

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche scientifique

جامعة أمحمد بوقرة – بومرداس

Université M'hamed Bougara Boumerdes

Faculté de Technologie

Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'études présenté en vue

D'obtention du diplôme de Master en Génie chimique

Thème:

Traitement des effluents huileux par coagulation/floculation

Présenté par :

M^{elle} : BOUAOUNI Yasmine et M^{elle} : OUABDESSELAM Wissem

Soutenu devant le jury :

Mme ASSELAH.A.	Présidente	UMBB
Mr BALLOUL.H.	Examineur	UMBB
Mr NOURI.L.	Promoteur	UMBB
Mme FETOUCHE.R.	Co-promotrice	CRD

Année universitaire : 2022/2023



Remerciement

الحمد لله

En ce moment de fierté et d'accomplissement, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers toutes les personnes qui ont joué un rôle déterminant dans la réalisation de notre mémoire.

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers le bon Dieu pour Sa grâce et Sa guidance tout au long de ce parcours. Nous sommes reconnaissants de l'opportunité qui nous a été donnée de mener cette recherche et pour les bénédictions qui ont éclairé notre chemin.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre éminent promoteur, **Mr.NOURI L'HADI**, pour son expertise éclairée, sa rigueur intellectuelle et son encadrement précieux tout au long de cette recherche. Ses conseils avisés, sa guidance experte, et son engagement constant ont joué un rôle essentiel dans la réalisation de ce travail.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers notre promotrice industrielle, **Mme FETOUCHE RIMA**. Son expertise approfondie et sa vision pragmatique nous ont permis de mieux appréhender les enjeux pratiques et de mettre en perspective nos recherches académiques. Son engagement envers notre réussite et sa contribution à notre développement professionnel resteront gravés dans notre mémoire.

Nous souhaitons également adresser nos sincères remerciements aux membres du jury pour leur temps précieux consacré à évaluer notre mémoire. Notre profonde gratitude à Mme **ASSELAH AMEL** pour avoir accepté de présider ce jury. Et Monsieur **BALLOUL HAKIM** de bien vouloir accepter d'examiner ce travail.

Nous remercions profondément à tous nos enseignants de département de Génie des procédés de la faculté de technologie Boumerdes, qui ont contribué à nous transmettre l'incalculable trésor qui est le savoir.

Enfin, nous remercions l'équipe de Sonatrach dans son ensemble pour avoir créé un environnement propice à la recherche et au développement. Votre soutien institutionnel et votre engagement envers l'innovation ont joué un rôle déterminant dans notre parcours.

“Merci infiniment”





Dédicace

À nos très chers parents, qui occupent une place unique dans notre vie et à qui nous devons ce que nous sommes aujourd'hui. Nous vous remercions infiniment de nous avoir soutenus et aimés tout au long de ces années, d'être si fiers de nous.

À notre cher père, nous tenons à te dire merci du fond du cœur pour ton éducation, tes sacrifices, ton assistance et tout ce que tu as fait pour nous.

À notre merveilleuse maman, nous t'exprimons notre gratitude pour ta patience, ton courage et tes sacrifices envers nous, ce qui nous a permis de connaître cette réussite et ce bonheur. Merci et mille fois merci, maman.

À notre sœur et nos frères, merci pour votre affection et votre soutien indéfectible. Vos encouragements et votre présence ont été d'une valeur inestimable, nous motivant à donner le meilleur de nous-mêmes.

À nos chers amis, nous vous remercions du fond du cœur pour votre soutien. Vos encouragements chaleureux, votre soutien moral et nos moments de partage ont rendu ce voyage mémorable et enrichissant.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, nous vous témoignons notre profonde gratitude.

Yasmine et Wissem



Résumé :

La préservation de l'environnement est une préoccupation majeure de notre société, et le traitement des eaux contaminées est un aspect crucial dans cette perspective.

Dans ce contexte, notre travail se concentre sur l'application de la coagulation-floculation dans le traitement des eaux huileuses, en mettant l'accent sur l'importance de respecter des paramètres tels que le pH, la concentration en matières en suspension (MES) et la turbidité, conformément au décret algérien n°06-141 du 19 avril 2006.

De plus, notre étude met en évidence la nécessité d'approfondir les recherches en réalisant une étude prospective supplémentaire axée sur la coagulation-floculation basée sur le nombre de partage. L'objectif est d'améliorer davantage les techniques de traitement afin d'optimiser les résultats obtenus.

Mots clés : coagulation-floculation, eaux huileuses, pH, concentration en matières en suspension (MES), turbidité, étude prospective, nombre de partage.

Abstract :

Preserving the environment is a major concern in our society, and treating contaminated water is a crucial aspect in this regard. In this context, our work focuses on the application of coagulation-flocculation in the treatment of oily water, with an emphasis on the importance of adhering to parameters such as pH, suspended solids concentration (SSC), and turbidity, in accordance with Algerian regulations n°06-141 for 19 April 2006.

Furthermore, our study highlights the need for further research by conducting an additional prospective study focused on coagulation-flocculation based on the partition number. The objective is to improve further treatment techniques to optimize the obtained results.

Keywords: coagulation-flocculation, oily water, pH, suspended solids concentration (SSC), turbidity, prospective study, partition number

ملخص

الحفاظ على البيئة هو اهتمام رئيسي في مجتمعنا، ومعالجة المياه الملوثة هي جانب حاسم في هذا السياق. في هذا الإطار، يركز عملنا على تطبيق عملية التكتل والترسيب في معالجة المياه الملوثة بالزيوت، مع التركيز على أهمية احترام المعايير مثل درجة الحموضة وتركيز المواد العالقة والعكارة، وفقا للمراسيم الجزائرية المعمول بها رقم 06-141 المؤرخ في 19 أبريل 2006.

بالإضافة الى ذلك يسلط بحثنا الضوء على ضرورة تعميق البحوث من خلال اجراء دراسة توقعيه إضافية تركز على عملية التكتل والترسيب بناءا على عدد التوزيع. الهدف هو تحسين تقنيات المعالجة بشكل أكبر لتحقيق أفضل النتائج الممكنة.

كلمات البحث: التكتل والترسيب، المياه الملوثة بالزيوت، درجة الحموضة، تركيز المواد العالقة، العكارة، دراية توقعية، عدد التوزيع.

Sommaire

Dédicace	1
Remercement	1
Résumé.....	1
Liste des abréviations	1
Liste des figures	1
Liste des tableaux	1
Introduction générale.....	3
 Chapitre I : Généralités sur les eaux huileuses.....	5
I. Introduction :	6
I.1. Les eaux résiduaires industrielles :	6
I.1.1. Les différents types d'eaux résiduaires industrielles :	7
I.2. Définition des eaux huileuses :	7
I.2.1 Origine des eaux huileuses :	7
I.2.2. Les propriétés physique et chimique de l'eau huileuse :	8
I.2.3. Eau normalement huileuse :	8
I.2.4. Eau accidentellement huileuse :	9
I.3. Caractérisation des eaux huileuse pétrolières :	9
I.3.1. Paramètres organoleptique :	9
I.3.2. Paramètres physiques :	10
I.3.3. Paramètres chimiques :	10
I.4. L'impact des eaux huileuses :	11
I.5. Normes de rejet :	12
I.6. Les techniques de traitement des eaux huileuses :	13
I.6.1 Les prétraitements :	13
I.6.2. Epuration physicochimique :	16
I.7. Conclusion :	16
 Chapitre II : Coagulation/Floculation.....	20
II. Introduction :	21
II.1. Présentation de la coagulation-floculation comme technique de traitement des eaux huileuses :	21
II.2. Caractéristiques des particules à enlever :	21

II.2.1. Stabilité des particules.....	22
II.2.2. Potentiel Zéta :	24
II.3. Coagulation :	24
II.3.1. Compression de la double couche :.....	25
II.3.2. Adsorption et neutralisation des charges :	26
II.3.3. Emprisonnement des particules dans un précipité :	26
II.3.4. Adsorption et pontage entre les particules :	27
II.3.5. les Coagulants :	27
II.3.6. Choix des coagulants :.....	29
II.3.7 Influence de la dose de coagulant sur l'efficacité de la coagulation :	29
II.3.8. Effet de la surdose de coagulant sur l'efficacité de la coagulation :.....	30
II.3.9. Aides-coagulants (adjuvant de floculation) :.....	31
II.4. Floculation :	32
II.4.3. les flocculants :	32
II.4.4. Impact des flocculants sur la performance de traitement des eaux huileuses :.....	33
II.5. Décantation :	34
II.6. Filtration :.....	35
II.7. Paramètres affectant la coagulation floculation :.....	35
II.7.1. Influence du paramètre pH :.....	35
II.7.2. Effets de l'alcalinité :	36
II.7.3. La température :.....	36
II.7.4. Influence de la turbidité :	36
II.7.5. Influence de la vitesse d'agitation :	36
II.8. Les avantages et les inconvénients de la coagulation-floculation :	37
II.8.1. Les avantages :	37
II.8.2. Les inconvénients :	37
II.. Conclusion :	37
Chapitre III:Partie expérimentale	38
Introduction :	39
III. Présentation du lieu de stage et lieu d'échantillonnage :	39
III.1. Présentation du lieu de stage : Division laboratoire SONATRACH :.....	39
III.1.1. Schéma représentatif de la Division laboratoire SONATRACH :.....	40
III.2. Présentation du lieu d'échantillonnage : Station Haoud-Berkaoui :.....	41
III.2.1. Échantillonnages :	42

III.3. Le processus de l'étude :	42
III.4. Equipements et appareillages de mesure :	42
III.4.1. Le jar test :	42
III.4.2. Turbidimètre :	43
III.4.3. Le pH-mètre :	43
III.5. Produits utilisés :	44
III.5.1. Coagulants utilisés : chlorure d'aluminium (AlCl_3)	44
III.5.2. Flocculant utilisés : polyélectrolyte	46
III.6. Mode opératoire :	46
III.6.1. Traitement du 1 ^{er} échantillon :	46
III.6.1.1. Détermination de la concentration optimale de coagulants :	46
III.6.1.2. Ajustement du pH :	47
III.6.2. Traitement du 2 ^{ème} échantillon :	48
III.6.2.1. Détermination de la concentration optimale de coagulants et de NaOH :	48
III.6.2.2. Effet d'un aide coagulant (La Bentonite) :	48
Chapitre IV : Resultats et discussion	50
Chapitre V: Etude prospective	60
Conclusion générale	63
Recommandation	64
Annexe	66

Liste des figures

Figure I.1 : Le dégrillage.....	10
Figure I.2 : Dessableur longitudinal.....	10
Figure I.3 : Dessableur circulaire.....	11
Figure I.4 : La décantation primaire	12
Figure II.1 : Double couche d'une particule colloïdale(Amirtharajah et O'Melia, 1990)	16
Figure II.2 : Stabilité d'une suspension colloïdale	17
Figure II.3 : Représentation schématique de la compression de la double couche	19
Figure II.4 : Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation.....	20
Figure II.5 : Adsorption et pontages à l'aide d'un polymère.....	20
Figure III.1 : Schéma représentatif d'une station de déshuilage.	34
Figure III.2 : L'eau huileuse avant traitement dans un jar test	39
Figure III.3 : Résultat du traitement par aide coagulant	42
Figure III.4 : Deuxième échantillon avant et après le traitement	42
Figure IV.1 : Variation du MES en fonction des doses de coagulant.....	44
Figure IV.2 : Variation d'efficacité en fonction des doses du coagulant.....	45
Figure IV.3 : Variation du pH en fonction des doses du coagulant.....	45
Figure IV.4 : Variation du MES en fonction de concentration de NaOH.....	46
Figure IV.5 : variation d'efficacité en fonction de concentration de NaOH.....	48
Figure IV.6 : les paramètre de traitement (MES, pH, Turbidité) avec et sans bentonite.....	50

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Classe de turbidités usuelles (UTN , Unité de Turbidité Néphélométrique)..	36
Tableau III.2 : Classification des coagulants flocculant d'après leur pH	37
Tableau III.3 : caractéristiques du chlorure d'aluminium	44
Tableau IV.1 : effet de la dose du coagulant AlCl_3 sur la variation des paramètres de traitement.....	47
Tableau IV.2 : effet de la dose du NaOH sur la variation des paramètres de traitement.....	49
Tableau IV.3 : Effet de la dose du Bentonite sur la variation des paramètres de traitement..	50
Tableau V.1 : effet de la dose du coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sur la variation des paramètres de traitement.....	53
Tableau V.2 : Parametre de la premier etape de traitement(pH, MES, Turbidité)	53
Tableau V.3 : Parametre de la deuxieme etape de traitement.....	53

Table d'Annexe

Annexe I- Décret Algériens :	60
Annexe II – Préparations des solutions :	61
II.1.Préparation de la solution de coagulant :	61
II.2.Préparation de la solution flocculant :	61
II.3.Préparation de la solution NaOH:	61
II.4.Préparation de la solution bentonite:.....	61
Annexe III – Les modes opératoires des paramètres à mesurer :	62
III.1. analyse de pH :	62
Matériels et réactifs :	62
Mode opératoire :	62
III.2. analyse de MES :	62
Matériels :	62
Mode opératoire :	62
Résultats de MES (masse avant et après séchage).....	63
III.3. Analyse de turbidité :	63
Matériels :	63
Mode opératoire :	63

Liste des abréviations

HBK : Haoud barkaoui.

MES : Matière en suspension.

pH : Potentiel d'hydrogène.

(DCO) : La Demande chimique en oxygène.

(DBO₅) : La Demande biochimique en oxygène.

HC : Hydrocarbure.

CFD : Coagulation-floculation-décantation.

UTN : Unité de turbidité néphélométrique.

AlCl₃ : Chlorure d'aluminium.

L'alun : L'aluminium.

Introduction Générale

Introduction générale

Les progrès démographiques et économiques ainsi que l'urbanisation croissante à travers le monde ont engendré diverses sources de pollution environnementale. Parmi ces sources, les eaux usées non traitées rejetées dans les écosystèmes récepteurs représentent un danger majeur, pouvant entraîner des maladies et des épidémies. La préservation de l'environnement est devenue une préoccupation essentielle pour le développement économique. Ainsi, une prise de conscience mondiale s'est opérée, mettant en lumière les émissions polluantes, les déchets industriels, la contamination des cours d'eau, les perturbations climatiques et les impacts sur la santé, autant de sujets sensibles où l'industrie pétrolière est souvent pointée du doigt.

La production de pétrole, les installations de traitement du gaz et les raffineries génèrent chaque jour d'importantes quantités d'eaux contaminées contenant des hydrocarbures, des particules solides et des matières en suspension. Cette pollution représente une menace pour la santé humaine et l'environnement, nécessitant ainsi une attention particulière de la part des pays producteurs de pétrole.

Le groupe SONATRACH a mis en œuvre un programme dans le cadre de sa politique environnementale, visant à éliminer ou réduire tous les impacts environnementaux significatifs associés à ses activités et services. Ce programme est conforme aux dispositions législatives en vigueur, notamment la Loi n°06-141 du 19 avril 2006 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Le groupe SONATRACH a mis en application des stations de déshuilage assurant à la fois la récupération des hydrocarbures et le traitement des eaux huileuses qui font partie des rejets des unités de séparation de pétrole brut pour assurer la qualité des eaux de rejet selon la norme des rejets d'effluents liquides.

En Algérie, Haoud Berkaoui est l'une des dix (10) principales zones productrices de pétrole. Elle est située à 770 Km au sud de la capitale Alger et englobe trois centres de production à savoir : le centre de Haoud Berkaoui, le centre de Guellala et le centre de Benkahla.

Le centre de haoud berkaoui assure la production de brut, la récupération de gaz torché, l'injection de l'eau et le traitement des eaux usées industrielles.

Dans le cadre de la concrétisation de la politique de l'entreprise relative à la protection de l'environnement, la direction régionale de Haoud Berkaoui a mis en place une station de

Introduction générale

déshuilage dans chaque centre producteur. Ces stations dont la capacité de traitement est de 100 m³/h assurent à la fois la récupération des hydrocarbures et la production d'eau de réinjection.

Pour répondre à ces préoccupations, de nombreuses mesures ont été mises en place. Les technologies de traitement des eaux contaminées ont considérablement évolué, offrant des méthodes physico-chimiques assurant un traitement adéquat.

