

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Génie de l'environnement

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie des procédés

Spécialité : Gestion des changements environnementaux en méditerrané

Par : - BENMOUSSA IMENE

Sujet

Traitement des eaux usées industrielles de l'Unité EMBAG-BBA

Soutenu publiquement, le 15 / 06 / 2023 , devant le jury composé de :

Mme. S. BEKRI

M.A.B

Univ-BBA

Président

Mme. N. MAGHRAOUI

M.C.B

Univ-BBA

Examineur

Mr. A. BAHLOUL

Pr

Univ-BBA

Encadrant

Mr. Y. NOUFEL

EMBAG-BBA

Co-Encadrant

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Avant tout je remercie Allah le Tout-Puissant qui m'a donné la santé, le courage et la volonté pour entreprendre et accomplir ce modeste travail. Je tiens également à remercier ma famille pour son soutien et son accompagnement tout au long de mon parcours universitaire.

Tout d'abord, ce travail n'aurait pas été aussi enrichissant et n'aurait pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement du **Pr. A. Bahloul**. Je le remercie de m'avoir guidé, conseillé et soutenu tout au long de mes études, ainsi que pour la qualité exceptionnelle de son encadrement. Je suis reconnaissante pour sa patience, ses conseils, sa gentillesse, sa rigueur et sa disponibilité constante pendant la préparation de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à Monsieur **Dr. A. Dilmi** et Madame **Dr. N. Maghraoui** qui ont accepté de présider mon jury. Et qui m'a honoré, et je vous remercie pour l'intérêt que vous portez à ce travail en acceptant de juger mon mémoire. Veuillez accepter l'assurance de mon estime et de mon profond respect.

Je remercie infiniment le personnel de l'entreprise **EMBAG-BBA** pour leur accueil chaleureux qui m'a facilité la réalisation de cette étude. Je souhaite exprimer ma reconnaissance particulière à **Noufel Yassine** pour son aide précieuse, ses conseils avisés et sa gentillesse.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers **Mme F. Habiche**, ingénieur du laboratoire de génie de l'environnement, pour son aide précieuse et ses précieux conseils.

Dédicaces

Avec une profonde gratitude, je dédie ce travail à ceux qui, quelle que soit la manière dont je m'exprime, ne pourrais jamais leur rendre justice pour l'amour sincère que je leur porte.

À l'homme qui est précieux à mes yeux, celui à qui je dois ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père Zine Eddine.

À la femme qui a enduré sans me laisser souffrir, qui n'a jamais refusé mes demandes et qui n'a ménagé aucun effort pour me rendre heureuse : ma tendre mère Samira.

Que Dieu leur accorde une longue et joyeuse vie.

À mes chères sœurs Chaima, Houda et à mon adorable petit frère Abd Errahmene, qui ont partagé avec moi tous les moments émouvants de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement soutenu, encouragé et conseillé tout au long de mes études. Que Allah leur accorde la santé, le bonheur, le courage et surtout la réussite.

Tire	Page
Remerciement	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction	
Chapitre I :Recherche bibliographique	
I.1.Définition	3
I.2.Définition des eaux usées industrielles	3
I.3. Origine et nature des rejets industriels	3
I.4. Caractérisation générale des effluents	4
II. effets sur l'environnement et sur la santé	5
II.4. Effets sur l'environnement	7
III. les procédés de traitement physico-chimique	8
III.1. Flottation	10
III.2. Décantation	11
III.3. Précipitation	12
III.4. Coagulation-floculation	13
III.5. Neutralisation	14
III.6. Adsorption	15
III.7. Oxydation avancée	16
III.8. Echange d'ion	17
III.9. L'électrocoagulation	18
III .10. La Filtration	19
III.11. Séparation membranaire	19
III.12. Les Norme de rejets industriels (réglementations algérienne)	21
IV .1. Gestion et traitement des boues :	23
IV.2. Stabiliser la matière organique	24
Chapitre II : partie expérimentale	
II.1. Techniques et réactifs	25
II.1.1. Techniques d'analyse	25
II.2. Coagulants et floculants utilisés	35
II.3. Représentation de la société	36
II.3.1.Protocole de mise en marche de la station	37
Chapitre III : Résultats et discussion	
III.1 Choix et préparation des doses de coagulants et floculants	39
III.2 Préparation des solutions mères	39

III.3 Optimisation de la dose optimale du coagulant	40
III.4 Optimisation de la dose optimale du flocculant	40
III.5 Analyses physico-chimiques des eaux usées industrielles prélevés:	41
III.6. Détermination de la dose optimale du coagulant « Ferrollin »	42
III.7. Détermination de la dose optimale du flocculant « Ferrocryl»	45
III.8. Détermination de la dose optimale du coagulant « FeCl 3 » :	47
III.9. Détermination de la dose optimale du flocculant « Ferrocryl»	48
III.10. Optimisation de la dose du coagulant « CaSO ₄ »	50
III.11. Détermination de la dose optimale du coagulant Ca(OH) ₂ « la chaux »	52
IV.1. Application des résultats obtenue au niveau de la station d'épuration de la société EMBAG – BBA	56

Listes des figures :

Titre	Page
Chapitre I	
Figure I.1 : Étapes de traitement des eaux usées	9
Figure I.2 : Schéma de principe du processus de flottation par air dissous ² .	10
Figure I.3 : Réaction de neutralisation	15
Figure I.4 : Schéma classique de mise en œuvre d'ion	18
Figure I.5 : Schéma du procédé de séparation membranaire	20
Figure I.6 : Structure interne d'une membrane à spirale.	21
Chapitre II	
Fig II.1 : pH-mètre (inolab pH 7110).	25
Fig II.2 : Conductimètre (inolab cond 7110).	27
Fig II.3 : Agitateur Jar Test.	28
Fig II.4 : Turbidimètre (Lovibond TB300 IR).	30
Fig II.5 : Flacons de DBO-mètre et incubateur	31
Fig II.6 : Mesure de DCO.	33
Fig. II.7 : Mesure de la MES.	35
Fig. II.8 : Société EMBAG-BBA	37
Fig II.9 : Station d'épuration des eaux usées industrielles de l'unité EMBAG BBA.	38
Chapitre III :	
Fig. III.1 : Photos des coagulants et flocculant utilisés.	39
Fig. III.2 : Photos des échantillons prélevés.	41
Fig. III.3 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du coagulant Ferrolin à 100% et 10% avec des différents volumes.	43
Fig. III.4 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du coagulant Ferrolin 10% à des faibles quantités.	44
Fig. III.5 : Résultats de jar test pour le « Ferrolin ».	44
Fig. III.5.1. Résultats de jar test pour le coagulant « Ferrolin » et le flocculant « Ferrocryl.	46
Fig. III.6 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du flocculant Ferrocryl 20% à des faibles quantités	46
Fig. III.7 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du coagulant FeCl ₃ à 10% avec des différents volumes.	47
Fig. III.8 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du flocculant Ferrocryl 20% à des faibles quantités	49
Fig. III.9 : Résultats de jar test pour le flocculant « Ferrocryl » et le coagulant FeCl ₃	49

Fig. III.10 : Évolution de la turbidité en fonction différents volumes du coagulant CaSO ₄ saturé, CaSO ₄ saturé dilué 10% et CaSO ₄ solide.	50
Fig. III.11: Évolution de la turbidité en fonction du volume optimale du coagulant CaSO ₄ à 100 %	51
Fig. III. 12 : Résultats de jar test du coagulant CaSO ₄ saturé.	52
Fig. III.13 : Évolution de la turbidité en fonction des différents volumes du coagulant Ca(OH) ₂ saturée et différentes masses de Ca(OH) ₂ solide.	53
Fig. III. 14 : Résultats de jar test avec la chaux solide (Photo après l'arrêt de l'agitation).	53
Fig. III.15 un autre test avec de la dose optimale de coagulant Ca(OH) ₂ .	54
Fig. III.16 : Représente les courbes de l'évolution de la turbidité en fonction des différents volumes de coagulants (chaux solide, Ferrolin et FeCl ₃) application sur le 4ème prélèvement.	55
Fig. III.17 une comparaison entre les différents coagulants (Ferrolin et le FeCl ₃ et la chaux solide) dans le traitement.	56
Fig. IV.1.1 Application des résultats obtenue au niveau de la station d'épuration de la société EMBAG – BBA	57
Figure IV.1.2: Échantillon d'eau usée traitée.	57

Liste des tableaux :

Titre	Page
Chapitre I :	
Tableau 1 : Les Norme de rejets industriels (réglementations algérienne)	22
Chapitre II :	
Tableau II.1 : Valeurs de turbidité et qualités	30
Tableau II.2 : Quantité à analyser selon la valeur de DBO ₅ et le facteur de calcul	32
Tableau II.3 : Coagulants et floculant utilisé dans cette étude	36
Chapitre III :	
Tableau III.1 : Les analyses physico-chimiques des eaux usées industrielles prélevés à l'unité EMBAG	41
Tableau III.2 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du coagulant Ferrolin 10%.	44
Tableau III. 3 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du floculant ajouté (Ferrocryl 20 %).	45
Tableau III.4 : Evolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du coagulant Ferrolin 10%.	48
Tableau III. 5 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du floculant Ferrocryl 20 %.	48
Tableau III.6 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du coagulant CaSO ₄ saturée.	51
Tableau III.7 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du coagulant Ca(OH) ₂ saturée et différentes masses	52
Tableau III.8 : Evolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction de masse du coagulant Ca(OH) solide et volume de ferrolin et ferrocryl :	55
Tableau: IV.1. Analyses finales de l'échantillon après traitement	56

Introduction générale:

L'eau est essentielle à la survie de tous les êtres vivants. Elle est la source de vie pour les humains, les animaux et les plantes, et nous ne réalisons souvent son importance que lorsqu'elle est perdue. Aujourd'hui, l'augmentation des besoins de la population entraîne une augmentation de l'utilisation des ressources en eau.

Les termes "eaux d'égout" et "eaux usées" sont souvent utilisés de manière interchangeable, mais il existe des différences importantes entre les deux. Les eaux d'égout désignent les déchets humains transportés par les égouts, tandis que les eaux usées sont un terme plus général qui englobe l'eau utilisée par une communauté ou une industrie. Les eaux usées contiennent des matières dissoutes et en suspension provenant de diverses sources domestiques, commerciales ou industrielles

Le traitement des eaux usées est une préoccupation majeure en matière d'environnement dans notre pays, car les rejets d'eaux résiduelles ont considérablement augmenté en termes de quantité et de qualité au cours des dernières décennies. La plupart des industries produisent des eaux usées, mais récemment, il y a eu une tendance à réduire leur production ou à recycler les eaux usées traitées dans le processus de production.

La problématique de ce travail porte sur les taux des paramètres physicochimiques de DBO₅ et DCO dans les eaux usées industrielles de la société EMBAG-BBA. L'objectif est de déterminer la dose optimale de coagulant et de floculant (Ferrolin et Ferrocryl) et de proposer d'autres coagulants plus efficaces pour réduire les taux de DBO₅ et de DCO.

Dans ce contexte, notre travail propose de traiter les eaux usées industrielles de l'Unité EMBAG-BBA en utilisant le traitement physico-chimique de la coagulation-floculation. Par conséquent, ce mémoire est présenté en trois grands chapitres.

Le premier chapitre vise à réaliser une étude bibliographique sur les eaux usées industrielles, leur impact sur l'environnement et la santé, ainsi que sur les différents procédés physicochimiques de traitement des eaux usées, tels que la flottation, la décantation, la précipitation, la coagulation-floculation, la neutralisation, l'adsorption, la filtration, l'électrocoagulation, l'oxydation avancée, l'échange d'ions et la séparation membranaire. Ce chapitre présente également les normes algériennes relatives aux rejets industriels ainsi que la gestion et le traitement des boues.

Le deuxième chapitre décrit la démarche expérimentale, y compris les méthodes et les équipements utilisés pour réaliser ce travail. Cette partie pratique du mémoire a été réalisée au laboratoire de traitement des eaux.

Le troisième chapitre comporte les résultats et discussion..

Chapitre I :

Recherche bibliographique

Ce premier chapitre a pour but de donner des définitions sur les eaux usées, leurs types et leurs effets sur la santé humaine et l'environnement. Ainsi que la description des différents procédés de traitement des eaux usées.

I.1.Définition :

L'eau est une ressource stratégique limitée qui est non seulement essentielle au maintien de la vie sur terre, mais à tous les secteurs socio-économique. Aujourd'hui l'augmentation de la consommation de cette source entraîne une augmentation des rejets d'eau usée, provoquant une pollution du milieu récepteur, affectant le bien-être des organismes et altérant l'environnement [1].

I.2.Définition des eaux usées industrielles :

L'eau résiduaire industrielle désigne l'eau qui provient des activités industrielles. Elle est différentes des eaux usées domestique et ses caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organique, azoté ou phosphorées, elle peut également contenir :

- Des produits toxiques
- Des solvants,
- Des métaux lourds,
- Des micropolluants organiques,
- Des hydrocarbures (raffineries),
- De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques),
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs),
- Des graisses (industries agroalimentaires).

Certaines d'entre elle doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux collecte. Elle ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elle ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations des traitement [2].

I.3. Origine et nature des rejets industriels :

La diversité des activités industrielles engendrent des rejets spécifiques de Caractéristiques variables et de composition hétérogène souvent fluctuante. Ce qui implique une investigation propre à chaque type d'industrie. Il est donc fondamental d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et l'organisation des circuits d'alimentation en eau de l'usine ainsi

que des réseaux d'assainissement assurant l'évacuation de la production polluante [3]. Les eaux résiduaires industrielles (ERI) se différencient, en fonction de l'utilisation de l'eau, en différentes catégories:

➤ **Effluents de fabrication ou de procédés :**

La plupart des procédés conduisent à la fabrication ou à la transformation d'un produit à des rejets polluants qui proviennent du contact de l'eau avec les gaz, les liquides ou les solides. Ces rejets sont continus ou discontinus. Dans l'industrie alimentaire, ces eaux représentent l'essentiel de la pollution organique dissoute [4].

➤ **Eaux des circuits de refroidissement :**

Les eaux des circuits de refroidissement, abondantes et généralement non polluées, car non en contact avec les produits fabriqués, peuvent être recyclées. Elles sont souvent rejetées encore chaudes (30 à 50°C). Si elles ne sont pas à une température incompatible avec un traitement physique (risque de courants de convection dans les décanteurs) ou biologique, elles peuvent être utilisées pour diluer des rejets très concentrés avant le traitement [5].

➤ **Eaux de lavage des sols et des machines :**

Contrairement aux autres rejets, le degré de pollution et le débit des eaux de lavage sont très variables et particulièrement importants à la fin de la semaine et des périodes de travail et au cours des nettoyages. Elles sont chargées de produits divers, matière première ou liqueurs de fabrication, hydrocarbures et huile de machines, produits détergents, produits bactéricides. Parfois, comme c'est souvent le cas dans l'industrie alimentaire, les lavages des appareils sont faits avec des solutions très acides ou très alcalines. Ce qui entraîne de fortes variations de pH [6].

A noter par ailleurs, les caractères parfois occasionnels de ces rejets qui peuvent correspondre, par exemple, à des fuites accidentelles de produits durant leur manipulation ou leur stockage. Ce sont les plus dangereux et les moins maîtrisables [7].

➤ **Mélanges d'effluents :**

Les mélanges d'effluents, avant leur traitement est intéressant, surtout lorsqu'il s'agit de deux rejets de qualités complémentaire, par exemple d'un effluent acide et d'un effluent basique [8]

I.4. Caractérisation générale des effluents

Pour la bonne définition d'une station de traitement des eaux résiduaires, il est nécessaire de pouvoir disposer des éléments suivants [9] :

- Fabrications types, capacités et cycles, matières première consommées ;
- Composition de l'eau d'appoint à l'usine ;
- Possibilité de séparation des rejets et/ou de recyclages ;
- Volume journalier d'effluent par catégorie ;
- Débit horaire moyen, maximum (fréquence et durée par catégorie) ;
- Flux de pollution moyen, maximal (fréquence et durée) par catégorie de rejet et pour une pollution spécifique de l'industrie considérée.

II. effets sur l'environnement et sur la santé :

Les différents polluants existants dans les eaux usées peuvent impliquer des risques sur la santé humaine et des impacts sur l'environnement et être-vivants

II.1. Définition de la pollution de l'eau :

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physique, chimique et biologique ; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels [10].

II.2. les différents types de pollution de l'eau :

❖ II.2.1. la pollution physique :

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle [11]. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution nucléaire (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires).

❖ 3.2.2. Pollution chimique :

Elle est due au déversement des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables [12].

❖ 3.2.3. Pollution biologique

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons efflorescences planctoniques ...etc.) [13].

II.3. Les effets sur la santé humaine :

II.3.1. Risques des maladies hydriques par :

Les maladies hydriques, également connues sous le nom de maladies liées à l'eau, sont des affections causées par la contamination de l'eau potable ou par l'exposition à des sources d'eau contaminées. Ces maladies peuvent être transmises par des agents pathogènes tels que [14] :

- ✓ Bactéries : salmonelloses, leptospirose.
- ✓ Virus : poliomyélites, hépatite A.
- ✓ Protozoaires : dysenterie amibienne, giardases.
- ✓ Helminthes : vers parasites intestinaux.

II.3.2. Maladies liées à la présence d'éléments toxiques pour l'homme :

La présence d'éléments toxiques dans l'environnement peut entraîner diverses maladies chez l'homme. Voici quelques exemples des éléments toxiques :

- ✓ Micropolluants organiques (détergents, pesticides, composés cycliques d'huiles lourds ou goudron).
- ✓ Substances minérales de types métaux lourds (plomb, mercure et le chrome).

Parmi, les maladies les plus rencontrés et qui sont liées à l'exposition à ces éléments toxiques, on trouve:

- **Intoxication au plomb** : L'exposition au plomb, souvent présente dans la peinture à base de plomb, l'eau contaminée par des tuyaux en plomb ou d'autres sources, peut causer une intoxication au plomb. Cela peut entraîner des problèmes neurologiques chez les enfants, tels que des retards de développement, des troubles de l'apprentissage, des troubles du comportement et des dommages permanents au cerveau. Chez les adultes, l'exposition au plomb peut causer des problèmes rénaux, cardiovasculaires et neurologiques.
- **Intoxication au mercure** : Le mercure est un métal toxique qui se trouve principalement dans les poissons prédateurs, tels que le thon et l'espadon, en raison de la bioaccumulation dans la chaîne alimentaire. L'exposition au mercure peut causer des dommages au système

nerveux central, entraînant des problèmes de coordination, de mémoire, de vision et de langage. Chez les femmes enceintes, l'exposition au mercure peut nuire au développement du fœtus.

