer–Lambert law:

$$A = \epsilon \cdot c \cdot \ell \quad (\text{IV.5})$$

Where:

- ϵ : Molar absorption coefficient ($\text{L}/\text{mol}\cdot\text{cm}$) at wavelength λ
- c : Molar concentration of the absorbing species (mol/L)
- ℓ : Path length of the cuvette (cm)

Since the spectrophotometer detector saturates at absorbance values greater than 3, it is necessary to dilute highly concentrated samples prior to measurement.

The maximum absorption wavelength (λ_{max}) of ibuprofen was obtained by spectral scanning from 200 to 1200 nm. The spectrum clearly showed a maximum absorbance at **220 nm**.



Figure IV.3: UV/Vis spectrophotometer (photoLab 7600 UV-VIS)

IV.9.2. Calibration Curve

To establish the calibration curve, a series of solutions with varying concentrations were prepared. These solutions were analyzed by UV/Visible spectrophotometry, and the absorbances corresponding to each concentration were determined at $\lambda_{\text{max}} = 220 \text{ nm}$.

Table IV.1: Absorbance of ibuprofen diluted solutions measured by UV/Visible spectrophotometry.

C (mg/L)	0	0.1	0.2	0.5	1	2	4	6	8	10
Abs	0	0,17	0,236	0,47	0,667	1,427	3,13	4,68	6,16	7,76

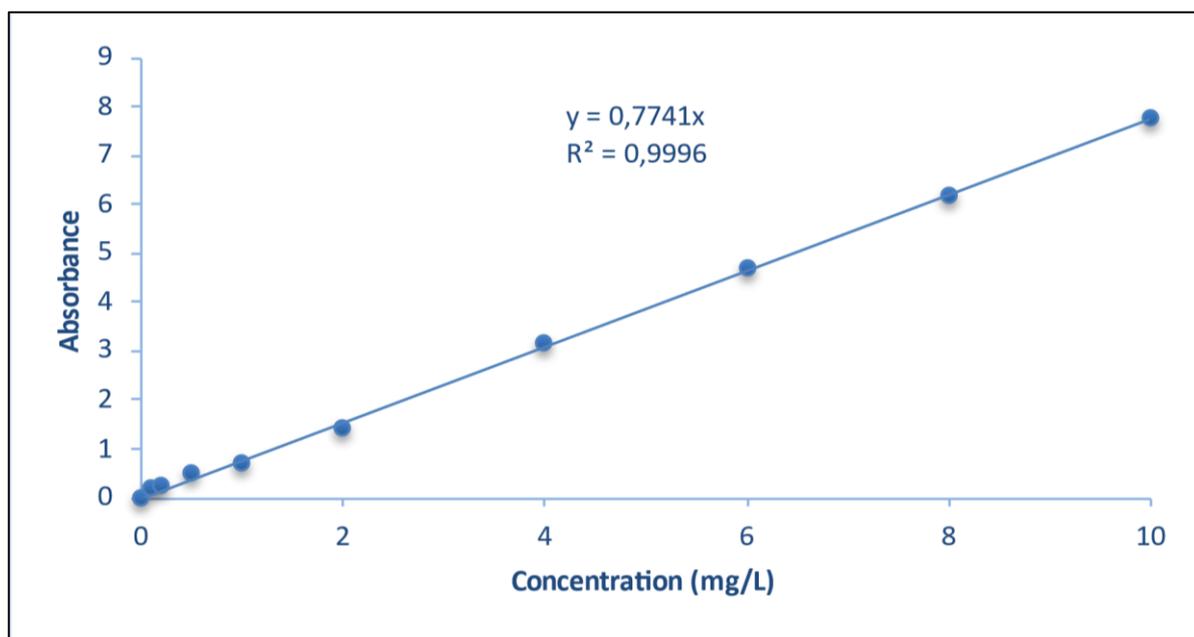


Figure IV.4: Ibuprofen calibration curve.

The resulting curve is linear, indicating a direct relationship between absorbance and concentration, with a very high correlation coefficient. The observed coefficient of determination ($R^2 = 0.9996$) confirms that the molar extinction coefficient remains constant throughout the concentration range studied. The linear equation of the calibration curve is:

$$Y = 0,7741 X$$

(III.6)

General conclusion

General conclusion

The development of alternative coagulants from natural and low-cost resources, such as hematite, represents a promising approach from economic, environmental, and technological perspectives. By replacing traditional coagulants—often expensive and sometimes difficult to access—with locally available materials, this project proposes a more accessible and sustainable solution for wastewater treatment.

At the same time, the valorization of organic waste, such as pumpkin peels, for biochar production is a relevant circular economy strategy. This approach not only reduces the cost of treatment materials but also gives a second life to often overlooked residues.

The study conducted on the development of a hematite-derived coagulant and its application for the retention of pharmaceutical compounds in liquid effluents demonstrated the strong potential of this approach. Experimental results confirmed the effectiveness of the coagulant synthesized from Ouenza iron ore, particularly for the removal of ibuprofen and ciprofloxacin. Its performance, comparable or even superior to that of commercial FeCl_3 at lower doses, highlights its practical value.

Analyses revealed a high Fe_2O_3 content (71.50%) in the raw iron ore, as well as the confirmed presence of hematite (FTIR band at 546.78 cm^{-1}), validating its suitability for ferric chloride synthesis. Moreover, the biochar produced from pumpkin peels features a surface rich in active functional groups (hydroxyls, carbonyls, aromatics, etc.) and a point of zero charge (pHpzc) of 6.84, favorable for adsorption depending on the medium's pH.

The coagulation-flocculation study highlighted an optimal ibuprofen retention efficiency at a concentration of 10 mg/L, with a removal rate close to 90%, particularly under strongly acidic conditions (\approx pH 2). The synthesized FeCl_3 exhibited better stability in a slightly less acidic environment, suggesting greater adaptability under various treatment conditions.

As for adsorption on biochar, it demonstrated a rapid kinetic, reaching equilibrium in less than 30 minutes, indicating strong affinity between the pollutant and the adsorbent material. This behavior confirms the interest in biochar as a simple, economical, and effective solution for treating pharmaceutical effluents.

Finally, the study on combining coagulation-flocculation and adsorption processes for ibuprofen retention—whether in simultaneous or cascade configuration, using commercial or synthesized FeCl_3 —enabled a clearer assessment of the relative effectiveness of each step.

Experimental results clearly showed that coagulation-flocculation is the primary removal mechanism for ibuprofen, accounting for most of its retention. In contrast, adding an adsorption step, whether applied before, after, or simultaneously with coagulation, resulted in only marginal improvement or even a reduction in overall treatment efficiency. This performance drop may be due to unfavorable interactions between biochar and FeCl_3 , suggesting possible selectivity or competition between the biochar's active sites and the coagulant. Thus, under the studied operating conditions, integrating adsorption as a complementary step does not appear technically justified and may unnecessarily increase the process cost and complexity.

In light of the results obtained, several improvement paths can be considered. Optimizing the synthesis conditions of FeCl_3 from local hematite could enhance its efficiency and stability across a broader pH range. Additionally, exploring other local mineral resources as alternatives to hematite is worth considering. Regarding biochar, physico-chemical modifications could improve its adsorptive performance and reduce unfavorable interactions with coagulants. Since the combination of processes did not show a significant synergistic effect, it should be reconsidered by testing other configurations, such as optimized post-treatment adsorption. It would also be relevant to extend the study to other pharmaceutical micropollutants to evaluate the robustness of the materials. Finally, a techno-economic and environmental assessment, as well as pilot-scale testing, are essential to confirm the feasibility of the developed approach under real treatment conditions.

Reference

References

- [1] Salhi. K "étude de la dégradation des milieux aquatiques par différents types de rejets" Université des Frères Mentouri Constantine 2014 – 2015
- [2] Gwenaëlle. M. état des lieux et impact de la contamination des milieux hydriques par les rejets hospitaliers de médicaments anticancéreux. Sciences pharmaceutiques. 2012. ffdumas-00763099ff
- [3] Nancy A. C. Occurrence et produits de transformation des résidus de médicaments dans l'environnement aquatique (milieu et organismes) par approche ciblée et non-ciblée en spectrométrie de masse. Sciences de la Terre. Université Montpellier, 2019. Français. ffnt : 2019montg082ff.fftetel-02542660ff
- [4] Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (cinquième édition). McGraw-Hill Education, 2014. (Chapiter 6: Chemical Treatment Processes)
- [5] Genesis water technologies Coagulants utilisés dans le traitement de l'eau ,2024. <https://fr.genesiswatertech.com>
- [6] Roig, B, Knappe: présentation and synthesis. Bruxelles. Commission Européenne, 2008.p 45 .
- [7] ANP (Académie nationale de pharmacie), Médicaments et Environnement. Paris,2008.
- [8] Hignite, C., ET Aznaroff, D.L.,. Drugs and drugs metabolites as environmental contaminants : chlorophenoxyisobutirate and salicylic acid in sewage effluent. Life Sciences 1977.
- [9] Miège, C., Favier, M., Brosse, C., Canler, J.P., Coquery, and M., Occurrence of beta blockers in effluents of wastewater treatment plants from the Lyon area and risk assessment for the downstream rivers. Talanta 2006.
- [10] Heberer, T., Occurrence, fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment 2002.
- [11] Bouguebina Zineb, Contribution à l'étude de l'impact des rejets des effluents pharmaceutiques sur un cladocère Daphnia magna. Mémoire Master Gestion durable des Ecosystèmes et protection de l'environnement Université des Frères Mentouri Constantine 2014-2015

- [12] OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques), Daphnia sp. Acute immobilisation test. Guide lines for testing for chemicals 2004.
- [13] Joss, A. Keller, E. Alder, A., C Göbel, A. McArdell, C.S Ternes, T., et Siegrist, H., Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment 2005.
- [14] Mascioli, K., Hibberd, A., et al., Assessment of the interaction between aquatic colloids and pharmaceuticals facilitated by cross-flow ultrafiltration 2007.
- [15] Charuaud, Lise, et al. Occurrence des résidus de médicaments vétérinaires dans les eaux destinées à la consommation humaine : cas de bassins versants bretons. Rapport final, Région Bretagne, 2020
- [16] Hannache R & Zerrouk H Contamination de l'eau potable par les résidus de médicaments. Sources, effets sur la santé humaine et traitements.MémoireMaster Université des Frères Mentouri Constantine 10/10/2020 p:42 4-89
- [17] Sharma, S., & Sharma, V. Ibuprofen. In StatPearls [Internet]. Treasure Island(FL): StatPearls Publishing. Retrieved from2022 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>
- [18] http://www.chemicalbook.com.cn/ProductIndex_en.aspx
- [19] Bionpharma inc.monographie de produit capsules d'ibuprofène, 200 mg (sous forme d'acide libre et de sel de potassium)600 Alexander Road, Suite 2-4B Princeton, New Jersey USA 08540 Date de rédaction : 13 décembre 2016
- [20] Fent, K., Weston, A.A., Caminada, D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. Aquatic Toxicology 76, 2006 p 122-159.
- [21] Cha, J.M., Yang, S., Carlson, K.H., Trace determination of β -lactam antibiotics in surface water and urban wastewater using liquid chromatography combined with electrospray tandem mass spectrometry. Journal of Chromatography 2006, A 1115, 46-57.
- [22] M. Kermia ,A. Elmouatezz Bellah étude des contaminants émergents des systèmes aquatiques :application aux substances pharmaceutiques dans les eaux naturelles et les eaux usées.these doctorat Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène 2017

- [23] Ashton, D., Hilton, M., & Thomas, K. V. Investigating the environmental transport of human pharmaceuticals to streams in the United Kingdom. *Science of the Total Environment*, 333(1–3), 167–184, 2004 .
- [24] Zuccato, E., Castiglioni, S., Fanelli, R. Identification of the pharmaceuticals for human use contaminating the Italian aquatic environment. *Journal of Hazardous Materials*, 122(3), 205–209. 2005
- [25] Dulio, V. and A. Morin Les substances émergentes dans l’environnement. Note de synthèse sur l’état de l’art concernant les produits pharmaceutiques, les cosmétiques et les produits d’hygiène corporelle. Point sur les résidus pharmaceutiques et cosmétiques rejetés dans les milie. rapport final. convention onema ineris ,2009.
- [26] Jean-marc.brignon,aurelien.gouzy ineris, données technico-économiques sur les substances chimiques en france : ibuprofène, drc-11-118962-11078a, 2011. 56 p. (<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>)
- [27] Togola, A. and H. Budzinski , "Multi-residue analysis of pharmaceutical compounds in aqueous samples." *Journal of Chromatography* 2008 A 1177(1): 150-158.
- [28] Agence de l'eau Artois-Picardie. Les médicaments dans les cours d’eau du bassin Artois-Picardie- Résultats de la campagne exploratoire 2010.
- [29] Ternes T.A. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research* 1998 , 32(11), 3245–3260.
- [30] Loos, R., B. M. Gawlik, et al. "EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters." *Environmental Pollution* 2009, 157(2): 561-568.
- [31] Heberer, T. "Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water." *Journal of Hydrology* 2002, 266(3-4): 175-189.
- [32] Sadezky, A., D. Loffler, et al. KNAPPE : Proposal of an environmental indicator and classification system of pharmaceutical product residues for environmental management. knappe Project 2008.
- [33] Anses Campagne nationale d’occurrence des résidus de médicaments dans les eaux destinées à la consommation humaine -Ressources en eaux brutes et eaux traitées 2011.