Notre mémoire de fin d'étude est basé sur le traitement des eaux huileuses par le procédé de coagulation/floculation, puis à optimiser les paramètres d'efficacité de ce traitement.

Pour atteindre cet objectif, notre étude comporte deux principales parties :

La première partie est une synthèse bibliographique, elle comporte :

Chapitre I : Il porte les propriétés des eaux usées et en particulier les eaux huileuses et leur caractéristique.

Chapitre II : Présente la coagulation/floculation.

La deuxième partie est la partie pratique :

Chapitre III : Il sera réservé aux matériels et méthodes utilisés lors des expérimentations.

Chapitre IV : Il est consacré à la discussion des résultats obtenus au cours des diverses expérimentations qui ont été réalisées.

Chapitre V : Une étude prospective supplémentaire.

Et enfin, une conclusion est donnée pour résumer le fruit de notre travail, et des recommandations afin d'améliorer le traitement des eaux huileuses.

Chapitre I :

Généralités sur les eaux huileuses

I. Introduction :

La pollution des eaux est l'un des problèmes environnementaux les plus importants. Parmi les sources qui provoquent le problème de pollution, les eaux résiduaires industrielles, les eaux usées issues de l'agriculture, ainsi que les eaux usées domestiques.

Ces eaux usées sont perçues comme une combinaison d'un ou de plusieurs éléments, tels que: les effluents huileux (effluent d'origine pétrolière, origine chimique, origine maritime...), les effluents domestiques constitués des eaux-vannes (excréments, urine, boues fécales), d'eaux grises (eaux usées provenant du lavage, des lessives et du bain), les eaux en provenance des commerces et institutions (les hôpitaux, les effluents industriels, les eaux pluviales, les eaux de ruissellement urbain, les eaux de ruissellement agricole, horticole et aquacole). [1]

De plus, la mise en place de réglementations environnementales strictes joue un rôle crucial dans la protection de l'environnement contre la pollution due aux eaux usées industrielles. Ces réglementations obligent les industries à adopter des pratiques de gestion des eaux usées respectueuses de l'environnement, à surveiller et à contrôler leurs rejets, ainsi qu'à promouvoir la réutilisation et la réduction des eaux usées. [2]

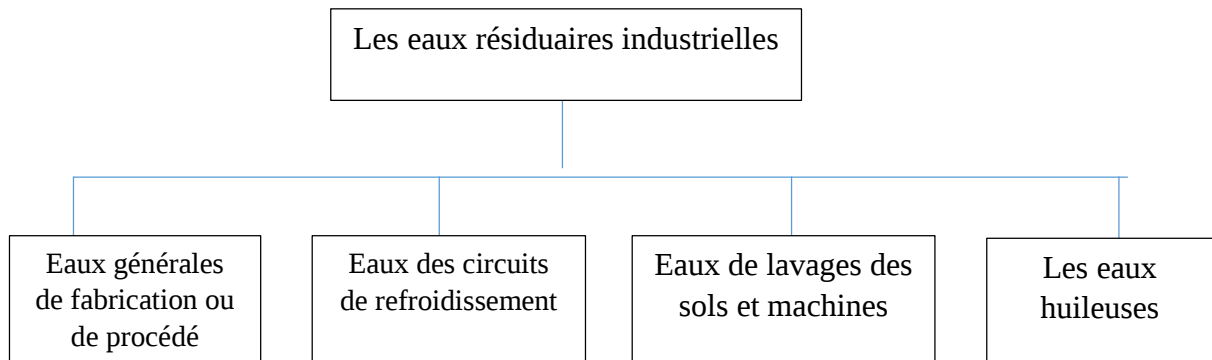
I.1. Les eaux résiduaires industrielles :

Les eaux résiduaires industrielles, également appelées eaux usées industrielles, désignent les eaux contaminées qui sont générées par les activités industrielles. Ces eaux sont différentes des eaux usées domestiques, car elles contiennent des substances chimiques, des polluants et des contaminants spécifiques liés aux processus industriels. Elles peuvent provenir de diverses sources industrielles telles que les usines de fabrication, les installations de traitement chimique, les raffineries de pétrole, les centrales électriques, les industries minières, les installations de traitement des déchets, etc. Ces eaux peuvent contenir des produits chimiques, des métaux lourds, des solvants, des huiles, des agents de nettoyage, des déchets toxiques, des matières organiques et d'autres substances potentiellement nocives. [2]

Les eaux résiduaires industrielles doivent être traitées avant d'être rejetées dans l'environnement, conformément aux réglementations environnementales en vigueur. Le traitement des

eaux résiduaires industrielles vise à éliminer ou à réduire les contaminants présents dans l'eau, afin de minimiser leur impact sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. [3]

I.1.1. Les différents types d'eaux résiduaires industrielles :



I.2. Définition des eaux huileuses :

Les eaux huileuses ce sont des eaux usées non traitées, eaux superficielles ou souterraines telles qu'elles se présentent dans le milieu naturel avant d'avoir été traitée en vue d'un usage. L'eau huileuse est composée d'une phase huileuse dispersée dans une phase aqueuse en émulsion sachant que l'huile sera donc dispersée dans l'eau sous forme de petites gouttelettes. [4]

Lorsqu'on explore ou qu'on exploite des gisements de pétrole ou de gaz, l'eau est souvent présente dans les formations géologiques et peut se mélanger avec les hydrocarbures. Les eaux de production peuvent contenir diverses substances indésirables, telles que des hydrocarbures, des métaux lourds, des sels, des bactéries et des produits chimiques de traitement. [5]

I.2.1. Origine des eaux huileuses :

Les eaux huileuses dans le contexte de la production pétrolière peuvent avoir plusieurs origines, notamment :

1. **Eaux de production** : Les eaux extraites avec le pétrole des réservoirs souterrains, connues sous le nom d'eaux de production ou d'eaux de formation, contiennent des hydrocarbures et des huiles. [6]

2. **Eaux de séparation** : Lorsque le pétrole brut contient une quantité importante d'eau, des opérations de séparation sont nécessaires pour séparer l'eau du pétrole, générant ainsi des eaux huileuses appelées eaux de séparation. [6]
3. **Eaux de lavage** : Les opérations de lavage utilisées dans le processus de raffinage du pétrole peuvent entraîner la contamination des eaux, les rendant huileuses. [7]
4. **Eaux de rinçage** : Les opérations de rinçage des équipements, des réservoirs, des tuyaux et des conduites utilisés dans l'industrie pétrolière peuvent générer des eaux de rinçage contenant des résidus d'huile. [7]
5. **Fuites et déversements** : Les fuites, les déversements accidentels ou les incidents lors des opérations de stockage, de transport ou de manipulation du pétrole peuvent libérer des huiles dans l'environnement. [6]
6. **Rejets industriels** : Certains procédés industriels liés à la production pétrolière, tels que le nettoyage des équipements ou la maintenance des installations, peuvent générer des eaux usées contenant des huiles. [6]

I.2.2. Les propriétés physique et chimique de l'eau huileuse :

I.2.2.1. Propriétés physiques :

1. **Solubilité** : L'eau est partiellement soluble dans le pétrole brut. La quantité d'eau soluble dépend des caractéristiques du pétrole brut et peut varier considérablement.
2. **Densité** : L'eau présente dans le pétrole brut a généralement une densité proche de 1 g/cm³. Cependant, la densité réelle peut varier en fonction de la température et de la salinité de l'eau.
3. **Tension de surface** : L'eau peut avoir une tension de surface différente de celle de l'eau pure en raison des interactions avec les hydrocarbures présents.

I.2.2.2. Propriétés chimiques :

1. **Acidité** : L'eau huileuse peut contenir des acides organiques provenant de la décomposition des composés présents dans le pétrole brut. Ces acides peuvent avoir des propriétés corrosives.
2. **Contaminants** : L'eau peut également contenir des contaminants tels que des sels dissous, des métaux, des particules solides et d'autres impuretés. Ces contaminants peuvent influencer la composition chimique de l'eau.

3. **Réactivité** : L'eau dans le pétrole brut peut réagir chimiquement avec certains composés présents, notamment les hydrocarbures légers, sous certaines conditions, ce qui peut influencer la stabilité du pétrole brut. [8]

Il est important de noter que les propriétés de l'eau dans le pétrole brut peuvent varier en fonction des spécificités du pétrole brut, de sa provenance et des conditions de production.

I.2.3. Eau normalement huileuse :

Ce type de contamination des eaux par les hydrocarbures est inévitable. L'apport de plusieurs grammes en litre d'hydrocarbure peut découler de :

- Drainage des bacs de stockage de brut.
- Champ pétrolier.
- Lavage des équipements utilisés lors de la production et de traitement d'huile. [9]

I.2.4. Eau accidentellement huileuse :

Cette catégorie d'eau huileuse est présente généralement en faible quantité. Elle provient des fuites et des eaux pluviales tombées à l'extérieur de l'unité de production. [9]

I.3. Caractérisation des eaux huileuses pétrolières :

Pour traiter un problème de pollution des eaux huileuses pétrolières rejetées vers l'environnement ou destinées pour un éventuel recyclage, il est nécessaire de définir et d'évaluer les éléments susceptibles et d'altérer la qualité de ces eaux ainsi que les paramètres caractéristiques de la pollution de ces eaux. [10]

I.3.1. Paramètres organoleptiques :

_ L'odeur :

Les eaux huileuses ont une odeur de moisi, signe la présence des matières organique en décomposition. [11]

_La Couleur :

Généralement les eaux de production ont la couleur marron sombre qui tend vers le noir, signe de présence des hydrocarbures libres et en émulsion ainsi que des matières colloïdale en suspension.

I.3.2. Paramètres physiques :

_La Température :

La température de l'eau est un facteur écologique important, elle agit comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau. [11]

_La turbidité :

La turbidité est une mesure de la clarté ou de la transparence de l'eau. Elle fait référence à la quantité de matières en suspension, telles que des particules solides ou des matières organiques, qui sont présentes dans l'eau et qui peuvent rendre l'eau trouble ou opaque. [11]

_ Les matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension (MES) sont l'ensemble des particules solides minérale et/ou organique présentes dans une eau naturelle ou polluée. [12]

I.3.3. Paramètres chimiques :**_Les hydrocarbures :**

Les hydrocarbures présents dans l'eau huileuse se réfèrent aux composés chimiques hydrocarbonés qui sont dissous, émulsionnés ou en suspension dans l'eau et qui sont d'origine pétrolière ou liés à des activités industrielles. Ils sont souvent associés à des déversements de pétrole, des fuites de carburant, des rejets industriels ou d'autres sources de contamination. [13]

_Potentiel d'hydrogène :

Le pH est un indicateur de la pollution par excellence, est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). Le pH des eaux usées varie suit à la nature des effluents basiques ou acides. La valeur du pH altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau. [11].

_La Demande chimique en oxygène (DCO) :

Exprimée en mg /l d'oxygène, la DCO est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par l'oxygène contenu dans un effluent. [12].

_ La Demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée durant cinq jours à 20°C et en obscurité par des microorganismes aérobies lors de la dégradation des composés organiques présents dans l'eau. Elle est exprimée en mg /l d'oxygène. [12]

I.4. L'impact des eaux huileuses :

Les eaux usées huileuses constituent une menace importante pour le sol, l'eau et les êtres humains en raison de la nature dangereuse de leur contenu huileux. [14]

1_ Ces eaux contenant des graisse et des huiles peuvent par formation de films ou de Couches superficielles, empêcher l'accès de l'air dans les cours d'eau, et causer des intoxications aux organismes vivant aquatiques, et par conséquent rendre impossible toute autre utilisation bénéfique des cours d'eau (par exemple la pêche et l'agriculture). [15]

2_ La présence de plusieurs constituants dans les différents rejets d'eaux usées huileuse peut entrainer une détérioration de la qualité du sol, une érosion du sol et une pollution de l'air avec émission d'odeurs nauséabondes. [16]

3_ Si les eaux usées ne sont pas traitées et éliminées dans des conditions d'hygiène satisfaisantes, elles peuvent entrainer des problèmes par infiltration et altérer la qualité de l'eau souterraine par une pollution organique, une salinisation, une acidification, une augmentation de la teneur en fer, une coloration, ou un empoisonnement. Cela provoque de nombreuses maladies telles. [15]

Pour cela, il est nécessaire de traiter ces eaux afin qu'elles puissent être réutilisées pour économiser les ressources en eau et préserver la santé humaine et l'environnement.

I.5. Normes de rejet :

Les rejets industriels pétroliers être l'origine des différents types de pollution de l'eau qui causent des problèmes environnementaux graves. [17]

Pour qu'un écosystème aquatique puisse se développer de façon équilibré, et pour éviter causer des problèmes environnementaux, plusieurs pays établissent des normes de rejet afin d'atténuer les impacts négatifs de rejet des eaux usées industrielles épurées dans les milieux récepteurs. [18].

A l'échelle nationale, la réglementation algérienne a consacré un seul texte qui spécifie les normes de rejets concernant les effluents liquides industriels citées au sein du décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006, définissant les valeurs limites des constituants des rejets d'effluents liquides industriels. (**Voir Annexe I**).

I.6. Les techniques de traitement des eaux huileuses :

Dans le cas des industries pétrolières, toute eau contenant une quantité importante ou des traces d'hydrocarbure est considérée comme une eau huileuse. [19]

Les eaux usées huileuses des industries pétrolières, contiennent des composés organiques (hydrocarbures) de nature différente et de concentrations variables. Le rejet des eaux usées huileuses dans l'environnement provoquent des nombreuses contaminations des eaux de surface et souterraine, dont le but de protection de l'environnement plusieurs techniques de traitement des eaux huileuses sont développés. [20]

Les émulsions d'eau-grasse sont les principaux polluants émis dans l'eau par l'industrie pétrolière. Elles constituent le principal problème de pollution car l'eau produite par les champs pétrolière comprend principalement la matière organique et inorganique, du sel et des hydrocarbures.

Les stations d'épuration des eaux usées huileuses, réduisent la charge organique, les solides en suspension et enlèvent les constituant chimique des eaux usées ainsi les constituants biologique. [21]

Le procédé de traitement des eaux huileuses applique un ensemble de techniques de traitement combiné physique et chimique dont les étapes sont les suivants :

I.6.1. Les prétraitements :

Les prétraitements constituent l'ensemble des opérations physique et mécanique : dégrillage, dessablage et dégraissage-déshuilage. Ils dépendent de la nature et des caractéristiques des rejets industriels et de la ligne d'épuration prévue en aval. [11]

I.6.1.1. Dégrillage :

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses transportées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer leur exécution. Le dégrillage

permet aussi de protéger la station contre l'arrivée des gros objets méfiantes de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation.[22]



Figure I.1 : Le dégrillage

I.6.1.2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre la dégradation. Les sables récupérés sont déshydratés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la qualité du lavage. Selon le principe de fonctionnement des dessableurs on distingue deux types de bassin de dessablage : les dessableurs longitudinaux (Figure I.2) et les dessableurs circulaires (Figure I.3). [22]



Figure I.2 : Dessableur longitudinal

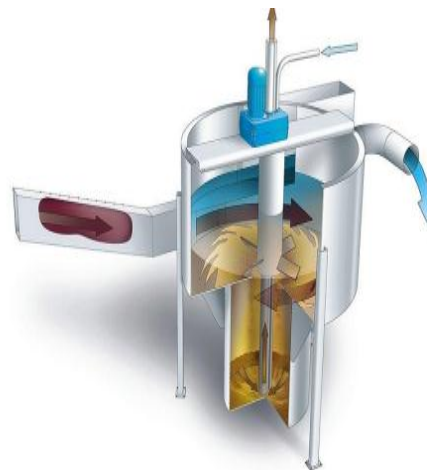


Figure I.3 : Dessableur circulaire

I.6.1.3. Déshuilage et dégraissage :

Le déshuilage est une extraction liquide-liquide, tandis que le dégraissage est une extraction solide-liquide. On peut considérer que le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces matières sont de nature très diverses (huiles, hydrocarbures, graisses...).

Elles peuvent former une émulsion stable entretenue par le brassage de l'eau ou constituer une phase indépendante non émulsionnée.