- **Maladies liées à l'amiante** : L'amiante est une substance fibreuse utilisée dans la construction et d'autres industries. L'inhalation de fibres d'amiante peut entraîner des maladies respiratoires graves, telles que l'asbestose (cicatrisation des poumons), le cancer du poumon et le mésothéliome (cancer de la plèvre). L'exposition à l'amiante est principalement associée à des environnements de travail où l'amiante est manipulée, mais l'exposition résidentielle peut également se produire dans des bâtiments contenant de l'amiante.
- **Maladies liées aux pesticides** : Les pesticides sont utilisés dans l'agriculture pour éliminer les parasites et les mauvaises herbes. Une exposition excessive ou prolongée à ces produits chimiques peut entraîner des problèmes de santé, tels que des cancers (par exemple, le lymphome non hodgkinien), des troubles neurologiques, des problèmes de fertilité, des anomalies congénitales et des troubles hormonaux.
- **Intoxication à l'arsenic**: L'exposition à l'arsenic, souvent présent dans les eaux souterraines contaminées, peut causer des problèmes de santé graves. L'arsenic est un cancérigène connu et peut provoquer des cancers de la peau, de la vessie, du poumon et d'autres organes. Il peut également entraîner des problèmes cardiovasculaires, des troubles de la peau, des lésions nerveuses et des problèmes de développement chez les enfants exposés.

II.4. Effets sur l'environnement :

II.4. 1. Risques sur les êtres vivants dans le biotope (milieu de rejet) :

Le biotope, également appelé habitat naturel, est l'environnement dans lequel les êtres vivants évoluent. Les risques pour les êtres vivants dans un biotope peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la pollution, la destruction de l'habitat, les changements climatiques et les interactions entre les espèces. Parmi ces effets on a :

- ✓ Maladies par contamination virales et bactériennes.
- ✓ Atteint par effet toxique d'éléments agissants seuls ou en synergie (micropolluants organiques, minéraux, substances radio-actives).

II.4.2. Risque de dégradation des écosystèmes aquatiques :

La dégradation des écosystèmes aquatiques est une préoccupation majeure en raison de son impact sur la biodiversité, la productivité écologique et la fourniture de services écosystémiques. Voici quelques risques associés à la dégradation des écosystèmes aquatiques :

- ✓ La destruction et la fragmentation des habitats aquatiques,
- ✓ La pollution de l'eau par des substances toxiques,
- ✓ La surpêche, la collecte excessive de coquillages, la récolte de plantes aquatiques et d'autres formes de surexploitation des ressources aquatiques peuvent déséquilibrer les écosystèmes,
- ✓ Les changements climatiques, tels que l'augmentation de la température de l'eau, les modifications des régimes des précipitations et l'élévation du niveau de la mer, peuvent avoir des effets importants sur les écosystèmes aquatiques.

II.4.3. Risque d'accroissement des difficultés des coûts pour la correction des eaux prélevées :

Ces difficultés peuvent être rencontrées pour corriger les eaux lorsque les contraintes économiques ne permettent pas d'instaurer les développements des techniques d'installation, on peut si l'on ne parvient pas à réduire les flux rejetés, retrouver les risques pour la santé de l'homme.

III. les procédés de traitement physico-chimique :

La station d'épuration rassemble une succession de mécanisme pour traiter des eaux usées. Chacune de ces dispositifs est conçue pour extraire un ou plusieurs polluants. L'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée [15].

Chaque étape de traitement (Figure I.1) est précisée pour la réduction de degré de polluants [16]:

- ✓ Le prétraitement pour l'élimination de la pollution en suspension (MES granuleuse, les graisses, l'huile, le sable, les argiles et les gravillons) ;
- ✓ L'épuration physico-chimique pour l'élimination de la pollution colloïdale (MES fines), hydrocarbures en émulsion mécanique et chimique ;
- ✓ L'épuration biologique pour l'élimination de la pollution dissoute et biodégradable ;
- ✓ L'épuration tertiaire pour l'amélioration de l'élimination de l'azote, phosphore, les mauvaises odeurs et de satisfaire les normes de rejets (MES, DCO, DBO₅, pH, l'azote et le phosphore) dans les milieux biologiques.

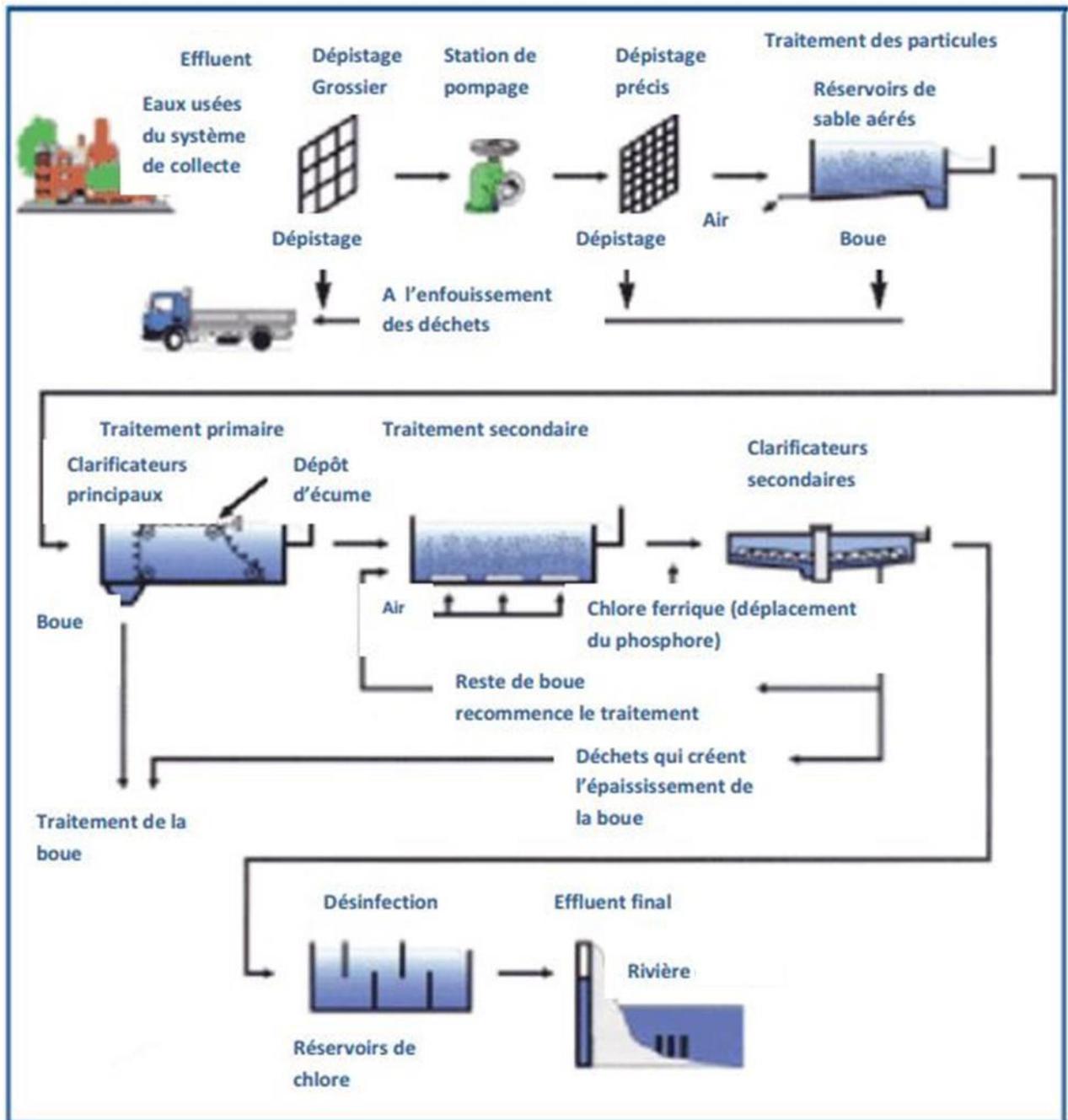


Figure I.1 : Étapes de traitement des eaux usées .

III.1. Flottation :

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient. Pour l'extraction des particules en suspension, on fait appel à des techniques de clarification et d'épaississement par insufflation d'air. Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer en les ramenant à la surface de l'eau. Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspensions et réduit d'environ 30% de la DBO₅ et de la DCO [17].

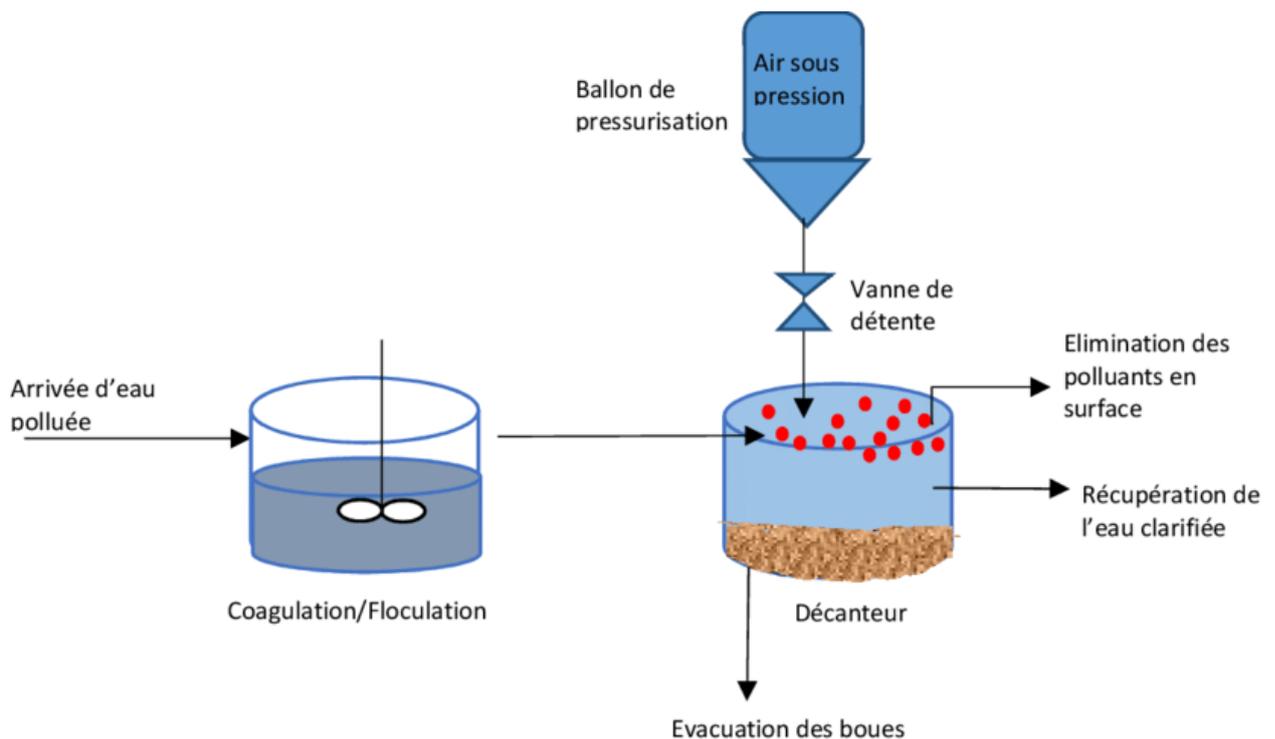


Figure I.2 : Schéma de principe du processus de flottation par air dissous .

III.2. Décantation :

La décantation est une opération de séparation physique, par différence de gravité de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. On peut séparer des phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide [18].

La décantation est utilisée par toutes les usines d'épuration de l'eau, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle d'eau. Ces particules sont en général des particules de floc ou des particules résultant de la précipitation qui a lieu lors de traitement d'adoucissement ou d'élimination du fer et du manganèse. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration.

III.2.1. Types de décantation :

Selon la concentration en solide et la nature des particules (densité et forme), on distingue quatre type de décantation ;

➤ **Type 1 : décantation de particules discrètes :**

Est dite discrète ou individuelle, est caractérisé par le fait que les particules conservent leurs propriétés physique initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute. On trouve ce type de décantation dans les dessaleurs.

➤ **Types 2 : décantation de particules floculantes :**

Ce type est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Les propriétés physiques de ces particules (forme, dimension, densité et vitesse de chute) sont modifiées pendant le processus. On retrouve ce type dans les décanteurs des usines de traitement des eaux et les décanteurs secondaires des usines d'épuration.

➤ **Types 3 : décantation freinée :**

Ce type de décantation est caractérisé par une concentration élevée de particules, ce qui entraîne la formation d'une couche de particules et, par conséquent, l'apparition d'une démarque nette entre les solides décantés et le liquide surnageant. On retrouve ce type de décantation dans les partis profonds des décanteurs.

➤ **Type 4 : décantation en compression de boue :**

Les particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures, on retrouve ce type de décantation dans les épaisseurs de boue par gravité [18].

III.3. Précipitation :

➤ **III.3.1. La précipitation chimique à la chaux:**

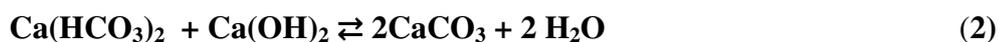
C'est la technologie la plus courante pour retirer les métaux dissous (ioniques) des solutions, comme les eaux usées de process contenant des métaux toxiques. C'est le procédé le plus utilisé dans le traitement des eaux pour adoucir l'eau en éliminant sa dureté. Il peut être employé pour l'abaissement du taux de cadmium des eaux destinées à l'alimentation [19].

➤ **III.3.2. Généralités sur la précipitation chimique à la chaux :**

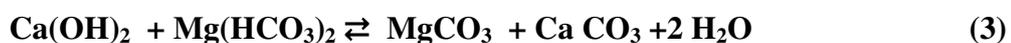
La technique de la précipitation chimique à la chaux sert à la diminution de la dureté carbonatée dite dureté temporaire. Sa mise en œuvre est très simple, il suffit d'ajouter de la chaux (hydratée ou vive) à l'eau afin de précipiter CaCO_3 (carbonate de calcium) ou $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (hydroxyde de magnésium). Lorsqu'on ajoute la chaux dans l'eau, elle réagit d'abord avec le CO_2 libre suivant la réaction:



La chaux réagit ensuite avec les bicarbonates de calcium, le pH final est de 9,8.



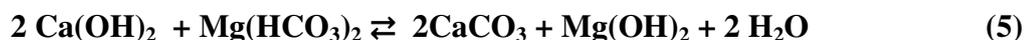
Si l'eau contient des ions $(\text{HCO}_3)^-$ liés à des ions Mg^{2+} , l'ajout de chaux provoque :



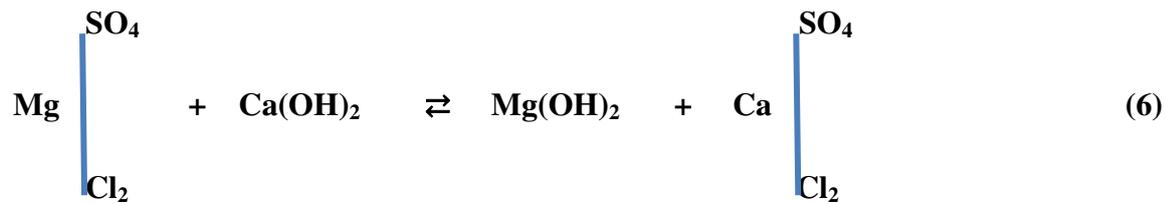
Sachant que le carbonate de magnésium est relativement soluble, l'addition de chaux provoque:



La réaction globale de précipitation de la magnésie $\text{Mg}(\text{OH})_2$ à partir des relation (3) et (4) s'écrit :



Le pH final de la réaction (5) est 11,83 .Lorsque le magnésium est lié à des sulfates ou des chlorures, la magnésie précipite suivant la réaction :



à partir des réactions de (1) à (6), on peut constater qu'un adoucissement avec un excès de chaux en présence de magnésium provoque la précipitation de la magnésie Mg(OH)_2 .

III.4. Coagulation-floculation :

la coagulation-floculation est un procédé physico-chimique visant la déstabilisation des particules colloïdales présente dans l'eau, puis formation de floes par adsorption et agrégation. Les floes ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite.

III.4.1. Coagulation :

➤ Principe de phénomène :

La coagulation a pour but principale de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération.

En pratique ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produit chimiques. la charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules tendent à éloigner ces particules les unes des autres et par conséquent, à les déstabiliser pour favoriser leur agglomération. [20]

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et pour produire un floe sont :

- Le sulfate d'alumine $\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
- L'aluminate de sodium NaAlO_2
- Le chlorure d'aluminium AlCl_3
- Le chlorure ferrique FeCl_3
- Le sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- Le sulfate ferreux FeSO_4
- Le sulfate de cuivre CuSO_4
- Les polyélectrolytes (chlorure de polyaluminium) (PAC : $[\text{Al}_2(\text{OH})_n \text{Cl}_{6-n}]_x$).

III.4.2. la floculation :

➤ **Principe de phénomène :**

La floculation a pour objectif de favoriser les contacts entre les particules déstabilisées à l'aide d'un mélange lent. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer. Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquels sont provoqués par différence de vitesse entre ces particules [20].

Les flocculants peuvent être de trois natures différentes :

- Les flocculants minéraux
- Les flocculants organiques
- Les flocculants de synthèse

III.5. Neutralisation :

Le traitement des eaux par neutralisation consiste à appliquer à l'eau un traitement destiné à lui rendre un pH neutre (Figure I.3). Un pH neutre se situe autour de 7, et le traitement s'applique le plus souvent sur des eaux trop acides (dont le pH est inférieur à 7). Une eau trop acide peut avoir des conséquences sur la santé, mais également sur le matériel (corrosion des éléments dans lesquels l'eau circule). Le procédé de neutralisation utilise un filtre contenant du calcaire, à travers lequel on fait passer l'eau. Le calcaire a pour propriété chimique de neutraliser le gaz carbonique (responsable de l'acidité) dissout dans l'eau. Dès lors, l'eau retrouve un pH neutre. La neutralisation peut aussi être utilisée sur des eaux rejetées par l'industrie avant d'être dirigée vers des stations d'épuration pour y subir d'autres traitements dépolluants [21].