- [34] Tracol, R. and J. Duchemin, Evaluation de l'occurrence des résidus de médicaments dans un échantillon de nappes souterraines vulnérables du bassin Seine-Normandie utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. AESN/DRASS 14 - Rapport de synthèse 2009.
- [35] Miege, C., J.-M. Choubert, et al. "Le devenir des résidus pharmaceutiques dans les stations d'épuration d'eaux usées." *Techniques - Sciences – Méthodes* 2009,11: 75-94
- [36] Budzinski, H. and A. Togola "Présence des résidus de médicaments dans différents compartiments du milieu aquatique." *Environnement, Risques et Santé* 2006 ,5: 248-253.
- [37] Thomas, K. V., K. Langford, et al. Chapter 3.1 Occurrence of pharmaceuticals in the aqueous environment. *Comprehensive Analytical Chemistry*, Elsevier. Volume 2007, 50: 337-359.
- [38] Morvan, C., Bocquéné, G., Grossel, H., James, A., Marchand, M. Les substances prioritaires de la Direct 2005.
- [39] Bocaly M, impacts des substances pharmaceutiques sur l'eau et les milieux aquatiques mars 2010.
- [40] Michel bouvier médicament et environnement la régulation du environnemental conseil général médicament vis-à-vis du risqué de l'environnement et du développement durable novembre 2010
- [41] Mouna S ▪ Mebarka M etude sur l'élimination des produits pharmaceutiques par adsorption mémoire master université de mohamed el-bachir el-ibrahimi - bordj bou arreridj 2023/2024
- [42] Cleuvers, M. Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology letters* 2003, 142, 185-194.
- [43] Schwaiger J., Ferling H., Mallow U., Wintermayr H., Negele R.D. Toxic effects of the non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac. Part I. Histopathological alterations and bioaccumulation in rainbow trout. *Aquat. Toxicol.* 2004 68: 141-150,
- [44] Halling-Sorensen B., Nors Nielsen S., Lansky P.F., Ingerslev F., Holten Lützhof H.C., Jergensen S.E. Occurrence fate and effects of pharmaceutical substances in the environnement - a review. *Chemosphere* 1998. 36: 357-393

- [45] Maude collette-bregand,alice james, catherine munshy gilles bocquenē Contamination des milieux aquatiques par les substances pharmaceutiques et cosmétiques Département Biogéochimie et Ecotoxicologie Cellule ARC 2009
- [46] Frank-Andreas Weber, Tim aus der Beek, Axel Bergmann (IWW, Muelheim, Allemagne) Les produits pharmaceutiques dans l'environnement – perspective à l'échelle mondiale, German Environment Agency 2014
- [47] Wassim Sebai. Décontamination des eaux contenant des molécules pharmaceutiques par biocatalyse et adsorption sur des monolithes de silice et carbone à porosité hiérarchique. Matériaux. Université Montpellier, 2021. Français. ffnnt : monts014ff. fftel-04167685ff 2021.
- [48] Tran, N.H., M. Reinhard, and K.Y.-H. Gin, Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions-a review. *Water Research*, 2018. 133: p. 182-207.
- [49] Michael, I., et al., Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: A review. *Water Research*, 2013. 47(3): p. 957-995.
- [50] Mailler, R., et al., Study of a large scale powdered activated carbon pilot: Removals of a wide range of emerging and priority micropollutants from wastewater treatment plant effluents. *Water Research*, 2015. 72: p. 315-330.
- [51] Mlle. B amira étude de l'élimination de produits pharmaceutiques par couplage de procédés d'oxydation avancée uv et uv/h₂o₂ thèse de doctorat université des sciences et de la technologie houari boumediene 2019
- [52] Corina B, Elena-Alina O, Monica Magureanu et Grégorio Crini Chapitre XIV. Procédés d'oxydation avancée pour le traitement des eaux p. 417-445 26/11/2020 <https://books.openedition.org/pufc/11177?lang=fr>
- [53] Stackelberg, P.E., et al., Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. *Science of The Total Environment*, 2007. 377(2): p. 255-272.
- [54] Benhamou A , Djediai H "Production d'eau potable" université des sciences et de la technologie d'oran - mohamed boudiaf 2022.

- [55] Mottot Y. Coagulants et Flocculants, 279ème conférence de l'Université de tous les savoirs,2000.
- [56] Cardot C. Les traitements de l'eau pour l'ingénieur - Procédés physico-chimiques et biologiques - Cours et problèmes résolus. 2e édition. Tachnosup 2010.
- [57] Masmoudi toufik incidence de la minéralisation sur l'élimination du mercure par deux procédés physico-chimiques.application à deux effluents résiduaires doctorat en sciences en : hydraulique université mohamed khider – biskra 2018.
- [58] Vigouret J. Le potentiel Zêta et son application dans le domaine de l'eau potable, TSM, 1985, pp : 91,95.
- [59] Bechac J.P., Boutin P., Nuer P., Mercier B., (1984). Traitements des eaux usées, Ed.Eyrolles, Paris, 281p ;Leblanc F. Techniques de l'eau, 2012.
- [60] Elias A étude du Processus de Coagulation-Foculation du système montmorillonite-chitosane dans l'élimination de métaux de transition Université du Québec a montréal mai 2006.
- [61] Lahrech L et Meddour A " amélioration du procédé de traitement des eaux huileuses au niveau du centre de production haoued berkaoui master academique université kasdi-merbah ouargla 2019-2020.
- [62] Louis T Illustration des mécanismes de coagulation et de floculation Collège Shawinigan, 2263, avenue du Collège, Shawinigan, Québec, Canada 2018
- [63] Khou D ,Contribution à l'étude des phénomènes de coagulation – floculation de particules en suspension dans l'eau Application de nouveaux polymères de synthèse , Mémoire magister spécailité Energétiques des procédés Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene 2010.
- [64] Desjardins.r,"le traitement des eaux, 2eme édition revue de l'école polytechnique de montréal, 1990
- [65] Degremont, Mémento technique de l'eau, Lavoisier SAS Lexique technique de l'eau, Paris, dixième édition, 2005
- [66] Haoues N et Soualmia S , Optimisation des doses en coagulant et en flocculant injectés au niveau de la station de traitement de l'eau du barrage Hammam Debagh-Guelma ,Mémoire master universite 08 mai 45 guelma 2022

- [67] Bourezg N & Belguermi A etudes des performances du chitosane comme coagulant pour l'enlèvement de la turbidite des eaux usees mémoire master, université de mohamed el-bachir el-ibrahimi - bordj bou arreridj 2021/2022
- [68] <https://www.ms-protech.com/fr/cms/les-coagulants-mineraux.html>
- [69] Bachouche A : Traitement des eaux usées de la station de déshuilage de Haoud Berkaoui. Mémoire de Master en Génie Chimique. Université Kasdi Merbah Ouargla, 2013,pp 1-12
- [70] Jean- pierre bechac, pierre boutin, bernard mercier, pierre nuer(traitement des eaux usées),1987.
- [71] Melle Moumeni M , Traitement des eaux huileuses par coagulation/ floculation Ecole Nationale Polytechnique Département de Génie Environnement juin 2015.
- [72] Meghzili,M. Boussaa,M. Medjram, Aluminium résiduel et optimisation des étapes de la clarification dans les stations de traitement des eaux. 2012.
- [73] Colin L et all, Évaluationd'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles. Université du Québec; Ecole de technologie supérieure 2008.
- [74] Jacques dugua, michel sibony. production du chlorure ferrique Chloration des métaux et carbochloration des oxydes. Techniques de l'ingénieur 2016.
- [75] Mellah A adsorption de produits pharmaceutiques sur le charbon actif en poudre en vue de leur élimination memoire de magister en génie de l'environnement ecole nationale polytechnique 2012.
- [76] Seghairi N., Possibilités de rétention des matières organiques par adsorption sur la bentonite, mémoire de magistère , Université Mohamed Khider biskra 2006.
- [77] Khamla N couplage coagulation-floculation suivi par l'adsorption sur charbon actif pour élimination du zinc (ii) chargée dans l'eau saumâtre mémoire de master en génie de l'environnement université mohamed khider – biskra 2015.
- [78] Ben Abdi N Elimination d'un composé pharmaceutique (paracétamol) par Adsorption sur charbon actif en eau distillée, spécailité Sciences et Technologies Hydraulique Hydraulique Urbaine Université Mohamed Khider de Biskra 2017 – 2018

- [79] Gharbi H, K et Guentrah K isothermes d'adsorption d'un polluant de l'industrie textile master academique spécailité génie chimique Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem 2020 / 2021
- [80] Kanouri R et Labide A adsorption du phénol sur la bentonite de maghnia mémoire master academique spécailité génie chimique universite kasdi merbah ouargla 2012/2013.
- [81] Reffas A, Etude de l'adsorption de colorants organique (Rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir de marc de café, thèse de doctorat en génie de l'environnement , université de Mentouri Constantine, 2010
- [82] Amirouche L Outioua, Etude du pouvoir de sorption du Cuivre (II), du Zinc (II) et des polyphénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-ondes, mémoire de magister Chimie de l'environnement , université Mouloud Mammeri de tizi-ouzou, 2011
- [83] Lehmann, J., & Joseph, S. (Éds.). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (3e éd.). Routledge, 2024.
- [84] Helen Treichel, Maulin P. Shah, Riti Thapar Kapoor, *Biochar and Its Application in Bioremediation*. Singapour: Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-16-4059-9>, 2022.
- [85] Yan, K., Tang, Y., & Qiu, R. (Eds.). *Fabrication and Applications of Biomass-Derived Porous Carbon*. Routledge ,2024.
- [86] Trivedi, M. K., Nayak, G., Patil, S., Tallapragada, R. M., & Latiyal, O. Studies of the atomic and crystalline characteristics of ceramic oxide nano powders after biofield treatment. *Industrial Engineering & Management*, 4(2). <https://doi.org/10.4172/2169-0316.1000161>, 2015.
- [87] Barkahoum, B., Saadia, G., & Asma, N. Removal of active pharmaceutical compounds in Primalan and Diane using pumpkin biochar: synthesis, characterization, and adsorption study. *RSC Avances*, 15, 3066–3079. <https://doi.org/10.1039/d4ra07917e> , 2025.
- [88] D. Patinai; S. Kumar; S. Bhutan; S. Misha In Effet of carbonisation températures on bio char formation of bambou laves, *IOP Conférence Séries: Matériaux Science and Engineering*, IOP Publishing: 2018; p. 012054.
- [89] U. Younis, A. A. Rahi, S. Danish, M. A. Ali, N. Ahmed, R. Datta, S. Fahad, J. Holatko, T. Hammerschmiedt and M. Brtnicky, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy vibrational bands*

study of *Spinacia oleracea* and *Trigonella corniculata* under bio char amendment in naturally contaminated soil, PLoS One, 2021, 16(6), e0253390.

[90] N. Rouahna, D. B. Salem, I. Bouchareb, A. Nouioua, A. Ouakouak, A. Fadel, N. Hamdi and R. Boopathy, Reduction of crystal violet dye from water by pomegranate peel–derived efficient biochar: influencing factors and adsorption behaviour, Water, Air, Soil Pollut., 2023, 234(5), 324.

[91] K. Kozłowicz, R. Różyło, B. Gładyszewska, A. Matwijczuk, G. Gładyszewski, D. Chocyk, K. Samborska, J. Piekut and M. Smolewska, Identification of sugars and phenolic compounds in honey powders with the use of GC–MS, FTIR spectroscopy, and X-ray diffraction, Sci. Rep., 2020, 10(1), 16269.

[92] B.A.Armynah, Z.Djafar, W. H.Piarah and D. Tahir, Analysis of chemical and physical properties of biochar from rice husk biomass, J. Phys.: Conf. Ser., 2018, 012038.