Le déshuilage complet nécessite en fait un traitement en deux stades :

1. Pré-déshuilage

Par opération physique gravitaire sans adjonction de réactifs, réduisant la teneur en HC à environ 15 à 100 mg/l, il s'effectue par flottation naturelle des vésicules huileuses émulsionnées. Si l'émulsion n'est pas trop fine (particules supérieures à 50µm). Il est réalisé dans différents types d'appareils, tels que : déshuileurs longitudinaux conventionnels, à plaques parallèles et circulaires raclés.[11]

2. Déshuilage final

Flottation par air dissous, où les bulles d'air augmentent la vitesse de remontée des particules grasses et des huiles lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées, ou coagulation par sels métalliques ou par électrolytes permettant d'obtenir l'épuration complète. [11]

I.6.2. Epuration physicochimique :

Si la décantation se faisait directement après le prélèvement dans le milieu aquatique, le temps de décantation d'un gravier dans un (01) mètre d'eau serait d'une seconde par la seule influence de son poids, on passerait à 2 minutes pour le sable fin, à 2 heures pour l'argile, à 8 jours pour une bactérie et de 2 à 200 ans pour un colloïde. Ces durées étant bien évidemment beaucoup trop grandes ; les colloïdes peuvent même traverser un filtre très fin, ils sont les principales causes de la turbidité et la couleur d'une eau. [22]



Figure I.4 : La décantation primaire

I.7. Conclusion :

Le traitement des eaux huileuses est une importance capitale pour protéger l'environnement et préserver la qualité de l'eau. Les huiles et les hydrocarbures présents dans les eaux usées industrielles ou les eaux de ruissellement peuvent avoir des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine s'ils ne sont pas correctement éliminés.

Le choix du procédé dépendra des caractéristiques spécifiques de l'eau huileuse à traiter, des réglementations environnementales en vigueur et des objectifs de qualité de l'eau de rejet ou de réutilisation. Dans de nombreux cas, une combinaison de plusieurs procédés peut être nécessaire pour atteindre les normes requises.

Heureusement, il existe une variété de procédé de traitement des eaux huileuses disponibles pour éliminer efficacement ces contaminants telles que la coagulation et la floculation, qui seront détaillés dans le prochain chapitre pour résoudre ce problème.

Chapitre II :
La coagulation/floculation.

II. Introduction :

Le traitement de l'eau brute dépend de sa qualité et de son origine, qui évoluent dans le temps, elle doit donc être constamment analysée. La turbidité et la couleur de l'eau sont principalement causées par de très petites particules appelées particules colloïdales. Ces particules peuvent rester longtemps en suspension dans l'eau et passer à travers des filtres très fins. De plus, comme leurs concentrations sont stables, ces dernières sont moins susceptibles d'adhérer les unes aux autres. Pour les éliminer, des procédés de coagulation et de floculation sont utilisés.

II.1. Présentation de la coagulation-floculation comme technique de traitement des eaux huileuses :

Le traitement de coagulation-floculation est une méthode chimique qui simplifie la suppression des Matières en Suspension (MES) et des colloïdes. Ces contaminants sont regroupés en floccs via des procédés tels que la décantation, la flottation et/ou la filtration. Cette technique permet d'éliminer complètement ou partiellement les impuretés présentes dans l'effluent, incluant les particules inactives ou actives, les fractions floculées de matières organiques, certains métaux lourds, ainsi que les micropolluants associés aux matières en suspension et aux macromolécules. [23]

II.2. Caractéristiques des particules à enlever :

Les composés retrouvés dans l'eau sont généralement regroupés dans trois catégories : Les matières en suspension (MES), les matières colloïdales et les matières dissoutes.

Les matières en suspension sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à 1 μm . Leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité. [24]

Les matières colloïdales sont des MES de même origine mais de diamètre inférieur à 1 micron. Leur vitesse de décantation est faible. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre de 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1,1. Les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 666 000 années pour décanter de un mètre. [24]

Les matières dissoutes, quant à elles, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre, elles décantent donc encore plus lentement.

L'élimination des MES et des matières colloïdales dans des délais raisonnables est faisable à l'aide d'une coagulation-floculation. On a recours à de tels procédés car les particules retrouvées dans l'eau sont très stables et donc peu aptes à une décantation naturelle.

II.2.1. Stabilité des particules

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent et n'ont pas tendance à former des agrégats plus gros et donc plus facile à éliminer. Elles demeurent donc stables. Une particule typique est représentée dans la figure II.1 :

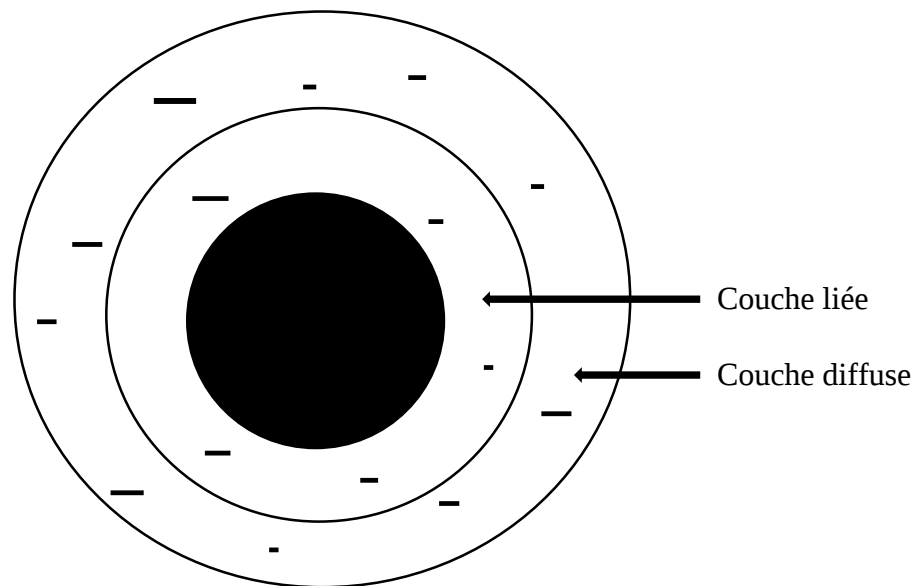


Figure II.1 : Double couche d'une particule colloïdale (Amirtharajah et O'Melia, 1990)

Les ions positifs présents dans l'eau neutralisent la charge à la surface de la particule et forment une « couche liée » (théorie de Helmholtz). Cette couche se déplace avec la particule, et attire à son tour des ions négatifs inégalement répartie et formant la «couche diffuse » (théorie de Gouy-Chapman). Cette dernière ne se déplace pas avec la particule d'où l'inégalité dans la densité et la répartition des ions. La figure II.1 représentée ci-haut est en fait un rassemblement des deux théories, communément appelée théorie de la "double-couche"(Amirtharajah et O'Melia, 1990). [24]

Lorsque deux particules sont sur le point d'entrer en contact, elles sont essentiellement soumises à deux forces : la force d'attraction de van der Waals, et la force de répulsion électrostatique. Le potentiel de répulsion est défini par E_B , et le potentiel d'attraction est défini par E_A . La résultante des deux potentiels E , traduit l'interaction énergétique nette qui existe entre les deux particules (Amirtharajah et O'Melia, 1990) telle que décrite dans la figure II.2.

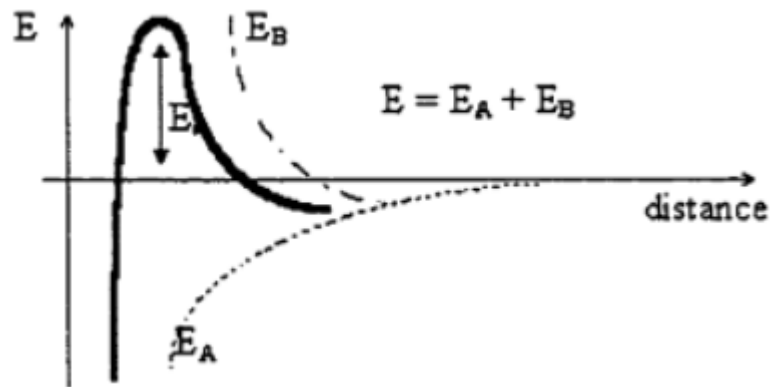


Figure II.2 : Stabilité d'une suspension colloïdale

Si le potentiel de répulsion est plus élevé que le potentiel d'attraction, la particule est dite électrostatiquement stabilisée et doit subir un traitement pour être déstabilisée. La déstabilisation dans ce cas se ferait en diminuant les forces de répulsion électrostatique. [24]

II.2.2. Potentiel Zêta :

Le potentiel électrostatique diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la particule. Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée. C'est ce potentiel qui persiste lorsque la particule se déplace. Lorsqu'un champ électrique est appliqué, les particules ayant un potentiel Zêta négatif se déplacent en direction de l'électrode positive. (Amirtharajah et O'Melia, 1990). Le potentiel Zêta est important car il définit le comportement électrocinétique des particules et par voie de conséquence leur stabilité dans la solution. L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations. [24]

II.3. Coagulation :

La coagulation est le procédé chimique largement utilisé dans le traitement de l'eau. Il sert principalement à éliminer les particules (matières en suspension) de l'eau, en manipulant les charges électrostatiques des particules en suspension dans l'eau. Ce procédé introduit de petites molécules très chargées dans l'eau pour déstabiliser les charges des particules, des colloïdes ou des matières huileuses en suspension. [25]

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leur agglomération :

- Compression de la double couche.
- Adsorption et neutralisation des charges.
- Emprisonnement des particules dans un précipité.
- Adsorption et pontage entre les particules.

Ces quatre mécanismes sont décrits brièvement ci-dessous :

II.3.1. Compression de la double couche :

Les colloïdes présents dans l'eau brute sont très généralement chargés négativement (imperfections du réseau cristallin, ionisation des groupements chimiques périphériques...). Afin de neutraliser cette charge négative de surface, des ions positifs (appelés « contre-ions »), présents dans l'eau brute ou ajoutés, sont attirés et viennent former une couche autour du colloïde. Diverses théories ont été avancées (figure II.3) : [26]

- **théorie de Helmholtz** : Une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée).
- **théorie de Gouy-Chapman** : La couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à plus grande distance (couche diffuse).
- **théorie de Stern** qui combine les deux précédentes et considère la formation d'une double couche : la première formée d'ions du liquide mais adhérente au colloïde, la seconde diffuse dans le liquide environnant directement celui-ci. Comme illustré sur la figure II.3 (courbe 3), le potentiel subit une première chute significative dans la couche fixée, puis diminue plus

lentement à mesure que la distance augmente jusqu'à son annulation au point A (point isoélectrique). [26]

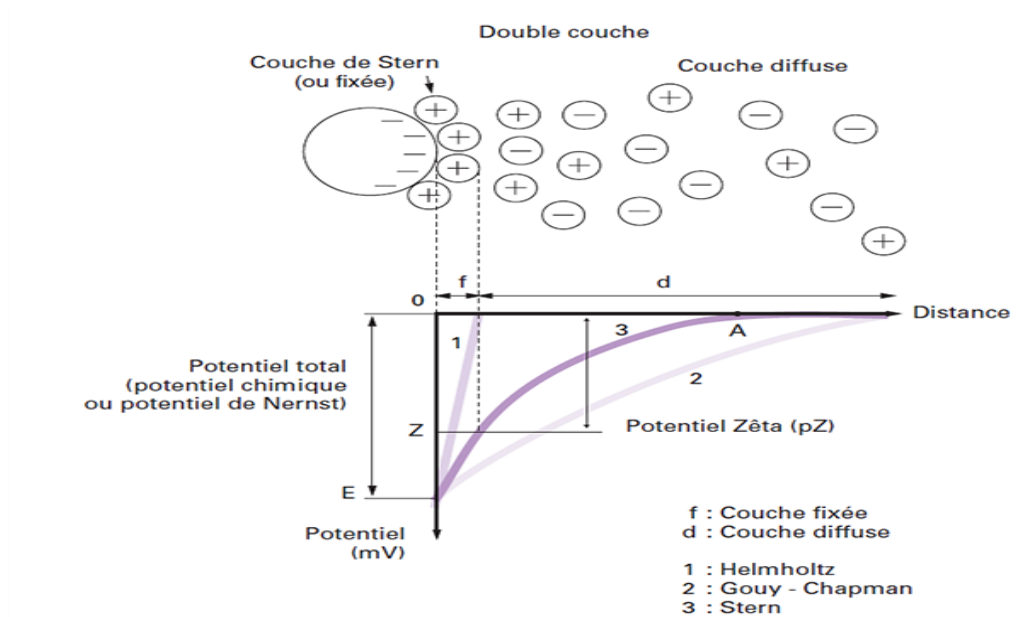


Figure II.3 : Représentation schématique de la compression de la double couche.

II.3.2. Adsorption et neutralisation des charges :

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi déstabilisées. [27]

II.3.3. Emprisonnement des particules dans un précipité :

Lorsque des quantités suffisantes de coagulant sont ajoutées, ils forment un précipité possédant généralement une charge positive, le précipité formé, appelé floc, entre en contact avec les particules de charge négative et les emprisonne, les particules sont ensuite entraînées lors de la décantation. [27]

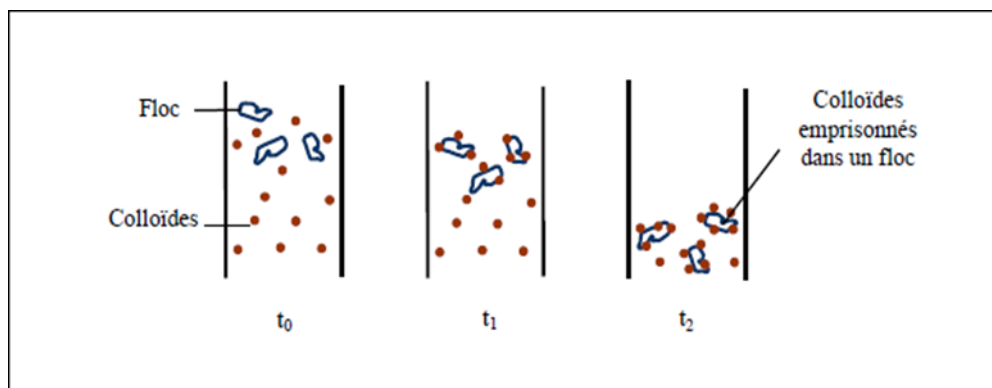


Figure II.4 : Emprisonnement des particules dans les flocs pendant la décantation.

II.3.4. Adsorption et pontage entre les particules :

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, non anioniques ou anioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale. Un polymère en présence d'un colloïde adsorbe une de ses extrémités à l'aide d'un de ces groupes fonctionnels. Les autres extrémités demeurent libres et peuvent adsorber un autre colloïde. Ce mécanisme permet donc l'agglomération des particules par "pontage" des polymères (Amirtharajah et O'Melia, 1990). La figure II.5 décrit le processus. Par contre, une concentration de polymères trop élevée peut restabiliser les colloïdes. Les polymères verront alors chacune de leurs extrémités être adsorbées par la même particule, d'où une restabilisation. [24]

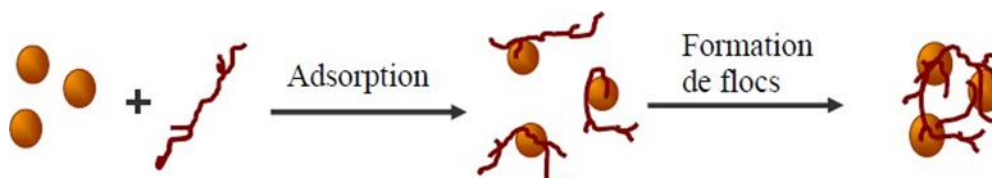


Figure II.5 : Adsorption et pontages à l'aide d'un polymère.

II.3.5. Les Coagulants :

Les coagulants sont des produits qui neutralisent les charges de surface des matières colloïdales. Les coagulants sont principalement utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales (Ezziane, 2007).

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer (Lakhdari, 2011). [28]

1. coagulants minéraux :

Les coagulants minéraux sont des produits chimiques inorganiques utilisés dans le traitement de l'eau pour éliminer les impuretés en provoquant la coagulation et la floculation des particules en suspension dans l'eau.