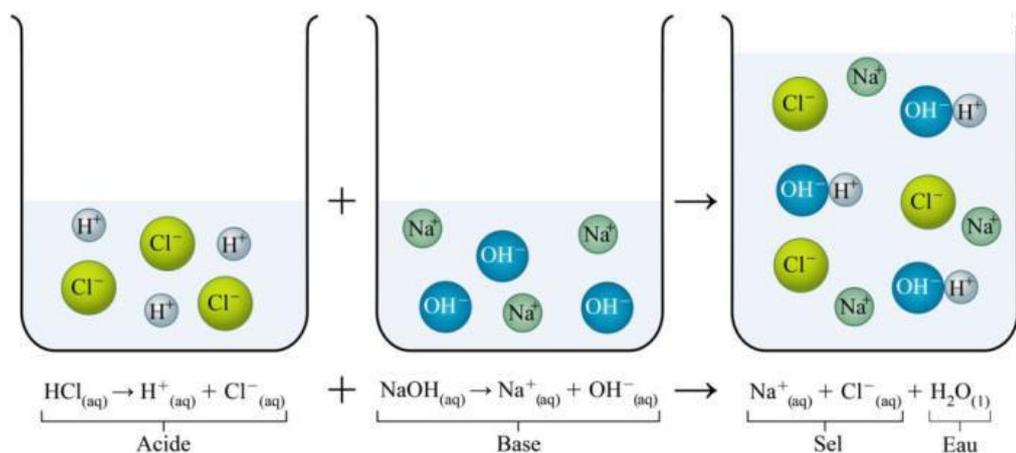


Figure I.3 : Réaction de neutralisation

III.6. Adsorption :

L'adsorption est une technique de séparation qui consiste à réaliser un transfert fluide-solide. Elle est due à des phénomènes de diffusion et à des interactions entre la surface de l'adsorbant et la molécule. Elle est donc favorisée par les matériaux ayant d'importantes surfaces spécifiques. Les réactions d'adsorption sont exothermiques. La quantité adsorbée est à peu près proportionnelle à la surface développée en contact avec le milieu fluide (gaz ou liquide) [22].

III.6.1. Grands types d'adsorbants « physiques »

On distingue cinq grands types d'adsorbants « physiques » : les charbons actifs, les zéolithes, les alumines, les gels de silice, les argiles activées [23].

- **Charbons actifs :**

Les charbons actifs sont préparés par pyrolyse d'une matière contenant du carbone, charbon ou matériau végétal, pour conduire à un charbon de bois qui est ensuite oxydé par la vapeur d'eau dans des conditions contrôlées pour créer une structure microporeuse.

- **Zéolithes**

Les zéolithes sont des alumino-silicates cristallisés microporeux de formule globale $(\text{AlO}_2\text{M}, n\text{SiO}_2)$ où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux et $n \geq 1$. Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallographique.

- **Alumines activées**

Les alumines activées sont obtenues par thermolyse flash du trihydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$ qui conduit à un produit de composition approximative $\text{Al}_2\text{O}_3, 0.5 \text{H}_2\text{O}$, possédant une structure poreuse résultant du départ de molécules d'eau. La surface des pores est couverte de groupements Al-OH , et l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène. Les alumines activées sont des adsorbants amorphes, moyennement polaires et hydrophiles

- **Gels de silice**

Les gels de silice sont préparés à partir de $\text{Si}(\text{OH})_4$ en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium, ou bien à partir d'un sol de silice (suspension dans un liquide, tel que l'eau, de microparticules (20 à 100 nm), appelées micelles, stables car trop petites pour décanter), ou bien par hydrolyse d'un alcoxy-silane. La solution fluide obtenue ne tarde pas à polymériser, ce qui conduit à un gel qui conserve sa structure lâche après rinçage et séchage. Les groupements Si-OH conduisent à des liaisons hydrogène.

- **Argiles activées**

Les argiles activées sont des alumino-silicates de formule brute proche des zéolithes, mais de structure cristalline différente. Ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage

III.7. Oxydation avancée :

Les procédés d'oxydation avancées (POA) sont toutes basées sur la formation d'entités chimiques très réactives, qui vont oxyder les molécules en molécules biologiquement dégradables et finalement en composés minéraux tels que CO_2 et H_2O . Ce sont des méthodes d'oxydation physico-chimique qui permettent la destruction des polluants cibles et non la séparation ou le changement de phase, comme les procédés de filtration ou de transfert de matière. Elles fournissent une solution finale à l'abatement de pollutions aqueuses et évitent les éliminations de déchets secondaires ou concentrés (filtrats, adsorbat, boues biologiques, etc.), à température et pression ambiantes [24].

III.7.1. Principes

➤ **Principes chimiques**

De manière simplifiée, la chimie des POA peut être divisée en trois parties :

- Formation de $\text{OH}\cdot$;
- Attaque chimique initiale des molécules cibles par $\text{OH}\cdot$, entraînant leur décomposition en fragments ;
- Attaques ultérieures (toujours par $\text{OH}\cdot$ des résidus, jusqu'à minéralisation ultime.

➤ **Principes physiques :**

À ce jour, les POA peuvent être subdivisés en quatre groupes sur la base du mécanisme de production d' $\text{OH}\cdot$:

- Les procédés d'oxydation chimique en phase homogène ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ et $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$) : le couplage $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ est le système d'oxydation avancée le plus connu et le moins complexe, surtout employé dans le traitement des effluents industriels ; le couplage $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ est lui plutôt utilisé pour détruire des pesticides et leurs résidus ;
- Les procédés photocatalytiques en phase homogène et/ou hétérogène ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, O_3/UV et $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$; TiO_2/UV) ;
- Les procédés d'oxydation sonochimique ;
- Les procédés d'oxydation électrochimique.

Ces procédés diffèrent considérablement ; par exemple, la production d'ozone pour l'ozonation, la production d' $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ et l'oxydation photocatalytique reposent sur des processus physicochimiques très différents de génération de $\text{OH}\cdot$ [25].

III.8. Echange d'ion :

Le procédé d'échange ionique est défini comme un échange réversible d'ions, entre un solide et un liquide, échange qui s'effectue sans modification substantielle de la structure du solide, appelé résine. Ce sont par exemple : les zéolithes naturelles ou artificielles qui sont utilisées pour adoucir l'eau. Donc, le procédé d'échange ionique est une méthode utilisée pour purifier, séparer ou concentrer les ions présents dans une solution. Il est largement utilisé dans de nombreux domaines, tels que le traitement de l'eau, l'industrie pharmaceutique, l'industrie alimentaire... etc.

L'échangeur d'ions (Figure I.4) est une substance solide qui, placée dans un liquide, à la faculté de libérer des ions ou de fixer les ions contenus dans ce liquide. Les réactions d'échange d'ions sont régies par la loi des équilibres chimiques c'est à dire qu'elles se déroulent jusqu'à ce que les concentrations des divers ions atteignent certaines proportions précises [26].

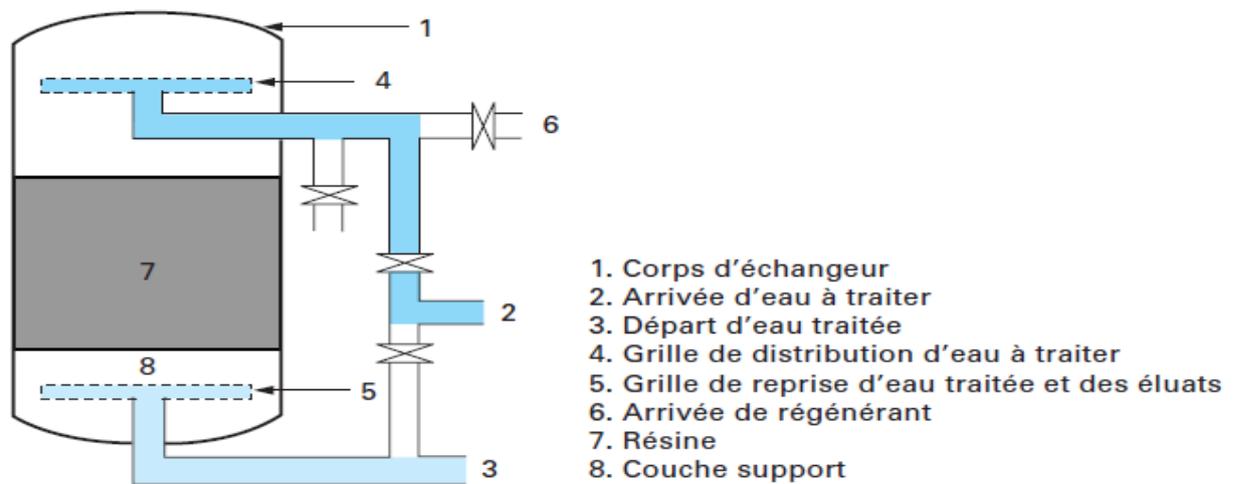


Figure I.4 : Schéma classique de mise en œuvre d'ion³.

III.9. L'électrocoagulation :

Le procédé d'électrocoagulation est basé sur le principe des anodes solubles. Lorsque un courant continu est imposé (ou potentiel) entre les deux électrodes (fer ou aluminium) immergées dans un électrolyte, un champ électrique se produit. Cela permet de créer un gradient de vitesse affectant toutes particules chargées notamment les colloïdes et les ions (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+}), facilite leur rencontre et susceptibles de provoquer une coagulation-floculation des polluants que l'on souhaite éliminer. Cette technique permet donc de diminuer le coût d'utilisation des produits chimiques et diminue par le fait même la production finale de boue dont il faut disposer. Le procédé crée un mouvement d'ions et de particules chargées. Cette action permet de rassembler les matières en suspension sous forme de floccs qu'on élimine après par un procédé physique (filtration, décantation, flottation). En utilisant les anodes de fer et d'aluminium, on arrive à faire passer en solution des quantités contrôlables d'ions métalliques indispensables à la création des floccs de taille suffisante [27].

III.10. La Filtration :

La filtration est un procédé de séparation dans lequel on fait percoler un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui idéalement retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat). On distingue principalement la filtration en profondeur (filtration sur lit granulaire) et la filtration avec formation de gâteau (filtration sur support). Trois mécanismes principaux interviennent successivement : capture, fixation et détachement. Leur importance dépend

des caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre mécanismes de capture qui sont essentiellement de deux natures :

a) Tamisage mécanique :

Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés formant eux-mêmes matériau filtrant

b) Rétention dans les espaces intergranulaires :

La taille de la particule comparée à celle des pores, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée et pourtant, lors de sa trajectoire tortueuse dans le lit.

c) Mécanismes de fixation :

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion...) et à des forces d'adsorption. Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Il y a alors augmentation de la vitesse d'écoulement inter-granulaire. Les dépôts déjà retenus peuvent alors se détacher partiellement et être entraînés plus avant dans le matériau filtration [28]

III.11. Séparation membranaire :

➤ **III.11.1. Définition de la membrane :**

La membrane est définie comme une barrière séparant deux compartiments et permettant le passage préférentiel d'au moins une espèce parmi les autres sous l'action d'une force de transfert chimique (concentration ...) ou physique (pression). En général, les constituants qui sont plus petits que les pores de la membrane sont capables de passer à travers sous l'effet d'une pression appliquée tandis que les substances et les molécules de taille plus importante sont retenues.

Le procédé de séparation membranaire est illustré schématiquement (Figure I.5). Le résultat d'une opération membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations différentes :

- le Retentât qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane,
- le Perméat qui contient les molécules qui traversent la membrane.

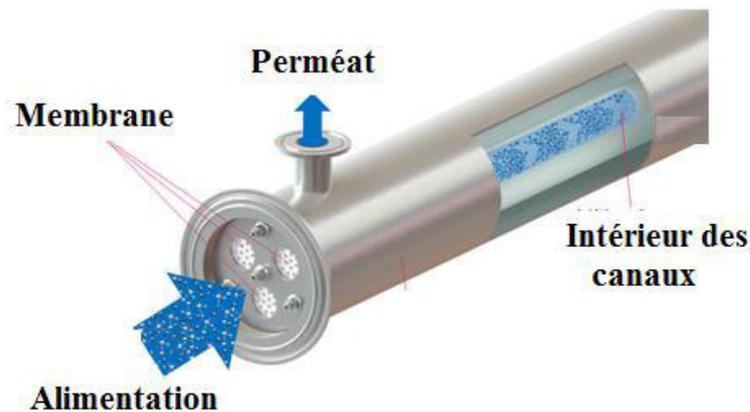
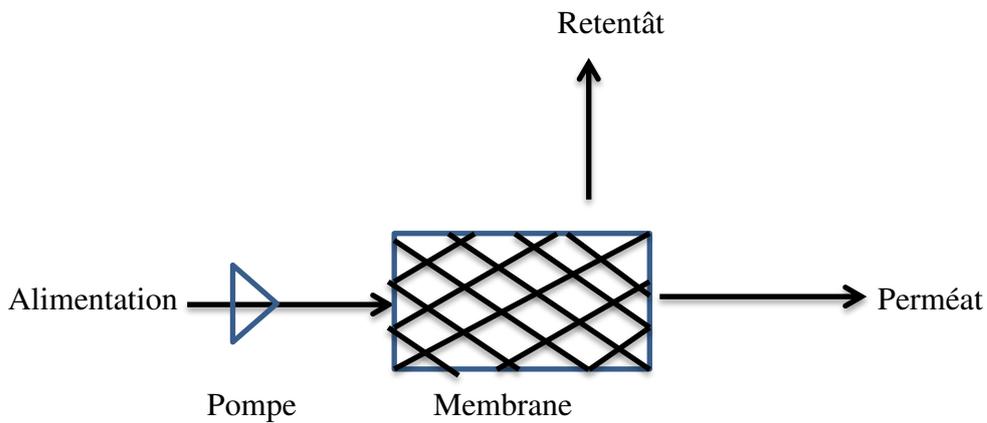


Figure I.5 : Schéma du procédé de séparation membranaire ⁴

➤ III.11.2. Classification des membranes :

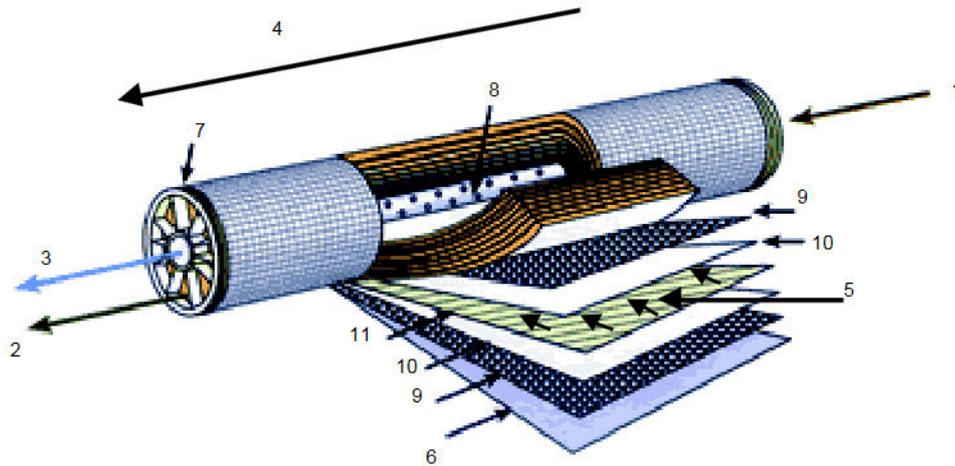
Les membranes sont des matériaux poreux ou denses composés de matières minérales ou organiques ou hybrides, homogènes ou plus généralement composites. Il existe différents types de membranes :

- **Les membranes minérales (ou inorganique) :**

Ces membranes présentent une structure à la fois composite et asymétrique : elles sont composées d'un support macroporeux à base d'alumine ou de carbone sur lequel sont déposées un nombre variable de couches d'oxydes minéraux (aluminium, ZrO_2 , TiO_2 ...).

- **Les membranes organiques :**

Elles sont fabriquées à base d'acétate de cellulose ou à partir de polymères de synthèse. Parmi les polymères les plus utilisés, on rencontre entre autres, les polysulfones, les polyamides aromatiques, les polyimides, les polyethersulfones, les polycarbonates, ainsi que des polymères fluorés [16] possédant principalement une structure asymétrique [29]



1. Entrée d'eau
2. Sortie de concentrât (rétentat)
3. Sortie de perméat
4. Sens d'écoulement de l'eau brute
5. Sens d'écoulement du perméat
6. Matériau de protection
7. Joint d'étanchéité entre module et enveloppe
8. Perforations collectant le perméat
9. Espaceur
10. Membrane
11. Collecteur de perméat

Figure I.6 : Structure interne d'une membrane à spirale.

III.12. Les Norme de rejets industriels (réglementations algérienne)

La teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques a moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration est fixée d'après le **décret exécutif 09/209** du journal officiel de la république Algérienne correspondant au 11 Juin 2009, et les valeurs limites maximales sont :

PARAMETRES	VALEURS LIMITES Max. (mg /l)
Azote globale	150
Aluminium	5
Argent	0,1
arsenic	0,1
Bérylium	0,05
Cadmium	0,1
Chlore	3
Chrome trivalent	2
Chrome hexavalent	0,1
Chromates	2
Cuivre	1
Cobalt	2
Cyanure	0,1
DBO₅	500
DCO	1000
Etain	0,1
Fer	1
Fluorures	10
Hydrocarbures totaux	10
Matière en suspension	600
Magnésium	300
Mercure	0,01
Nickel	2
Nitrites	0,1
Phosphore total	50
Phénol	1
Plomb	0,5
Sulfures	1
Sulfates	400
Zinc et composés	2

* Température : inférieur ou égale à 30° C

* pH : compris entre 5,5 et 8,5

IV.1. Gestion et traitement des boues :

Le principal objectif du traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire le volume pour limiter les quantités à stocker (voire à épandre), et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques (amélioration de leur tenue en tas) et arrêter la biodégradation dont elles sont le lieu [30].

IV.1.1. Epaissement

Il s'agit de la première étape de traitement des boues, qui s'opère en général avant le mélange des boues issues des différentes étapes d'épuration des eaux usées (boues primaires, secondaires, et éventuellement tertiaires). Cette étape peut être précédée de l'ajout de flocculant organiques de synthèse (polyélectrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium), afin de faciliter la séparation des phases solide et liquide des boues.