Summary

Summary

The development of alternative coagulants based on hematite and the valorization of organic waste such as pumpkin peels for biochar production offer a sustainable and cost-effective approach to wastewater treatment. The coagulant synthesized from Ouenza iron ore showed comparable or even superior performance to commercial $FeCl_3$ in removing ibuprofen and ciprofloxacin. The biochar exhibited rapid adsorption kinetics and strong affinity for pollutants. However, combining coagulation and adsorption did not produce a synergistic effect, with adsorption providing only marginal or even negative gains. Further improvements are suggested, including optimizing coagulant synthesis, modifying biochar properties, and testing a broader range of micropollutants. A techno-economic and environmental assessment, as well as pilot-scale validation, is recommended to confirm the feasibility of the proposed approach under real treatment conditions.

Résumé

Le développement de coagulants alternatifs à base d'hématite et la valorisation de déchets organiques comme les pelures de citrouille pour produire du biochar offrent une approche durable et économique pour le traitement des eaux usées. Le coagulant synthétisé à partir du minerai de fer de l'Ouenza a montré une efficacité comparable, voire supérieure, au $FeCl_3$ commercial pour éliminer l'ibuprofène et la ciprofloxacine. Le biochar présente une bonne affinité avec les polluants, avec une cinétique rapide d'adsorption. Toutefois, la combinaison coagulation-adsorption n'a pas montré de synergie, l'adsorption n'apportant qu'un gain marginal, voire réduisant l'efficacité globale. Des pistes d'amélioration sont proposées, notamment l'optimisation des conditions de synthèse du coagulant, la modification du biochar et l'élargissement des tests à d'autres polluants. Une évaluation technico-économique et un passage à l'échelle pilote sont recommandés pour valider cette approche en conditions réelles.

ملخص

يندرج هذا المشروع في مجال معالجة المياه الملوثة، حيث تم خلاله دراسة إزالة الإيبوبروفين من وسط مائي ملوث باستخدام تقنيتين مختلفتين: التخبث-التلبد بواسطة كلوريد الحديد التجاري والمستخلص من معدن الهيماتيت بمنطقة الوزنة، والامتزاز باستخدام الفحم الحيوي المحضر من قشور القرع. وهدف الدراسة هو تقييم فعالية هاتين الطريقتين في إزالة الإيبوبروفين من المياه.

يمثل تطوير مواد تخبث بديلة تعتمد على الهيماتيت، إلى جانب تلمين النفايات العضوية مثل قشور القرع لإنتاج البيوشار، نهجاً مستداماً واقتصادياً لمعالجة مياه الصرف. أظهر المختر المحضر من خام الحديد بمنطقة الوزنة فعالية مماثلة أو تفوقاً على كلوريد الحديد التجاري في إزالة الإيبوبروفين والسيروفلوكساسين. كما تميز البيوشار بسرعة امتزازه وقدرته الجيدة على التفاعل مع الملوثات. ومع ذلك، لم تُظهر عملية دمج التخبث والامتزاز أي تأثير تآزري، حيث كان للامتزاز تأثير محدود أو سلبي على كفاءة المعالجة.

لذلك، يُتترح تحسين شروط تحضير المختر، وتطوير خصائص البيوشار، بالإضافة إلى اختبار فاعلية هذه الطرق على ملوثات دوائية أخرى. كما يُوصى بإجراء تقييم تقني-اقتصادي وبيئي شامل، وإجراء تجارب على نطاق شبه صناعي لتأكيد جدوى هذا النهج في ظروف المعالجة الفعلية.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد خيضر بسكرة

عنوان المشروع

**Élaboration d'un coagulant dérivé de minerais de fer : Une
approche de valorisation pour le traitement de l'eau**

تحضير مادة تخثير مشتقة من خامات الحديد: مقاربة للثمين في معالجة
المياه

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في اطار القرار الوزاري 1275



الاسم التجاري

Chlorure ferrique FeCl₃ Algeria

السنة الجامعية

2024-2025

بطاقة المعلومات
حول فريق الإشراف وفريق العمل

1. فريق الاشراف

فريق الاشراف	
المشرف الرئيسي	التخصص
أسماء نويوة	هندسة الطرائق للبيئة
سعدية قرقازي	علوم الري

2. فريق العمل

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالبة: علواني زهية	هندسة الطرائق للبيئة	علوم و تكنولوجيا



فهرس المحتويات



فهرس المحتويات

1	المحور الأول: تقديم المشروع.....
2	1. فكرة المشروع (الحل المقترح).....
4	2. القيم المقترحة.....
4	3. فريق العمل.....
5	4. اهداف المشروع.....
6	5. جدول زمني لتحقيق المشروع.....
7	المحور الثاني: الجوانب الابتكارية.....
8	1. طبيعة الابتكارات.....
9	2. مجالات الابتكارات.....
10	المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق.....
11	1. عرض القطاع السوقي.....
12	2. قياس شدة المنافسة.....
13	3. التحليل الاستراتيجي للسوق.....
21	المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم.....
22	1. الموقع.....
23	2. احتياجات المشروع.....
26	3. مراحل الإنتاج.....
28	4. التموين.....
29	5. اليد العاملة.....
31	6. الشراكات الرئيسية.....
32	المحور الخامس: الخطة المالية.....
33	1. التكاليف والأعباء.....
35	المحور السادس: النموذج الأولي التجريبي.....
36	1. مراحل انجاز النموذج الأولي.....
38	قائمة الملحقات.....
39	نموذج العمل التجاري.....



مقدمة

تعتبر مشكلة تلوث المياه من أخطر التحديات البيئية التي تواجه العالم اليوم، إذ تسبب الملوثات الكيميائية والبيولوجية الناتجة عن الأنشطة الصناعية والزراعية والمخلفات الحضرية في تدهور نوعية المياه، مما يؤدي إلى آثار خطيرة على البيئة والصحة العامة. تتجلى هذه الآثار في تدمير الأنظمة البيئية المائية، وفقدان التنوع البيولوجي، بالإضافة إلى تعريض الإنسان لمخاطر صحية جسيمة كالأمراض المزمنة والتسمم.

في مواجهة هذا الواقع، تزداد الحاجة إلى حلول فعالة لمعالجة المياه الملوثة، تضمن الحد من تأثيراتها البيئية والصحية. ومن بين الاستراتيجيات المعتمدة، تبرز تقنية التثخير كوسيلة فعالة لإزالة الشوائب والملوثات من المياه، وذلك باستخدام مواد كيميائية قادرة على تجميع الجزيئات العالقة وترسيبها. في هذا الإطار، يُعتبر كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) من أكثر المخثرات استخدامًا بفضل فعاليته العالية وسهولة تطبيقه.

ويهدف تعزيز السيادة الصناعية المحلية وتقليل التبعية للمواد المستوردة، جاء هذا المشروع ليساهم في إنتاج $FeCl_3$ انطلاقًا من خام الهيماتيت المستخرج من حجر الونزة أو من مخلفات تصنيع الحديد ومصادره الثانوية، مثل الأكاسيد، البرادة، والنفايات المعدنية الغنية بالحديد. من خلال مسار تقني واقتصادي مدروس. لا يقتصر هذا التوجه على إيجاد حل بيئي مبتكر لمعالجة المياه، بل يشمل أيضًا تثمين الثروات المعدنية الوطنية ودعم التنمية المستدامة.

تمثل هذه المقاربة خطوة نحو تحقيق التوازن بين التقدم الصناعي وحماية الموارد الطبيعية.



المحور الأول

تقديم المشروع



المحور الأول

تقديم المشروع

1. فكرة المشروع:

مشروعنا يندرج ضمن النشاط الصناعي البيئي، ويهدف إلى إنتاج مادة كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) انطلاقاً من مادة أولية طبيعية محلية وهي الهيماتيت Fe_2O_3 المستخرج من منجم الونزة بولاية تبسة أو من نفايات الحديد ومصادره الثانوية، مثل الأكاسيد، الخبث الصناعي، البرادة، والنفايات المعدنية الغنية بالحديد. يُستخدم هذا المنتج في عدة مجالات ومن أهمها معالجة المياه حيث يستخدم كمخثر فعال في معالجة المياه الملوثة، خاصة في محطات المعالجة والمؤسسات الصناعية والفلاحية.

★ كيف بدأت الفكرة وكيف تطورت:

جاءت فكرة المشروع من ملاحظتنا المتزايدة لتلوث المياه، واستخدام المخثرات التجارية باهظة الثمن في محطات المعالجة. لاحظنا أنه بالإمكان تصنيع مخثر محلي من موارد طبيعية (الهيماتيت Fe_2O_3) وبكفاءة مماثلة أو قريبة جداً من المخثرات التجارية، ولكن بتكلفة أقل بكثير.

بعد دراسة علمية أولية للموارد المحلية، توجه اهتمامنا نحو حجر الونزة (الهيماتيت) بولاية تبسة، الغني بالحديد. وقد تأكدت إمكانية استخراج مادة كيميائية فعالة منه تُستخدم كمخثر في معالجة المياه، وذلك من خلال تفاعل كيميائي يعتمد على عملية الاستخلاص (lixiviation) باستخدام حمض الهيدروكلوريك (HCl). غير أن هذا المصدر لا يُعد الوحيد، حيث يمكن أيضاً استخدام نفايات الحديد ومصادره الثانوية الأخرى مثل البرادة، الأكاسيد، والنفايات المعدنية الغنية بالحديد، مما يمنح المشروع مرونة واستدامة في التزود بالمواد الخام.

★ مالذي سوف نقوم به :

سنقوم بإعداد مخثر فعال لمعالجة المياه انطلاقاً من مادة أولية طبيعية ومحلية وهي الهيماتيت (hématite) المستخرجة من حجر الونزة بولاية تبسة أو من نفايات الحديد. سيتم تحويل هذه المادة إلى كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) باستخدام طرق كيميائية بسيطة وفعالة. يتمتع هذا المخثر بعدة استخدامات في مختلف الصناعات، ومن بينها معالجة المياه، حيث يُستخدم في إزالة الشوائب والمواد العالقة، مما يساهم في تحسين نوعية المياه وجعلها صالحة للاستخدام في الأغراض البشرية، الفلاحية، والصناعية. يهدف مشروعنا إلى توفير حل بيئي وعملي بتكلفة منخفضة مقارنة بالمنتجات المستوردة، مع الاعتماد على موارد محلية متوفرة وغير مستغلة.



★ كيف سيكون ذلك :

- جمع المادة الأولية: نقوم بجمع الهيماتيت (hématite) من منجم الوزنة بولاية تبسة أو نفايات الحديد ومصادره الثانوية، مثل الأكاسيد، الخبث الصناعي، البرادة، والنفايات المعدنية الغنية بالحديد، وهو مصدر محلي غني وغير مستغل بالشكل الكافي، مما يساهم في تقليل تكاليف التوريد واللوجستيك.
- إعداد المخثر: تتم معالجة الهيماتيت باستخدام طرق كيميائية بسيطة ومنخفضة التكلفة لتحويله إلى كلوريد الحديدك (FeCl₃)، وذلك من خلال تفاعل مع حمض الهيدروكلوريك في ظروف مضبوطة تضمن أقصى مردودية.
- تطبيق المخثر: يُستخدم FeCl₃ المنتج في محطات معالجة المياه لاختبار قدرته على إزالة الشوائب والملوثات من المياه، مما يفتح المجال لتسويقه كمادة فعالة وبديلة عن المخثرات المستوردة.
- تقييم الأداء: نقوم بقياس جودة المياه قبل وبعد المعالجة وتحليل النتائج للتأكد من فعالية المخثر المصنع، مع إمكانية تحسين ظروف الإنتاج حسب الحاجة للحصول على منتج أكثر كفاءة بأقل تكلفة.