Les coagulants minéraux, ou sels minéraux, sont le plus souvent des sels d'aluminium ou de fer. Le sulfate d'aluminium, souvent appelé alun, et le chlorure ferrique sont très couramment utilisés. Toutefois, pour être efficaces, les coagulants doivent être correctement ajoutés à l'eau traitée. [29]

2. coagulants organiques :

Les coagulants organiques sont un type de produit chimique utilisé pour éliminer les solides en suspension et autres impuretés de l'eau et des eaux usées. Ils sont généralement fabriqués à partir de polymères, qui sont de longues chaînes de molécules qui peuvent se lier les unes aux autres et aux impuretés de l'eau. Il existe deux principaux types de coagulants organiques : cationique et anionique. Les coagulants cationiques ont une charge positive, tandis que les coagulants anioniques ont une charge négative. Le type de coagulant le plus efficace dépendra du type d'impuretés présentes dans l'eau. [30]

Les coagulants organiques sont utilisés dans une variété d'applications de traitement de l'eau, y compris le traitement de l'eau potable, le traitement des eaux usées et le traitement de l'eau industrielle. Ils sont également utilisés dans les industries du papier, du textile et de la transformation des aliments. [31]

II.3.6. Choix des coagulants :

Le choix du coagulant dépendra de divers facteurs, notamment :

- Type de particules.
- pH de l'eau.
- Caractéristiques de coagulation.

- Coût et disponibilité.
- Impact environnemental.

Pour choisir le meilleur coagulant, ou un mélange de coagulants, pour l'eau spécifique à traiter, un test de jar-test doit être effectué. Le test standard du jar-test est effectué dans un laboratoire, à l'aide de 6 béchers, où dans chaque bécher différentes conditions sont testées. En modifiant le dosage des conditions du procédé, (le pH, le temps de coagulation, le temps de décantation, l'énergie d'agitation pour le mélange et/ou la floculation). [32]

II.3.7. Influence de la dose de coagulant sur l'efficacité de la coagulation :

Le dosage de réactif est également un paramètre à prendre en compte ; les coagulants sont généralement fortement acides et vont abaisser le pH de l'eau afin d'obtenir la valeur de pH optimal, un acide ou une base peut être ajouté. Une quantité excessive de coagulant entrainera une nouvelle stabilisation des particules augmentera les coûts d'exploitation, tandis qu'une quantité insuffisante entrainera la qualité d'eau insuffisante après le traitement. [33]

La dose de réactifs n'est pas facile déterminer en général, la dose optimale de coagulant peut être déterminée en mesurant le potentiel de zêta ou par un test laboratoire appelée (jar test). La nature de coagulant affecte également ce phénomène et la température. En effet, comme toute réaction chimique, augmentation de température va accélérer la floculation par conséquent la vitesse de la floculation de l'eau froide est lente et incomplète l'abaissement de la température réduit le nombre de collision effectives entre les particules. [34]

En général, lorsque la dose de coagulant augmente, l'efficacité de la coagulation augmente également. En effet, les molécules de coagulant sont plus susceptibles d'entrer en collision avec et de neutraliser les particules chargées dans l'eau, les faisant s'agglutiner et former des floes. Cependant, si la dose de coagulant est trop élevée, les floes peuvent devenir trop gros et trop lourds, et ils couleront au fond du réservoir, plutôt que de flotter à la surface. Cela peut entraîner la formation de boues, qui peuvent être difficiles à éliminer.

La dose optimale de coagulant pour un système de traitement de l'eau particulier variera en fonction des facteurs mentionnés ci-dessus :

- Le type de coagulant.
- Le pH de l'eau.
- La turbidité de l'eau.
- La température de l'eau.
- L'intensité du mélange.
- La dose de coagulant. [35]

II.3.8. Effet de la surdose de coagulant sur l'efficacité de la coagulation :

La surdose de coagulant peut avoir un impact négatif sur l'efficacité de la coagulation :

1. Surcoagulation : Une surdose de coagulant peut entraîner une surcoagulation, où les particules en suspension sont agglomérées de manière excessive. Cela peut conduire à la formation de floes trop gros et instables. [36]

2. Augmentation de la consommation de coagulant : Une surdose de coagulant peut entraîner une augmentation de la consommation de coagulant sans améliorer significativement l'efficacité de la coagulation. Cela peut entraîner des coûts supplémentaires en raison de l'utilisation excessive de coagulant. [37]

3. Formation de précipités indésirables : Lorsqu'une quantité excessive de coagulant est ajoutée à l'eau, des précipités indésirables peuvent se former. Ces précipités peuvent agir comme des impuretés et affecter la qualité de l'eau traitée. [36]

4. Effets sur les processus de séparation : Une surdose de coagulant peut perturber les processus de séparation, tels que la décantation ou la filtration, en rendant les floes plus difficiles à éliminer. Cela peut réduire l'efficacité globale de la coagulation et nécessiter des temps de séjour plus longs ou des étapes de traitement supplémentaires. [36]

II.3.9. Aides-coagulants (adjuvant) :

Un aide coagulant, ou adjuvant de floculation, est une substance qui est ajoutée à un coagulant afin d'améliorer ses performances. Les adjuvants de floculation agissent en améliorant la capacité du

coagulant à former des floccs, qui sont de gros amas de particules qui peuvent être facilement éliminés de l'eau. [38]

II.3.9.1. Choix d'un aides-coagulants :

Le choix d'un adjuvant dans le processus de coagulation-floculation dépend de plusieurs facteurs, tels que les caractéristiques de l'eau à traiter, les objectifs de traitement et les conditions spécifiques de l'installation de traitement de l'eau, il existe plusieurs types d'adjuvant telle que : la Bentonite.

La Bentonite : Le terme Bentonite désigne les matériaux argileux à usage industriel, essentiellement composés de smectites et plus particulièrement de montmorillonite. Les propriétés de gonflement et de perméabilité des bentonites dépendent étroitement de la nature du cation compensateur. [39]

II.4. Floculation :

La floculation est une action principalement mécanique. C'est un brassage visant à encourager la rencontre de particules dans un liquide. On l'effectue avec des polymères qui feront office de colle entre les floccs et donc accélérer la manipulation. Ces floccs ou amas de particules, formés grâce à la floculation peuvent précipiter après repos et sont facilement éliminable.

La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquels sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules. [25]

II.4.1. les flocculant :

Les polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des floccs volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter d'avantage la taille et la cohésion des floccs (Boursali, 2011).Les flocculants peuvent être de trois natures différentes. [40]

1. flocculant minéraux :

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculant connus sont la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif en poudre, certaines hydroxydes

à structure polymère comme l'alumine ou l'hydroxyde ferrique et la sable fin (micro- sable) (Boursali, 2011). [28]

2. flocculant organiques :

Ils sont hydrosolubles et qui peuvent voir une charge anionique, cationique ou neutre. On peut citer exemple l'amidon, les alginates ou les polysaccharides. [28]

II.4.2. Impact des flocculant sur la performance de traitement des eaux huileuses :

L'ajout de flocculant présente plusieurs avantages en termes de performance de traitement des eaux huileuses :

1. Amélioration de la séparation de l'huile et de l'eau : Les flocculants favorisent la coagulation et l'agglomération des petites particules d'huile dispersées dans l'eau, formant ainsi des flocs plus volumineux. Cela facilite la séparation physique de l'huile et de l'eau. [41]

2. Augmentation de l'efficacité des processus de séparation : Les flocculants améliorent l'efficacité des techniques de séparation telles que la flottation, la décantation ou la filtration. En favorisant la formation de flocs plus grands et plus lourds, réduisant ainsi les temps de traitement. [42]

3. Réduction des coûts de traitement.

II.5. Décantation :

La décantation est la méthode la plus fréquente de séparation des MES et des colloïdes, mais ces derniers devront être préalablement rassemblés sous forme de floc après les étapes de coagulation-floculation qui permettra d'obtenir l'eau clarifiée d'un côté et les boues (particules colloïdales initial+ floc) de l'autre,

On utilise en générale l'action de la pesanteur sur les particules en suspension et l'on recueille ensuite l'eau claire à la partie supérieure de l'appareil alors qu'on soutire les boues sédimentées dans la partie inférieure. [43].

II.6. Filtration :

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux. La filtration est une technique très utilisée dans plusieurs domaines comme l'agro-alimentaire ou de la pharmacie, la pétrochimie...

L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration se nomme filtrat, et ce que le filtre retient se nomme un résidu (aussi communément appelé "gâteau" ou retentât). [44]

II.7. Paramètres affectant la coagulation floculation :

Dans le but d'optimiser le procédé de coagulation-floculation, il faut tenir compte de plusieurs variables en relation, comme le pH, la dose de coagulant, les conditions de mélange et la température.

II.7.1. Influence du paramètre pH :

Ce paramètre influe considérablement sur le processus de coagulation, en effet pour chaque eau. Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant. La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement.

En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. [9]

II.7.2. Effets de l'alcalinité :

L'alcalinité de l'eau fait référence à sa capacité à neutraliser les acides. Plus l'alcalinité est élevée plus l'eau est basique, l'ajout de coagulant et ou de floculant consomme l'alcalinité de l'eau, donc il est nécessaire par fois d'ajouter de la soude, de la chaux, pour rester dans la zone optimale de pH.[24].

II.7.3. La température :

Une baisse de température, entraîne une augmentation de la viscosité de l'eau, alors le floc se décante plus difficilement et a tendance à pénétrer plus profondément dans les filtres. La coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution pratique consiste à changer de coagulant en fonction des saisons.[9].

II.7.4. Influence de la turbidité :

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant.

L'augmentation de la quantité de coagulant ne varie toutefois pas de façon linéaire en fonction de la turbidité. Lorsque la turbidité est très élevée, la quantité de coagulant nécessaire est relativement faible, car la probabilité de collision entre les particules est très élevée. Par contre, lorsque la turbidité est faible, la coagulation est difficile. [44]

II.7.5. Influence de la vitesse d'agitation :

Le processus de coagulation floculation se déroule généralement en deux étapes :

-La première étape c'est l'agitation énergique rapide de courte durée (2 minutes au maximum). Elle a pour but de favoriser la dispersion et l'homogénéisation des produits injectés dans la totalité du volume d'eau à traiter ; mais une agitation intense peut empêcher l'agrégation des particules.

-La deuxième étape c'est l'agitation lente (20 à 60 min) et elle a pour but de provoquer les contacts entre les particules pour former des floccs décantables tandis qu'une agitation prolongée conduit systématiquement à la déstabilisation du système agrégé et l'effraction des liaisons entre coagulant et la surface des particules.[9]

II.8.5. Influence du temps d'ajout :

Le paramètre du temps d'ajout dans le processus de coagulation-floculation est une variable importante à prendre en compte pour assurer une efficacité optimale du traitement des eaux huileuses.

Le temps d'ajout fait référence à la durée pendant laquelle les produits chimiques de coagulation et de floculation sont mélangés à l'eau à traiter. Il peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la concentration et la nature des contaminants présents dans l'eau, les caractéristiques des produits chimiques utilisés, et les conditions de mélange.[9].

II.9. Les avantages et les inconvénients de la coagulation-floculation :

II.9.1. Les avantage :

- Élimination efficace des particules en suspension, des matières colloïdales et de certains contaminants de l'eau.
- Réduction de la turbidité de l'eau traitée.
- Amélioration de la qualité de l'eau en réduisant la couleur, les matières organiques et certains contaminants dissous.
- Préparation de l'eau pour des processus de traitement ultérieurs plus efficaces.[45]

II.9.2. Inconvénients :

- Coût élevé en raison de l'utilisation de coagulants chimiques et de la nécessité d'installations spécifiques.
- Dépendance aux caractéristiques de l'eau, ce qui peut nécessiter des ajustements des doses et des types de coagulants utilisés.
- Formation de sous-produits indésirables, tels que les trihalométhanes, lors de la réaction des coagulants avec les matières organiques.
- Impact potentiel sur l'environnement lors du rejet des coagulants dans les eaux de surface.[46].

II.10. Conclusion :

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination de MES et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floc dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation flottation et/ou filtration.[47]

Chapitre III :

Partie expérimentale

Introduction :

Puisque la coagulation floculation prend sa place pratiquement dans toutes les stations de traitement ou d'épuration des eaux, on procède dans ce travail à montrer la mise en œuvre et le fonctionnement de ces procédés dans le traitement des eaux huileuses à l'aide d'une étude expérimentale de la coagulation floculation, dont nous prendrons en considération la décantation classique. Cette partie expérimentale a pour principal but de montrer l'importance du Jar-test. Pour ce faire, l'étude nécessite l'ajout des produits chimiques. Ces produits améliorent le rendement de l'opération unitaire en rendant la phase de coagulation et floculation plus efficace.

Le coagulant, l'aluminium et le floculant un polymère, sont ajoutés à l'eau usée, et leurs impacts sur la diminution de la turbidité et des matières en suspension ont été étudiés. Il s'agit d'une manière de simuler, à petite échelle, le processus de coagulation/floculation qui a lieu dans une station de traitement. Dans le choix d'un réactif et la détermination des concentrations optimales nécessaire à une réduction maximale de la turbidité de l'eau huileuse. Les essais ont été réalisés au laboratoire de traitement et contrôle des fluides de la division laboratoire SONATRACH.

III Présentation du lieu de stage et lieu d'échantillonnage :**II.1. Présentation du lieu de stage : Division laboratoire SONATRACH:**

La division laboratoire de la société Sonatrach est l'un des principaux centres de recherche et développement (ex CRD) de la compagnie pétrolière nationale algérienne, Sonatrach. Elle a été créée en 1983 à Boumerdes, une ville côtière située à environ 50 kilomètres à l'est d'Alger, la capitale de l'Algérie.[48]

La division laboratoire contribue à la maîtrise technologique de l'exploitation et la maintenance du potentiel industriel par son intervention aux divers stades de réalisation et de fonctionnement des unités de l'entreprise.

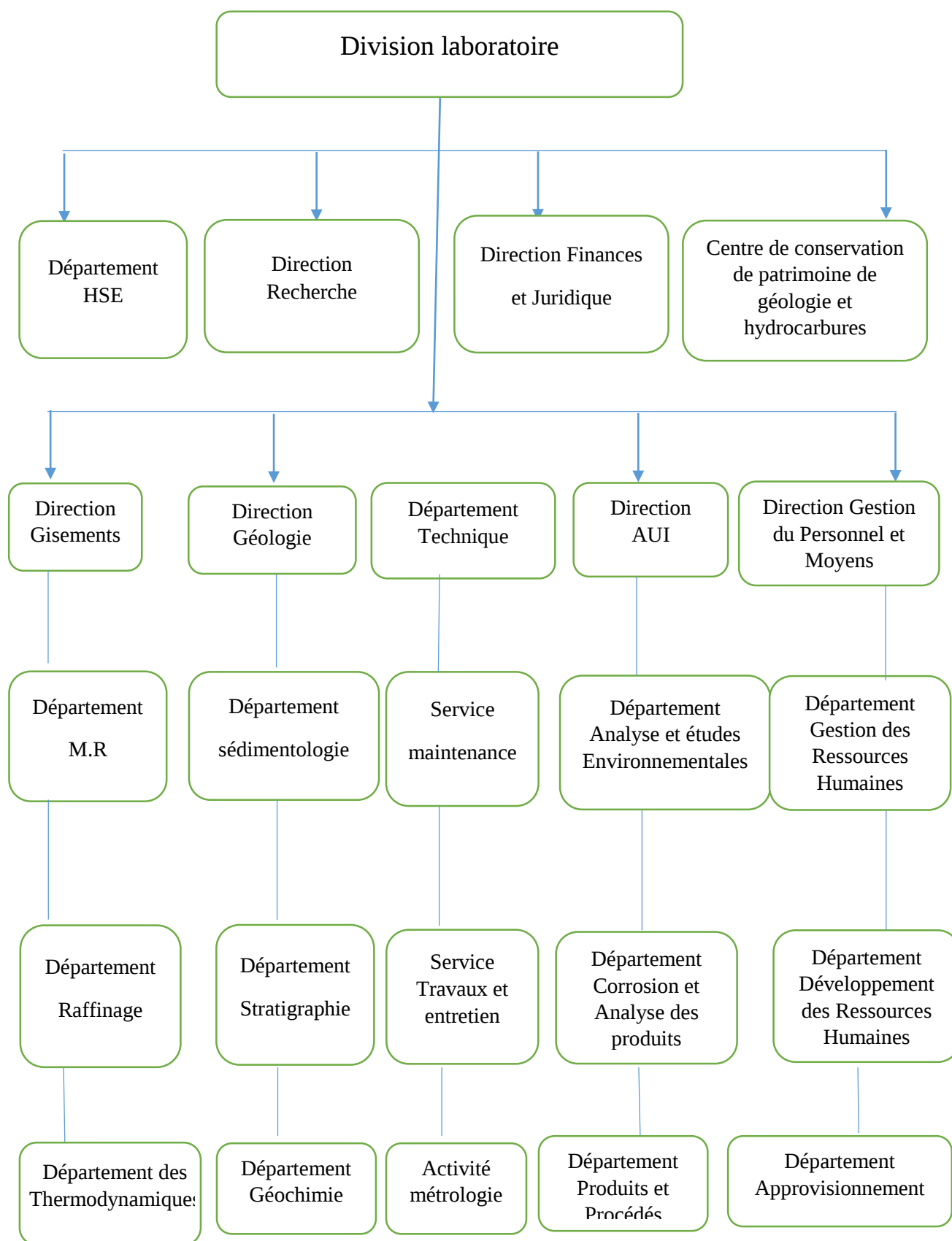
Elle développe aussi des méthodes et des techniques pour une meilleure prise en charge des problèmes de récupération maximale de brut et d'amélioration de la productivité des puits de pétrole.