IV.1.2. Déshydratation

La déshydratation permet de diminuer la teneur en eau des boues, et d'atteindre en sortie une siccité allant de 15 à 40%, variable selon la filière de traitement des eaux, la nature des boues et la technique de déshydratation utilisée. Elle s'opère sur un mélange de boues primaire, secondaire voire tertiaire

- La déshydratation mécanique : elle s'opère par centrifugation ou par filtration.
- La déshydratation par géomembranes : Cette technique de déshydratation est apparue récemment, avec le développement des membranes.

IV.1.3 Le séchage :

Le séchage des boues est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente.

➤ Le séchage thermique :

Il repose sur deux méthodes : directe et indirecte. Le séchage direct consiste en une évaporation des boues par convection, via un fluide caloporteur. Le séchage indirect repose quant à lui en un échange de chaleur par conduction, via une paroi chauffée par un fluide caloporteur.

➤ **Lits de séchage :**

Ce procédé consiste à répartir les boues à déshydrater sur une surface drainante (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle.

IV.2. Stabiliser la matière organique :

Cela consiste à diminuer le caractère fermentescible des boues et ainsi, notamment, de supprimer les mauvaises odeurs. Les traitements de stabilisation des boues s'appliquent aux boues mixtes fraîches ou uniquement aux boues de traitement secondaire des eaux usées. Ils sont de nature biologique, chimique ou thermique.

➤ **Stabilisation biologique**

Elle s'opère selon deux voies biologiques possibles : aérobie (en présence d'oxygène) et anaérobie (en l'absence d'oxygène).

- **Stabilisation aérobie :** consiste à mettre les boues dans des bassins d'aération dits aussi bassins de stabilisation aérobie chimique des eaux usées.
- **Stabilisation anaérobie :** concerne surtout les installations de plus de 100.000 EH. Elle consiste à mettre dans des digesteurs les boues directement issues de la décantation primaire de la filière de traitement des eaux usées, et à les porter à haute température (de 50 à plus de 100°C) afin d'en éliminer bactéries et virus

➤ **Stabilisation chimique**

La stabilisation chimique consiste à bloquer l'activité biologique des boues en y mélangeant de la chaux vive, CaO, ou de la chaux éteinte, Ca(OH)₂.

Chapitre II :

Techniques expérimentales

Le travail expérimental de ce mémoire a été réalisé au niveau de laboratoire de génie de l'environnement sous la direction d'un ingénieur qualifié. Ce chapitre décrit les techniques d'analyse utilisées au cours de cette étude, ainsi que les différents réactifs utilisés en tant que coagulants ou flocculants.

II.1. Techniques et réactifs

II.1.1. Techniques d'analyse :

II.1.1.a. pH-métrie:

Le pH-mètre (Fig II.1) utilisé est de marque (inolab pH 7110), c'est un appareil permettant de mesurer le pH d'une solution. L'électrode de pH doit être bien rincée à l'eau distillée avant chaque mesure.



Fig II.1 : pH-mètre (inolab pH 7110).

La pH-métrie dans l'analyse des eaux usées est de mesurer le niveau d'acidité ou d'alcalinité de l'eau et pour déterminer l'activité des ions d'hydrogène (H^+) dans une solution et il indique si la solution est acide (pH inférieur à 7), neutre (pH égal à 7) ou alcaline (pH supérieur à 7). Dans le contexte des eaux usées, le pH est un paramètre important à surveiller car il peut influencer la performance des processus de traitement. Par exemple, certains procédés de traitement biologique nécessitent un pH spécifique pour favoriser l'activité des microorganismes responsables de la dégradation des polluants. De plus, un pH incorrect peut également avoir des effets néfastes sur les installations et les équipements de traitement. La pH-métrie permet donc de mesurer et de contrôler

le pH des eaux usées afin de garantir un fonctionnement optimal des procédés de traitement et de maintenir la conformité aux normes environnementales.

Le pH joue un rôle crucial dans les processus de coagulation et de floculation des eaux usées et qui sont utilisés pour éliminer les particules en suspension et les contaminants de l'eau, en favorisant leur regroupement pour former des floccs plus gros qui peuvent être plus facilement éliminés. L'effet du pH sur la coagulation et la floculation est principalement lié à l'électrostatique des particules et des agents coagulants utilisés. Voici comment le pH peut influencer ces processus :

- ✓ Coagulation : Le pH affecte la charge électrique des particules et des coagulants. À des pH spécifiques, les coagulants tels que le sulfate d'aluminium ou le chlorure ferrique se dissocient en ions hydroxyde (OH^-) ou en ions hydrogène (H^+). Ces ions peuvent neutraliser la charge des particules en suspension, favorisant ainsi leur regroupement. Le pH optimal pour la coagulation dépend du type de coagulant utilisé, mais il se situe généralement dans la plage de 6 à 8.
- ✓ Floculation : Une fois que les particules ont été neutralisées par les coagulants, la floculation permet de former des agrégats plus gros appelés floccs. Le pH peut influencer la structure et la taille des floccs. À des pH spécifiques, les floccs peuvent être plus stables et plus gros, facilitant leur sédimentation ultérieure. Le pH optimal pour la floculation varie généralement entre 7 et 9.

Il est important de noter que l'effet du pH peut varier en fonction de la composition chimique des eaux usées et des coagulants utilisés. Il est donc essentiel de mener des tests en laboratoire ou des études pilotes pour déterminer le pH optimal dans un contexte spécifique.

II.1.1.b. Conductimétrie :

La conductivité électrique est un phénomène physique qui consiste à laisser passer librement les charges électriques dans le liquide. Le conductimètre utilisé (Fig II.2) est un appareil (inolab cond 7110) permettant de mesurer la conductivité d'une solution.



Fig II.2 : Conductimètre (inolab cond 7110).

La mesure de la conductivité dans l'analyse des eaux usées est d'évaluer la capacité d'une solution aqueuse à conduire l'électricité. La conductivité est une mesure de la concentration totale des ions présents dans l'eau et peut fournir des informations précieuses sur la qualité de l'eau et les niveaux de contamination. La conductivité est largement utilisée dans l'analyse des eaux usées pour les raisons suivantes :

- ✓ Indicateur de salinité : La conductivité est directement liée à la présence de sels dissous dans l'eau, tels que les chlorures, les sulfates, les carbonates, etc. Une augmentation de la conductivité peut indiquer une augmentation de la salinité de l'eau, ce qui peut être le résultat de la contamination par des eaux usées d'origine industrielle ou d'autres sources.
- ✓ Surveillance de la pollution : Les eaux usées peuvent contenir divers polluants qui augmentent la conductivité, tels que les métaux lourds, les substances organiques, les produits chimiques industriels, etc. La mesure de la conductivité peut aider à détecter ces contaminants et à évaluer le degré de pollution de l'eau.
- ✓ Contrôle des processus de traitement : La conductivité peut être utilisée comme un indicateur de contrôle des processus de traitement des eaux usées. Par exemple, dans les procédés d'osmose inverse ou d'électrodialyse, la mesure de la conductivité avant et après le traitement peut aider à évaluer l'efficacité du processus.
- ✓ Suivi de la qualité de l'eau : La conductivité est souvent utilisée comme un paramètre de surveillance de routine pour évaluer la qualité générale de l'eau. Des variations anormales de

la conductivité peuvent indiquer des changements dans la composition chimique de l'eau et servir d'alerte précoce pour des problèmes potentiels.

II.1.1.c. Jar-test :

Le Jar-test (Fisher Bioblock Scientific type 10408) permet d'évaluer l'aptitude à la décantation des matières en suspension dans des conditions contrôlées et reproductibles (vitesse d'agitation, géométrie, concentration en coagulants/floculant) (Fig II.3). L'appareil est constitué de 6 béciers dans lesquels l'effluent est introduit avec différentes familles et doses de coagulants et de floculant organiques ou minéraux.

Le test permet de déterminer la concentration en coagulant / floculant et la vitesse d'agitation optimales pour obtenir le surnageant le moins turbide et les floccs les plus denses et les mieux décantés.

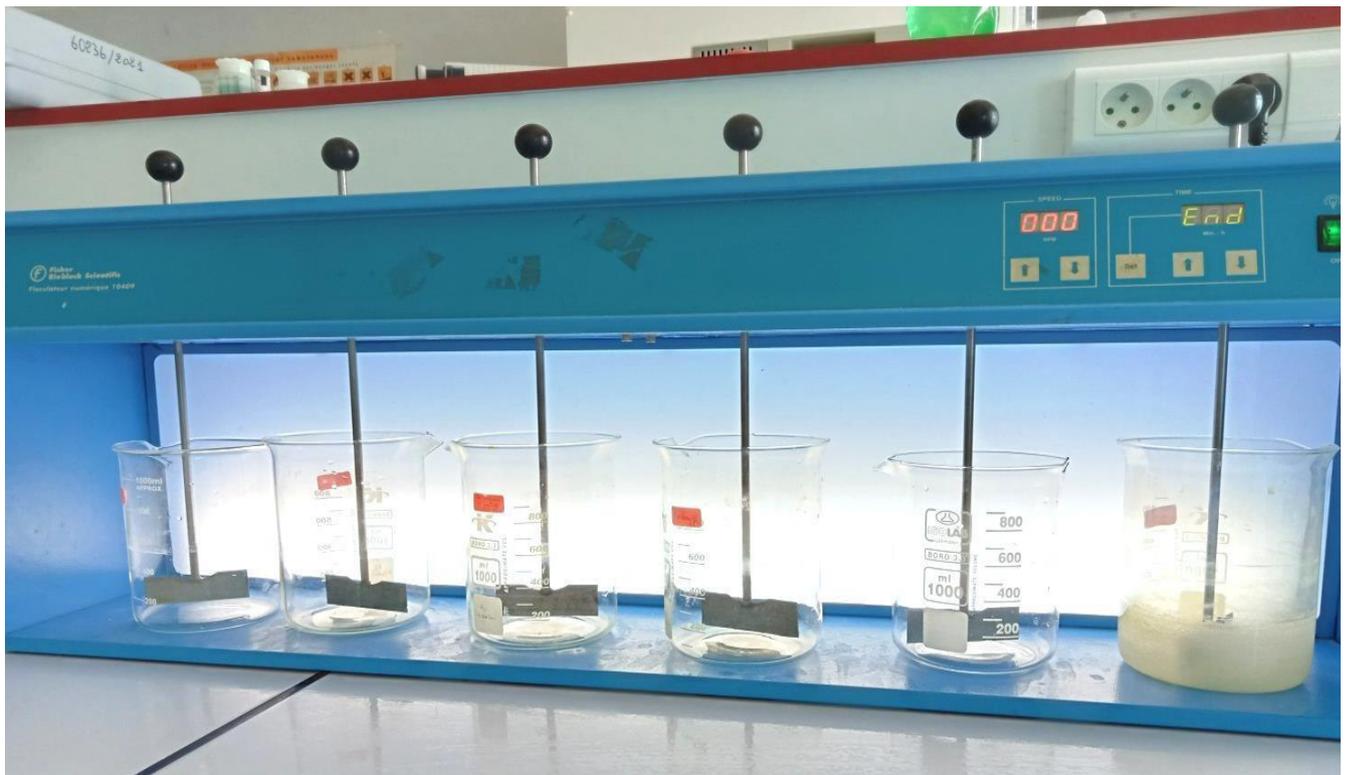


Fig II.3 : Agitateur Jar Test.

Pour réaliser un test de jar test il faut suivre ces étapes:

- ✓ **Préparation des échantillons** : Collecter des échantillons dans des conditions similaires à celles du processus de traitement réel. Étiqueter chaque jarre avec les informations pertinentes pour une identification précise.
- ✓ **Préparation des réactifs** : Préparer les solutions de coagulation et de floculation que nous souhaitons tester. Cela peut inclure différents coagulants et floculants à des concentrations variées.
- ✓ **Remplissage des jarres** : Remplir chaque jarre avec la quantité appropriée d'échantillon d'eau à tester (0,5 L). On doit Assurer que la quantité d'eau est la même dans toutes les jarres pour une comparaison précise des résultats.
- ✓ **Ajout des réactifs** : Ajoutez les réactifs à chaque jarre selon le protocole d'essai établi. Cela peut inclure l'ajout de coagulants, de floculants, de réglage du pH, etc.
- ✓ **Agitation** : Placez les jarres sur l'agitateur de jarres et activez l'agitation. Le temps d'agitation peut varier, mais généralement, il est recommandé de faire fonctionner l'agitateur à forte vitesse 150 tours/min pendant 5 minutes ensuite à faible vitesse 40 tours/min pendant environ 20 minutes pour permettre la formation de floccs.
- ✓ **Observation des résultats** : Arrêter l'agitation et observer les jarres après la période d'agitation. Évaluer la formation et la qualité des floccs dans chaque jarre. Notez les différences dans la taille, la densité, la clarté et la stabilité des floccs formés.
- ✓ **Analyse des résultats** : Analyser les jarres par différentes techniques (Turbidité, pH et conductivité) pour déterminer le réactif le plus efficace en fonction des critères de traitement des eaux usées. Comparer les différents paramètres pour choisir la dose optimale du coagulant, floculant et pH.

II.1.1.d. Turbidité :

Les turbidimètres sont des instruments utilisés pour mesurer la turbidité des liquides (Fig II.4). La turbidité d'un échantillon est proportionnelle à l'intensité de la lumière réfléchiée par les particules présentes dans l'eau. La turbidité est une mesure reconnue comme un indicateur simple et fondamental de la qualité de l'eau. Les résultats sont exprimés en UTN (Unité de Turbidité Néphélométrique).

Tableau II.1 : Valeurs de turbidité et qualités

Turbidité < 5 UTN	Eau Claire
5 < Turbidité < 30 UTN	Eau légèrement trouble
Turbidité > 50 UTN	Eau trouble

**Fig II.4 : Turbidimètre (Lovibond TB300 IR).**

La turbidité est une mesure de la quantité de matières solides non dissoutes, telles que des particules fines, des colloïdes ou des matières en suspension, qui peuvent rendre l'eau trouble ou opaque. La mesure de la turbidité dans une eau usée permet d'évaluer la qualité de l'eau, de surveiller l'efficacité du traitement, de prévenir la contamination et de se conformer aux réglementations environnementales. Cela contribue à assurer une gestion appropriée des eaux usées et à protéger la santé publique et l'environnement.

La mesure de la turbidité dans le traitement physicochimique d'une eau usée est importante pour plusieurs raisons. Dans le traitement physicochimique, la mesure de la turbidité permet d'évaluer l'efficacité des coagulants en quantifiant la réduction de la turbidité de l'eau traitée. Une diminution significative de la turbidité indique une bonne performance du coagulant dans la formation de floccs et l'élimination des particules. Aussi, on peut contrôler du processus de floculation permet de surveiller la formation et la stabilité des floccs. Une diminution continue de la turbidité indique que la floculation est en cours et que les floccs se forment et se sédimentent correctement.

II.1.1.e. Demande biologique en oxygène:

La demande biologique en oxygène (DBO_5) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de microorganismes, dans des conditions données (5 jours à 20°C , à l'abri de la lumière et de l'air) on parle alors de la DBO_5 (Fig II.5).

Pour analyser un échantillon par la technique de DBO_5 , il faut suivre ces étapes :

- ✓ Pour chaque nouveau prélèvement on verse un volume d'échantillon, ce volume dépend de la charge polluante de la matière organique biodégradable
- ✓ On ajoute l'hydroxyde de sodium NaOH dans le capuchon du flacon;
- ✓ On laisse les flacons de DBO dans un incubateur pendant 5 jour à l'obscurité à une température réglée à 20°C ;
- ✓ Après cinq jours, on fait la lecture et on calcul la DBO_5 en multipliant par le facteur.



Fig II.5 : Flacons de DBO -mètre et incubateur

Tableau II.2 : Quantité à analyser selon la valeur de DBO₅ et le facteur de calcul

Portée de mesure	Quantité	facteur
0 – 40	432 ml	1
0 - 80	365 ml	2
0 - 200	250 ml	5
0 - 400	164 ml	10
0 - 800	97 ml	20
0 - 2000	43.5 ml	5
0 – 4000	22.7 ml	100

La DBO₅ est une mesure couramment utilisée pour évaluer la pollution organique dans les eaux usées. Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer biologiquement les matières organiques présentes dans l'eau pendant une période de 5 jours. Elle est essentielle pour évaluer la pollution organique, contrôler l'efficacité du traitement des eaux usées, garantir la conformité réglementaire et planifier les systèmes de traitement.

II.1.1.f. Demande chimique en oxygène:

La demande chimique en oxygène (DCO) permet d'apprécier la concentration en matières organiques (biodégradables + non biodégradables) et minérales, dissoutes et en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale (Fig II.6).

Pour nos échantillons, nous avons suivi ce protocole dans les mesures de DCO :

- ✓ On verse 2 ml d'échantillon d'eau dans un tube DCO (1500 mg/l) ;
- ✓ On verse 2 ml d'eau distillée dans un autre tube DCO (1500 mg/l) (tube zéro) ;
- ✓ On met les tubes dans un thermoréacteur programmé à une température de chauffage de 148°C pendant 2 heures;
- ✓ On laisse refroidir et on fait la lecture de DCO par le photomètre.



Tube DCO (0 – 1500 mg/l) Thermoréacteur (CR 2200) Photomètre (photo Flex)

Fig II.6 : Mesure de DCO.

La mesure de la DCO d'une eau usée est réalisée pour évaluer la quantité de pollution organique présente dans l'eau et pour aider à concevoir des méthodes de traitement appropriées afin de réduire cette pollution et de protéger l'environnement. La mesure de la DCO est importante car elle permet de déterminer la charge polluante d'une eau usée. En d'autres termes, elle indique la quantité de matières organiques pouvant potentiellement dégrader la qualité de l'eau.