★ من الذي سينجز ذلك :

- سيُنجز هذا المشروع من طرفنا نحن أصحاب المبادرة، بالتعاون مع مجموعة من الفاعلين لضمان تنفيذ فعال ومنخفض التكلفة، وهم:
- الفريق البحثي: يضم باحثين ومختصين في مجالات الكيمياء الصناعية، المعالجة الكيميائية للمياه، والهندسة البيئية، سيُشرفون على تطوير وتحسين عملية تحويل الهيماتيت إلى كلوريد الحديدك (FeCl₃).
- المهندسون والفنيون: يتكفلون بالجوانب التقنية والإجرائية مثل إعداد المادة الأولية، ضبط ظروف التفاعل، ومراقبة جودة المنتج.
- الشركاء المحليون: مثل أصحاب المقالع وممثلي البلديات، سيساهمون في توفير المادة الخام (حجر الوزنة أو نفايات الحديد)، وتسهيل عملية جمعها ونقلها.
- الجهات الداعمة: مثل حاضنات الأعمال أو برامج دعم المؤسسات الناشئة، ستوفر الدعم المالي أو اللوجستي للمراحل الأولى من المشروع

★ أين سيتم إنجازه :

- تم اختيار ولاية بسكرة كموقع لتنفيذ المشروع واحتضان مقر المصنع، وذلك نظراً لعدم توفر مصانع محلية متخصصة في إنتاج المخثرات الكيميائية مثل كلوريد الحديدك (FeCl₃) انطلاقاً من الموارد الطبيعية كالهيماتيت. توفر الولاية بيئة مناسبة من حيث البنية التحتية والدعم المحلي، كما أن تموقعها الجغرافي يُسهل توزيع المنتج نحو مختلف ولايات الوطن، مما يقلل من تكاليف النقل ويوسع من فرص التسويق. كما تُعد بسكرة موقعاً إستراتيجياً أيضاً لاحتوائها على مصنع "ساسكو" الذي يُنتج حمض الهيدروكلوريك (HCl)، وهو مادة أساسية في عملية تصنيع كلوريد الحديدك، مما يُسهل في ضمان توفر المواد الأولية وتقليل التكاليف اللوجستية.



2. القيم المقترحة:

★ القيمة بالأداء :

- فعالية عالية في معالجة المياه: يتميز كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) المُصنع بفعالية مماثلة للمخثرات التجارية المستعملة حاليًا، حيث أثبتت التجارب المخبرية قدرته العالية على إزالة الشوائب والملوثات من المياه بكفاءة معتبرة.
- تحسين الاستدامة البيئية: المشروع يعتمد على موارد طبيعية محلية مما يُقلل الاعتماد على المواد الكيميائية المستوردة، ويساهم في خلق دورة إنتاج مستدامة وصديقة للبيئة.
- تعزيز الصحة العامة: المساهمة في توفير مياه نظيفة يقلل من أخطار التلوث، وبالتالي يساهم في تحسين ظروف الصحة العامة.
- تطبيقات متعددة: يُمكن استخدام $FeCl_3$ في معالجة مياه الشرب، مياه الري، والمياه الصناعية، مما يجعل من المشروع حلاً بيئيًا متعدد الأبعاد

★ القيمة بالتكلفة :

- تكلفة إنتاج منخفضة: يتم تصنيع $FeCl_3$ من موارد محلية غير مستغلة (الهيمايتيت) أو نفايات الحديد، ما يُخفض من تكاليف الإنتاج بشكل كبير مقارنة بالمخثرات التجارية المستوردة.
- أداء مقابل تكلفة أفضل: رغم أن فعاليته تقارب فعالية المخثر التجاري، إلا أن تكلفته إنتاجه أقل بكثير، مما يجعله خيارًا اقتصاديًا مميّزًا خصوصًا للبلديات والمزارعين والمؤسسات الصغيرة.
- دعم الاقتصاد المحلي: المشروع يُقلل من التبعية للاستيراد ويوفر فرص عمل جديدة، مما يساهم في تنمية الاقتصاد المحلي وتنشيط الصناعة الكيميائية الوطنية.

2. فريق العمل :

- الطالبة علواني زهية تخصص هندسة الطرائق للبيئة.

■ توزيع المهام والمسؤوليات :

- الإشراف على الجوانب التقنية للمشروع، بما في ذلك مراقبة جودة المواد الخام (الهيمايتيت)، متابعة عمليات تصنيع $FeCl_3$ ، وضبط شروط الإنتاج والتخزين. كما تشرف على إجراء التحاليل المخبرية والتقييم الدوري لفعالية المنتج.
- إدارة العمليات الإدارية، التواصل مع الشركاء والموردين، إعداد الوثائق القانونية، متابعة المصاريف والإيرادات، وضمان تسيير مالي شفاف واقتصادي. كما تتكفل بإعداد التقارير المالية وتخطيط الميزانية ذلك بالإستعانة بمختصين في هذا المجال.



○ تخطيط و تنفيذ استراتيجيات التسويق والترويج للمنتج و التواصل مع الزبائن المحتملين (بلديات، مزارعين، محطات معالجة...)، والعمل على توسيع السوق. كما تشارك في التوزيع وتحديد الأسعار المناسبة التي تُوازن بين الربح والقدرة الشرائية للسوق المحلي وذلك بالإستعانة بمختصين في هذا المجال.

▪ طرق التفاعل والتواصل بين الفريق :
عن طريق ورشات للتنسيق ومناقشة سير العمل

3. أهداف المشروع:

❖ أهداف المشروع على المدى القريب:

- تحقيق الربح التجاري من خلال بيع المخثر المصنع بتكلفة منخفضة مقارنة بالمخثرات التجارية، ما يسمح بتغطية التكاليف الأولية وتحقيق هامش ربح معقول.
- بناء قاعدة زبائن محلية عبر التوجه نحو البلديات، محطات المعالجة الصغيرة، والفلاحين.
- تثبيت موطن قدم في السوق المحلي من خلال التسويق المباشر والعلاقات مع الفاعلين المحليين.
- تقدير الحصة السوقية: نستهدف بلوغ 10% إلى 15% من السوق المحلي على مستوى ولاية بسكرة والولايات المجاورة.

❖ أهداف المشروع على المدى البعيد:

- تحقيق المنفعة الاقتصادية على نطاق أوسع من خلال خلق فرص عمل، تشجيع الاقتصاد الدائري، وتقليل فاتورة استيراد المواد الكيميائية.
- توسيع الإنتاج وزيادة الطاقة التصنيعية لتلبية الطلب الوطني المتزايد.
- تحسين سلسلة التوزيع والتعبئة لتطوير شبكة تسويق تغطي كامل التراب الوطني.
- إمكانية التصدير الإقليمي نحو دول تعاني من نفس الإشكاليات البيئية.
- تقدير الحصة السوقية: نطمح إلى تغطية 30% إلى 40% من السوق الوطني في مجال معالجة المياه بالمخثرات.

4. 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		...



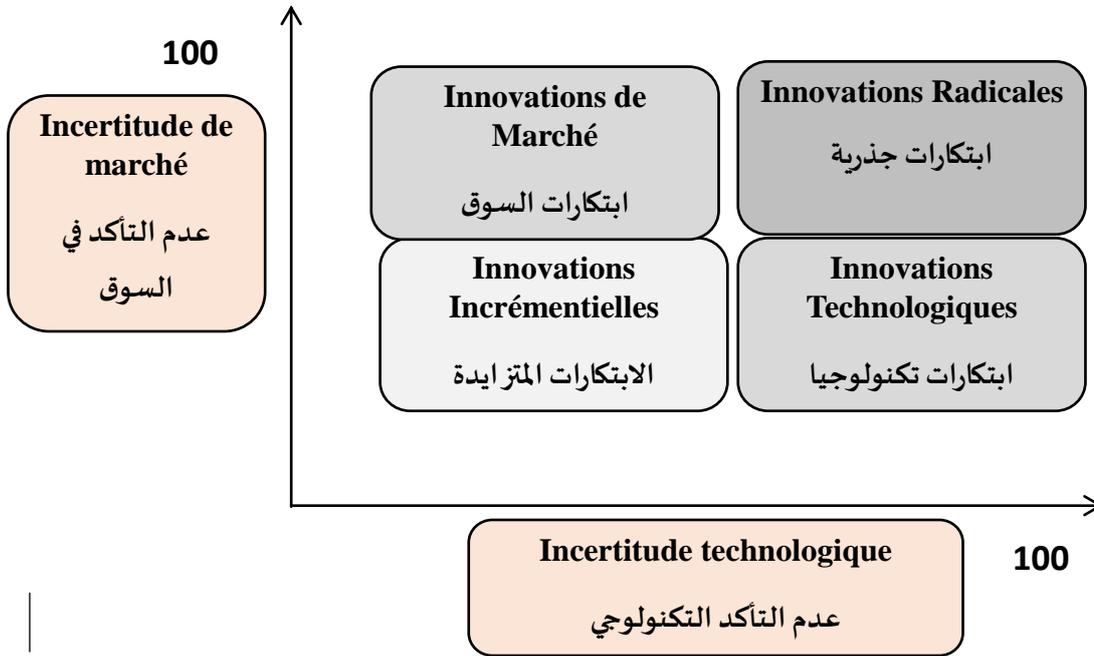
المحور الثاني الجوانب الابتكارية





المحور الثاني الجوانب الابتكارية

1. طبيعة الابتكارات :



ينتمي المشروع إلى خانة الابتكار المتزايد ذي البُعد السوقي ضمن مصفوفة الابتكار. فرغم أن مادة كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) مستعملة مسبقاً في معالجة المياه، إلا أن الابتكار في هذا المشروع لا يكمن في المادة بحد ذاتها، بل في طريقة إنتاجها محلياً من الهيماتيت (*hématite*) المستخرج من منجم الوزنة بولاية تبسة أو من نفايات الحديد ومصادره الثانوية، مثل الأكاسيد، الخبث الصناعي، البرادة، والنفايات المعدنية الغنية بالحديد، مما يسمح بالحصول على مخثر فعال بتكلفة أقل وبأثر بيئي أخف. كما يتمثل الابتكار كذلك في إعادة توجيه هذا المنتج نحو البلديات الصغيرة ومحطات المعالجة، التي لا تعتمد عادةً على هذا النوع من الحلول بسبب ارتفاع تكلفته أو صعوبة توفيره. وبالتالي، يجمع المشروع بين تطوير تقني تدريجي وتجديد في الاستهداف السوقي، مما يجعله أقرب إلى ابتكار تدريجي بُعده الرئيسي سوقي.



مجالات الابتكارات :

• الابتكار في المنتج :

يتمثل المشروع في إنتاج مخثر مائي يعتمد على كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) انطلاقاً من الهيماتيت (hématite) المحلي المستخرج من منجم الونزة أو من نفايات الحديد. ورغم أن المادة معروفة في السوق، إلا أن طريقة تحضيرها محلياً تمنحها طابعاً جديداً من حيث التكلفة، الجودة، والملاءمة البيئية. هذا يمثل تحسناً تدريجياً لمنتج قائم بما يتوافق مع الاحتياجات المحلية، مما يخلق قيمة مضافة للسوق الوطني.

• الابتكار في العملية :

يعتمد المشروع على تطوير طريقة استخلاص وتحضير $FeCl_3$ محلياً باستخدام موارد طبيعية متوفرة بأسلوب تقني منخفض التكلفة وقابل للتكرار. هذا الابتكار في العملية الإنتاجية يسمح بتقليص النفقات الصناعية، ما يعزز الميزة التنافسية على المستوى المحلي مقارنة بالمنتجات المستوردة، ويُمكن أن يؤدي إلى تحقيق اقتصاد في الحجم.

• الابتكار في السوق :

يستهدف المشروع فئات جديدة من المستعملين مثل البلديات الصغيرة ومحطات المعالجة المحلية، التي غالباً ما تعاني من محدودية الموارد وتعجز عن اقتناء المخثرات التجارية المستوردة. هذا التوجه يمثل إعادة تهيئة للسوق عبر تقديم منتج مألوف لكن بتكلفة وظروف أكثر ملاءمة، ما يعزز الاندماج المحلي في سلسلة القيمة.

• الابتكار التنظيمي :

يقوم المشروع على تنسيق بين البحث الأكاديمي والتطبيق الصناعي، ما يفتح المجال لشراكات بين القطاع الجامعي والمؤسسات الإنتاجية المحلية. هذا الابتكار في التنظيم يمكن أن يساهم في بناء شبكة من الفاعلين المحليين تدعم نقل التكنولوجيا وتوظيف المعرفة في التنمية الاقتصادية.

• الابتكار في النموذج الاقتصادي :

يقترح المشروع نموذجاً اقتصادياً يقوم على إنتاج محلي منخفض التكلفة، موجه لسوق يعاني من نقص في الحلول البيئية الفعالة. من خلال تقديم قيمة مزدوجة (بيئية واقتصادية)، يمكن للمشروع أن يعتمد على نموذج تسعير مرن وخدمات مرافقة (مثل الإرشاد التقني)، مما يوسع قاعدة الزبائن المحتملين ويعزز الاستفادة المالية للمشروع.