Elle développer des outils nécessaires à l'évaluation des paramètres de pollution, à la prévention et à la réduction des risques de pollution introduit par les activités de l'entreprise.[49]

Elle assiste les structures de l'entreprise en matière d'études et d'analyses dans les domaines suivants :

- Analyse et surveillance de l'environnement
- Analyse et études de compatibilité des eaux
- Analyse et traitement des dépôts
- Traitement des hydrocarbures et des émulsions
- Corrosion et protection, corrosion bactérienne et biotechnologie,
- Etude des matériaux
- Contrôle Qualité des produits de traitement

III.1.1. Schéma représentatif de la Division laboratoire SONATRACH :



III.2. Présentation du lieu d'échantillonnage : Station Haoud-Berkaoui :

La station de déshuilage de Haoud Berkaoui (HBK) est une installation située en Algérie, plus précisément dans la région de Hassi Messaoud. Elle a été construite pour le traitement des eaux de production des champs pétroliers de la région afin d'éliminer les huiles résiduelles et autres impuretés avant leur rejet dans l'environnement.

La station de déshuilage est équipée de plusieurs technologies de traitement, notamment des bassins de décantation et des équipements de filtrage. Les huiles et les graisses sont séparées de l'eau en utilisant un processus de décantation. Ensuite, l'eau passe à travers des filtres pour éliminer les résidus restants.

La station de déshuilage Haoud Berkaoui est conçue pour fonctionner de manière efficace et respectueuse à l'environnement. Elle est équipée de systèmes de surveillance et de contrôle pour assurer que les rejets dans l'environnement respectent les normes environnementales et réglementaires applicables.[50]

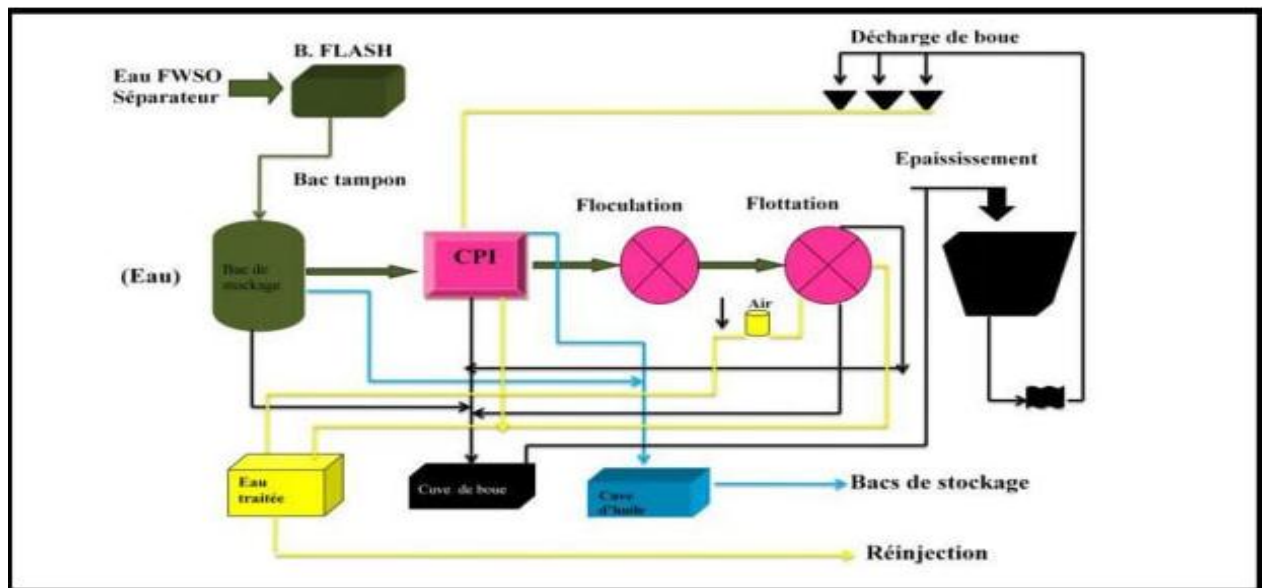


Figure III.1 : Schéma représentatif d'une station de déshuilage.

III.2.1. Echantillonnages :

Dans ce travail, l'échantillon est prélevé à l'entrée de la station déshuilage de HBK.

L'échantillon concerné par l'étude a été prélevé manuellement dans des bouteilles conçues pour les prélèvements, au niveau des séparateurs à la sortie des puits de la station HBK, le point

de prélèvement est le bac de stockage (bac tampon) avant que l'eau huileuse passe au traitement. Le déplacement et le transport des échantillons depuis la station jusqu'à la Division Laboratoire de Boumerdes doivent obéir à des procédures strictes qui sont :

- Au moment du prélèvement, le jerrican est rincé avec de l'échantillon de brut (2 à 3 fois). Les bouteilles remplies sont fermées hermétiquement pour assurer une protection contre toute contamination probable.
- L'échantillon a été conservé à la température ambiante lors de son transport d'HBK à la Division Laboratoire (D-LAB).
- La date de prélèvement pour chaque échantillon :
 - Le 1^{er} échantillon : 20/03/2023.
 - Le 2^{ème} échantillon : 23/05/2023.
 - Le 3^{ème} échantillon : 12/06/2023.

III.3. Le processus de l'étude :

Le processus adopté dans ce travail est le suivant :

- Caractérisation de l'eau huileuse en déterminant son pH, sa turbidité, ses MES pour déterminer les conditions de traitement appropriés.
- Identifier la concentration idéale de coagulants et de floculant permettant une élimination efficace des particules colloïdales.
- Déterminer la vitesse d'agitation appropriée, la durée d'agitation et le temps de décantation favorables à la coagulation et à la floculation.
- Étudier l'impact de la concentration du coagulant et du floculant sur l'élimination efficace des matières en suspension et réduction de la turbidité.
- Etablir la relation entre le choix du coagulant et son domaine de pH pour optimiser la performance du processus de la coagulation.
- Analyser la manière dont la turbidité de l'eau huileuse, influence de la coagulation-floculation.
- Explorer le rôle de la décantation classique.
- Déterminer la concentration idéale de la solution basique pour l'ajustement de pH.

III.4. Equipements et appareillages de mesure :**III.4.1. Le jar test :**

Le Jar-test est un équipement de laboratoire essentielle utilisée pour déterminer les doses optimales de coagulant et de floculant, pH optimale de coagulation et la solidité des floccs formés dans les procédés de traitement de l'eau. Cet essai consiste à simuler les procédés de coagulation et de floculation à plus petite échelle avant de mettre en œuvre la méthode la plus efficace dans l'usine de traitement réelle. De cette façon, les tests en pot permettent d'optimiser l'efficacité du traitement, de réduire les coûts et de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement

Le test passe par 3 phases distinctes :

* Il y a d'abord la phase de coagulation, qui nécessite une vitesse relativement rapide (~ 150 rpm). Elle requiert l'ajout d'un coagulant (alun – Sulfate d'aluminium sous forme aqueuse) d'une certaine concentration. Quand le contact entre le coagulant et l'eau est efficace, la solution d'eau et de particules en suspension est déstabilisée ; les charges de répulsions sont annulées, et les particules peuvent alors s'attirer.

* Ensuite vient la phase de floculation, qui nécessite une vitesse plus lente (~40 rpm), pour permettre un contact suffisant, mais sans casser les floccs en formation. Elle requiert l'ajout d'un agent floculant (polymère) d'une certaine concentration, souvent basse.

Les particules en suspension, préalablement déstabilisées, sont alors adsorbées sur le polymère, et forment des floccs d'une densité assez élevée pour décanter.

* Pendant la phase de décantation, la vitesse d'agitation est nulle, pour permettre la sédimentation des matières en suspension flocculées.[51]

III.4.2. Turbidimètre :

Le turbidimètre est un instrument utilisé pour mesurer la turbidité ou la nébulosité d'un échantillon d'eau, L'incorporation d'un turbidimètre dans le processus de jar test améliore encore la précision et l'efficacité du traitement.[18]

Tableau III.1: Classe de turbidités usuelles (NTU, Néphélométric Turbidity Unit)

Turbidité < 5 NTU	Eau clair
5 < Turbidité < 30 NTU	Eau légèrement trouble
Turbidité > 50 NTU	Eau trouble

III.4.3. Le pH-mètre :

Le pH-mètre est instrument polyvalent qui permet de mesurer avec précision l'acidité ou l'alcalinité d'une solution, fournissant des informations précieuses sur les propriétés chimiques de l'échantillon.[18]

Tableau III.2 : Classification des coagulants flocculant d'après leur pH.

Coagulant	Plage de pH d'efficacité
Sulfate d'aluminium	5,5 – 7
Chlorure ferrique	4 - 5.5
Chlorure de polyaluminium	4 – 7
Hydroxyde d'aluminium	7
Hydroxyde de fer	7
Chlorure d'aluminium	5-8

III.5. Produits utilisés :

III.5.1. Coagulant utilisé : chlorure d'aluminium (AlCl_3) :

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé, dans notre étude on a utilisé le chlorure d'aluminium, voir propriété physico-chimique de chlorure d'aluminium (Tableau II.3).

Tableau III.3 : caractéristiques du chlorure d'aluminium

chlorure d'aluminium	
Nom commercial	Aluminium chloride hydroxide
Formule chimique	AlCl_3
Pourcentage Al_2O_3	12,5%
Densité	2,44 g /cm ³ à 20 °C

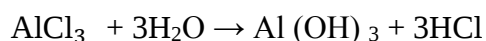
III.5.1.1. Mécanisme réactionnel du coagulant AlCl_3

Le chlorure d'aluminium AlCl_3 est un coagulant couramment utilisé pour le traitement des eaux usées huileuses, en particulier pour l'élimination des polluants organiques et des particules en suspension. Le mécanisme de réaction de coagulation d' AlCl_3 est similaire à celui du sulfate d'aluminium mais les réactifs sont différents.

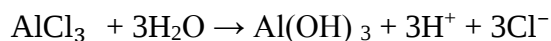
Lorsque l' AlCl_3 est ajouté à de l'eau huileuse, il se dissocie en ions aluminium (Al^{3+}) et en ions chlorure (Cl^-). Les ions aluminium réagissent avec l'eau pour former de l'hydroxyde d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_3$), qui est un précipité solide. Les ions chlorure peuvent réagir avec les cations métalliques dissous pour former des complexes métalliques insolubles, qui contribuent également à la formation de floccs.

L'hydroxyde d'aluminium et les complexes métalliques insolubles se fixent ensuite aux particules d'huile et aux solides en suspension dans l'eau pour former des floccs plus gros et plus lourds. Ces floccs peuvent ensuite être éliminés par décantation ou filtrage.[52]

- **Hydrolyse acide :**



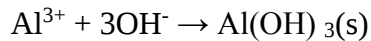
- **Hydrolyse neutre :**



- **Hydrolyse basique :**



- **Formation de complexes :**



Ces réactions décrivent comment le chlorure d'aluminium se dissocie dans l'eau pour former des ions Al_3^+ et Cl^- qui subissent ensuite une hydrolyse pour former des précipités d'hydroxyde d'aluminium et de l'acide chlorhydrique. La formation de complexes entre les ions hydroxyde et les ions Al_3^+ permet également la coagulation des particules en suspension dans l'eau.

III.5.2. Flocculant utilisés : polyélectrolyte

Un polyelectrolyte est un polymère comportant des groupes ioniques chargés positivement ou négativement, ce qui lui confère des propriétés électrostatiques distinctes. En solution aqueuse, les polyelectrolytes se dissocient en ions et interagissent avec les contre-ions présents dans le milieu, ce qui influence leur comportement et leurs propriétés physico-chimiques. Les polyelectrolytes sont utilisés dans divers domaines tels que la chimie, les matériaux, la biologie et l'industrie, en raison de leur capacité à former des complexes, des gels, des membranes, et à réguler les interactions entre les molécules. [9]

III.6. Mode opératoire :

III.6.1. Traitement du 1^{er} échantillon :

III.6.1.1. Détermination de la concentration optimale de coagulants :

La détermination de la dose optimale du chlorure d'aluminium a été réalisée selon le protocole expérimental suivant :

- Remplir les 6 béchers avec 400 ml d'eau prélevée de la station HBK.
- Ajouter à cinq (5) Béchers des doses croissantes (5 ml, 10 ml, 20 ml, 25 ml, 30 ml) de solution de coagulant d'une concentration de 0,4 g/l préalablement préparées (voir l'annexe).
- Placer les 6 Béchers dans le jar test. (le premier bécher est le blanc)
- Faire agiter à 150 tr/mn pendant 2 minutes pour uniformiser la solution.
- Réduire la vitesse d'agitation à 40 tr/mn pendant 20 minutes.
- ajouter 10 ml de flocculant polyélectrolyte. (dose fixe pour les cinq Béchers)
- Cette agitation favorise la formation de floc.

- Après 20 minutes de décantation, prélever 50 ml de chaque bécher et mesurer les paramètres suivants : pH, MES, turbidité.



Figure III.2 : L'eau huileuse avant traitement dans un jar test

1) Mesure de pH :

- **Principe :** La détermination du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution.
- **Matériels et Mode opératoire (voir l'annexe)**
- **Expression des résultats :**

Les résultats sont obtenus directement à partir de la lecture au pH mètre.

2) Mesure de MES :

- **Principe :** A l'aide d'un équipement de filtration sous vide ou sous pression, l'échantillon est filtré sur un filtre en fibre de verre. Le filtre est ensuite séché à (105 2)  C et la masse du résidu retenu sur le filtre est déterminée par pesée.
- **Matériels et Mode opératoire (voir l'annexe)**
- **Expression des résultats :**

La quantité des matières en suspension MES exprimé en mg/l est déduit de l'expression.

$$\text{MES (mg/l)} = \frac{(M2 - M1) \cdot 10^3}{V_E}$$

M1 : Masse en mg du filtre vide.

M2 : Masse en mg du filtre plein.

V_E : volume d'essai de l'eau à analyser en ml.

3) Mesure de turbidité :

- **Principe :** La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon dans l'eau qui résulte de la dispersion et de l'adsorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'échantillon. La quantité de turbidité mesurée dépend des variables telles que la taille, la forme et les propriétés de réfraction des particules.
- **Matériels et Mode opératoire (voir l'annexe)**

III.6.1.2. Ajustement du pH :

L'alcalinité naturelle de l'eau réagit avec le chlorure d'aluminium pour former le précipité d'hydroxyde d'aluminium. Il faut donc un minimum d'alcalinité pour qu'il agisse correctement. Ce minimum permet aussi de stabiliser le pH dans la plage optimale au cours de la coagulation (Julien, 1983). Alors cela nécessite d'ajouter une base, tel que le NaOH.

- **Mode opératoire :**
 - Remplir les 6 béchers avec 400 ml d'eau huileuses.
 - Ajouter à cinq (5) Béchers 5 ml de solution de coagulant.
 - Ajouter à cinq (5) Béchers des doses croissantes (2ml, 3ml, 4ml, 5ml, 6ml) de solution de NaOH avec une seringue préalablement préparées (voir l'annexe).
 - Placer les 6 Béchers dans le jar test. (le premier bécher est le blanc). Faire agiter à 150 tr/mn pendant 2 minutes pour uniformiser la solution.
 - Réduire la vitesse d'agitation à 40 tr/mn pendant 20 minutes.
 - ajouter 10 ml de floculant polyélectrolyte. (fixer la dose pour les cinq Béchers)
 - Après 20 minutes de décantation, prélever 50 ml de chaque bécher et mesurer les paramètres suivants : pH, MES, turbidité de la même manière que le premier essai.