Le rapport DCO / DBO₅ est calculé pour évaluer la nature de la pollution présente dans les eaux usées. Il permet de comparer la quantité de matière organique biodégradable avec la quantité de matière organique non biodégradable présente dans l'eau. Le rapport DCO/DBO₅ est utilisé pour évaluer l'efficacité des procédés de traitement des eaux usées. Un rapport élevé peut indiquer la nécessité d'utiliser des méthodes de traitement plus avancées pour éliminer les matières organiques non biodégradables, tandis qu'un rapport plus faible peut indiquer une meilleure biodégradabilité et une efficacité accrue du traitement biologique. Si le DCO/DBO₅ est :

- $1 < \text{DCO/DBO}_5 < 2 \rightarrow$ eaux usées provenant d'industries agroalimentaires, qui contiennent des éléments dont les bactéries raffolent, se traduisant par une DBO₅ élevée.
- $2 < \text{DCO/DBO}_5 < 3 \rightarrow$ eaux résiduaires urbaines.
- $3 < \text{DCO/DBO}_5 < 4 \rightarrow$ Eaux usées moins facilement biodégradable.
- $\text{DCO/DBO}_5 > 4 \rightarrow$ Effluent difficilement biodégradable.

II.1.1.g. Matières en suspension

L'analyse de matières en suspension (MES) dans une eau usée est effectuée pour mesurer la quantité de particules solides en suspension présentes dans l'eau. Les MES sont composées de matières organiques, de matières inorganiques et d'autres particules solides qui ne sont pas dissoutes dans l'eau. L'analyse de MES est importante pour plusieurs raisons :

- ✓ La mesure des MES permet d'évaluer la turbidité de l'eau, c'est-à-dire sa clarté visuelle. Des niveaux élevés de MES peuvent rendre l'eau trouble et indiquer une mauvaise qualité. La présence excessive de MES peut être due à une pollution organique ou inorganique, ce qui nécessite une attention particulière et des mesures de traitement appropriées.
- ✓ Les particules en suspension peuvent avoir un impact négatif sur les écosystèmes aquatiques. Elles peuvent obstruer les branchies des poissons et d'autres organismes aquatiques, réduisant ainsi leur capacité à respirer et à se nourrir normalement. L'accumulation de particules solides peut également obstruer les cours d'eau, les rivières et les lacs, perturbant ainsi l'habitat naturel des plantes et des animaux aquatiques.
- ✓ L'analyse de MES est également utilisée pour évaluer l'efficacité des procédés de traitement des eaux usées. En mesurant la quantité de MES présente dans l'eau avant et après le traitement, on peut déterminer si le processus de traitement élimine efficacement les particules solides. Cela aide à vérifier si les normes de qualité de l'eau sont respectées avant le rejet des eaux traitées dans l'environnement.

La détermination de la matière en suspension dans ce travail a été déterminé par la méthode de filtration gravimétrique (Fig II.7) :

- On pèse le papier filtre séché à l'étuve à 105°C (on note sa masse par M_1) ;
- On filtre $v = 500$ mL d'échantillon d'eau avec le montage de filtration sous vide ;
- On met le papier filtre après filtration dans l'étuve à 105°C pendant 30 min ;
- On pèse le papier filtre séché à l'étuve à 105°C (on note sa masse par M_2)
- On calcule la matière en suspension par la formule :

$$\text{MES} = \frac{M_2 - M_1}{v} \quad (\text{mg/L}) \quad (1)$$



Fig. II.7 : Mesure de la MES.

II.2. Coagulants et floculants utilisés

L'utilisation de coagulants et de floculants doit être réalisée conformément aux réglementations environnementales en vigueur pour éviter toute contamination supplémentaire de l'eau ou de l'environnement. Il est essentiel de suivre les bonnes pratiques de gestion des rejets industriels et de travailler en étroite collaboration avec les autorités compétentes pour garantir un traitement approprié des eaux usées industrielles.

L'utilisation des coagulants et des floculants dans le traitement des rejets industriels :

- Traitement des eaux de processus chimiques ;
- Traitement des eaux de lavage des métaux ;
- Traitement des eaux de production alimentaire ;
- Traitement des eaux de production papetière ;
- Traitement des rejets de l'industrie minière.

Il est important de noter que les exemples ci-dessus sont indicatifs et que chaque application spécifique nécessite une évaluation approfondie des caractéristiques du rejet industriel pour déterminer les coagulants et les floculants les plus appropriés. Les dosages et les méthodes de traitement peuvent également varier en fonction des conditions spécifiques de chaque installation industrielle.

Les réactifs utilisés dans cette étude sont indiqués dans le tableau II.2 suivant :

Tableau II. 3 : Coagulants et flocculant utilisés dans cette étude

Coagulant	Flocculant
FeCl ₃	Ferrocryl*
Ferrolin*	Ferrocryl*
CaSO ₄	/
Chaux	/

*Ferrolin et Ferrocryl sont des noms commerciaux.

- Un coagulant de FeCl₃ liquide (10%)
- Un coagulant de CaSO₄ liquide et solide (poudre)
- La chaux Ca(OH)₂ (liquide et poudre)
- Un coagulant Ferrolin dilué (10%)
- Un flocculant Ferrocryl dilué (5%)

II.3. Représentation de la société :

La société EMBAG SPA a été créée en juillet 1999, et fut dotée d'un capital social de 170.000.000 DA (Fig II.8). Elle fut construite en 1978, et fut intégrée à l'ex société nationale des industries de la cellulose (ex SONIC), puis restructurée en 1985 sous la dénomination ENEPAC, qui à la suite d'une restructuration, donna naissance à l'actuelle EMBAG en 1999, relevant du Groupe GIPEC. La Société des Emballages & Arts Graphiques EMBAG est Implantée à Bordj Bou Arréridj – Zone industrielle, avec une superficie de 28 ha dont 8 ha couverte Dont deux unités de production implantées à BBA et SAIDA ex SACAEH. EMBAG est spécialisée depuis 1978 dans la fabrication d'emballages en papier kraft (sacs de grande, moyenne et petite contenances) et de boîtes en carton compact et composé, standard ou personnalisés (avec ou sans impression). Avec la certification **ISO 9001 2008, ISO 9001 :2015, ISO14001 : 2015, ISO 45001 :2018** EMBAG garantie la qualité des processus mis en place et conforte ses relations de confiance avec ses clients et partenaires en les assurant de son engagement au service de la qualité.



Fig. II. 8 : Société EMBAG BBA

La gamme de production de la société est diverse :

- Boîtes pliantes en carton compact et composé destinés au conditionnement de divers produits alimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques, détergentsetc.
- Sacs à grande contenance de 25 à 50 Kg en papier kraft pour divers secteurs utilisateurs : Ciment, plâtre, granulats, aliments de bétail, produits alimentaires et divers.
- Sacs à petite et moyenne contenance de 125 g à 10 Kg en papier kraft vergé et sulfité destinés au conditionnement des produits alimentaires et autres

II.3.1. Protocole de mise en marche de la station :

- ✓ Remplissage de la cuve de R1 à la moitié jusqu'à 9 m^3 (la cuve de réaction se remplit automatiquement au démarrage de la pompe de transfert du réservoir de collecte des eaux de rejets) (Fig II.9).
- ✓ Faire le dosage du coagulant dans la cuve de R1 $10 \text{ L} / 9 \text{ m}^3$ (Le volume nécessaire de coagulant)
- ✓ Laisser reposer en contact 45 min
- ✓ Déclencher la pompe soufflante pendant 1h
- ✓ Dosage de floculant $2 \text{ L} / 150 \text{ d'eau}$
- ✓ Maintenir l'aération pendant le dosage du floculant
- ✓ Laisser la réaction pendant 45 min

- ✓ Transférer vers la presse filtre
- ✓ Passer à la filtration



Cuves R1 et R2 de la station



Pompes doseuses du coagulant/floculant



Presse à filtre



Réservoir de collecte

Fig II.9 : Station d'épuration des eaux usées industrielles de l'unité EMBAG BBA.

Chapitre III :

Résultats et discussions

Dans ce chapitre, nous réaliserons les analyses primaires et finales d'une eau industrielle avant et après le traitement. Les analyses primaires révèlent que l'eau usée nécessite un traitement physico-chimique de coagulation-floculation. Ainsi, dans le cadre de ce travail, nous chercherons la dose optimale de chaque coagulant et floculant,

III.1 Choix et préparation des doses de coagulants et floculants

Dans notre laboratoire, nous avons choisis à utiliser comme coagulants :

- ✓ Chaux (solubilité maximale 1,7 g/L à 15°C);
- ✓ Chlorures ferriques (solubilité maximale 630 g/L à 15°C).;
- ✓ Sulfate de calcium (solubilité maximale 2,5 g/L à 15°C).

Aussi, l'entreprise EMBAG nous a proposé également, d'utiliser un coagulant commercial « Ferrolin ». En ce qui concerne le floculant nous avons utilisé la « Ferrocryl » qui est un produit commercial.

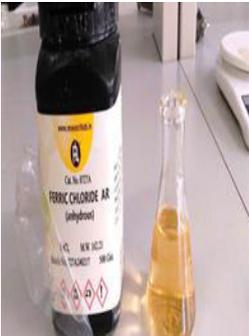
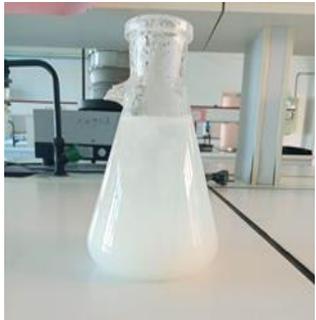
Chaux	FeCl ₃	CaSO ₄	Ferrolin	Ferrocryl
pH =10,2	pH = 7,39	pH = 6,5	pH = 5,8.	pH = 5,14.
Cond. = 1129 mS/cm	Cond. = 2370 mS/cm	Cond. =1094 mS/cm	Cond. = 2370 mS/cm	Cond. = 3490 mS/cm
				

Fig. III.1 : Photos des coagulants et floculant utilisés.

III.2 Préparation des solutions mères :

Les doses de solutions mères préparées à partir des différents coagulant et floculant sont :

➤ **FeCl₃ (10%) :**

- Peser 2.5 g de FeCl₃ solide
- Dans une fiole jaugé compléter avec l'eau distillé jusqu'à 250 ml



- Mélanger pendant 15 min avec l'agitateur.

➤ **CaSO₄ et Ca(OH)₂ :**

- Peser 2.5 g de CaSO₄ et Ca(OH)₂ poudre,
- Dans deux fioles jaugé de 250 ml compléter avec l'eau distillé jusqu'à le tri ;
- Agiter les deux solutions pendant 15 min avec l'agitateur ;
- Filtrer les deux solutions pour obtenir une solution saturée.



III.3 Optimisation de la dose optimale du coagulant :

En général pour chaque coagulant on suit ce protocole pour optimiser la dose optimale du coagulant:

- On introduit 500 ml de l'échantillon d'eau usée dans 6 Bêchers de jar test ;
- On ajoute des doses croissantes du coagulant (0 – 4.5 mL pour FeCl₃ 10% , 0 – 3 g pour la chaux solide ; 0 – 3 g pour la CaSO₄ solide, 0 – 5 mL pour la solution de chaux saturée et 0 – 5 mL pour la solution de CaSO₄ saturée) ;
- On mélange les solutions dans les bêchers à forte vitesse d'agitation 150 tr/min, pendant 3 min ;
- Puis, on laisse agir à faible vitesse d'agitation de 40 tr/min, pendant 15 min ;
- On laisse décanter pendant 30 min ;
- On mesure les paramètres physico-chimiques de chaque solution dans les bêchers (pH, conductivité et turbidité).
- On trace la courbe de turbidité en fonction de la dose ajoutée pour optimiser la dose optimale pour chaque coagulant.

III.4 Optimisation de la dose optimale du floculant :

On fixe les différentes doses optimales des coagulants dans les 6 bêchers

- On ajoute des doses croissantes du floculant « Ferrocryl » dans le cas de traitement par le chlorure ferrique et le coagulant commercial « Ferrolin », en ce qui concerne les coagulants, la chaux et le CaSO₄ ont été utilisés dans le traitement de cet effluent sans floculant.
- On mélange les solutions dans les bêchers à forte vitesse d'agitation 150 tr/min, pendant 3 min ;
- Puis, on laisse agir à faible vitesse d'agitation de 40 tr/min, pendant 15 min ;
- On laisse décanter pendant 30 min ;

- On mesure les paramètres physico-chimiques de chaque solution dans les béchers (pH, conductivité et turbidité).
- On trace la courbe de turbidité en fonction de la dose ajoutée pour optimiser la dose optimale pour chaque coagulant.

III.5 Analyses physico-chimiques des eaux usées industrielles prélevés:

L'étude expérimentale réalisée sur les différents échantillons prélevés durant ce projet a permis de déterminer les paramètres physicochimiques suivants : pH, conductivité, turbidité, salinité, MES, DCO et DBO₅.

Pour cela nous avons effectué des prélèvements entre les mois avril et juin 2023 et plus précisément le 10 avril 2023, le 02 mai 2023, le 08 mai 2023 et le 01 juin 2023. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau III.1 :

Tableau III.1 : Les analyses physico-chimiques des eaux usées industrielles prélevés à l'unité EMBAG

Date de Prélèvement	pH	Conductivité (μS/cm)	Turbidité (UTN)	Salinité	MES (g/L)	DCO (mg /L)	DBO ₅ (mg /L)	DCO /DBO ₅
10/04/2023	8,80	2600	57,6	1,4	0,19	1040	60	17,33
02/05/2023	7,80	2460	116	1,8	/	/	/	/
22/05/2023	7,40	2390	91,7	1,2	/	/	/	/
01/06/2023	7,16	2122	199	1,2	0,20	3320	200	16,6

10/04/2023

02/05/2023

22/05/2023

01/06/2023



Fig. III.2 : Photos des échantillons prélevés.

On observe que le pH est légèrement alcalin pour tous les échantillons, qui varie entre **8,80** et **7,16** donc ne dépasse pas la norme (pH 5,5 à 8,5) sauf pour le premier échantillon qui dépasse légèrement la norme ($> 8,5$), donc, en général, le pH est acceptable. Toutes les valeurs de la conductivité, salinité enregistrées sont inférieures à celle de la norme.

La MES est aussi dans les normes, les valeurs enregistrés varient entre **0,19** et **0,20** g/L ($< 0,6$ g/L). La turbidité est due à la présence de matières en suspension entraînées dans les eaux. D'après les résultats obtenus, la valeur varie entre **57,6** UTN jusqu'à **199** UTN donc les résultats sont très élevés, à cause de l'augmentation des matières en suspension, cette variation de turbidité dépend de la production au niveau de l'entreprise (EMBAG).

Concernant la DCO et la DBO₅, on remarque que les valeurs de DCO enregistrés varient entre **1040** et **3320** mg/L et les valeurs de DBO₅ varient entre **60** et **200** mg/L. pour la DCO elle dépasse la norme (> 1000 mg/L).

On observe aussi, que le rapport DCO/DBO₅ est supérieur à **5**, ce qui indique généralement que la pollution organique présente dans l'eau est difficilement biodégradable par les micro-organismes. Cela suggère qu'un traitement physicochimique peut être nécessaire pour réduire cette pollution. Le rapport DCO/DBO₅ est un indicateur utilisé dans l'analyse de la qualité de l'eau pour évaluer le type de la pollution organique présente.

III.6. Détermination de la dose optimale du coagulant « Ferrollin » :

Après plusieurs tests de traitement par le coagulant « Ferrollin » à différentes concentrations 100% et 10% avec des différents volumes. La figure III.3 montre les courbes d'évolution de la turbidité en fonction du volume ajouté du coagulant Ferrollin (100% et 10%). On observe que si la dose du coagulant varie entre 0 et 50 mL, on observe que la turbidité est abaissée de 120 NTU jusqu'à une valeur minimale de 40 UTN à une dose équivalente de 10 mL de la Ferrollin 100%. Ensuite à partir de cette dose la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant.

Si la dose du Ferrollin 10% varie entre 100 et 700 mL, on observe que la turbidité reste entre les valeurs 90 UTN et 98 UTN. Si la dose du Ferrollin 10% varie entre 0 et 8 mL, on observe que la turbidité est abaissée de 120 NTU jusqu'à une valeur minimale de 70 UTN à une dose équivalente de 4 mL, au dessus de ce volume la turbidité augmente avec l'augmentation du volume du coagulant.

Enfin, si la dose du Ferrolin 10% varie entre 0 et 3,5 mL, on remarque que la turbidité abaisse significativement de 120 NTU jusqu'à une valeur minimale de 6,73 UTN à une dose équivalente de 0,75 mL, au dessus de ce volume la turbidité augmente légèrement avec le volume du coagulant.

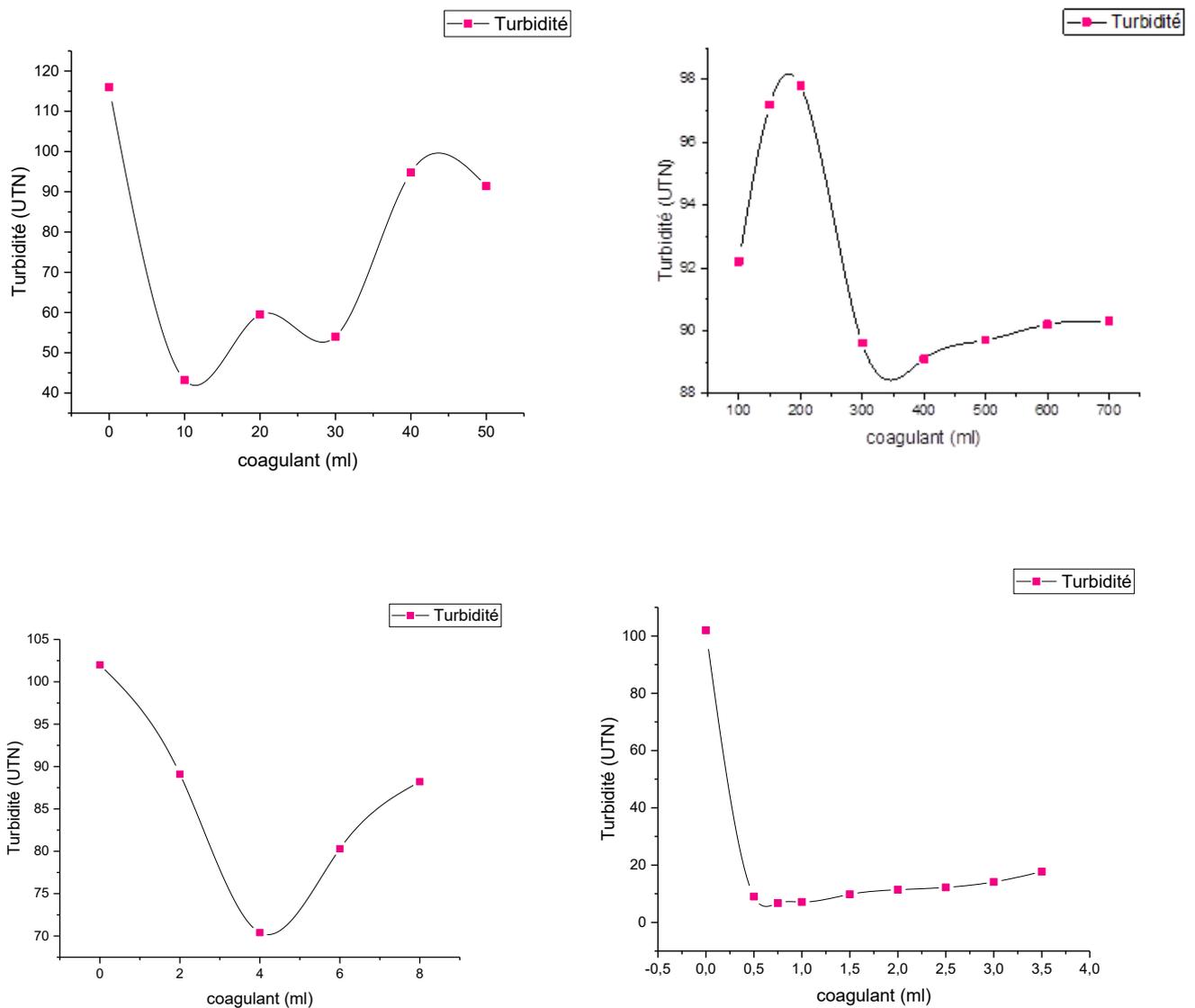


Fig. III.3 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du coagulant Ferrolin à 100% et 10% avec des différents volumes.