دليل مشروع للحصول على شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275

المحور الثالث

التحليل الاستراتيجي للسوق





المحور الثالث

التحليل الاستراتيجي للسوق

1. عرض القطاع السوقى:

• السوق المحتمل:

يشمل السوق المحتمل للمشروع مختلف القطاعات التي يمكن أن تستخدم هذا المركب الكيميائي الحيوي $FeCl_3$. نظراً لتعدد استخداماته في عدة مجالات صناعية وبيئية، فإن الزبائن المحتملين لا يقتصرون على مجال معالجة المياه فقط، بل يشملون أيضاً:

- ✓ محطات معالجة مياه الشرب والصرف الصحي.
- ✓ الصناعات الكيماوية التي تستخدم $FeCl_3$ كعامل حفّاز أو وسيط في التفاعلات.
- ✓ شركات معالجة المعادن واستخلاص النحاس والألمنيوم.
- ✓ مصانع الورق التي تستعمله في عمليات التلييد والتنصيف.
- ✓ معامل الصباغة والدباغة.
- ✓ شركات إنتاج الإلكترونيات.
- ✓ مختبرات التحاليل الكيميائية.
- ✓ البلديات والمؤسسات العمومية والخاصة المعنية بحماية البيئة.

ينطلق المشروع مبدئياً من ولاية بسكرة، مع التوجه التدريجي نحو التوسع إلى ولايات أخرى، مع إمكانية تصدير المنتج إلى دول الجوار لفتح آفاق تجارية أوسع.

• السوق المستهدف (الشريحة):

بالنسبة لمشروع إنتاج كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) من خام الهيماتيت (Hématite) بحجر الونزة أو من نفايات الحديد والموجه خصيصاً لمعالجة المياه، يمكن تحديد السوق المستهدف من خلال تحليل الشرائح المختلفة التي تحتاج إلى الفحم لتنقية المياه. الشرائح المحتملة لهذا المشروع تتمثل في:

1. مر افق معالجة مياه الشرب:

مثل محطات معالجة المياه العامة والخاصة و ذلك لزالة الملوثات، تحسين طعم ورائحة المياه، ضمان جودة المياه الصالحة للشرب.

2. الصناعات الغذائية والمشروبات:

مثل مصانع تعبئة المياه، مصانع الأغذية والمشروبات و ذلك لتنقية المياه المستخدمة في الإنتاج لضمان سلامة المنتجات النهائية.



3. معالجة مياه الصرف الصناعي:

كالمصانع التي تنتج مياه صرف صناعية تتطلب معالجة خاصة، مثل الصناعات الكيماوية والنسيجية من أجل إزالة الملوثات العضوية والكيماوية لضمان الامتثال للتشريعات البيئية.

4. مرافق معالجة مياه الصرف الصحي:

و يتعلق الأمر بمحطات معالجة مياه الصرف الصحي البلدية و ذلك لتنقية المياه من الملوثات العضوية والمواد الصلبة العالقة.

5. الفلاتر وأنظمة تنقية المياه المنزلية:

و الي تنتجها شركات تصنيع فلاتر المياه وأنظمة التنقية المنزلية، بهدف توفير حلول تنقية فعالة للاستخدام المنزلي، إزالة الروائح والطعم السيء من مياه الصنبور.

6. الزراعة والري:

المزارع التي تحتاج إلى مياه نظيفة للري خالية من الشوائب والملوثات لضمان صحة النباتات والمحاصيل.

7. القطاعات الصحية والمستشفيات:

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

و التي تتمثل في شركات صناعة الأدوية ومصانع المستحضرات الطبية، لاستعماله في تنقية المياه المستخدمة في عمليات الإنتاج لضمان نقاء المواد الخام.

9. مجال الطاقة:

كمحطات توليد الطاقة الحرارية والكهربائية و شركات النفط والغاز، من أجل تنقية المياه المستخدمة في عمليات التبريد والتشغيل، وإعادة تدوير مياه الصرف. و كذا معالجة المياه المستخدمة في الحفر والاستخراج، وتنقية مياه الصرف الصناعي.

2. قياس شدة المنافسة:

لتقييم شدة المنافسة لمشروع إنتاج كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) من خام الهيماتيت (Hématite) بحجر الونزة أو من نفايات الحديد في السوق الجزائرية، يمكننا النظر في عدة عوامل رئيسية، منها عدد المنافسين الحاليين، حجم السوق، العوائق أمام الدخول، والفرص المتاحة. بناءً على هذه العوامل، يمكن تحديد مدى شدة المنافسة في السوق الجزائرية. تعتبر شدة المنافسة في السوق الجزائرية لمادة كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) حاليًا ضعيفة إلى متوسطة، وهذا راجع لعدة عوامل:

- غياب الإنتاج المحلي الصناعي الواسع: لا توجد مصانع محلية متخصصة بشكل كبير في إنتاج $FeCl_3$ ، ما يجعل السوق تعتمد بدرجة كبيرة على الاستيراد من الخارج، خاصة من الصين ودول أوروبا. هذا يمنح مشروعنا ميزة السبق في توفير منتج محلي منافس.

- تكاليف الاستيراد العالية: الشركات المستوردة تواجه تكاليف إضافية متعلقة بالنقل، الضرائب، والتأخير الجمركي، مما يجعل المنتج المستورد أكثر تكلفة مقارنة بمنتج محلي مصنع من موارد طبيعية جزائرية، مثل حجر الهيماتيت من منجم شقورة (الونزة).
 - الطلب المتزايد: هناك طلب متنوع ومتزايد على $FeCl_3$ في قطاعات مختلفة مثل معالجة المياه، الصناعات الكيماوية، الطباعة، صناعة الإلكترونيات، والتنظيف الصناعي. هذا يخلق فرصًا كبيرة لتسويق منتجنا.
 - مستوى المنافسة الأجنبية: رغم وجود شركات عالمية تصدر $FeCl_3$ إلى الجزائر، إلا أن صعوبة الوصول المستمر للأسواق الجزائرية، والتغيرات في الأسعار الدولية، تمنح مشروعنا فرصة ليكون بديلاً محلياً فعالاً ومضمون التوريد.
 - ميزة التكاليف والإنتاج المستدام: مشروعنا يستفيد من مورد محلي وفير (الهيماتيت)، ومن طريقة إنتاج اقتصادية ومبسطة، مما يتيح عرض منتج بجودة قريبة من المستورد ولكن بتكلفة أقل. المنافسة حالياً غير مشبعة، والسوق مفتوح لمنتج محلي فعال، مما يضع مشروعنا في موقع استراتيجي جيد للنمو والتوسع على المدى القريب والبعيد.
3. التحليل الاستراتيجي للسوق

PESTEL Analysis

■ العوامل السياسية (Political):

- الاستقرار السياسي: الجزائر تعرف استقراراً سياسياً مما يخلق بيئة ملائمة للاستثمار الصناعي
- الدعم الحكومي: الحكومة تشجع المشاريع البيئية والصناعية ذات القيمة المضافة، خصوصاً تلك التي تعتمد على تحويل المواد الأولية المحلية.

■ العوامل الاقتصادية (Economic):

- الوضع الاقتصادي: تزايد الحاجة لحلول معالجة المياه في البلديات والقطاع الزراعي يخلق فرصة اقتصادية مهمة.
- تكاليف الإنتاج: توفر اليد العاملة والطاقة بأسعار مناسبة يخفض من تكاليف الإنتاج.
- فرص التصدير: المنتج لديه قابلية للتسويق في دول الجوار، مما يعزز من فرص النمو.
- تمويل المشاريع الناشئة: وجود دعم من طرف الحاضنات والبرامج الحكومية لدفع الابتكار الصناعي.

■ العوامل الاجتماعية (Social):

- الوعي البيئي: تزايد الوعي بقضايا التلوث ونقص المياه النقية يعزز الطلب على حلول معالجة المياه.
- خلق مناصب شغل: المشروع قادر على توفير فرص عمل في مجالات التحويل الصناعي والبيئة.

- المستوى التعليمي: توفر مهندسين وتقنيين في السوق المحلية يسهل تجنيد كفاءات مؤهلة لتسيير المشروع.

■ العوامل التكنولوجية (Technological):

- التكنولوجيا المتقدمة: استخدام التكنولوجيا المتقدمة في إنتاج كلوريد الحديدك $FeCl_3$ يمكن أن يحسن من كفاءة الإنتاج وجودة المنتج.

- البحث والتطوير: يمكن التعاون مع الجامعات ومراكز البحث لتحسين العملية الإنتاجية.

- الابتكار: تحويل معدن خام إلى منتج صناعي مفيد يمثل قيمة مضافة واستغلال ذكي للموارد الوطنية.

- الوصول إلى التكنولوجيا: القدرة على الوصول إلى التكنولوجيا الحديثة قد تكون محدودة، لذا قد تحتاج إلى شراكات مع مؤسسات بحثية أو شركات تقنية.

■ العوامل البيئية (Environmental):

- الاستدامة: المشروع يعتمد على مورد طبيعي محلي دون الحاجة لاستيراد المواد الأولية، مما يقلل الأثر البيئي.

- التوافق البيئي: الالتزام بأساليب إنتاج صديقة للبيئة يرفع من صورة المشروع أمام الزبائن والجهات الرقابية.

- التقليل من النفايات: يمكن تسيير المخلفات الصناعية الناتجة عن التصنيع بطريقة تقلل من التلوث.

■ العوامل القانونية (Legal):

- اللوائح البيئية: يجب الامتثال للوائح البيئية المحلية والدولية المتعلقة بإنتاج وتوزيع كلوريد الحديدك $FeCl_3$

- حقوق الملكية الفكرية: حماية الابتكارات والعمليات التكنولوجية المستخدمة في الإنتاج من خلال تسجيل براءات الاختراع.

- القوانين الجمركية والضريبية: القوانين التي تحكم الاستيراد والتصدير تؤثر على تكاليف ومدى توافر المواد الخام والمنتجات النهائية حيث يجب دراسة الإطار القانوني المتعلق بالمواد الأولية والتسويق لتقليل التكاليف القانونية.

SWOT

لإجراء تحليل SWOT لمشروع إنتاج كلوريد الحديدك $FeCl_3$ انطلاقاً من الهيماتيت المحلي او نفايات الحديد لمعالجة المياه، 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 (Strengths):

تكلفة منخفضة للمواد الأولية: استخدام الهيماتيت (hématite) المحلي المستخرج من منجم الوزنة أو نفايات

الحديد ومصادره الثانوية، مثل الأكاسيد، الخبث الصناعي، البرادة، والنفايات المعدنية الغنية بالحديد يساهم في

تقليل تكاليف المواد الخام، مما يعزز هامش الربح.



✓ بديل عن الاستيراد: توفير منتج محلي من كلوريد الحديد يقلل الاعتماد على المنتجات المستوردة ويمنح المشروع ميزة تنافسية في السوق الوطنية.

✓ تكاليف إنتاج مناسبة: توفر الطاقة واليد العاملة بتكلفة منخفضة في الجزائر يساعد في تقليل التكاليف التشغيلية وزيادة القدرة على التسعير التنافسي.

✓ طلب متزايد في قطاع المياه: الحاجة المستمرة لمحاليل التخثير في معالجة المياه البلدية والفلاحية يضمن سوقًا مستقرة ومتنامية للمنتج.

✓ دعم وطني للابتكار الصناعي: يتماشى المشروع مع التوجه الحكومي نحو التصنيع المحلي وتقليل التبعية، مما يجعله مؤهلاً للحصول على دعم من برامج حكومية أو حاضنات.

■ نقاط الضعف (Weaknesses):

✓ الاستثمارات الأولية العالية: تكلفة المعدات والتكنولوجيا اللازمة لإنتاج كلوريد الحديد $FeCl_3$ قد تكون عالية، مما يتطلب رأس مال كبير.

✓ التحديات التقنية: الحاجة إلى مهارات تقنية عالية لإدارة عمليات الإنتاج بشكل فعال، وقد تكون هناك حاجة للتدريب والتطوير المستمر للعمال.

✓ الاعتماد على الموردين: الاعتماد على موردين محددين للمواد الخام قد يعرض المشروع لمخاطر التوريد وتقلبات الأسعار.

✓ المعايير واللوائح: الامتثال للمعايير البيئية والصحية قد يتطلب وقتًا وتكاليف إضافية لضمان أن المنتجات تلبى المتطلبات القانونية.

■ الفرص (Opportunities):

✓ نمو سوق معالجة المياه: ارتفاع الحاجة لحلول فعالة لمعالجة المياه في الجزائر (خاصة البلديات والفلاحة) يمثل فرصة كبيرة لتوسيع المشروع.

✓ دعم المشاريع البيئية والصناعية: توفر الدولة والهيئات الدولية دعمًا تقنيًا وتمويليًا للمشاريع التي تخلق قيمة مضافة محلية وتحل مشاكل بيئية.

✓ التصدير للأسواق المجاورة: الأسواق الإقليمية في شمال إفريقيا والشرق الأوسط يمكن أن توفر فرصًا للتوسع وزيادة المبيعات.

✓ زيادة الوعي البيئي: زيادة الوعي البيئي بين المستهلكين يمكن أن يزيد من الطلب على المنتجات المستدامة والصديقة للبيئة.