III.6.2. Traitement du 2^{ème} échantillon :**III.6.2.1. Détermination de la concentration optimale de coagulants et de NaOH :**

L'analyse et le traitement se font avec les mêmes conditions et le même protocole que le premier échantillon.

III.6.2.2. Effet d'un aide coagulant (La Bentonite) :

L'utilisation d'un seul coagulant ne permet pas, dans tous les cas, d'obtenir une bonne coagulation-floculation. L'utilisation d'un aide-coagulant permet d'améliorer les performances du procédé de CFD. La Bentonite peut améliorer l'efficacité de la coagulation-floculation en favorisant la formation de floccs plus solides et plus rapidement. De plus, la Bentonite peut également améliorer la clarification de l'eau en agissant comme un agent de filtration, aidant à retenir les particules fines lors du processus de filtration.

• Mode opératoire :

- Remplir les cinq (5) béchers avec 400 ml d'eau prélevée de station HBK.
- Ajouter à quatre (4) Béchers 40 ml (la dose optimale) de solution de coagulant préalablement préparées.
- Ajouter à quatre (4) Béchers 20 ml de solution de NaOH avec une seringue.
- Placer les cinq (5) Béchers dans le jar test. (le premier bécher est le blanc)
- Faire agiter à 150 tr/mn pendant 2 minutes pour uniformiser la solution.
- Réduire la vitesse d'agitation à 40 tr/mn pendant 20 minutes.
- Ajouter à quatre (4) Béchers des doses croissantes (15ml, 20ml, 25ml, 30ml) de solution de bentonite d'une concentration de 20 g/l.
- Ajouter 10 ml de flocculant polyélectrolyte. (la dose est fixe pour les quatre béchers)
- Après 20 minutes de décantation, prélever 50 ml de chaque bécher et mesurer les paramètres suivants : pH, MES, turbidité.



Figure III.3: Résultats du traitement par aide coagulant.



Figure III.4 : Deuxième échantillon avant et après

Chapitre IV :

Résultats et discussion

IV.1. Effet de la concentration du coagulant sur le traitement :

IV.1.1. Résultats des analyses après traitement :

Le tableau IV.1 rassemble les résultats de l'effet de la dose de coagulant sur l'ensemble des paramètres tels que ; les MES, le pH et la turbidité.

Tableau IV.1 : effet de la dose du coagulant $AlCl_3$ sur la variation des paramètres de traitement.

Echantillon 1					Echantillon 2				
Floculant fixé : 10ml					Floculant fixé : 10ml				
$AlCl_3$ (ml)	pH	MES (mg/l)	Turbidité (UTN)	Efficacité (%)	$AlCl_3$ (ml)	pH	MES (mg/l)	Turbidité (UTN)	Efficacité (%)
0	4,94	197,25	341		0	2,85	131,5	814	
5	5,25	63	49,6	85,45%	10	5,29	123,75	781	4,05%
10	5,04	61,25	50,4	85,22%	20	5,54	122,75	760	6,36%
20	4,98	65	51,4	84,93%	30	5,67	110,5	700	14%
25	4,99	62	94,2	72,38%	40	5,84	103,5	692	15%
30	5	68	81,5	96,10%	/	/	/	/	

Effet sur les MES :

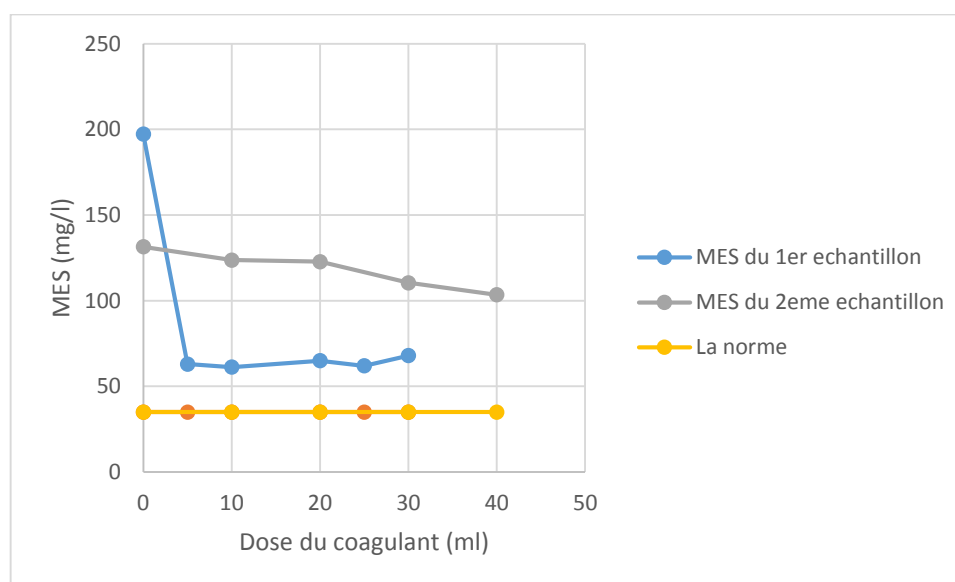


Figure IV.1 : Variation du MES en fonction de la dose de coagulant.

- **Effet sur la turbidité :**

$$\text{Efficacité (\%)} = ((T_0 - T_1) * 100) / (T_0)$$

T_0 : turbidité de la solution en l'absence de coagulant-floculant en .UTN

T_1 : turbidité pour une dose définie de coagulant exprimée en UTN.

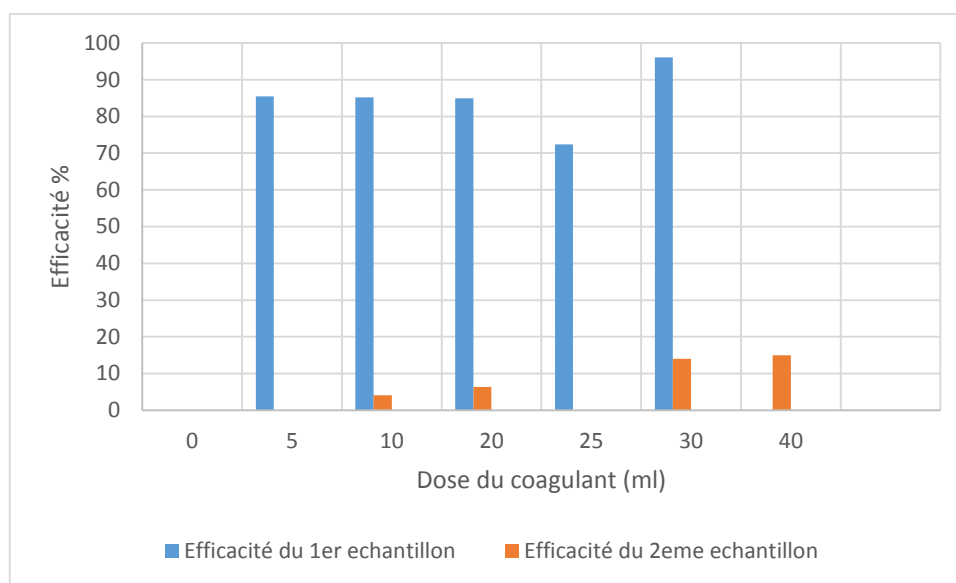


Figure IV.2 : Variation d'efficacité en fonction de la dose du coagulant

D'après le tableau IV.1 et la figure IV.1 qui montrent la variation des matières en suspension (MES) et la figure IV.2 qui montre la variation d'efficacité en fonction des doses du coagulant, des deux échantillons, nous remarquons bien que l'addition de coagulant a provoquée une diminution sensible des MES et de la turbidité pour les deux échantillons, tel que :

Pour le 1^{er} échantillon, les MES avant traitement sont d'environ 197,25 mg/l, et après l'ajoute de différentes doses du coagulant (5-30 ml), les MES ont diminués jusqu'à 61,25 mg/l, ce qui correspond à un taux d'élimination de 68,94 %, mais elle reste supérieure à la norme (35mg/l).

Pour les mêmes doses du coagulant la turbidité a diminué de 341 à 49,6 UTN avec une efficacité d'élimination de 85,45 %.

Pour le 2^{ème} échantillon, on remarque que l'ajoute des doses croissantes du coagulant variant entre 10 et 40 ml, a provoqué une diminution des MES de 131,5 à 103,5 mg/l, c'est-à-dire un taux

d'élimination de 21,29 %, et une légère diminution de la turbidité, de 814 jusqu' à 692 UTN avec une efficacité de 15 %.

D'après les résultats obtenue par les deux échantillons nous pouvons dire que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes négativement chargés présentes dans l'eau, en neutralisant les charges qui génèrent les forces de répulsion entres les colloïdes de façon à ce qu'ils approchent et adhèrent l'un à l'autre.

Remarque :

- Dans le 1^{er} échantillon on a remarqué une fluctuation des valeurs des paramètres mesurés, qui croit avec l'accroissement de la dose du coagulant. On déduit de cela que la surdose de coagulant provoque la déstabilisation des particules colloïdales ainsi la disponibilité de leurs sites diminue et empêche la formation des ponts interparticulaires (CARDOT, 1999), et on aura donc une eau très chargée en coagulant avec une mauvaise clarification.
- **Effet sur le pH :**

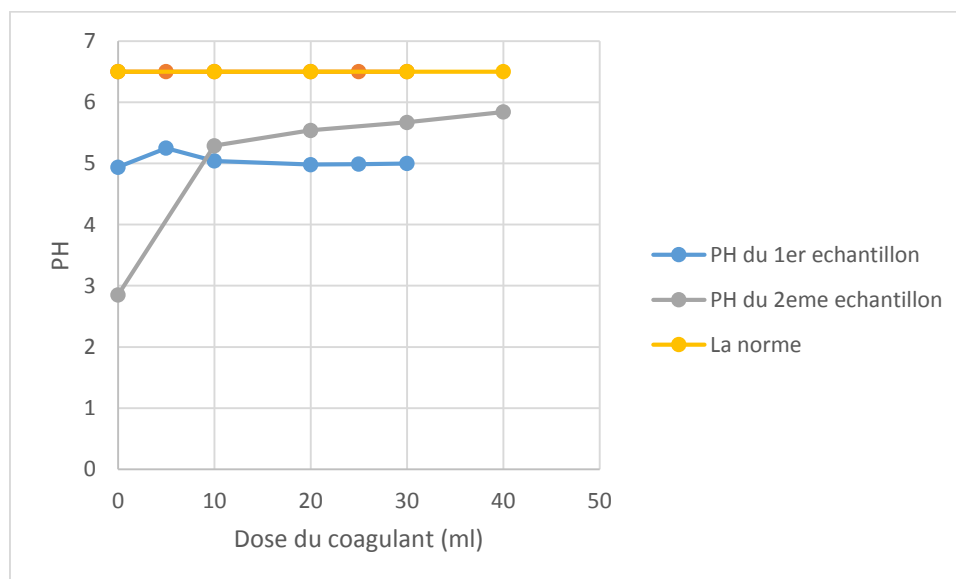


Figure IV.3 : Variation du pH en fonction des doses du coagulant

A partir des expériences du jar test et d'après le tableau IV.1 et la figure IV.3 qui montrent la variation du pH des deux échantillons en fonction des doses du coagulant, on remarque que la valeur initiale du pH pour les échantillons 1 et 2 sont, respectivement, 4,94 et 2,85, donc l'eau à traiter est acide, notamment pour le deuxième échantillon, à cause de la présence des hydrocarbures et d'autres composants.

Ces valeurs ont augmenté progressivement avec l'augmentant de la concentration du coagulant $AlCl_3$. Le pH a atteint une valeur optimale de 5,25 pour une concentration de 5 ml de coagulant ajouté pour le 1^{er} échantillon, et un pH optimum de 5,84 pour une concentration de 40 ml de coagulant pour le 2^{eme} échantillon. D'une façon similaire que pour l'échantillon 01, nous avons constaté une sensible augmentation de pH allant de 2,85 à 5,84.

D'après les résultats obtenus, on peut déduire que la dose optimale du coagulant pour :

- Le 1^{er} échantillon est : 5 ml.
- Le 2^{eme} échantillon est : 40 ml.

Le pH des deux échantillons après traitement reste toujours inférieur à la norme ce qui nécessite un ajustement du pH.

IV.2. Résultats après l'ajustement de pH :

Sur la base des résultats présentés dans le tableau IV.2, nous pouvons observer l'effet de l'augmentation du pH, sur l'évolution des matières en suspension (MES) et la turbidité.

Tableau IV.2 : effet de la dose du NaOH sur la variation des paramètres de traitement

Echantillon 1					Echantillon 2				
NaOH (ml)	pH	MES (mg/l)	Turbidité (UTN)	Efficacité (%)	NaoH (ml)	pH	MES (mg/l)	Turbidité (UTN)	Efficacité (%)
0	4,94	197,25	341		0	2,85	131,5	814	
2	5,06	71,5	51,9	84,78 %	11	6,87	79,5	134	83,54 %
3	5,56	61,75	58,2	82,93 %	13	6,84	74	41,1	94,95 %
4	5,7	60,5	16,1	95,28 %	15	6,79	69	21,7	97,33 %
5	6,02	71,5	14,2	95,84 %	20	6,73	62,25	8,22	98,99 %
6	6,15	43	9,21	97,30 %	/	/	/	/	

IV.2.1. Effet du pH sur les MES et la turbidité :

- Sur les MES :

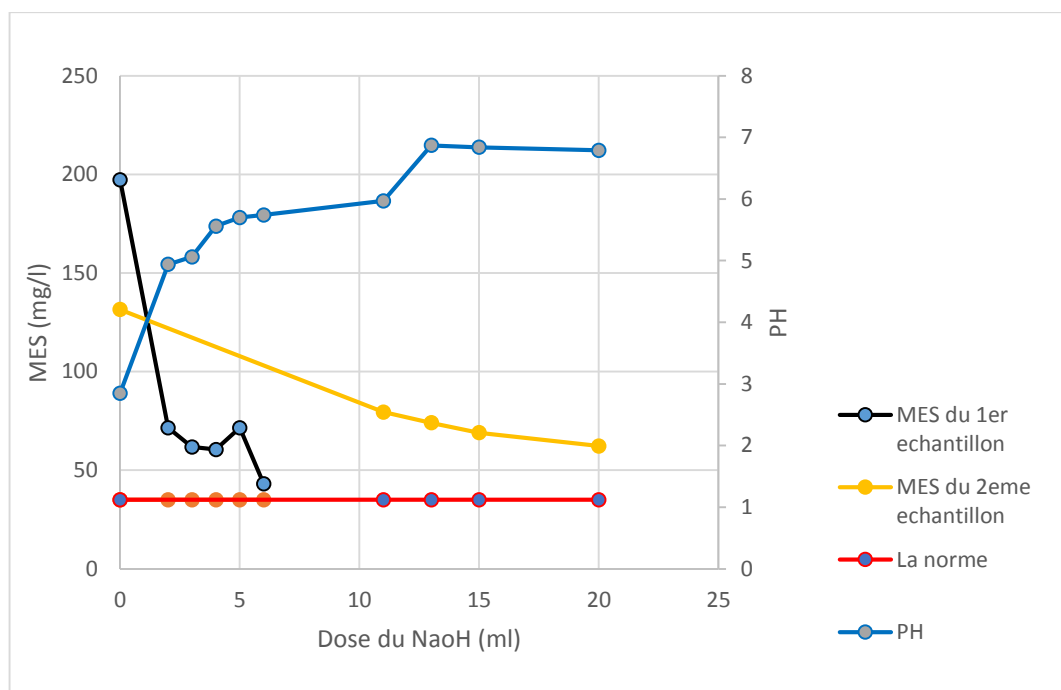


Figure IV.4 : Variation des MES en fonction de la dose de NaOH

- Sur la turbidité (efficacité) :