Tableau III.2 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du coagulant Ferrolin 10%.

Volume eau (L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ferrolin (mL)	0	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3	3.5
Turbidité (UTN)	102	9	6.73	7.11	9.8	11.4	12.2	14.1	17.7
pH	7.42	7.40	7.50	8.15	8.20	8.30	8,33	8,38	8,40
Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2390	1790	1850	1880	1888	1890	2391	1790	1850

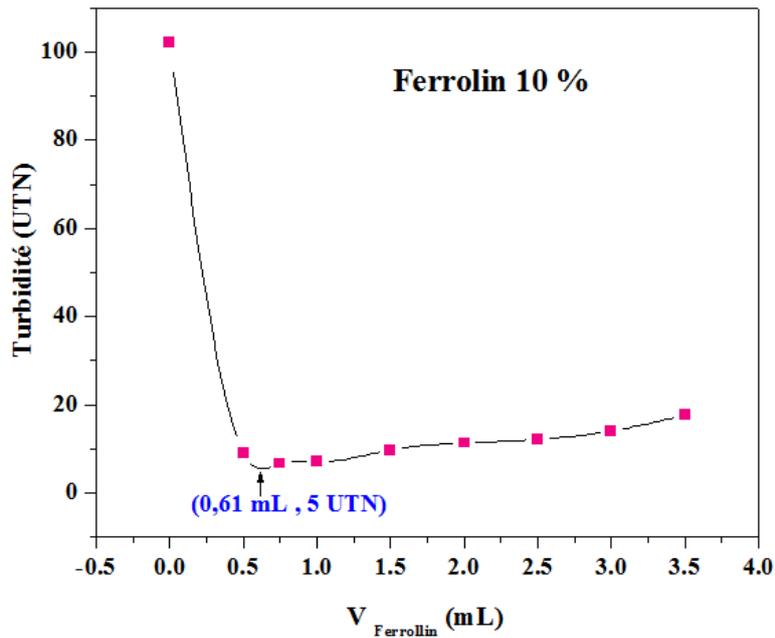


Fig. III.4 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du coagulant Ferrolin 10% à des faibles quantités.

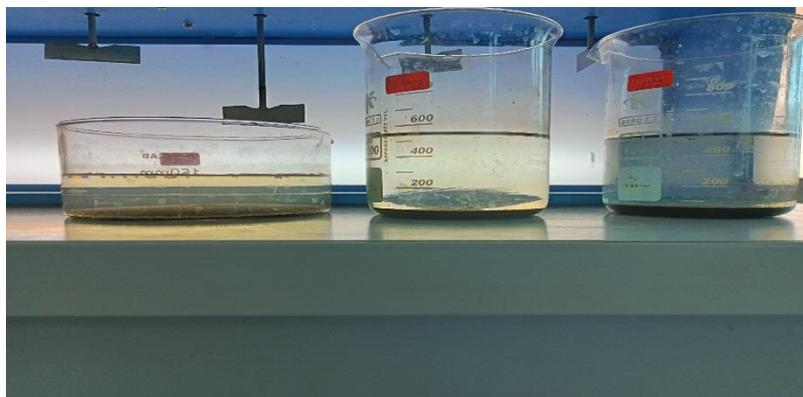


Fig. III.5 : Résultats de jar test pour le « Ferrolin ».

La figure III.4 montre la courbe d'évolution de la turbidité en fonction du volume du coagulant Ferrolin 10% à faible quantité avec un volume qui varie entre 0 et 4 mL, Une faible quantité du Ferrolin est suffisante pour faire diminuer la turbidité de cet échantillon d'eau usée, le volume optimale correspond à 0,61 mL pour obtenir une valeur de turbidité de l'ordre de 5 UTN. Ce volume correspond aussi à une dose optimale de **1,22 mL** de Ferrolin 10% pour traiter un litre d'eau usée de la station.

III.7. Détermination de la dose optimale du floculant « Ferrocryl » :

Le coagulant est généralement ajouté à l'eau pour agglomérer les particules en suspension, telles que les impuretés, les matières organiques et les colloïdes. Cela aide à regrouper ces particules en flocons plus gros, appelés flocons, qui sont plus faciles à séparer de l'eau. Cependant, les flocons formés peuvent encore être assez petits et légèrement chargés électriquement, ce qui peut rendre leur séparation difficile.

Le floculant (Ferrocryl) est ensuite ajouté pour faciliter la croissance des flocons existants en favorisant l'agglomération des particules. Le floculant est généralement une substance polymère qui agit en neutralisant les charges électriques des particules et en les regroupant en flocons plus gros et plus lourds. Ces flocons plus gros sont plus susceptibles de se déposer ou de flotter à la surface, ce qui permet une séparation plus efficace de l'eau traitée.

Après l'optimisation du volume du coagulant à 0,75 ml et on ajoute des déférente dose de floculant Ferrocryl 20 % (0 – 2.5 ml), ensuit, on suit la variation de turbidité, les résultats sont mentionné dans la figure III.4 .

Tableau III. 3 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du floculant ajouté (Ferrocryl 20 %).

Volume eau (L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ferrolin (mL)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Ferrocryl (mL)	0	0,5	1	1,5	2	2,5
Turbidité (UTN)	6.73	2.66	5.59	2.82	2.99	4.13
pH	7.42	7.40	7.50	8.15	8.20	8.30
Conductivité (mS/cm)	2.39	2.90	2.50	2.80	2.88	2.90

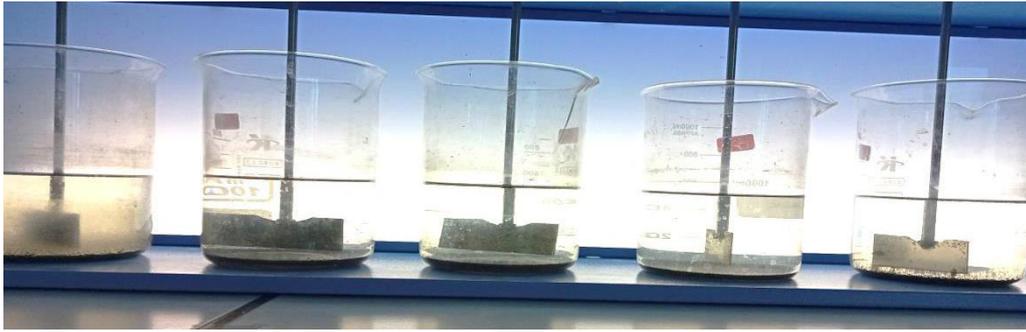


Fig. III.5.1. Résultats de jar test pour le coagulant « Ferrolin » et le floculant « Ferrocryl.

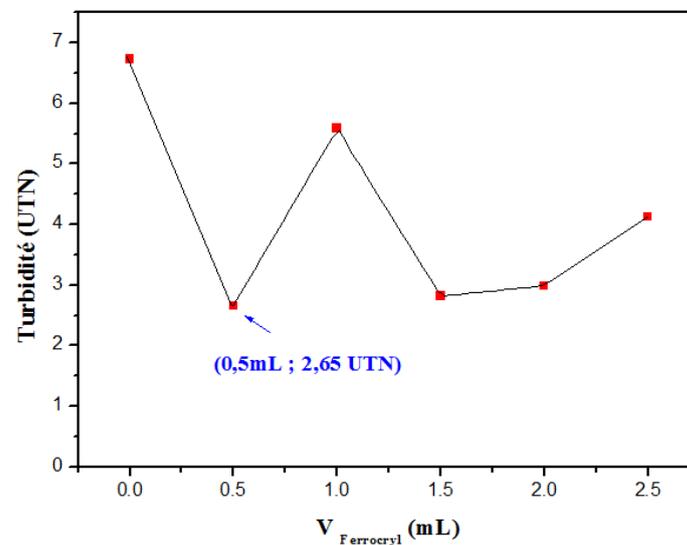


Fig. III.6 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du floculant Ferrocryl 20% à des faibles quantités

La figure III.4 montre la courbe d'évolution de la turbidité en fonction du volume du floculant « Ferrocryl » (20%) ajouté en fixant le volume du coagulant (Ferrolin 10 %) à 0,75 mL. On observe que si la dose du floculant varie entre 0 et 2,5 mL la turbidité est abaissée de 6,73 UTN jusqu'à une valeur minimale de 2,65 UTN à un volume équivalent de 0,5 ml de « Ferrocryl », au dessus de ce volume la turbidité augmente légèrement.

On peut conclure, les doses optimales pour traiter **1 litre** de cet échantillon d'eau usée sont :

Volume Ferrolin (10%) = 1,22 mL ; Volume Ferrocryl (20%) = 1 mL

III.8. Détermination de la dose optimale du coagulant « FeCl_3 » :

Nous avons choisis d'utiliser le chlorure ferrique (FeCl_3) comme coagulant, parce qu'il est souvent utilisé dans le traitement des eaux industrielles et des rejets industriels. Il est particulièrement efficace pour la coagulation et la précipitation des particules solides et des contaminants présents dans les eaux usées industrielles. Après plusieurs tests de traitement par le coagulant « FeCl_3 » à différents volumes. La figure III.5 montre les courbes d'évolution de la turbidité en fonction du volume ajouté du coagulant FeCl_3 (10%). On observe que si la dose du coagulant varie entre 0 et 20 mL, la turbidité est abaissée de 52,3 NTU jusqu'à une valeur minimale de 39,5 UTN à une dose équivalente de 5 mL de FeCl_3 10%. Ensuite à partir de cette dose la turbidité augmente avec l'augmentation de la surdose du coagulant. Enfin, si la dose de FeCl_3 10% varie entre 0 et 20 mL, on remarque que la turbidité abaisse significativement de 52,3 NTU jusqu'à une valeur minimale de 3,17 UTN à une dose équivalente de 14 mL, au dessus de ce volume la turbidité augmente légèrement avec le volume du coagulant.

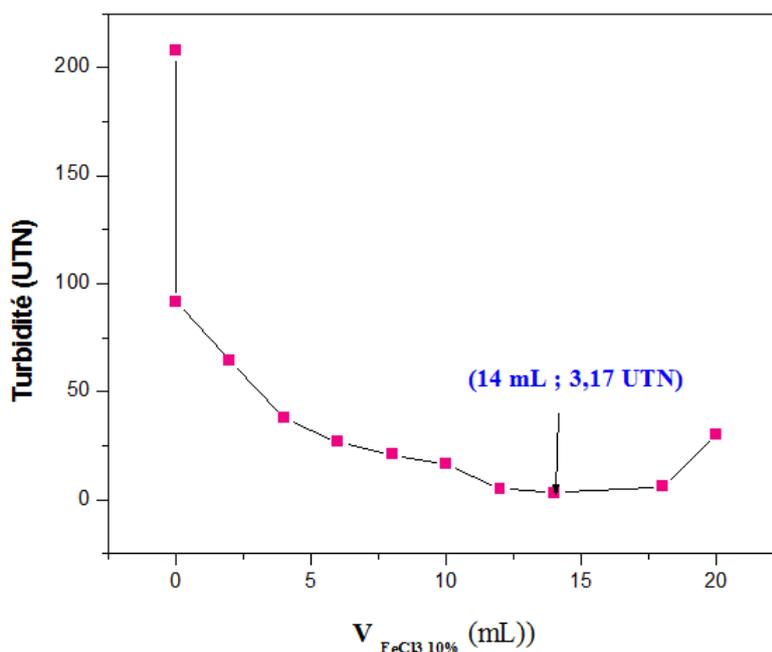


Fig. III.7 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du coagulant FeCl_3 à 10% avec des différents volumes.

Tableau III.4 : Evolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du coagulant Ferrolin 10%.

Volume eau (L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
FeCl₃ (mL)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Turbidité (UTN)	199	64.6	37.9	26.7	20.9	16.8	5.31	3.17	3.42	6.10	30.3
pH	7.40	7.39	7.39	7.44	7.04	7.00	7.01	7.02	7.03	7.04	7.1
Cond. (mS/cm)	2.39	2.37	2.41	2.42	2.42	2.44	2.43	2.44	2.45	2.46	2.56

Le tableau III.4 montre les valeurs d'évolution de la turbidité, pH et conductivité en fonction du volume ajouté du coagulant FeCl₃ (10%). On observe que le volume optimal correspond à 14 mL pour obtenir une valeur de turbidité de l'ordre de **3,17** UTN. Ce volume correspond aussi à une dose optimale de 28 mL de FeCl₃ 10% pour traiter un litre d'eau usée de la station. Concernant les valeurs de pH et de la conductivité sont dans les normes.

III.9. Détermination de la dose optimale du flocculant « Ferrocryl » :

Après la fixation du volume optimale du coagulant 14 mL pour 500 mL d'eau usée, on doit ajouter un flocculant « Ferrocryl », pour favoriser la formation de flocons plus gros et plus lourds, qui peuvent être plus facilement éliminés de l'eau. L'optimisation du volume optimal du flocculant est effectué par l'ajout de différentes doses de Ferrocryl de 0 à 3,5 ml et en mesurant les différents paramètres : turbidité, pH et conductivité, les résultats sont mentionnés dans le tableau III.5 suivant :

Tableau III. 5 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du flocculant Ferrocryl 20 %.

Volume eau (L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
FeCl₃ (mL)	0	14	14	14	14	14	14	14
Ferrocryl (mL)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
Turbidité (UTN)	91.7	25.5	20.6	18.7	2.23	29.1	30.1	30.5
pH	7.42	7.43	7.50	7.49	7.48	7.45	7.42	7.40
Cond. (mS/cm)	2.39	2.44	2.43	2.42	2.41	2.40	2.39	2.40

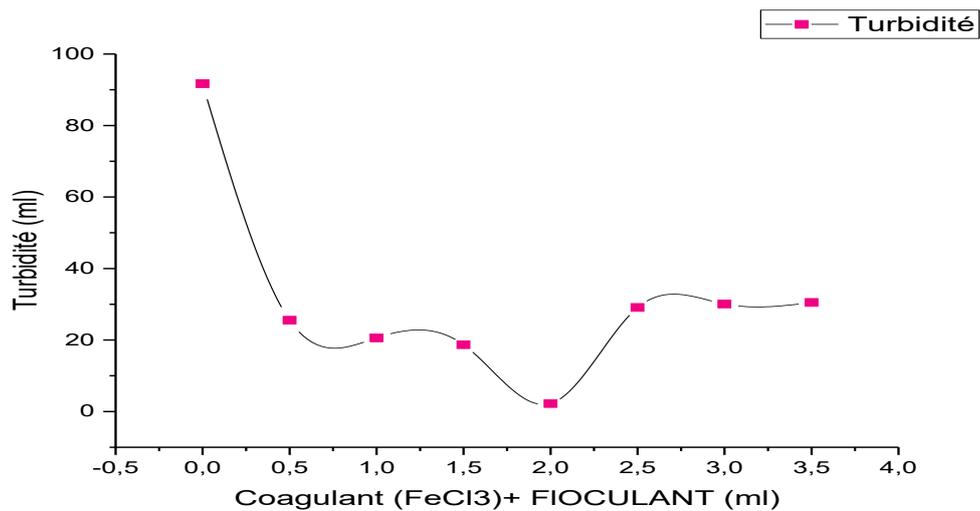


Fig. III.8 : Évolution de la turbidité en fonction du volume du flocculant Ferrocryl 20% à des faibles quantités

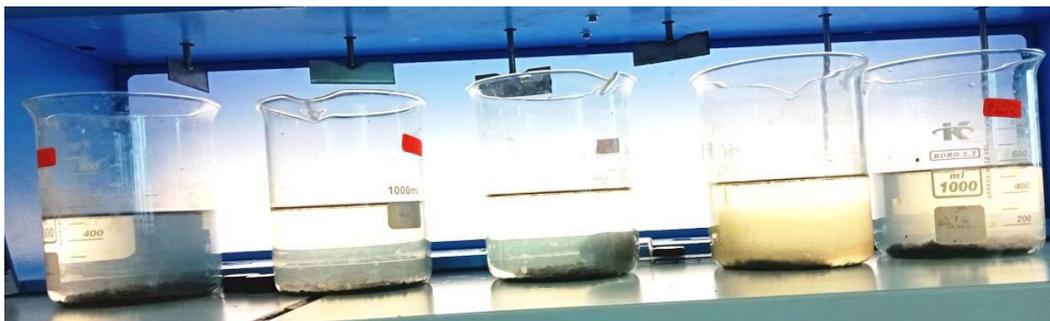


Fig. III. 9 : Résultats de jar test pour le flocculant « Ferrocryl » et le coagulant FeCl₃

La figure III.6 montre la courbe d'évolution de la turbidité en fonction du volume du flocculant Ferrocryl (20%) ajouté avec le volume fixe de coagulant FeCl₃. On observe que si la dose du flocculant varie entre 0 et 3,5 mL, on observe que la turbidité est abaissée de 91,7 NTU de l'eau usée sans traitement jusqu'à une valeur minimale de **2,23** NTU pour un volume optimal de 2 ml du flocculant, au-dessus de ce volume la turbidité augmente légèrement avec le volume du coagulant, on observe aussi que le pH et la conductivité des différentes solutions sont acceptables.

