

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB BLIDA 1
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de

MASTER EN GÉNIE DES PROCÉDÉS

Option: GÉNIE DES POLYMÈRES

Thème :

*Application de systèmes amphiphiles à
l'élimination de contaminants organiques
d'un milieu aqueux.*

Présenté par :

Ikhlef Hadil

Meghnia Nermine

Encadré par :

Mr Fettaka Mohamed

Co-promoteur :

Pr Bessenasse Mohamed

Année : 2023 / 2024

ملخص

الهدف من الجزء الأول من هذا العمل يتكون من التعريف الهيكلي، من خلال التوصيف الفيزيائي والكيميائي للبوليمرات ذات قدرة التخثر والتلبد المستخدمة في مصافي النفط لمعالجة مياه الصرف الصحي. أتاحت الدراسة المنهجية للنظامين المصنفين على أنهما متعددات الإلكتروليتات (أحدهما ذو طبيعة متعددة الكاتيونات والثاني متعدد الأنيونات) من الممكن تحديد موقع الأمفييلية والنشاط السطحي ولمس هذه المواد بشكل أساسي. وستجعل هذه النتائج من الممكن العثور على بدائل موجودة بالفعل في السوق بسعر أقل ولاستخدامات متعددة.

الهدف الرئيسي للجزء الثاني من هذه الدراسة هو تقييم قدرة عزل البوليمرات القابلة للذوبان في الماء المقترحة كبديل للبوليمرات المذكورة أعلاه فيما يتعلق بكاتيونات المعادن الثقيلة. أنظمة التغليف عبارة عن مزيج من البوليمرات الحساسة للحرارة (PTS) المترافقة مع الإلكتروليتات المتعددة (PolyE). أظهرت النتائج الأولية التي تم الحصول عليها بواسطة مطياف الامتصاص الذري (AAS) ارتفاع معدل إزالة الرصاص بنسبة 93%.

الكلمات المفتاحية : التلبد ؛ تجلط ؛ البوليمرات. إزالة المعادن الثقيلة

Abstract

The objective of the first part of this work consists of a structural identification, through physicochemical characterization, of polymers with coagulation-flocculation power used in Naphthal refineries for the treatment of waste water.

The systematic study of the two systems classified as polyelectrolytes (one of polycationic nature and the second of polyanionic nature) made it possible to mainly locate the amphiphilicity, the surface activity and the texture of these materials. These results will make it possible to find substitutes that already exist on the market at a lower price and for multiple uses.

The main objective of the second part of this study is to evaluate the sequestration power of water-soluble polymers proposed as substitutes for the above-mentioned polymers with respect to heavy metal cations. These systems are a combination of thermosensitive polymers (PTS) conjugated to polyelectrolytes (PolyE). Preliminary results obtained by atomic absorption spectroscopy (AAS) showed a high Pb removal power about 93%.

Keywords: Flocculation; coagulation; polymers; Removal of heavy metals

Résumé

L'objectif de la première partie de ce travail consiste à une identification structurale, par une caractérisation physico-chimique, des polymères à pouvoir de coagulation-floculation utilisés dans les raffineries de Naphtal pour le traitement des eaux de rejets. L'étude systématique des deux systèmes classés en tant que polyelectrolytes (l'un de nature polycationique et le second de nature polyanionique) a permis de situer principalement l'amphiphilie, l'activité superficielle et la texture de ces matériaux. Ces résultats permettront de leur trouver des substituants déjà existant sur le marché à moindre prix et à usage multiple.

Le principal objectif de la seconde partie de cette étude est d'évaluer le pouvoir de séquestration de polymères hydrosolubles proposés comme substituants aux polymères sus-cités vis-à-vis de cations métalliques lourds. Les systèmes d'encapsulation sont une combinaison de polymères thermosensibles (PTS) conjugués à des polyélectrolytes (PolyE). Les résultats préliminaires séduits par spectroscope à absorption atomique (SAA) ont montré un taux élevé d'élimination du Pb à raison de 93 %.

Mots clés : Floculation ; coagulation ; polymères ; Elimination de métaux lourds

Remerciements

En préambule de ce mémoire, nous remercions ALLAH le tout puissant, qui nous a aidé et donné la patience et le courage durant toutes ces longues années d'étude.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de ces inoubliables années universitaires.

Nous tenons à témoigner toute notre reconnaissance à notre promoteur,

Mr. FETTAKA MOHAMED.

Nous exprimons notre gratitude à Pr. BESSENASSE

Nous remercions spécialement M. RACHIDA, pour l'aide et l'assistance qui nous a procuré tout au long de la période de notre stage.

Nous remercions également toute l'équipe de la section ETP de SONATRACH pour leur accueil et leur gentillesse.

Que le président et les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail trouveront ici l'expression de notre parfaite considération.

Enfin, nous ne pouvons oublier nos chers parents pour tout ce qui ont fait pour nous.