✓ شراكات بحث وتطوير: يمكن تطوير طرق إنتاج محسنة أو مشتقات جديدة لمنتج $FeCl_3$ بالشراكة مع جامعات أو مخابر بحثية.

■ التهديدات (Threats):

- ✓ منافسة من المنتجات المستوردة: المنتجات الأجنبية المعروفة في السوق قد تعرقل دخول المنتج المحلي، خاصة في حال كان لها تسهيلات جمركية أو دعم خارجي.
- ✓ التقلبات الاقتصادية: التغيرات في الاقتصاد المحلي أو العالمي يمكن أن تؤثر على الطلب على كلوريد الحديد $FeCl_3$ وتكاليف الإنتاج.
- ✓ التقلبات في أسعار المواد الخام: تغير أسعار المواد الخام قد يؤثر على تكاليف الإنتاج والربحية.
- ✓ التحديات اللوجستية: مشكلات في سلاسل التوريد والنقل يمكن أن تعطل الإنتاج وتؤثر على مواعيد التسليم.
- ✓ التغييرات التشريعية: تغييرات في القوانين واللوائح البيئية والصحية يمكن أن تؤدي إلى زيادة التكاليف والتأثير على العمليات.

4P Analysais

■ المنتج

- الجودة والمطابقة: يتمثل المنتج في محلول كلوريد الحديد $(FeCl_3)$ بدرجة نقاء صناعية تلي المعايير الدولية الخاصة بمواد التثخير لمعالجة المياه. يجب تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية بدقة (التركيز، الكثافة، اللون، الثبات، فترة التخزين...) مع شهادات مطابقة لضمان القبول المؤسسي.
- التحكم في سلسلة القيمة: بما أن المشروع يعتمد على الهيماتيت (hématite) المحلي أو نفايات الحديد، فإن التحكم في سلسلة التوريد من الاستخراج حتى الإنتاج يمنح مرونة في ضمان الجودة وتخفيض التكاليف.
- التميز التقني: يمكن تحسين المنتج من خلال تطوير نسخة مركزة أو ذات خواص وظيفية مما يعزز القيمة المضافة ويخلق حواجز تنافسية.
- توسيع التشكيلة: مستقبلاً، يمكن تنويع المنتجات لتشمل مشتقات أخرى أو مواد تثخير مكتملة للأسواق الصناعية أو الزراعية، بما يوسع القاعدة السوقية.

■ السعر

- استراتيجية التسعير التنافسي: تسعير المنتج يجب أن يعتمد على تحليل دقيق لتكاليف الإنتاج (المواد، الطاقة، الأجور، الصيانة، التحليل...) مقارنة بأسعار المخثرات المستوردة، بهدف توفير بديل أرخص بنسبة 15% إلى 25% دون المساس بالجودة.
- تقسيم الأسعار حسب الفئة: اعتماد أسعار تفاضلية حسب نوع العميل (بلديات، محطات معالجة، مزارعون كبار، موزعون...) مع تخفيضات للكميات الكبيرة والعقود السنوية.
- القيمة الاقتصادية مقابل الأداء: الترويج بأن $FeCl_3$ المحلي يقدم نفس الأداء بجراجات أقل مقارنة ببعض المنتجات التجارية، مما يخفض الكلفة الكلية للمعالجة ويعزز جاذبية السعر اقتصادياً.
- العروض الخاصة: استخدام العروض الترويجية والخصومات لزيادة جاذبية المنتج وزيادة حجم المبيعات.



المكان

- قنوات التوزيع: يتم التركيز على التوزيع المباشر إلى محطات معالجة المياه والبلديات عبر شبكة تجارية متخصصة، إضافة إلى التعاقد مع موزعين صناعيين في المناطق ذات الاحتياج العالي.
- الموقع: تحديد مواقع استراتيجية لتوزيع المنتج، مثل المناطق الصناعية أو المناطق ذات الاستخدام المكثف للمياه.
- الدعم اللوجستي: توفير حلول نقل مرنة ومتعاقد عليها مسبقاً لضمان التسليم المنتظم وتقليل أوقات الانتظار، خصوصاً للزبائن العموميين.

التسويق

- استراتيجيات التسويق: تطوير استراتيجيات تسويقية فعالة لزيادة الوعي بالعلامة التجارية والمنتج، مثل الإعلانات التلفزيونية، والإعلانات عبر الإنترنت، وحملات التسويق عبر وسائل التواصل الاجتماعي
- الهوية التسويقية: اعتماد علامة تجارية قوية تعكس الجودة المحلية والاستدامة والتكلفة المنافسة (مثال: اسم يحمل بعداً بيئياً أو وطنياً)، مع تصميم تعبئة احترافي يبرز منشأ المنتج ونقائه.
- العلاقات العامة: بناء علاقات مع الجهات المعنية والعملاء المحتملين من خلال المشاركة في فعاليات صناعية، والتبرع للمشاريع البيئية المحلية، والمساهمة في الحوارات البيئية.
- الحوافز: تقديم عبوات تجريبية مجانية أو تخفيضات في المرحلة الأولى لكسب الثقة. وأيضاً برامج ولاء للعملاء المتكررين.

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

PORTER Analysis

❖ قوة تهديد المنافسة الجديدة

▪ عوائق دخول مرتفعة:

يشكل الاستثمار الرأسمالي اللازم لبناء وحدة إنتاج كيميائي متقدمة عائقاً كبيراً، لا سيما بالنظر إلى متطلبات السلامة، البنية التحتية، والامتثال البيئي.



■ الجواجز التنظيمية:

الحصول على التراخيص البيئية والصحية يعد تحديًا، ويتطلب التوافق مع لوائح صارمة من وزارة البيئة والمياه، مما يطيل أمد الانطلاق ويزيد من تكاليف الامتثال.

■ الخبرة الفنية المطلوبة:

عملية تصنيع $FeCl_3$ تتطلب كفاءات تقنية متخصصة في الكيمياء الصناعية، مما يُصعب دخول فاعلين جدد دون خبرة مسبقة أو دعم بحثي قوي.

■ أثر السمعة والثقة:

بما أن المنتج موجه للجهات الحكومية ومحطات معالجة المياه، فإن بناء الثقة والسمعة يمثل جدار حماية ضد الوافدين الجدد، لا سيما في المشاريع الحساسة.

التقييم العام: تهديد منخفض إلى متوسط، بفعل ارتفاع التكاليف والاشتراطات الفنية والتنظيمية.

❖ قوة تهديد المنافسة الحالية

يعتمد مدى تهديد المنافسة على عدد وحجم المنافسين الحاليين في السوق الجزائرية. إذا كان هناك منافسون قويون بموارد كبيرة، فقد يزيد ذلك من ضغوط المنافسة على الأسعار والتكاليف.

■ عدد المنافسين المحليين:

السوق الجزائرية تعرف اعتمادًا كبيرًا على استيراد $FeCl_3$ من دول مثل الصين وفرنسا وإسبانيا، مع قلة عدد المنتجين المحليين، ما يجعل المنافسة المحلية محدودة نسبيًا.

■ السوق المفتوحة للاستبدال:

في حال وُجدت شركات محلية كيميائية كبيرة، قد يكون لديها الموارد اللازمة لإضافة خط إنتاج مشابه، مما يشكل تهديدًا مستقبليًا.

■ حرب أسعار محتملة:

قد تفرض المنتجات المستوردة ضغوطًا سعرية بفعل اقتصاديات الحجم الكبير، ما يستدعي استراتيجية فعالة تعتمد على خفض التكاليف اللوجستية والتميز بالجودة المحلية.

التقييم العام: المنافسة الحالية متوسطة، لكنها مرشحة للزيادة في حالة نجاح المشروع.

❖ قوة قوى المشترين

■ نوعية الزبائن:

نوع بين جهات حكومية، محطات معالجة المياه، بلديات، وقطاع خاص (مثل الفلاحة والصناعة)، ما يمنح المشروع قاعدة زبائن واسعة.

■ قوة التفاوض المؤسسية:



تتمثل في الجهات الكبرى مثل محطات المعالجة، حيث تمتلك قدرة تفاوضية عالية بفضل حجم طلبها الكبير، مما يدفع المزودين إلى تقديم عروض مرنة أو تخفيضات خاصة للصفقات الكبرى.

■ بدائل محدودة محلياً:

ضعف العرض المحلي يمنح المشروع ميزة احتكارية نسبية، مما يُضعف قدرة المشتري على التفاوض، خصوصاً إذا تميز المنتج بالجودة والثقة.

التقييم العام: قوة المشتري معتدلة، مع فرص لتقويتها بالتحالفات المؤسسية طويلة الأمد.

❖ قوة قوى الموردين

■ توافر المادة الخام:

يعتمد المشروع على الهيماتيت المحلي المستخرج من منجم الوزنة (جنوب تبسة)، كمصدر وفير وموثوق للحديد، مما يقلل من الاعتماد على الموردين الخارجيين. كما يُعزز المشروع مرونته واستدامته من خلال إمكانية استخدام نفايات الحديد كمصدر بديل للمادة الخام، مثل البرادة، الخبث الصناعي، والأكاسيد، ما يفتح المجال لاستغلال موارد محلية متعددة.

■ السيطرة على سلسلة التوريد:

عند دمج عمليات الاستخراج الأولي والتحويل الكيميائي في سلسلة واحدة، يقل تأثير الموردين على المشروع، ما يمنح المشروع قوة تفاوضية مرتفعة.

■ المواد الثانوية (HCl، طاقة):

بعض المواد التفاعلية (مثل حمض الهيدروكلوريك) قد تُشكل نقطة ضغط إذا كانت تُستورد أو تخضع لتقلبات سوقية، ما يستدعي توقيع اتفاقيات توريد طويلة الأمد.

التقييم العام: قوة الموردين منخفضة إلى معتدلة، ويمكن التحكم فيها بالتكامل العمودي.

❖ قوة التهديد من المنتجات البديلة

■ البدائل الكيميائية:

توجد مواد تخثير أخرى مثل كبريتات الألمنيوم أو البوليكلوريد (PAC)، لكن $FeCl_3$ يتميز بفعالية عالية ونتائج أسرع في حالات المياه الملوثة بالأدوية والمعادن الثقيلة.

■ التقنيات الجديدة:

تقنيات مثل المعالجة بالأوزون أو الممبرانات يمكن أن تحل محل التخثير في بعض الحالات، لكن تكلفتها ما تزال مرتفعة، خصوصاً في الجزائر.

■ البيئة التنظيمية:

في حالة دعم الدولة للمنتجات المحلية ذات الطابع البيئي، فإن خطر الاستبدال ينخفض لصالح منتجات مثل $FeCl_3$ المصنع محلياً.

التقييم العام: التهديد من البدائل منخفض إلى متوسط، ويمكن مواجهته بالابتكار والتموقع البيئي



تقدير الطلبات:

العام الأول:

Min	Moy	Max	الثلاثي (ثلاث أشهر)
6000	8000	10000	1
10000	15000	20000	2
15000	22500	30000	3
20000	30000	40000	4
51000 لتر	75500 لتر	100000 لتر	المجموع للسنة

تقدير المبيعات:

العام الأول:

المبيعات	الثلاثي (ثلاث اشهر)
8000	1
15000	2
22500	3
30000	4
75500 لتر	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:

تم اختيار ولاية بسكرة كمقر لإنجاز المشروع نظراً لجملة من العوامل الاقتصادية والجغرافية التي تجعلها موقعاً مثالياً لتنفيذ المشروع وتمثل هذه المزايا فيما يلي:

1. قرب مصادر المواد الأولية الثانوية: رغم أن معدن الهيماتيت المستعمل في المشروع يُستخرج من منجم شقورا في ولاية تبسة، فإن ولاية بسكرة تتوسط الطريق بين الشرق الجزائري ومنطقة الهضاب والجنوب، ما يسهل نقل المواد الأولية ويقلل من التكاليف اللوجستية المرتبطة بالشحن والتخزين. كما تشمل المواد الخام المستعملة أيضاً نفايات الحديد الناتجة عن الأنشطة الصناعية أو الورشات المعدنية، وهي متوفرة في العديد من ولايات الشرق والجنوب، ويمكن جمعها وإعادة تدويرها محلياً، مما يساهم في تثمين النفايات وتقليل كلفة الإنتاج.

كما تحتضن الولاية منشآت صناعية مهمة مثل شركة ساسكو (SASCO)، التي تُعد من أبرز موردي حمض الهيدروكلوريك (HCl) اللازم لعملية الاستخلاص، مما يعزز من التكامل الصناعي ويقلل من التكاليف المرتبطة بشراء المواد الثانوية.