On peut conclure, les doses optimales pour traiter **1 litre** de cet échantillon d'eau usée sont :

Volume FeCl₃ (10%) = 28 mL ; Volume Ferrocryl (20%) = 4 mL

III.10. Optimisation de la dose du coagulant « CaSO₄ » :

L'utilisation de CaSO₄ (sulfate de calcium) comme coagulant dans le traitement de l'eau est moins courante que l'utilisation d'autres coagulants tels que l'aluminium ou le fer. Cependant, le CaSO₄ peut être utilisé dans certaines situations spécifiques.

Dans cette série d'essai on remarque bien la différence entre l'utilisation du coagulant « CaSO₄ » sous forme solide ou liquide. La figure III.8 montre la courbe d'évolution de la turbidité en fonction du volume ajouté du coagulant CaSO₄ (saturée et 10% de la solution saturée) et en fonction de la masse ajoutée de solide CaSO₄. On observe que si la dose du CaSO₄ 10% de la solution saturée varie entre 0 et 4,5 mL, la turbidité est abaissée de 199 UTN jusqu'à une valeur minimale de 16,2 UTN à une dose équivalente de 1,5 mL, au dessus de ce volume la turbidité augmente avec l'augmentation du volume du coagulant.

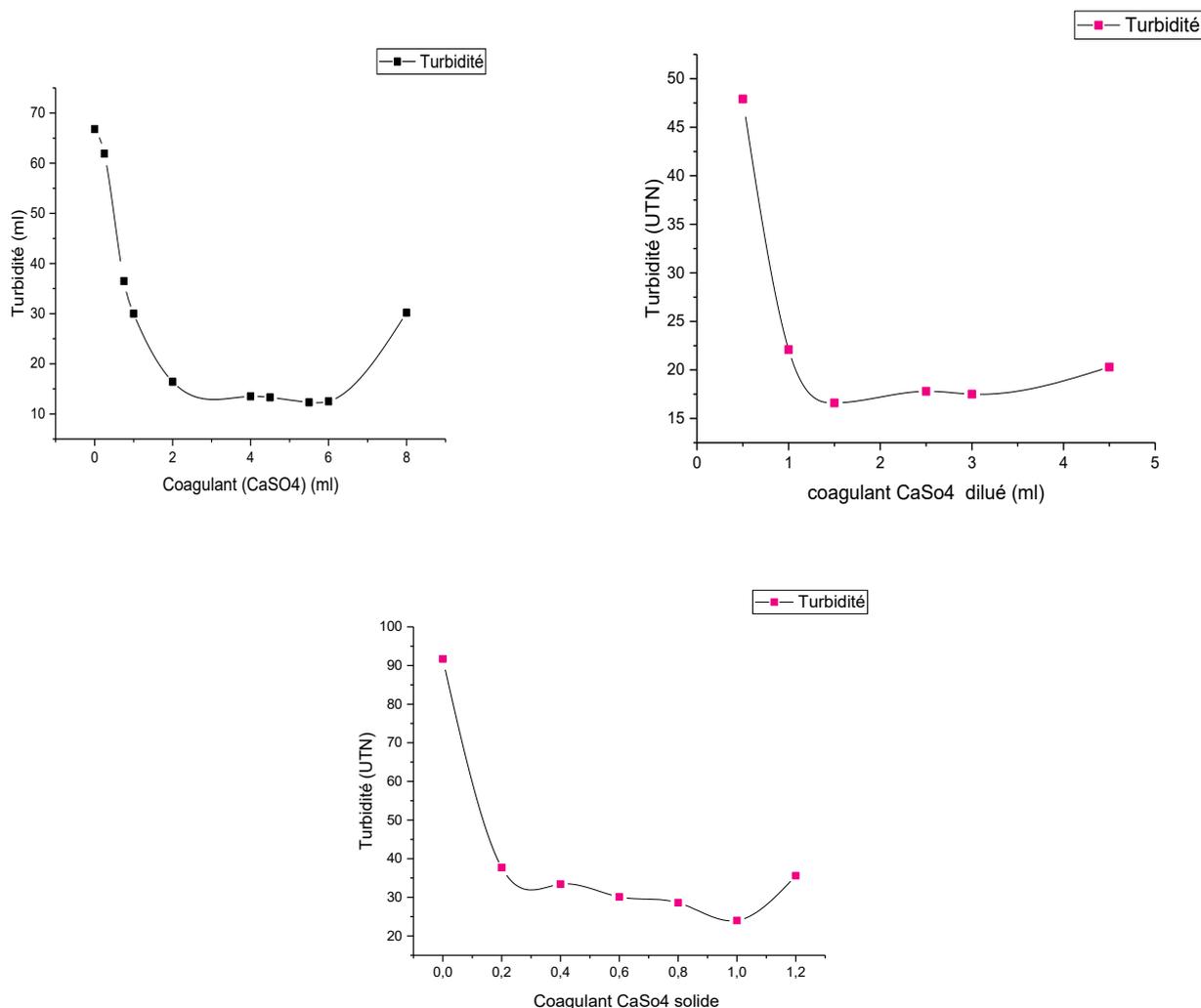


Fig. III.10 : Évolution de la turbidité en fonction différents volumes du coagulant CaSO_4 saturé, CaSO_4 saturé dilué 10% et CaSO_4 solide.

Enfin, si la dose de la solution CaSO_4 saturé varie entre 0 et 7 mL, ça provoque une diminution remarquable de la turbidité de 199 UTN jusqu'à 12,3 UTN à une dose optimale de 6 ml, au dessus de ce volume la turbidité augmente légèrement avec le volume du coagulant.

Tableau III.6 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du coagulant CaSO_4 saturée.

Volume eau (L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
CaSO_4 saturé (mL)	0	0.25	0.75	1	2	4	4.5	5.5	6	7
Turbidité (UTN)	199	66,8	61.9	62.5	36.5	16.4	13,5	13,2	12,3	12,5
pH	7.60	7.80	8.2	8.4	8.5	8.8	8.9	9.0	9.03	9.04
Cond. (mS/cm)	2.39	2.37	2.41	2.42	2.42	2.44	2.43	2.44	2.45	2.46

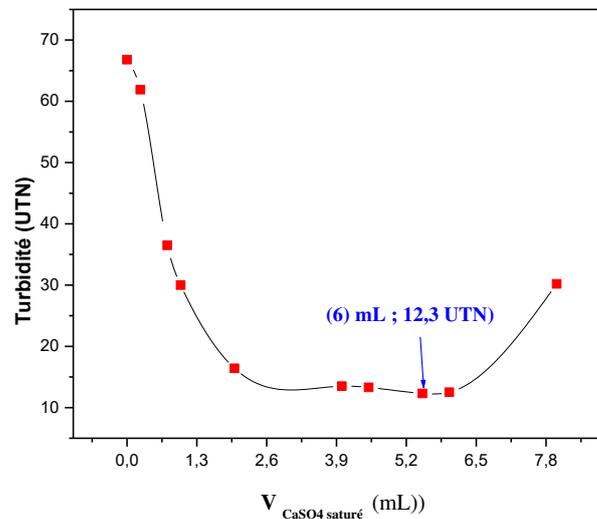


Fig. III.11 : Évolution de la turbidité en fonction du volume optimale du coagulant CaSO_4 à 100 %



Fig. III. 12 : Résultats de jar test du coagulant CaSO_4 saturé.

La figure III.9 montre la courbe d'évolution de la turbidité en fonction du volume du coagulant CaSO_4 (100%) à faible quantité avec un volume qui varie entre 0 et 7 mL, Une petite quantité de CaSO_4 est suffisante pour faire diminuer la turbidité de cet échantillon d'eau usée, le volume optimale correspond à 5.5 mL pour obtenir une valeur de turbidité de l'ordre de 12,3 UTN. Ce volume correspond aussi à une dose optimale de **11 mL** de CaSO_4 saturé pour traiter un litre d'eau usée de la station.

On peut conclure, les doses optimale pour traiter **1 litre** de cet échantillon d'eau usée est :

Volume CaSO_4 saturé = 11 mL ; sans flocculant

III.11. Détermination de la dose optimale du coagulant $\text{Ca}(\text{OH})_2$ « la chaux » :

On effectue deux différentes séries d'essais utilisant de la chaux solide et chaux liquide saturée, si on utilise la chaux liquide avec des volumes variant entre 0 – 5 ml on observe que la turbidité est abaissée de 91,7 NTU jusqu'à une valeur minimale de 5,75 UTN pour une dose équivalente de 3,5 ml de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ saturée. Ensuite à partir de cette dose la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant, si on utilise la chaux solide avec des masses qui varient entre 0 – 2,5 g, les résultats obtenus affichent un décroissement très rapide de la turbidité dès qu'on arrête l'agitation, cette turbidité abaisse de 91,7 UTN jusqu'à 1,30 UTN, pour une masse équivalente de 1 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ puis une légère augmentation est observée suite à l'ajout de la chaux solide.

Tableau III.7 : Évolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction du volume du coagulant $\text{Ca}(\text{OH})_2$ saturée et différentes masses :

Volume eau (L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (g)	0	0.1	0.5	0.7	0.9	1	1.5	2	2.5
Turbidité (UTN)	91.7	42.5	3.42	1.73	1.34	1.30	2.2	4.1	5.2
pH	7.40	10.14	11.10	12.10	12.24	12.28	12.30	12.32	12.35
Cond. (mS/cm)	2.39	2.60	2.65	2.68	2.70	2.72	2.74	2.76	2.78

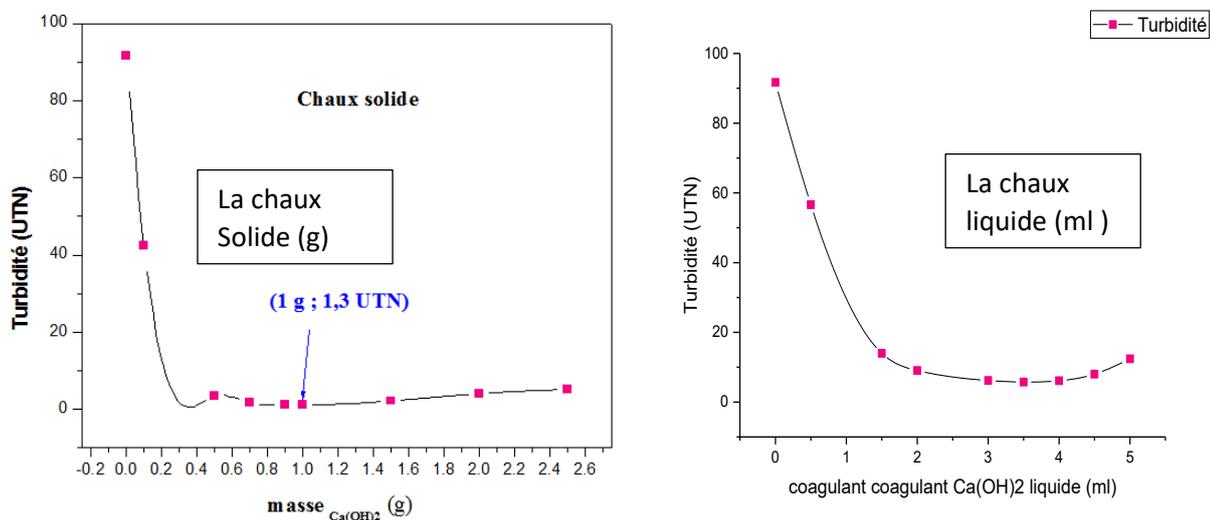


Fig. III.13 : Évolution de la turbidité en fonction des différents volumes du coagulant $\text{Ca}(\text{OH})_2$ saturée et différentes masses de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solide.

La figure III.11 montre la courbe d'évolution de la turbidité en fonction de masse du coagulant $\text{Ca}(\text{OH})_2$ à faible quantité avec une masse qui varie entre 0 et 2 g, Une petite quantité de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est suffisante pour faire diminuer la turbidité de cet échantillon d'eau usée, la masse optimale correspond à 1g pour obtenir une valeur de turbidité de l'ordre de 1,30 UTN. Cet masse correspond aussi à une dose optimale de 2 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour traiter un litre d'eau usée de la station.

On peut conclure, les doses optimale pour traiter **1 litre** de cet échantillon d'eau usée est :

Volume $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solide = 2 g ; sans flocculant



Fig. III. 14 : Résultats de jar test avec la chaux solide (Photo après l'arrêt de l'agitation).



Fig. III.15 un autre test avec de la dose optimale de coagulant $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Dès le 4^{ème} prélèvement effectué le 01/05/2023, tous les résultats des doses optimales ont été modifiés car l'eau de ce prélèvement était trop turbide, atteignant parfois jusqu'à 200 UTN voire plus. Par conséquent, nous avons été contraints de réaliser de nouvelles analyses et de tester de nouvelles doses de coagulants et de flocculants afin d'obtenir de nouvelles doses optimales. La figure III.13 représente un test préliminaire qui confirme le traitement à la chaux solide.

Après plusieurs tests de traitement utilisant les coagulants précédemment utilisés, à savoir le ferrollin, FeCl_3 , CaSO_4 et $\text{Ca}(\text{OH})_2$, à différents volumes, la figure III.14 présente les courbes d'évolution de la turbidité en fonction du volume des coagulants ajoutés. Nous constatons que lorsque la dose de coagulant ferrollin varie entre 0 et 4 mL, la turbidité diminue de 199 NTU jusqu'à une valeur minimale de 8,84 UTN avec une dose de 2 mL de Ferrollin 10% + 0,5 mL de flocculant ferrocryl. Au-delà de cette dose, la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose de coagulant et de flocculant. Lorsque la dose de coagulant CaSO_4 10% varie entre 0 et 0,75 mL, nous observons une augmentation de la turbidité plutôt

qu'une diminution, atteignant 230 UTN. Ensuite, nous remarquons que la turbidité diminue entre les valeurs de 0,75 mL et 1,25 mL. Lorsque la dose de Ferrollin 10% varie entre 0 et 8 mL, nous constatons que la turbidité diminue jusqu'à une valeur de 115 NTU. Au-delà de ce volume, la turbidité augmente avec l'augmentation du volume du coagulant, atteignant 300 UTN.

Si la dose de FeCl_3 varie entre 0 et 16 mL, la turbidité diminue de 200 UTN jusqu'à une valeur minimale de 40 UTN avec un volume de 5 mL de flocculant. Ensuite, nous remarquons une augmentation de la turbidité jusqu'à 80 UTN à partir de cette dose. Lors de l'utilisation de la chaux liquide, nous ne constatons jamais de diminution de la turbidité, mais seulement une augmentation jusqu'à 310 UTN avec un volume de 1,6 mL de chaux liquide. Enfin, lors de l'utilisation de la chaux solide, nous observons une diminution de la turbidité de 200 UTN jusqu'à une valeur de 2,46 UTN avec une masse optimale de 2 g de chaux solide, puis une légère augmentation de la turbidité à partir de cette masse.

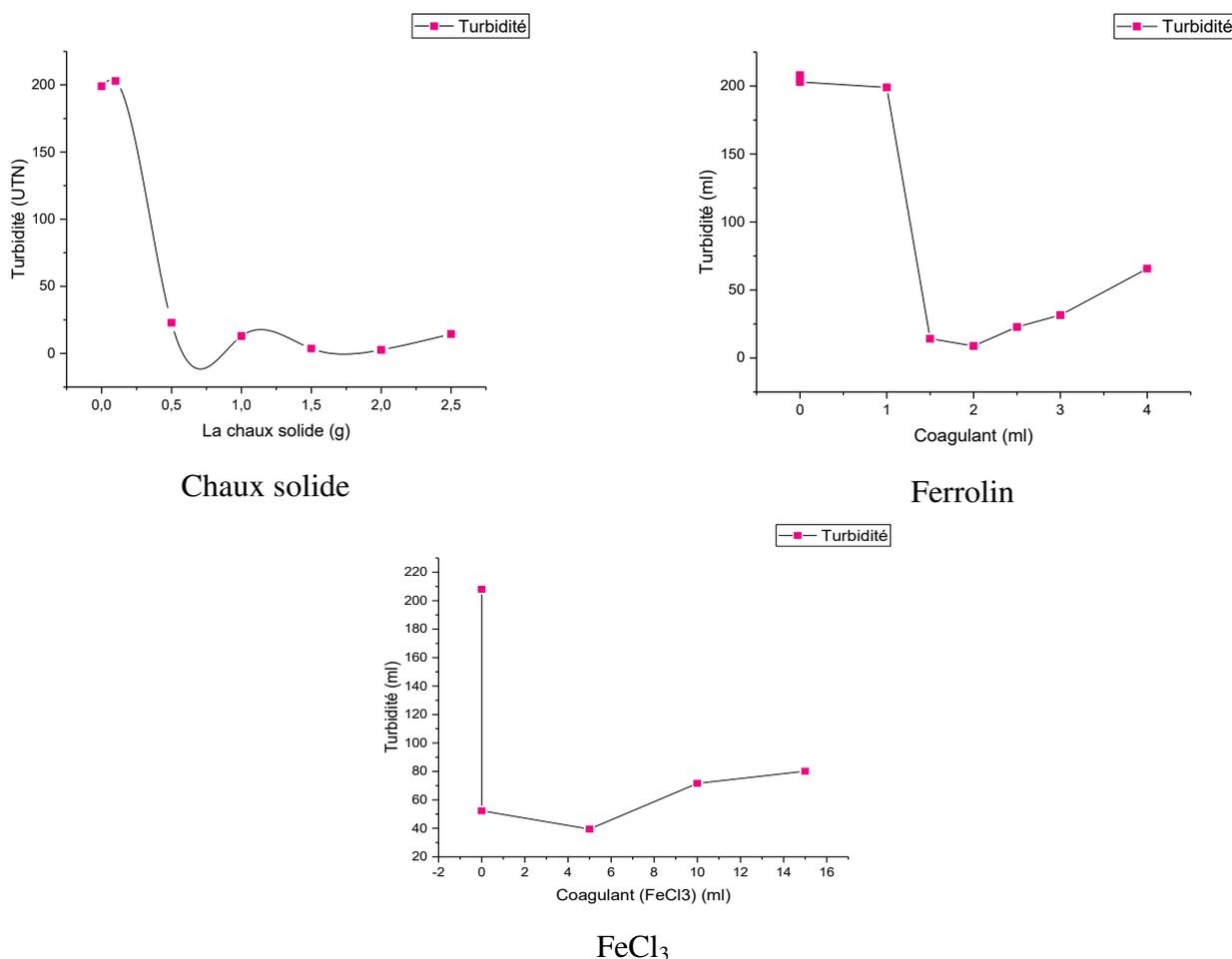


Fig. III.16 : Représente les courbes de l'évolution de la turbidité en fonction des différents volumes de coagulants (chaux solide, Ferrollin et FeCl_3) application sur le 4^{ème} prélèvement.