Leurs soutiens permanents et constants ainsi que leurs encouragements nous a été très utiles durant toutes ces longues années d'études.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*À ma merveilleuse maman **NAIMA**, source infinie d'amour et de soutien, les mots me manquent pour exprimer toute ma gratitude pour tout ce que tu as fait pour mon bonheur et ma réussite, Tu es ma lumière, ma source de force et d'amour infini.*

*À mon cher papa **RAMDHAN**, tu es ma force inébranlable, mon guide et mon modèle, Je suis reconnaissant pour tout ce que tu fais pour moi, tu es un véritable héros à mes yeux.*

*À mon grand-père **Mohammed**, ma source d'inspiration, et à ma grand-mère **Fahima**, la plus douce des grands-mères. Vos présences sont des rayons de soleil dans ma vie.*

*À mes deux sœurs **SARAH** et **AMINA**, ainsi qu'à mon frère **ABDELLAH** votre présence illumine mon quotidien. Votre amour et votre soutien sont un cadeau précieux. Merci d'être les piliers de ma vie.*

*À tout ma famille surtout **NESRINE**, **AMINA** et **NOUNOU** et à ma cousine **Meriem** et la boule de Sucre **Marame**.*

*À ma merveilleuse copine **Ihsane**, que chaque jour soit une nouvelle page de notre belle histoire d'amitié.*

*À ma binôme **Nermine**, ta gentillesse illumine nos journées et notre complicité rend chaque moment partagé inoubliable. Ensemble, nous formons une équipe imbattable.*

À tous mes amis et camarades d'université, je n'oublierai jamais nos beaux moments ensemble.

Hadil

Dédicace

*Je dédié ce modeste travail avec un grand
amour et fierté*

*A maman chérie **Anissa**, ma raison de vivre, je
suis éternellement reconnaissant pour tout
l'amour le soutien les sacrifices que vous avez
consentis pour moi*

*à mon support dans la vie, qui m'a appris et
dirigé vers la gloire mon père **Boudiaf***

*A toutes ma famille, à ma grande mère
A les meilleurs copines au monde **Maissa**,
Hadjer, Fati, Ithar merci d'être toujours à mes
côtés ,de m'avoir encouragé et de m'avoir
apporté une dose précieuse de joie et d'amitiés .*

*A la meilleure binôme **Hadil** je suis
reconnaisantes de t'avoir comme partenaire,
ton soutien, ton travail acharné ont rendu cette
aventure d'études encore plus mémorable.*

NERMINE

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Les différents types de polluants.....	05
Tableau I.2 : Entrée de la station de L’ETP.....	10
Tableau I.3 : Produits chimique utilisés.....	14
Tableau I.4 : Composition chimique d'une eau saumâtre.....	16
Tableau I.5 : Composition chimique de l'eau de mer.....	18
Tableau III.1 : Matériels utilisés.....	27
Tableau IV.1: Valeurs des pourcentages d'extraction du Pb.....	42

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Schéma général de principe de Coagulation-Floculation.....	11
Figure I.2 : Schéma général de principe de fonctionnement de L'ETP	14
Figure I.3 : Schéma général d'une installation de dessalement.....	21
Figure II .1 : Polymère à interactions spécifiques	23
Figure II .2 : Polymère avec sites réactifs pendants.....	23
Figure II.3 : Le phénomène de complexations des ions métalliques par les macromolécules	24
Figure II .4 : Structure moléculaire amphiphile de la cyclodextrine	25
Figure II .5 : La modification par greffage d'une molécule fonctionnelle sur une matrice polymère	25
Figure III .1 : Rhéomètre Anton paar.....	29
Figure III .2 : Un dispositif expérimental d'absorption atomique	30
Figure IV .1 : Spectres FTIR du PC (à droite) et d'un polyamide protoné rapporté dans littérature.....	33
Figure IV.2. : Spectres FTIR du poly anionique (à droite) et d'un poly carboxylate rapporté dans la littérature.....	33
Figure IV.3: Rhéogramme d'écoulement des deux polymères (Pan : poly anionique et Cat : poly cationique)	34
Figure IV.4 : Rhéogrammes d'écoulement superposés du Pan et du PCat.....	35
Figure IV.5 : Rhéogrammes en régime oscillatoire superposés du Pan et du PCat.....	36
Figure IV.6 : Courbes d'évolution du pH en fonction du volume de neutralisation du Pan (par HCl) et du PCat (par NaOH.....	36
Figure IV.7: Courbes d'évolution de la conductivité en fonction de concentration en polymère du PAN et du PCat.....	38
Figure IV.8 : Courbes d'évolution de la tension superficielle en fonction de la concentration en polymère du PAN et du PCaT	38
Figure IV.9 : Les différents aspects des solutions de PF/PE observés durant le chauffage.....	39
Figure IV.10 : Les différents aspects des solutions de PolyE observés durant le chauffage	41