2. موقع استراتيجي متميز: تتموقع بسكرة في تقاطع محوري يربط بين الشرق والجنوب، وبين الشمال والمناطق الحدودية، وتجاور ولايات صناعية نشطة مثل باتنة، سطيف، وخنشلة، ما يسهل عمليات التوزيع نحو عملاء محتملين في مختلف جهات الوطن، خاصة محطات المعالجة والبلديات الريفية.

3. وفرة الموارد الطبيعية: توفر المياه الجوفية والمساحات الواسعة يتيح إنشاء منشآت صناعية آمنة ومستقرة، خاصة في حال تطلب المشروع التوسعة المستقبلية أو إقامة وحدات معالجة بيئية داعمة.

4. بنية تحتية صناعية ولوجستية قوية: تمتلك بسكرة مطاراً وميناءً جافاً وشبكات طرق وطنية وسكك حديدية تربطها بموانئ الشمال والمناطق الجنوبية، مما يُمكن من توزيع المنتج على نطاق وطني ويُعزز فرص التصدير في مراحل لاحقة.

5. الدعم الحكومي: يمكن أن تحظى الشركات والمشاريع الجديدة في ولاية بسكرة بدعم كبير من الحكومة المحلية والوطنية، سواء من خلال توفير المساعدة المالية أو الإجراءات التنظيمية الميسرة.

6. التوظيف وتنمية المجتمع: المشروع سيساهم في خلق فرص عمل مباشرة وغير مباشرة (كيميائيين، تقنيين، عمال نقل...) مما يعزز التنمية الاقتصادية المحلية. كما يساهم في رفع مستوى الوعي البيئي من خلال تقديم حلول معالجة مياه صديقة للبيئة.

2. احتياجات المشروع:

عملية الإنتاج:

المنتج 1 لتر من محلول كلوريد الحديدك $FeCl_3$

السعر دج	الكمية	المادة
دج 6.5	1 لتر	حمض الكلور HCl تركيز 3M
دج 0.5	100 غ	حجر الونزة Fe_2O_3 65%
	/	المياه
دج 7		المجموع

إحتياجات المعدات والآلات:

Machine de fabrication continue pour la synthèse du chlorure ferrique à partir de l'hématite, intégrée dans une ligne de production spécialisée.



Cuve d'agitation de lixiviation

السعر

2700,00\$

دج 364,500.00

المورد

Henan Xingyang Mining Machinery
Manufactory



Broyeur

السعر

950.00\$

128,250.00 دج

المورد

Gongyi Jintai Industrial Co., Ltd.



Tamis rotatif

السعر

1,500.00\$

210,000.00 دج

المورد

Xinxiang Dongzhen Machinery Co., LTD



Réservoir , pelle et charette

السعر

19,300.00 دج

المورد أسواق محلية





الأرض:

المبلغ في العام	المساحة	
200000.00 دج	5000 متر	مستودع

بناء المستودع:

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

سعر السجل التجاري : 40000 دج

النقل:

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

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 واقترحات لمنتجاتنا حسب الطلب والرغبة.

التعبئة والتغليف:

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

النقل:

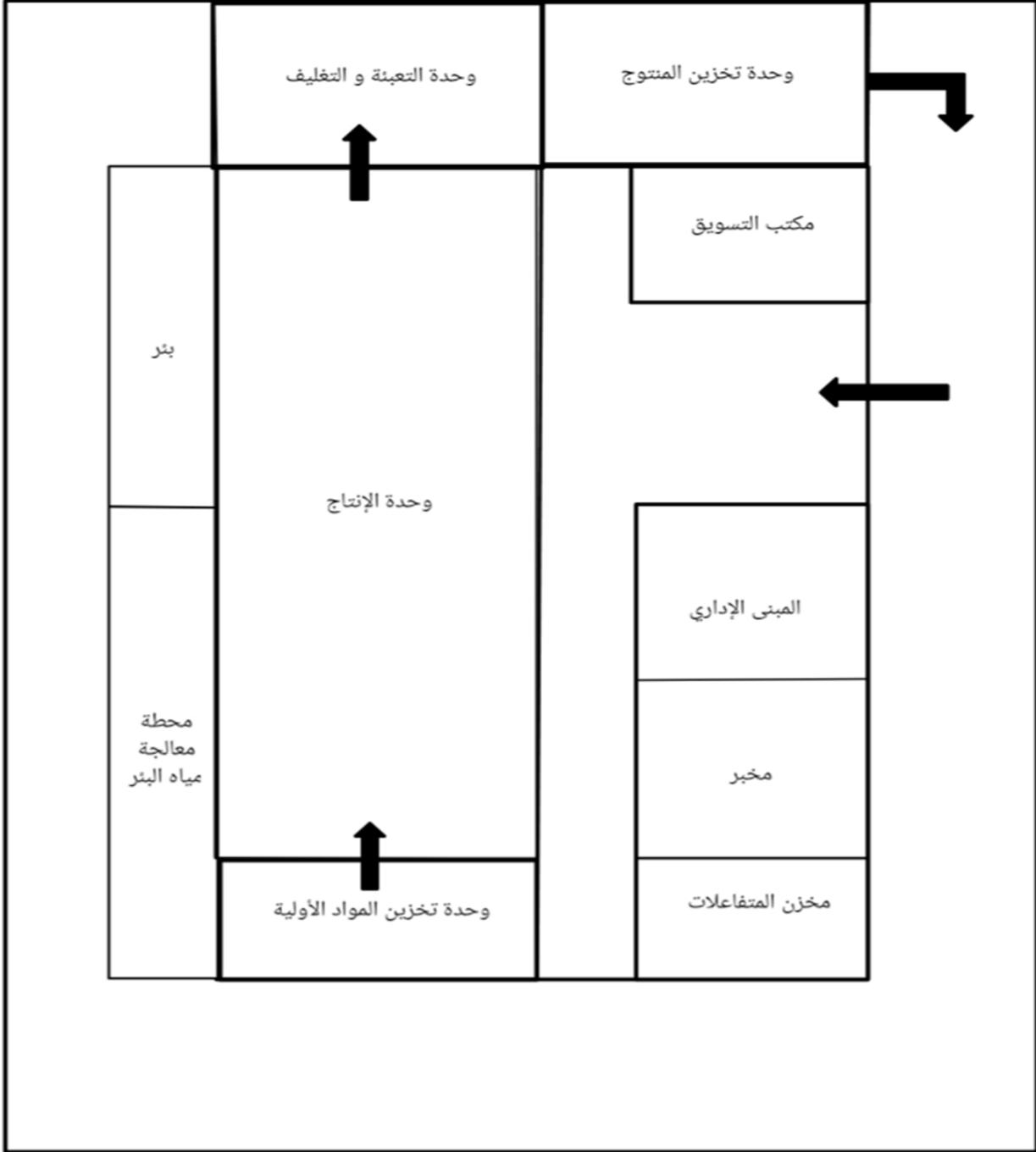
توفر الشركة الخاصة بنا عمليات التوصيل للزبائن حسب الكمية.



3-مراحل الانتاج:



مخطط مراحل إنتاج مخثر كلوريد الحديدك $FeCl_3$



مخطط شركة إنتاج مخثر كلوريد الحديدك $FeCl_3$

4_ التموين:

نقوم بإبرام اتفاقيات شراكة مع موردي معدن الهيماتيت (Fe_2O_3) او نفايات الحديد و حمض الهيدروكلوريك Hcl لضمان التزود المنتظم بالمادة الأولية الضرورية لإنتاج كلوريد الحديدك ($FeCl_3$).

أهم الموردين:

معيار المفاضلة	المادة	الموقع	اسم المورد
مصدر محلي	المادة الخام Fe_2O_3	تبسة	منجم الوزنة
		عنابة	مجمع سيدار للحديد والصلب
		تبسة	الشركة المنجمية للحديد الشرق - صوميفار (Société Minière de l'Est - SOMIFER Spa -
قرب المسافة ومصدر محلي	Hcl	بسكرة	شركة KO IndustrieSARL SAS
		مستغانم	شركة Adwan Chemical Industries
		الجزائر	شركة ALGERCHIMIE,Sarl
قرب المسافة	اللوازم المكتبية	بسكرة	النصر
لتوفير المعدات	ماكينات التصنيع	الصين	Henan Xingyang Mining Machinery Manufactory Gongyi Jintai Industrial Co., Ltd Xinxiang Dongzhen Machinery Co., LTD
سعر جيد	أجهزة كهربائية منزلية	بسكرة	فرع شركة كوندور



سياسة الدفع : عن طريق

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

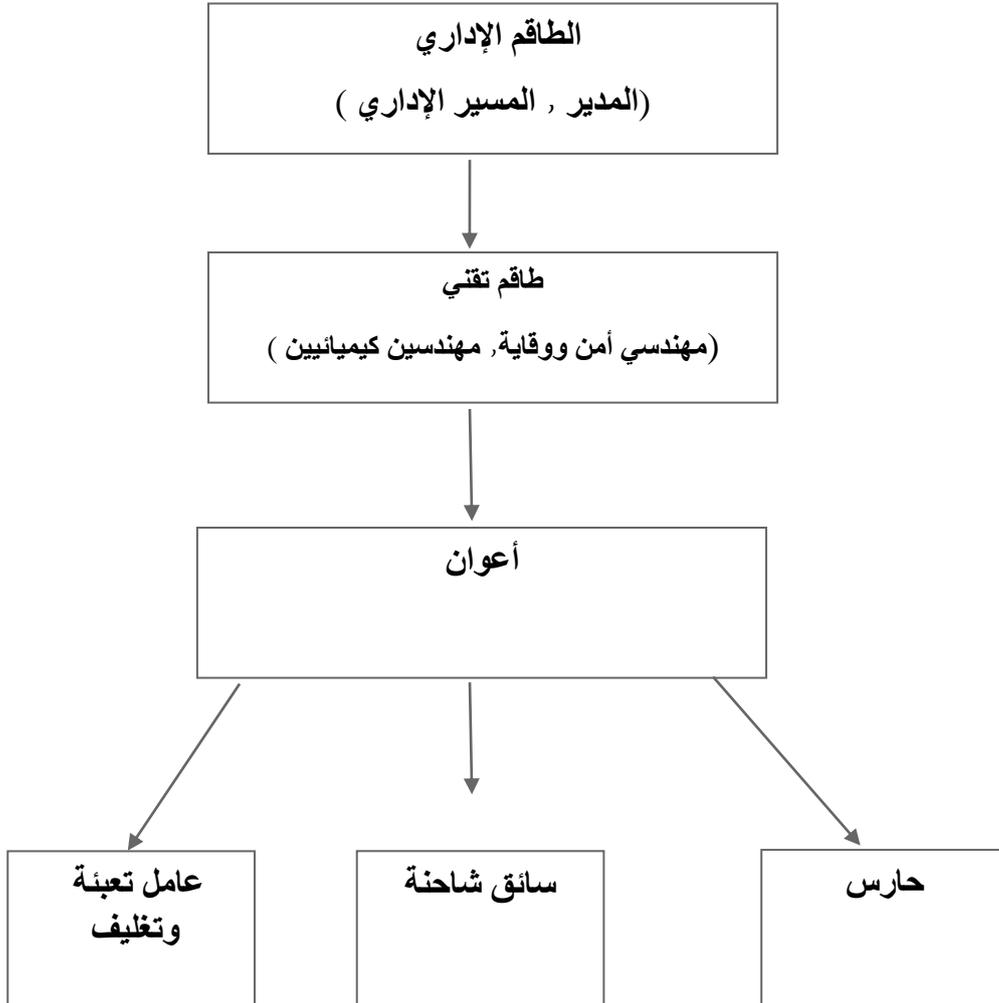
5_ اليد العاملة:

- عدد المناصب التي يمكن أن يخلقها المشروع :
- مشروعنا يخلق حوالي 11 مناصب شغل مبدئيا.
- طبيعة ونوعية اليد العاملة :

المدير و عامل إدارة و مهندس كيميائي صناعية ومهندس امن ووقاية و 2 عمال تعبئة وتغليف و 4 حراس و سائق شاحنة.