Tableau III.8 : Evolution des paramètres turbidité, pH et conductivité en fonction de masse du coagulant Ca(OH) solide et volume de ferrolin et ferrocryl :

	Ca(OH) ₂ solide (2g)	Ferrolin (10%) (2mL)	FeCl ₃ (10%) (2 mL)	Ferrolin (10%) (2 mL) + Ferrocryl (10%) (0,5mL)	FeCl ₃ (10%) (2 mL) + Ferrocryl (10%) (0,75 mL)
Turbidité (UTN)	2,64	8,4	57,1	8,09	20,5
Cond (µS /cm)	6240	1213	1180	1250	1263
pH	12,04	7,6	7,7	7,8	7,7
DCO (mg/L)	906	374	494	/	/
DBO₅ (mg/L)	25	26	31	/	/

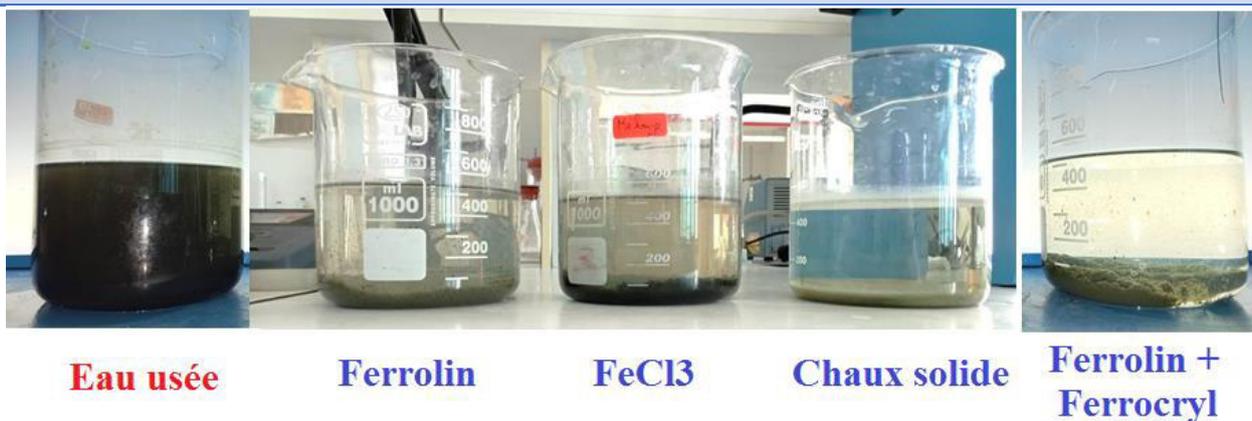


Fig. III.17 une comparaison entre les différents coagulants (Ferrolin et le FeCl₃ et la chaux solide) dans le traitement.

IV.1. Application des résultats obtenue au niveau de la station d'épuration de la société EMBAG – BBA :

Le 7 juin 2023, nous avons effectué une sortie de travail à la société EMBAG pour une application directe sur le terrain. La dose optimale obtenue au laboratoire était de 2 g/L, ce qui correspond à une masse de 20 kg de chaux pour traiter 4,5 m³ d'eau usée dans la cuve de la station de traitement des eaux usées. Les photos présentées dans la figure III.16 illustrent clairement le processus d'application. Nous avons laissé le bassin en flottation pendant 2 heures afin de bien homogénéiser le mélange de chaux et d'eau usée. Après une décantation lente, nous avons observé la précipitation des matières en suspension

(boue). La pompe envoie cette boue jusqu'au système d'assèchement pour pouvoir procéder au traitement final. La déshydratation des boues est obtenue au moyen d'un filtre à bande presseuse. Enfin, un échantillon d'eau usée traitée a été prélevé (Figure III.17) et analysé au niveau de notre laboratoire.

Tableau IV.1. : Analyses finales de l'échantillon après traitement

Turbidité UTN	Conductivité ms/cm	pH	Sal	DCO mg/l	DBO ₅ mg /l
13,7	4,74	7,31	2,9	260	25

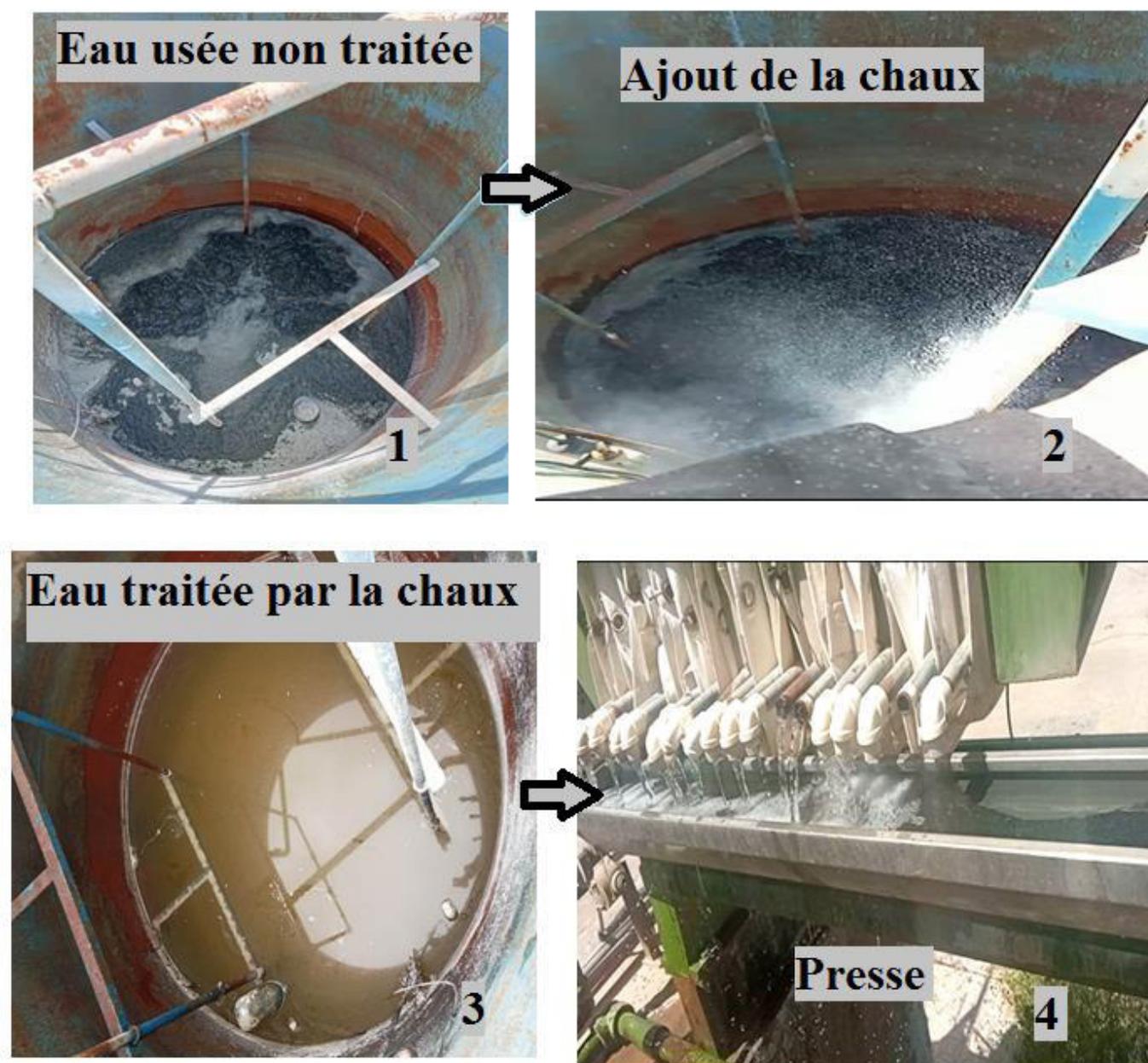


Fig. IV.1.1. Application des résultats obtenue au niveau de la station d'épuration de la société EMBAG – BBA



Figure IV.1.2. Échantillon d'eau usée traitée.

Conclusion générale :

Le traitement des eaux usées est un processus essentiel pour la vie quotidienne des habitants des villes et des zones rurales. Il permet non seulement de protéger la santé de la population, mais aussi d'éliminer les matières en suspension (MES) et les colloïdes présents dans les eaux usées. Dans le cadre de notre étude expérimentale, nous avons utilisé la coagulation-floculation avec différents coagulants tels que le Ferrolin, le Ferrocryl, le FeCl_3 , le CaSO_4 et le $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Nos résultats et discussions ont permis de conclure que les eaux usées industrielles de la société EMBAG-BBA sont polluées, en particulier par des matières en suspension (MES) avec des concentrations allant de 0,19 à 20 g/l. Les échantillons présentent également une turbidité de 57,9 à 200 UTN et des taux élevés de demande chimique en oxygène (DCO) variant de 1040 à 3320 mg/l, ainsi que de demande biologique en oxygène (DBO5) de 60 à 200 mg/l.

Suite à l'analyse expérimentale de ces eaux usées, nous avons constaté que le traitement par coagulation-floculation avec les coagulants Ferrolin, FeCl_3 , CaSO_4 et $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est très efficace pour le traitement des eaux usées industrielles. Le temps d'agitation est un facteur clé à prendre en compte pour garantir le bon déroulement du procédé de coagulation-floculation (par exemple, le jar-test).

La détermination de la concentration optimale de coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. Nous avons déterminé que la concentration optimale de Ferrolin à 10% est de 1,5 ml pour un litre d'échantillon, associée à la concentration optimale de Ferrocryl à 20% de 1 ml pour un litre d'échantillon, ce qui a donné d'excellents résultats en termes de turbidité, passant de 199 à 2,82 UTN.

L'utilisation du coagulant CaSO_4 à 100% a donné des résultats efficaces, supérieurs à ceux de la forme à 10% en état solide. La concentration optimale de CaSO_4 à 100% est de 12 ml pour un litre d'échantillon, entraînant une valeur de turbidité allant de 199 UTN à 12,3 UTN correspondant à cette concentration.

59

Pour le coagulant FeCl_3 à 100%, la concentration optimale est de 28 ml, accompagnée d'une dose optimale de Ferrocryl de 4 ml pour traiter un litre de l'échantillon, ce qui a produit de meilleurs résultats de turbidité, passant de 91,7 à 2,23 UTN.

L'utilisation de la chaux (Ca(OH)_2 en état solide a donné de bons résultats en termes de réduction de la turbidité, supérieurs à ceux obtenus avec la forme à 100% en solution. La masse optimale de Ca(OH)_2 est de 4 g pour traiter un litre d'échantillon, ce qui a entraîné d'excellents.

Enfin, nous avons effectué une visite de terrain à la société EMBAG pour une application directe de nos résultats. Nous avons ajouté une masse de 18 kg de chaux pour traiter 4,5 m³ d'eau usée dans la cuve de la station de traitement des eaux usées. Après une période de flottation de 2 heures et une décantation lente, nous avons prélevé un échantillon d'eau usée traitée qui respectait les normes requises (DCO = 260 mg/L, DBO5 = 25 mg/L, pH = 7,31). Ces résultats ont confirmé nos observations précédentes réalisées en laboratoire.

En perspective, il reste à caractériser les différents coagulants et flocculants par des méthodes d'analyse afin de déterminer leur composition chimique. De plus, il est nécessaire de mener d'autres études de traitement sur d'autres types d'eaux usées avec d'autres techniques de traitement.

Référence :

1. Achacha, M. Valorisation des biomatériaux extraits des raquettes et des pépins de figue de barbarie dans le traitement des eaux usées. Mémoire pour obtenir le diplôme de Master. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, BBA, 2022.
2. Rodier, J. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9ème édition. Ed. DUNOD, Paris, 2005.
3. Boeglin, J-C. Lutte contre la pollution de l'eau. Édition Technique de l'ingénieur, traité environnement, volume G1250, pp1-10, 1999.
4. Vilaginés, R. Eau, environnement et santé publique. 3ème édition. Édition TEC & DOC Lavoisier, Paris, 2010.
5. Boeglin, J-C., Roubaty, L. Pollution industrielles de l'eau. Édition Technique de l'ingénieur, traité dans l'environnement, volume G1210, pp1-12, 2007.
6. Grosclaude, G. L'eau, usages et polluants, tome 2. Édition INRA, Paris, 1999.
7. Delporte, C. Traitement biologique aérobie des effluents industriels. Édition technique d'ingénieur, traité environnement, volume G1300, pp1-15, 2007.
8. TEKFI, K. Étude des performances épuratoires d'une station d'épuration des boues activées. Mémoire magister. Département hydraulique, Université Tlemcen, 2006, p134.
9. Y. Merah, R. Kelifi. Le traitement des eaux turbides par un bio-floculant figue de barbarie. Mémoire pour obtenir le diplôme de Master. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, BBA, 2022.
10. Melghit, M. Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments eau/sédiments de l'oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. Mémoire magister. Université Mentouri Constantine, 2012, 72p.
11. Oubagha, N. Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétiques. Mémoire magister. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2011, 151p.
12. Bidi Zaina, Djidja Célia. Analyse de quelques paramètres physico-chimiques d'une source d'eau au niveau de la commune de Mizrana (Tizi-Ouzou). Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2019, p30.

13. Koller, E. Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols, Boues. 2ème Édition, Dunod, 2009, 569p.

61

14. Berne, F., Cordon Cordonnier, J., (1991). Traitement des eaux, édition Technique, Paris, 295 p.

15. Koller, E. Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols, Boues. 2ème édition, Dunod, 2009, 569 p.

16. Berne, F., Cordonnier, J. Traitement des eaux. Édition Technique, Paris, 1991, 295 p.

17. Kherifi, Wahida (2009). Étude de la cinétique de sédimentation des matières en suspension dans le calcul des décanteurs. Mémoire de magister, faculté des sciences de l'ingénieur, Badji Mokhtar – Annaba, pp. 37.

18. Ouanoughi, Samira (2004). Possibilités d'élimination du cadmium par précipitation chimique à la chaux et au sulfate d'aluminium. Mémoire de Master, Université Mohamed Khider - Biskra.

19. Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus (Adsorption study of Methylene Blue on biomaterial using cactus). Journal of Materials and Environmental Science, 2015.

20. Culture Sciences Chimie. Disponible sur : <https://culturesciences.chimie.ens.fr> (Consulté le 20.05.2023).

21. Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., Marotta, R. Advanced oxidation process (AOP) for water purification and recovery. Catalysis Today, 53(1999), 51-59.

22. Wikipedia. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org> (Consulté le 25.05.2023).

23. Fdanieau. Disponible sur : <http://fdanieau.free.fr> (Consulté le 27.05.2023).

24. Abdouche, Yasmine, Mounsla, Zineb. Étude comparative des eaux traitées par boues activées (STEP Baraki) et électrocoagulation dans l'irrigation. Mémoire de fin d'étude, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Saâd Dahlab – Blida 1.

25. Suez Water Handbook. Disponible sur : <https://www.suezwaterhandbook.fr> (Memento Degremont Eau et Généralités).

26. Actu Environnement. Disponible sur : <https://www.actu-environnement.com/>

Résumé :

Cette étude porte sur le traitement physico-chimique par coagulation-floculation d'une eau usée industrielle provenant de l'Unité EMBAG-BBA. L'objectif est de déterminer la dose optimale de coagulant et de flocculant pour cette industrie (Ferrolin et Ferrocryl), tout en proposant d'autres coagulants plus efficaces et moins coûteux pour le traitement de cette eau, afin d'obtenir les meilleurs résultats en termes de turbidité et de réduction des paramètres de DBO5 et de DCO. L'efficacité de la chaux, du CaSO4 et du FeCl3 en tant que coagulants a été étudiée, et nous avons obtenu d'excellents résultats en traitant cette eau avec de la chaux.

Mots clés : Coagulation, Floculation, MES, DBO5, DCO, Turbidité

Abstract :

This study focuses on the physicochemical treatment of industrial wastewater from the EMBAG-BBA Unit using coagulation-flocculation. The aim is to determine the optimal dosage of coagulant and flocculant for this industry (Ferrolin and Ferrocryl), as well as to propose other coagulants that are more efficient and cost-effective for treating this water. The objective is to achieve the best turbidity results and reduce the elevated parameters of total suspended solids, BOD5 and COD. Lime, CaSO4, and FeCl3 have been investigated for their effectiveness as coagulants. By treating the water in the Unit with lime, we have obtained highly satisfactory results.

Keywords: Coagulation-flocculation, TSS, BOD5, COD, Turbidity

ملخص

تعتمد هذه الدراسة على معالجة الصرف الصناعي لمياه وحدة صناعة مواد التغليف والغرافيك في ولاية برج بوعريريج، باستخدام التبختر والتلبد الفيزيائي والكيميائي. الهدف هو تحديد الجرعة المثلى للمواد التبختر والمواد الندفية لهذه الصناعة Ferrolin Ferrocryl، بالإضافة إلى اقتراح مواد تخثر أخرى أكثر كفاءة وتكلفة منخفضة لمعالجة هذه المياه وللحصول على أفضل نتائج فيما يتعلق بالتعكر وتقليل النسبة العالية للحاجة الكيميائية للأكسجين والاحتياج البيوكيميائي للأكسجين. تمت دراسة فعالية الجير CaSO4 و FeCl3 كموا تخثر، وتمت معالجة هذه المياه في الوحدة باستخدام الجير،

وتم الحصول على نتائج جيدة جدًا.

الكلمات المفتاحية: التبختر التلبد المواد الصلبة العالقة - - - الاحتياج البيو كيميائي للاكسجين - الاحتياج الكيميائي للاكسجين التعكر