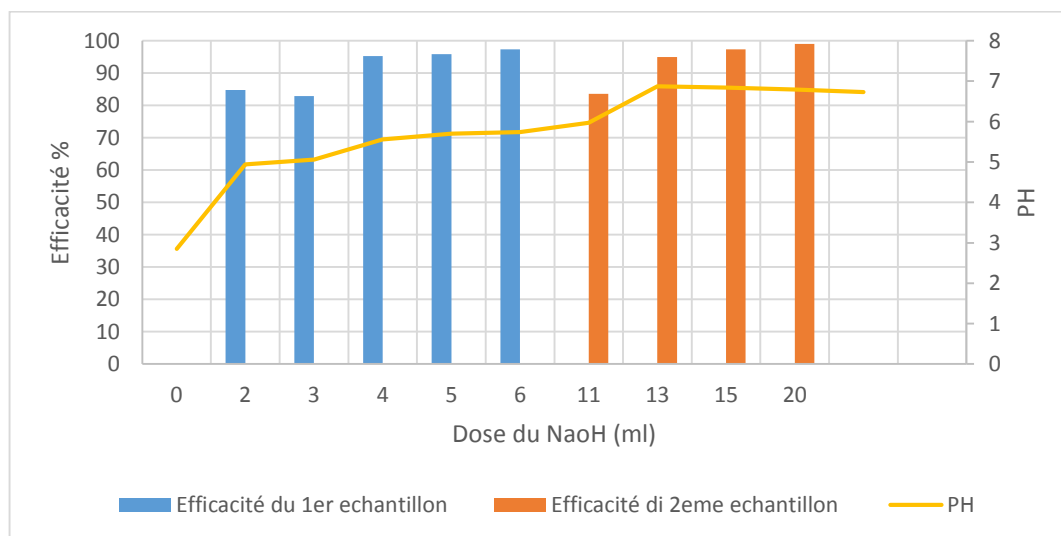


Figure IV.5 : variation de l'efficacité en fonction de la dose de NaOH

A partir du tableau IV.5 qui montre l'effet de la dose du NaOH sur la variation des paramètres de traitement tels que le pH, les MES et la turbidité qui sont présentés, respectivement, dans les graphes IV.4 et IV.5, à savoir :

Pour l'échantillon 1, pour une quantité fixe d' AlCl_3 de 5 ml et de floculant de 10 ml, on observe que l'ajout de NaOH a un effet sur le pH de l'eau. Pour un pH initial de 4,94, l'ajout de NaOH a augmenté progressivement le pH jusqu'à 6,15. Par conséquent, la quantité des MES a diminuée avec l'augmentation de pH, passant de 197,25 à 43 mg/l, donc une élimination de 78,20 %, mais reste légèrement supérieure à la norme. D'autre part, la turbidité de l'eau suit également une tendance à la baisse, passant de 341 à 9,21UTN avec une efficacité bien remarquable de 97,30 %.

Pour l'échantillon 2, avec une quantité fixe d' AlCl_3 de 40 ml et 10 ml de floculant, on a observé des tendances similaires. L'ajout de NaOH a entraîné une augmentation du pH de 2,85 à 6,87, et par conséquent, une diminution de la quantité des MES de 131,5 à 62,25mg/l, soit de 52,27%, et une diminution très efficace de la turbidité de 814 à 8,22 UTN avec une efficacité de 98.99 %

Les résultats des deux échantillons indiquent également que l'ajustement du pH à l'aide de NaOH a un effet direct sur la clarification de l'eau huileuse, réduisant ainsi les matières en suspension et améliorant la clarté de l'eau.

Il est important de noter que la quantité fixe d' AlCl_3 et de floculant dans chaque échantillon peut également contribuer aux effets observés. Ces résultats suggèrent que l'ajustement du pH, en combinaison avec les conditions optimum, joue un rôle important dans le traitement de l'eau huileuse, en favorisant la clarification et la réduction des matières en suspension.

Finalement l'ajustement du pH avec du NaOH a un impact significatif sur les réactions chimiques et les interactions dans l'eau huileuse. Le pH peut influencer la solubilité des composés chimiques, la charge des particules, l'hydrolyse des coagulants et les réactions de précipitation. (Adachi, 1994) En augmentant le pH, on peut favoriser la formation de floccs plus volumineux et améliorer la clarification de l'eau en favorisant l'agrégation des matières en suspension.

La gamme de pH optimale pour le chlorure d'aluminium dépend de plusieurs facteurs, notamment la concentration d' AlCl_3 , la nature des matières en suspension présentes dans l'eau et les conditions spécifiques de l'expérience. Les performances du chlorure d'aluminium peuvent varier selon le pH, et il est généralement recommandé de tester différentes gammes de pH pour déterminer la meilleure condition de traitement.

IV.3. Effet de la concentration du Bentonite sur la coagulation pour le deuxième échantillon :

Le tableau IV.3 rassemble les résultats obtenus de l'effet de l'ajout de la bentonite

Tableau IV.3 : Effet de la dose du Bentonite sur la variation des paramètres de traitement

Floculant fixé : 10ml				
AlCl ₃ fixé : 40ml				
NaOH fixé : 20ml				
Bentonite(20g/l)	pH	MES (mg/l)	Turbidité (UTN)	Efficacité (%)
0 ml	2,85	131,5	814	
15 ml	5,83	32	3,38	99,58 %
20 ml	6,01	12,75	2,68	99,67 %
25 ml	6,23	15	0,17	99,98 %
30 ml	6,43	21	0,1	99,99 %

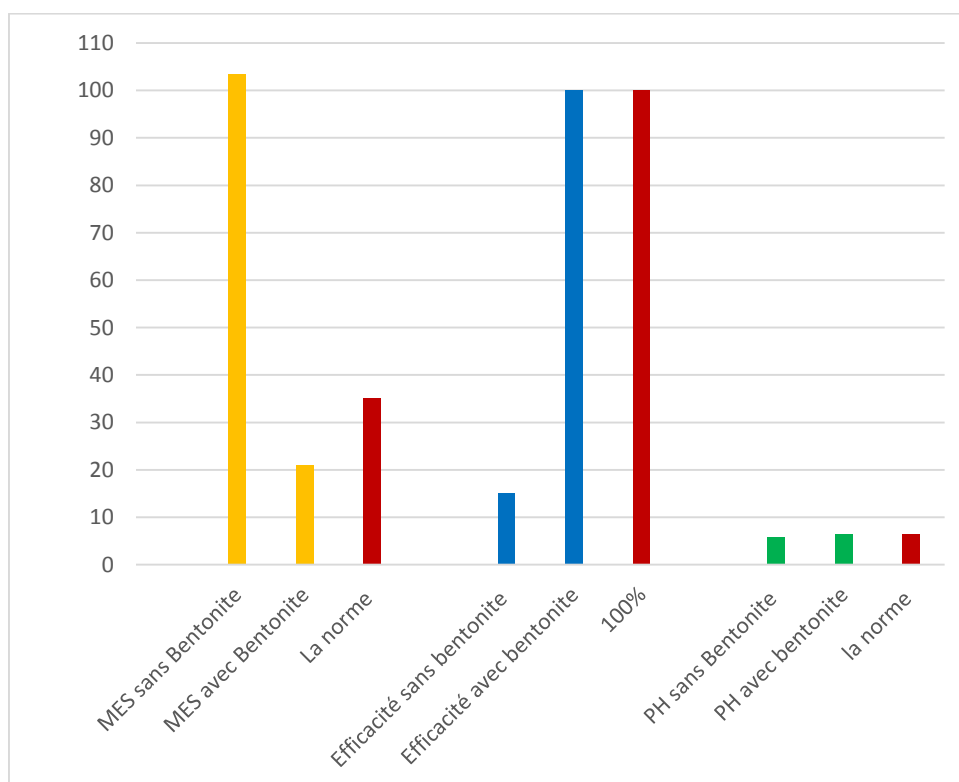


Figure IV.6 : les paramètres de traitement (MES, pH, Turbidité) avec et sans bentonite

D'après le tableau IV.3 et la figure IV.6, nous constatons que l'ajout d'une quantité fixe de flocculant (10 ml), d' AlCl_3 (40 ml) et de NaOH (20 ml) utilisés en combinaison avec l'ajout du Bentonite, confirme la théorie de l'aide coagulant, tel que :

L'ajoute des doses croissantes de bentonite a un effet positif sur les paramètres de traitement tel que le pH, les MES et la turbidité.

Lorsque la bentonite est ajoutée en combinaison avec l' AlCl_3 , elle peut interagir avec le coagulant et améliorer son efficacité. La bentonite peut aider à renforcer les liaisons entre les particules d'huile et les matières en suspension, favorisant ainsi la formation de flocs plus solides et plus volumineux. Cette synergie entre la bentonite et le coagulant peut expliquer l'efficacité nettement supérieure observée lorsque les deux sont utilisés ensemble.

Etude Prospective

Etude prospective

V Etude prospective :

V.1. Introduction :

En se basant sur notre travail préalable qui utilisait la méthode classique de la coagulation /floculation, ainsi que les remarques que nous avons déduits, nous avons jugé intéressant de faire une étude prospective, sur le procédé de l'ajout du coagulant durant l'opération de traitement.

Pour cela, nous avons fait des essais supplémentaires par rapport à notre travail initial. Donc, on a jugé au lieu de faire une opération d'ajout du coagulant en une seule étape, nous avons réalisé cette dernière opération en deux étapes avec la même dose. C'est-à-dire, la dose optimum qui sera déterminée sera utilisée en deux étapes distinguées.

En utilisant deux étapes de coagulation/floculation plutôt qu'une seule étape, il est possible de réduire la quantité totale de coagulant nécessaire pour atteindre une performance similaire. Cela peut conduire aussi à des économies financières significatives, surtout dans le cas de grandes installations de traitement de l'eau.

V.2. Conditions opératoires :

Il est à noter que dans cette étude prospective nous avons utilisé d'autre coagulant/floculant tels que le sulfate d'aluminium comme coagulant et le polymère cationique comme floculant. D'autre part, nous avons utilisé un autre échantillon d'eau huileuse.

- **Mode opératoire :**

Le protocole d'une coagulation/floculation qui a été utilisé est similaire à celui des expériences précédentes (protocole normalisé).

V.2.1. Détermination de la dose optimale du coagulant (une seule étape) :

Le tableau V.1 rassemble les différents résultats de l'effet de la dose du coagulant sur les paramètres de traitement, tels que les MES et la turbidité et le pH.

Etude prospective

Tableau V.1 : effet de la dose du coagulant $Al_2 (SO_4)_3$ sur la variation des paramètres de traitement

Dose du coagulant (ml)	0	4	8	12	16	20
PH	6,86	7,50	7,64	7,40	7,14	7,11
MES(mg/l)	180	150	34	140	174	34
Turbidité(UTN)	22	9	6,10	17	12	11

V.2.2. Détermination des paramètres de traitement en utilisant le procédé en deux étapes :

Suite aux résultats obtenus par le procédé de traitement en une seule étape, nous avons déterminé la dose optimum de coagulant (8 ml). Nous avons utilisé par la suite cette dose en deux étapes de 4 ml de coagulant. Par contre nous avons maintenu fixe la dose du floculant à 10 ml.

Tableau V.2 : Paramètres de la première étape de traitement.

	Essai 1	Essai 2
pH	7,77	7,77
ME(mg/l)	86	96
Turbidité (NUT)	1,8	1,6

Tableau V.3 : Paramètres de la deuxième étape de traitement.

	Essai 1	Essai 2
pH	7,60	7,55
MES	14	16
Efficacité de MES %	58,82 %	52,94 %
Turbidité	1,20	1,10
Efficacité de Turbidité %	80,33 %	81,97 %

Etude prospective

Discussion :

On peut constater à partir de ces résultats préliminaires, relatifs à la méthode de coagulation-floculation par l'utilisation du nombre de partage ($N=2$) que dès la première étape de traitement l'abattement des MES et de la turbidité est sinificatif. Cette diminution pourra être attribué à une bonne affinité entre le couple coagulant-floculaant et les MES, ou à une faible interrraction entre le coagulant-floculant utilisé. Cette même remarque a été aussi observée sur la réduction de la turbidité d'une façon importante, car elle est souvent liée à la présence de particules en suspension qui peuvent altérer la clarté de l'eau et la rendre moins clair.

Lors de la deuxième étape de traitement, nous avons observé un autre abattement des matires en suspension et de la turbidité correspondant à une efficacité de traitement supérieure à 58% et 80% respectivement. D'autre part, toutes les valeurs des paramètres de l'eau traitée sont relativement inférieurs aux normes.

V.3. Conclusion :

En conclusion à cette étude prospective, nous pouvons déduire que, la méthode de la coagulation-floculation correspondant à un nombre de partage $N=2$, présente plusieurs avantages potentiels, notamment en termes d'efficacité de traitement et de réduction des coûts. Cependant, il est important de noter que les résultats et les propositions d'amélioration peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de l'eau à traiter et des paramètres opérationnels.

L'application de cette méthode suggèrent qu'elle peut être efficace pour réduire la concentration des matières en suspension (MES) et la turbidité dans l'eau traitée. En divisant la dose optimale de coagulant en deux doses (deux étapes), il est possible d'obtenir des résultats améliorés par rapport à l'utilisation d'une dose unique (une seule étape). Les résultats que nous avons obtenus montrent une diminution significative des MES et de la turbidité après l'application de cette méthode.

Cependant, il convient de noter que l'optimisation des paramètres opérationnels tels que les proportions de chaque dose, les temps de réaction, les conditions de mélange et le contrôle du pH sont essentiels pour optimiser l'efficacité et réduire les coûts de traitement. D'autres études supplémentaires et d'essais sur le site de traitement peuvent être nécessaires pour déterminer les ajustements optimaux.

Etude prospective

Les propositions d'amélioration retenue offrent des pistes pour économiser les coûts de cette méthode. L'optimisation des doses, l'utilisation de coagulants alternatifs, l'optimisation des temps de réaction, l'utilisation de technologies avancées de mélange et de floculation, le recyclage des sous-produits, l'optimisation des conditions de pH et la formation de floccs plus denses sont des moyens d'amélioration de l'efficacité et la réduction des coûts de temps et d'énergie associés à cette méthode.

En résumé, la méthode de coagulation-floculation par utilisation de deux étapes présente une alternative prometteuse pour réduire les coûts de traitement de l'eau. Cependant, une approche personnalisée et adaptée aux conditions spécifiques de notre application est nécessaire pour l'optimisation. Des essais sur le terrain, et une évaluation continue sont essentiels pour affiner la méthode et atteindre les objectifs d'économie de coûts et d'efficacité de traitement.

Conclusion Générale

Conclusion générale

En conclusion de ce mémoire de fin d'études, il est clair que la protection de l'environnement et le traitement efficace des eaux contaminées, en particulier les eaux huileuses, sont des préoccupations majeures pour notre société. La coagulation-floculation s'est avérée être une méthode efficace dans ce contexte, en mettant l'accent sur les paramètres clés tels que, le pH, les MES (Matières en Suspension), la turbidité, ainsi que l'utilisation d'aides coagulantes. Nous avons également interprété les résultats obtenus et envisagés pour des études futures, en perspectives dans ce domaine.

Les résultats de notre étude ont montré que l'efficacité de la coagulation-floculation est fortement influencée par la dose de coagulant, ainsi que par l'ajout d'adjuvants tels que la bentonite. L'utilisation de la bentonite en combinaison avec le coagulant a considérablement amélioré l'efficacité du traitement, permettant ainsi d'obtenir des taux élevés de réduction des polluants. L'ajustement approprié du pH permet d'optimiser les réactions chimiques entre les coagulants et les contaminants huileux, favorisant ainsi la formation de floccs plus volumineux.

De plus, nous avons constaté que les MES et la turbidité sont des paramètres de suivi essentiels. Ces mesures fournissent des indications sur la quantité des matières en suspension présentes dans l'eau traitée. Une diminution significative de MES et de la turbidité témoigne de l'efficacité du processus.

Cependant, il est important de souligner que notre étude met également en évidence la nécessité de poursuivre la recherche dans ce domaine. Une étude prospective supplémentaire a été envisagée, en se basant sur un coefficient de partage lors de la coagulation-floculation, permettant d'améliorer d'avantage les taux d'abattement des effluents.

Il est essentiel de respecter les paramètres recommandés, tels que le pH, la concentration des matières en suspension et la turbidité, conformément aux réglementations en vigueur. Cela garantit que les eaux traitées répondent aux normes de rejet établies, préservant ainsi la qualité de l'eau et la protection des écosystèmes aquatiques.