تكاليف أجور العمال في السنة :

مجموع الأجر في السنة (دج)	الاجر (دج)	مهامه	خصائصه	العدد	نوع العمل
600000	50000	إدارة الشركة	ماسترا لإدارة اعمال	1	المدير
360000	30000	نقل المنتج وإحضار المادة الخام	رخصة سياقة	1	سائق الشاحنة
300000	25000	التنسيق مهام الإدارة	تكوين إدارة	1	عمال إدارة
540000	45000	متابعة سير وحدة المعالجة	خبرة في المجال	1	مهندسي الكيمياء الصناعية
480000	20000	تعبئة وتغليف البراميل	خبرة في المجال	2	عامل تعبئة وتغليف
240000	20000	تحليل المخاطر	خبرة في المجال	1	مهندسي امن ووقاية
960000	20000	الحفاظ على الامن العام لشركة	خبرة في المجال	4	حراس
3480000	210000	/	/	11	المجموع



مخطط العمال



6-الشراكات الرئيسية :

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

- الوكالة الوطنية للمقاول الذاتي ANAD
- الصندوق الوطني لدعم مؤسسات الناشئة
- الوكالة الوطنية لدعم تشغيل الشباب ANSEJ
- شركة SARL SASKO Industrie لإنتاج حمض الهيدروكلوريك Hcl
- الشركة المنجمية للحديد الشرق - صوميفار (SOMIFER Spa - Société Minière de l'Est)



المحور الخامس

الخطة المالية



المحور الخامس

الخطة المالية

1. التكاليف والأعباء:

التكاليف الاستثمارية:

الأصول	التكلفة بدینار جزائري للسنة
المعدات والآلات	210512,05.00
اللوازم المكتبية	507000.00
النقل (شاحنة)	2000000.00
المباني	5000000.00
السجل التجاري	4000.00
المجموع	7721512,05

التكاليف التشغيلية:

الأصول	التكلفة بدینار جزائري للسنة
المواد الأولية	30000.00
أجور العمال	3480000.00
الكهرباء والغاز والماء	800000.00
مواد التغليف	700000.00
الوقود	500000.00
سعر كراء الأرض	200000.00
الترويج	520000.00
المجموع	6230000.00

2. الهيكل التمويلي

البيان	النسبة	القيمة بالدينار جزائري
أموال خاصة	1 بالمئة	3251351.48
القروض	99 بالمئة	10700160,57
المجموع	100 بالمئة	13951512,05

3. طرق ومصادر الحصول على التمويل :

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

4. رقم الأعمال المتوقع

	Réalisation	Prévision				
	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Produit A destiné client						
Quantité produit A (لتر)	75500	80000	90000	100000	110000	120000
prix HT produit A (دج/لتر)	10000	15000	20000	25000	30000	35000
Ventes produit A	755000000	1200000000	1800000000	2500000000	3300000000	4200000000
Chiffre d'affaires global	741048488	1186048488	1786048488	2486048488	3286048488	4186048488



المحور السادس

النموذج الأولي التجريبي



المحور السادس

النموذج الأولي التجريبي

1- مراحل انجاز النموذج الأولي :

- **دراسة الجدوى:**
يتم إجراء تحليل مالي واقتصادي دقيق لتقدير تكاليف الإنتاج والعائدات المحتملة، إلى جانب تقييم مدى الجدوى التجارية. تشمل هذه المرحلة دراسة السوق لتحديد حجم الطلب على كلوريد الحديدك واستكشاف فرص التوسع المحتملة محليًا ودوليًا.
- **تصميم المفاهيم:**
تتضمن هذه المرحلة إعداد التصاميم الهندسية الأولية لوحدة الإنتاج، وتحديد المعدات الضرورية مثل المفاعل، مطحنة الطحن، وآلات الغريلة. كما يتم اختيار التكنولوجيا المثلى لاستخلاص الحديد وتحويله إلى $FeCl_3$ وفق معايير الكفاءة والتكلفة.
- **تجهيز المواد الخام:**
يتم التعاقد مع موردي خام الهيماتيت الغني بالحديد وتحديد الشروط التقنية والكمية. تُجهز المواد الأولية عن طريق التجفيف، الطحن، والغريلة، مع توفير المواد الكيميائية الداعمة لعملية الاستخلاص مثل حمض الهيدروكلوريك.
- **العملية الإنتاجية:**
تشمل هذه المرحلة بناء وحدة الإنتاج، تركيب المعدات، وبدء التشغيل التجريبي. يتم تنفيذ عملية الاستخلاص الكيميائي لاستخراج الحديد من الخام، يليها تحويله إلى كلوريد الحديدك في بيئة مراقبة. ثم يتم جمع المحلول المنتج وتخزينه في عبوات مناسبة.
- **اختبارات الجودة:**
تُجرى تحاليل مخبرية على دفعات الإنتاج لتحديد نقاوة المنتج وثبات خصائصه الكيميائية. كما يتم التحقق من مطابقة $FeCl_3$ للمعايير الصناعية المعتمدة، لضمان جاهزيته للاستخدام في معالجة المياه أو تطبيقات صناعية أخرى.



■ التحسين المستمر:

بناءً على نتائج الاختبارات والتشغيل الأولي، يتم إدخال تحسينات على المعالجة، تقنيات الاستخلاص، وتقليل استهلاك المواد الكيميائية. يهدف ذلك إلى رفع كفاءة الإنتاج وخفض التكاليف مع الحفاظ على جودة عالية.

■ التسويق والتوزيع:

يتم إعداد خطة تسويقية تستهدف الجهات الفاعلة في قطاع معالجة المياه والصناعة، مع إبراز الميزات التنافسية مثل انخفاض التكلفة وفعالية المنتج. كما يتم تطوير شبكة توزيع مرنة تشمل التوصيل المباشر والتعاون مع شركاء محليين.

■ تقييم النموذج الأولي:

تُنجز مراجعة شاملة للأداء التقني والاقتصادي للنموذج الأولي، مع تحليل نقاط القوة ومجالات التحسين. تُستخدم هذه النتائج لتعديل العمليات وإعداد الجيل المقبل من المنتج بكفاءة أعلى وجودة محسّنة.

2. ملصق العلامة التجارية الخاصة بمنتوجنا.





قائمة الملاحق





نموذج العمل التجاري

شركات العملاء	العلاقات مع العملاء	القيمة المقترحة	الانشطة الرئيسية	الشركات الرئيسية
<p>1. شركات معالجة المياه:</p> <ul style="list-style-type: none"> المؤسسة الجزائرية للمياه (ADE) شركة المياه والتطهير للجزائر (SEAAL) محطات معالجة المياه <p>2. البلديات:</p> <ul style="list-style-type: none"> الحكومات المحلية في الولايات الجزائرية. <p>3. الشركات الصناعية:</p> <ul style="list-style-type: none"> شركات النفط والغاز: التي تحتاج إلى معالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة عن عملياتها. شركات التعدين: التي تواجه تحديات في معالجة المياه الملوثة بالنفايات المعدنية. المصانع الكيماوية والغذائية: التي تتطلب حلول معالجة المياه للتخلص من الملوثات الصناعية. 	<p>1. خدمة عملاء ممتازة:</p> <ul style="list-style-type: none"> تقديم دعم في وتدريب للمستخدمين لإستخدام مخثر كلوريد الحديد بكفاءة. منح العملاء الدائمين تخفيضات خاصة مع توفير النقل وتخزين <p>2. التواصل المستمر:</p> <ul style="list-style-type: none"> متابعة دورية لضمان رضا العملاء وتحسين المنتج حسب احتياجاتهم. <p>قنوات التوزيع</p> <p>1. مباشرة: بيع مخثر كلوريد الحديد مباشرة إلى شركات معالجة المياه والمؤسسات الصناعية.</p> <p>2. عبر الإنترنت: توفير المنتج عبر منصات التجارة الإلكترونية المحلية لسهولة الطلب والوصول.</p> <p>3. المعارض والمؤتمرات: المشاركة في الفعاليات البيئية والصناعية مثل معرض الجزائر الدولي ومعرض البيئة والتكنولوجيا النظيفة.</p>	<p>منتج فعال: إنتاج محلي لكلوريد الحديد بجودة منافسة وسعر أقل.</p> <p>حل مستدام: تامين نفايات الحديد والهيماتيت المحلي وتحويله إلى منتج بيئي مفيد مما يساهم في حماية البيئة وتعزيز الاقتصاد المحلي.</p> <p>فعالية في إزالة الملوثات: فعالية كبيرة في معالجة المياه وتحسين جودتها دون التسبب في أضرار بيئية.</p> <p>تكلفة منخفضة: إنتاج محلي بتكلفة أقل مقارنة بالمخثرات التجارية، ما يجعله خيارًا اقتصاديًا جذابًا للسوق.</p>	<p>1. البحث والتطوير: التعاون مع الجامعات لتحسين خصائص المخثر FeCl3 وتطوير استخداماته في معالجة المياه.</p> <p>2. إنتاج المخثر: إنشاء وحدات إنتاج بالتعاون مع الشركات المحلية.</p> <p>3. التسويق والمبيعات: تسويق المنتج للبلديات، محطات المعالجة، والقطاعات الزراعية والصناعية المهتمة بالحلول البيئية.</p> <p>4. اختبارات الجودة: إجراء تحاليل واختبارات بالتعاون مع مخابر جامعية للتأكد من فعالية المخثر وجودته.</p> <p>الموارد الرئيسية</p> <p>1. المواد الخام: خام الهيماتيت (حجر الوزرة) و نفايات الحديد.</p> <p>2. الخبرة العلمية: خبراء وعلماء الجامعات والمؤسسات البحثية المحلية.</p> <p>3. البنية التحتية: المعامل والمعدات اللازمة في الجامعات والمصانع المحلية.</p> <p>4. التمويل: التمويل من الجهات الحكومية، المؤسسات الخاصة، والمنظمات غير الحكومية.</p>	<p>الشركات الرئيسية</p> <p>1. مؤسسات البحث العلمي: الجامعات والمراكز البحثية للمساعدة في تطوير وتحسين المخثر FeCl3</p> <p>2. الشركات الصناعية:</p> <ul style="list-style-type: none"> شركة SARL SASKO Industrie لإنتاج حمض الهيدروكلوريك HCl الشركة المنجمية للحديد الشرق - صوميفار (Société Minière de l'Est SOMIFER Spa منجم شقورا بتبسة. ورشات ومعامل صناعية للحديد . <p>3. الهيئات الحكومية:</p> <ul style="list-style-type: none"> وزارة البيئة والطاقة المتجددة وزارة الموارد المائية والأمن المائي 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
مصادر الإيرادات	هيكل التكاليف			



التكاليف الثابتة: تكلفة المعدات والبنية التحتية.

التكاليف المتغيرة: تكلفة توفير حجر الونزة ونفايات الحديد ومعالجتها، تكاليف البحث والتطوير بالإضافة إلى صيانة الأجهزة والمعدات، المواد الأولية الآلات الوقود فتورة الكهرباء والغاز.
التسويق والمبيعات: نفقات الترويج والتوزيع.

بيع المختر: الإيرادات الرئيسية من بيع مختر كلوريد الحديدك Fecl3

خدمات استشارية: تقديم استشارات تقنية للهيئات والمؤسسات حول كيفية تحسين معالجة المياه باستخدام المختر المصنع Fecl3 .
شراكات البحث والتطوير: عقود مع الجهات البحثية والشركات لتطوير مواد جديدة.



ملحق القرار رقم: 933 المؤرخ في: 20 جويلية 2016

الذي يحدد القواعد المتعلقة بالوقاية من السرقة العلمية ومكافحتها

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

مؤسسة التعليم العالي:

نموذج التصريح الشرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد: علو.أي.ن.حميدة...الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: طالب.....
الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم 2.0.5.4.2.4.870 والصادرة بتاريخ 20.1.9.2018/03

المسجل بكلية علوم وتكنولوجيا... قسم... كيمياء... صناعية.....

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

دكتوراه)، عنوانها: Development of an Alternative Coagulant from Iron Ore and Its Synergy With Adsorption for the Treatment of Water Contaminated by Pharmaceutical Compound

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

التاريخ: 2015/06/14

إمضاء المعني

بسكرة في: 2021/06/16

جامعة محمد خيضر - بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الكيمياء الصناعية

إذن بإيداع مذكرة الماستر بعد التصحيحات

أنا الممضي أسفله الأستاذة: نورية أحماد

الرتبة: أستاذة محاضرة تسم (٩)

أستاذ مشرف على مذكرة ماستر - للطلاب (ة): علاوي زهيدة

الشعبة: هندسة الطرائق

التخصص: هندسة الطرائق البيئية

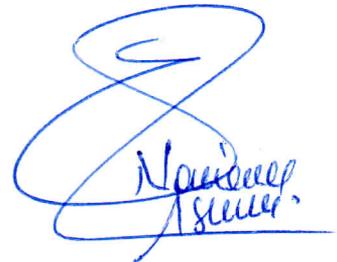
بعنوان: Development of an Alternative Coagulant from Iron

Or and its Synergy with Adsorption for the treatment
of Water Contaminated by pharmaceutical compounds,

أرخص بإيداع المذكرة المذكورة.

رئيس لجنة المناقشة

الأستاذ المشرف


Nouria Ahamad