En combinant des efforts multidisciplinaires dans cette étude sur l'efficacité de la coagulation-floculation dans le traitement des eaux huileuses en soulignant l'influence de la méthodologie de recherche, des variables environnementales et des conditions spécifiques, les résultats obtenus renforcent notre compréhension de ce processus et ouvrent la voie à de nouvelles opportunités de recherche visant à contribuer ainsi à la préservation de l'environnement et à la durabilité des ressources en eau pour les générations futures

Recommandations

- Dans la coagulation/floculation classique :

En fonction des résultats et des conclusions de notre étude, voici quelques recommandations que nous pourrions envisager d'inclure :

- Approfondir les études sur les coagulants alternatifs.
- Optimiser les dosages de coagulants et de floculant.
- Étudier les interactions avec d'autres paramètres de traitement.
- Évaluer les effets à long terme de la coagulation-floculation.
- Analyser les coûts opérationnels et les avantages économiques.

-Dans l'étude prospective :

- Optimisation des doses : Au lieu de diviser la dose optimale en deux doses égales, vous pouvez effectuer des essais expérimentaux pour déterminer la proportion optimale de chaque dose. Il est possible que des proportions autres que 50/50 soient plus efficaces dans notre cas particulier. Cela vous permettrait d'utiliser la quantité minimale de coagulant tout en maintenant une performance optimale.
- Optimisation des temps de réaction.

-Propositions de nouvelles études pour les chercheurs dans le traitement des effluents huileux :

- Développement de techniques de séparation avancées : Les chercheurs peuvent se concentrer sur le développement de nouvelles techniques de séparation spécifiquement adaptées aux eaux usées huileuses. Cela pourrait impliquer l'exploration des méthodes innovantes telles que la séparation par électrodialyse, la séparation par membranes modifiées, les techniques de séparation basées sur des champs électromagnétiques, ou l'utilisation de nanostructures pour l'adsorption sélective.

Ces recommandations et propositions d'études offrent un point de départ pour les chercheurs dans le domaine du traitement des eaux usées huileuses. Il est essentiel de continuer à explorer de nouvelles approches, de tester et de valider les nouvelles technologies, et de promouvoir l'innovation pour atteindre des méthodes de traitement plus efficaces, durables et économiquement viables.

Références Bibliographiques

Référence bibliographique

- [1] : **A. MIZI** , Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar ANNABA. 2006.
- [2] : Traitement des eaux résiduaires industriel, «**Condorchem Envitech**»
<https://condorchem.com/es/>.
- [3] : **j.G.Gutiérrez, J.Benito**, « treatment of oily waste-water, in water purification », 2011.
- [4] : **Ramisetty, Kiran**, « Émulsions huile dans l'eau », Hielscher Ultrasonics, no 133-142, 2011, Consulté sur : <https://www.hielscher.com/fr/oil-in-water-emulsions.htm>.
- [5] : **J.B.rragan, J.R.mirez**, « l'eau dans l'industrie du pétrole et du gaz », Veolia Water Technologies - North America, 2009.
- [6] : **Fares Redouane, Lounis Mourad**, « pollution characterization of liquid waste of the factory complex Fertial », févr. 2016.
- [7] : Proposition de : **M. Kouadio Adolphe**, ingénieur en Chimie industrielle. cours de traitement des eaux.
- [8] : **Jurgen Rullkotter , John W. Farrington**, « The physical properties and chemical composition of petroleum and products of Burned Oil », nov. 2021.
- [9] : **Benlamoudi Nadjat Rahma, Bey Ahmed KHarnache Mohamed**, « Déshuilage des eaux usées de Haoud Berkaoui "étude comparative" », KASDI MERBAH OUARGLA, 2021.
- [10] : **Abdelkrim.Z, L.M.Seghir**, « Traitement des eaux huileuses de l'unité de déshuilage Hassi R'mel », Ksdi merbah, Ouargla, 2019.
- [11] : Traitement physicochimique de la pollution soluble. Technique de l'ingénieur. Volume G1270.
- [12] : **Lotfi.K.M**, « Traitement des eaux usées industrielles (la raffinerie de SBAA adrar) », Ahmed draria. ADRAR, 2017.
- [13] : « Un exemple de traitement des effluents de procédés de déshuilage », Revue L'Eau, n° 326, nov. 2009.

Références Bibliographiques

- [14] : **Odeigah.P.O. Nurudeen** and **O.Amund**. Genotoxicity of oil field waste-water in Nigeria.1997, 126 (2) : p 161-167.
- [15] : **Souad**. E, Traitement des eaux de rejets de l'unité ceramit "TENES". 2007. Mémoire master, Université Hassiba ben Bouali.Chleff.p.13, 14.
- [16] : **Bangoura Naby Moussa**, « traitement des effluents petroliers issues de l'usine de la de la compagnie des bauxites de guinee (cbg) : diagnostique et amelioration de la filiere de traitement », nstitut international d'ingénierie, 2017.
- [17] : **Milia, M .K. Chanez**, and **B.A.E. Hamide**, Analyse physico-chimique des effluents de la laiterie Candia. 2018, Mémoire master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia.p.14.
- [18] : **Saidani Cylina** , **Maamar Yacine**, « Etude d'efficacité de traitement des eaux huileuses par coagulation/floculation de la region Haoud Berkaoui (HBK) », Institu national specialise de la formation professionnelle Kadiri Abdelkader, Lakhdaria, 2019.
- [19] : **Ikram. B** and **K.M. Hayet**, Optimisation des paramètres physico-chimique dans le processus du traitement des eaux huileuses. 2016, Mémoire master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia .p.19, 21,22,73,74.
- [20] : **Asselin** « Utilisation de l'électrocoagulation dans le traitement des eaux usées industrielles chargées en matière organique », Québec, 2007.
- [21] : **Abdelkrim. Z** and **L.M.Seghir**. Traitement des eaux huileuses de l'unité de déshuilage Hassi R'mel. 2019, Mémoire master, Université Kasdi merbah, Ouargla.
- [22] : **Dr. Barani Djamel**. Manuel de traitement des eaux, Anonyme.
- [23] : **Jennifer Byrd**, « Coagulation And Flocculation in Water Treatment Explained », waterfilterguru, mars 2023.
- [24] : **C. Desjardins**, « SIMULATION ET ÉTUDE EN LABORATOIRE DE LA FLOCCULATION LESTEE (ACTIFLO") A L'AIDE D'UNE PROCEDUREMODIFIÉE DE JAR TEST », UNIVERSITE DE MONTREAL, Canada, 1999.
- [25] : « Floculation ou traitement physique de l'eau », 1H2O3, 2020.
<https://www.1h2o3.com/apprendre/traitement-physico-chimique/la-floculation/>

Références Bibliographiques

- [26] : « Traitement de l'eau - Coagulation-floculation généralités », suezwaterhandbook, 2022.
<https://www.suezwaterhandbook.fr/>
- [27] : **BOAUFIA Asma, HADRI Yasmine**, « Coagulation ou traitement chimique de l'eau », UNIVERSITE de BLIDA 1, 2015. [En ligne].
- [28] : **Dahmane chaima, Zidoune rania**, « Utilisation des bio-coagulants pour le traitement des eaux potables. », Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, 2019.
- [29] : « Coagulation et floculation dans le traitement des eaux », milton roy, 2021.
<https://www.miltonroy.com/fr-tn/applications/coagulation-and-flocculation>
- [30] : « Coagulants pour le traitement de l'eau », Brenntag Canada, juin 2018, [En ligne]. Disponible sur: <https://www.brenntag.com/fr-ca/industries/traitement-de-leau/coagulants/>
- [31] : « Traitement de l'eau floculante et coagulante », ChemTreat.
<https://fr.chemtreat.com/coagulants-flocculants/>
- [32] : « Coagulation in water treatment », Cropaia, sept. 2018, [En ligne]. Disponible sur: <https://croपाia.com/blog/coagulation-in-water-treatment/>
- [33] : **BENCHAHLA Amina, LAMRAOUI Rania**, « Traitements des eaux du Barrage Ourkis d'oum El-Bouaghi par coagulation-floculation », Université Larbi Ben M'Hidi, Oum El-Bouaghi, 2020.
- [34] : **A.Lounnas**, « Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-kroma de skikda », Université du 20 Août 1955 Skikda.
- [35] : **Bhupendra Koul, Dhananjay Yadav**, « Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals », Water 2022, n° 14, 3751, nov. 2022, [En ligne]. Disponible sur: <https://doi.org/10.3390/w14223751>
- [36] : « Chemical coagulants and flocculants », IECA(Australasia), Control technique, juin 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.austieca.com.au/documents/item/818>
- [37] : **MANUAL**, « Operational Control of Coagulation and Filtration Processes », American Water Works Association, Control technique M37, 2011. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.awwa.org/portals/0/files/publications/documents/m37lookinside.pdf>
- [38] : **ANDREW M. CUOMO**, « New York State Athletic Commission Approved List Of Coagulants And Adjuvants », ATHLETIC COMMISSION, Control technique 3804. [En ligne].

Références Bibliographiques

- [39] : **KAFI Bilal**, « Préparation et Caractérisation de Bentonite Modifiée par un Polyoxométallate Application à l'adsorption du Bleu de Méthylène », UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA, 2019.
- [40] : **BOUHADI Rim, ARIOUA Somia, KAICHE Bisma**, « Traitement des eaux usées par le procédé de coagulation-floculation en utilisant des coagulants à base des sels d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ - AlCl_3) », UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF, M'SILA, 2020.
- [41] : « Flocculants Coagulants Wastewater Treatment », getchemready, 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.getchemready.com/wastewater-treatment/flocculants-coagulants-wastewater-treatment/>
- [42] : **C. Industries**, « Polymer Water Treatment: How Coagulants & Flocculants Clean Water », Clearwater Industries, Inc., 5 mars 2021.
- [43] : **MOUMENI Mabrouka**, « Traitement des eaux huileuses par coagulation/ floculation », Ecole Nationale Polytechnique, 2015.
- [44] : **HAOUES Nahla, SOUALMIA Sabrina**, « Optimisation des doses en coagulant et en floculant injectés au niveau de la station de traitement de l'eau du barrage Hammam Debagh-Guelma », UNIVERSITE 08 MAI 45, GUELMA, 2022.
- [45] : **Jérémie Gamer**, « Floculant liquide : mode d'emploi et avantages », Poolcare, juin 2023, Consulté le: 7 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.poolcare.io/article/floculant-liquide-comment-ca-marche-et-comment-l-utiliser>
- [46] : **J.Amonde**, « Avantages et inconvénients des méthodes de traitement des eaux usées: coagulation et désinfection - Genesis Water Technologies », genesis water technologies, avr. 2019. [En ligne].
- [47] : **Bourezg Nadji, Belguermi Abdelmoumne**, « etudes des performances du chitosane comme coagulant pour l'enlèvement de la turbidité des eaux usées », Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi -, Bordj Bou Arreridj, 2022.
- [48] : **Mohamed KHodja, Jean Paul Canselier, S. Hafid, Z. Kessaissia**, Performance study of Waste Treatments of Oil Well Drilling in Algerian Fields, May 2009.
- [49] : **Youcef. Salami**, Les laboratoires de Sonatrach redéployés, Analyse géologique et chimique, études pluridisciplinaires, 19-07-2010.
- [50]: Présentation de HBK. Pdf.ouargla.dz.communicationActursEcoJPP4.

Références Bibliographiques

[51] : Mlle Médiatrice MUJAWAMARIYA, « Optimisation de la décantation primaire par ajout de produits chimiques – Jar-Tests », institut Supérieur Industriel de Bruxelles, 2012.

[52] : Hinda. KHELILI , « Effet des interactions chlore/ coagulant aluminique sur la réactivité d'acides organique aromatique», thèse de doctorat, 2016.

Annexe

Annexe

Annexe I- Décret Algériens :n°06-141 du 19 avril 2006.

Tableau 1 : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5-8,5	6,5-8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl		30	40
5	Phosphore total		10	15
6	DCO		120	130
7	DBO5		35	40
8	Aluminium		3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables		0,005	0,01
10	Cyanures		0,1	0,15
11	Fluor et composés		15	20
12	Indice de phénols		0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux		10	15
14	Huiles et graisses		20	30
15	Cadmium		0,2	0,25
16	Cuivre total		0,5	1
17	Mercure total		0,01	0,05
18	Plomb total		0,5	0,75
19	Chrome Total		0,5	0,75
20	Etain total		2	2,5
21	Manganèse		1	1,5
22	Nickel total		0,5	0,75
23	Zinc total		3	5

Annexe

Annexe II – Préparations des solutions :

II.1.Préparation de la solution de coagulant :

- Verser 900 ml d'eau distillée dans une bouteille.
- Peser 0,4g de l'aluminium et le mettre dans la bouteille du coagulant.
- Ajuster le volume à 1000 ml.
- Etiqueter le bécher (coagulant).

II.2.Préparation de la solution floculant :

- Verser 600 ml d'eau distillée dans une bouteille.
- Verser 2 ml de polyélectrolyte.
- Ajuster le volume à 800 ml.
- Etiqueter le bécher (floculant).

II.3.Préparation de la solution NaOH :

- Verser 900 ml d'eau distillée dans une bouteille de réactif.
- étiqueter le bécher (NaOH).
- Peser 4 g de NaOH et le mettre dans un litre d'eau distillée.
- Ajuster le volume à 1000 ml.

II.4.Préparation de la solution bentonite :

- Verser 900 ml d'eau distillée dans un bécher.
- Etiqueter le bécher (bentonite).
- Peser 20g de bentonite et le mettre dans l'eau distillée.
- Ajuster le volume à 1000 ml.

Annexe

Annexe III – Les modes opératoires des paramètres à mesurer :

III.1. analyse de pH :

Matériels et réactifs :

- PH-mètre : PH03/HACH.
- Pipette de 50 ml.
- Bécher de 100 ml préalablement lavé à l'eau distillé et séché à l'étuve à 105°C.
- Agitateur magnétique, barreaux magnétique.
- Solution tampon à pH 4,00 ($\pm 0,02$ à 25° C).
- Solution tampon à pH 7,00 ($\pm 0,02$ à 25° C).
- Solution tampon à pH 10,00 ($\pm 0,02$ à 25° C).

Mode opératoire :

- Prélever à l'aide d'une pipette une prise d'essai de 50 ml et l'introduire dans un bécher propre.
- Après avoir étalonné le pH-mètre, plonger l'électrode dans l'échantillon et attendre jusqu'à ce que la valeur du pH se stabilise.
- Mesurer le pH de l'échantillon.

III.2. analyse de MES :

Matériels :

- Etuve réglée à 105°C
- Verres de montre
- Balance de précision
- Filtres millipores de 0.45 μm
- Dispositif de filtration sous vide
- Dessiccateur
- Bécher de 500 ml

Mode opératoire :

- Laver le filtre et l'éprouvette avec un solvant organique (chloroforme), sécher le filtre à 105°C pendant 20 min, le refroidir dans un dessiccateur pour enfin le peser, noter sa masse M1.
- Mettre en marche le dispositif de filtration sous pression.

Annexe

- Bien agiter l'échantillon d'eau avant de verser une prise d'essai de 400 ml dans une éprouvette.
- Verser le contenu de l'éprouvette sur le filtre puis le laver plusieurs fois pour récupérer la totalité des matières solides.
- Sécher le filtre à 105°C pendant 30 mn, le refroidir dans un dessiccateur pendant 20 mn puis le peser, noter sa masse M2.

Résultats de MES (masse avant et après séchage)

Tableau 1 : Effet de la concentration du coagulant sur les MES du premier échantillon.

<i>Dose du coagulant</i>	<i>0</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>25</i>	<i>30</i>
<i>Masse avant séchage(g)</i>	38,3954	50,7647	55,0756	52,3971	54,0903	65,3854
<i>Masse après séchage (g)</i>	38,4743	50,7919	55,1001	52,4231	54,1151	65,4026
<i>MES (mg/l)</i>	197,25	68	61,25	65	62	43

III.3. Analyse de turbidité :

Matériels :

- Turbidimètre : 2100N HACH.
- Cellules en verre.

Mode opératoire :

- Vérifier l'appareille de turbidimètre, et faire laver la cellule de turbidité bien pour les rayons passe régulièrement.
- Prélever 50 ml de notre eau à traiter et la mettre dans une cellule de turbidité à l'aide d'une pipette graduée.
- Placer la cellule dans le turbidimètre et prends la première valeur.