Liste d'abréviations

ETP : Effluents treatments processes

MES : Matières en suspension

AAS : Spectroscopie d'absorption atomique

PE : Poly électrolyte

PF : Poly Flocculant

PAn : Poly anionique

PCat : Poly cationique

CAC : Concentration d'agrégation critique μ

CE : Conductivité électrique

DCI : Bassin pour récupérer le flux reçue

DBO : Demande biochimique en oxygène

HG : Huiles Graisses

Table des matières

RESUME	
REMERCIEMENTS	
DEDICACE	
LISTES DES FIGURES	
LISTES DES TABLEAUX	
LISTE ABREVIATION	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : LES EAUX USEES ET LES EAUX SAUMATRES	3
1. Généralités sur les eaux usées	3
1.1 Introduction :	3
1.2 Définitions :	3
1.3 Composition des eaux usées :	3
1.4 Origine des eaux usées :	3
1.4.1 Les eaux usées domestiques :	4
1.4.2 Les eaux usées industrielles :	4
1.5 La pollution des eaux usées :	5
1.6 Caractéristiques des eaux usées :	6
1.6.1 Paramètres physiques :	6
1.6.1.1 La température (T) :	6
1.6.1.2 Les matières en suspension (MES) :	6
1.6.1.3 La turbidité :	6
1.6.1.4 La couleur :	7
1.6.2 Les paramètres chimiques :	7
1.6.2.1 Les matières minérales :	7
1.6.2.2 Les matières décantables :	7
1.6.2.3 Le potentiel hydrogène (pH) :	7
1.6.2.4 La conductivité électrique (CE) :	7
2. Le traitement des eaux usées	8
2.1 Introduction :	8
2.2 Objectifs du traitement des eaux usées :	8
2.3 ETP (Unité de traitement des effluents) :	8
2.3.1 Flux reçus :	8
2.3.1.1 Eaux contaminées par les hydrocarbures :	8

2.3.1.2	Eaux non contaminées par les hydrocarbures :	9
2.3.2	Paramètres du design :	9
2.3.2.1	Entrée de la station de traitement des effluents	9
2.4	Le principe de fonctionnement de L'ETP	10
2.4.1	Traitement physique :	10
2.4.2	Traitement physico-chimique :	11
2.4.2.1	Coagulation- floculation :	11
2.4.2.2	Flottation (Unité DAF) :	13
2.4.3	Traitement biologique :	13
2.4.4	Filtrage du sable :	13
2.5	Produits chimique utilisés :	14
3.	Généralités sur les eaux saumâtres	15
3.1	Eaux salines :	15
3.1.1	Origine de la salinité :	15
3.1.2	Eaux saumâtres :	16
3.1.3	Eaux de mer :	17
3.2	Adéquation entre ressources et besoins en eau :	20
3.3	Dessalement en Algérie	20
CHAPITRE II : LES POLYMERES DANS LE TRAITEMENT DES EAUX		22
1.	La place des polymères dans le traitement des eaux usées et saumâtre	22
1.1	Introduction :	22
1.2	Les polymères, acteurs de la dépollution :	22
1.3	Mécanisme de fixation des contaminants :	24
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES		27
1.	Matériels utilisés :	27
1.1	Protocole de préparations d'un produit qui élimine les métaux lourds :	31
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION		32
1.	Résultats et discussion de l'identification :	32
1.1	Identification structurale par FTIR :	32
1.2	Caractérisation rhéologique des polymères :	35
1.3	Evaluation des points d'équivalence de la neutralisation du Pan et du PC :	37
1.4	Evaluation des concentrations d'agrégation par conductimétrie, tensiométrie et tribométrie :..	38
2	Résultats de comportement de PolyE/PolyF destiné au traitement de la saumure :	41
2.1	Résultats de comportement de PF/PE avec NaCl	41
2.2	Résultats d'absorption atomique :	42

CONCLUSION GENERALE	44
<i>Références bibliographiques</i>	45

INTRODUCTION GENERALE

Les substances d'origine chimique, de sources organique et inorganique n'ont cessé d'être émises dans l'environnement et sont devenues une menace pour l'équilibre des écosystèmes aquatiques et pour la santé humaine. Par conséquent la limitation de la pollution tout en respectant les normes internationales, sans cesse actualisées, doit être une stratégie adoptée par les industriels et les scientifiques du domaine de l'environnement pour la préservation de la planète.

En effet, la pollution des sols, de l'eau et de l'air est devenue un problème environnemental majeur dans le monde entier. Cette décennie, selon l'OMS, a enregistré une dégradation d'environ 30% des terres agricoles en raison de la pollution. Les principales sources de pollution étant liées à l'utilisation de pesticides et de fertilisants agricoles, aux déchets industriels et miniers, aux déversements de pétrole et d'autres hydrocarbures, aux métaux lourds, aux produits chimiques toxiques et enfin aux déchets plastiques.

Ces polluants entraînent des conséquences néfastes sur la santé humaine, la biodiversité et les écosystèmes. C'est la raison pour laquelle, beaucoup d'efforts sont produits pour prévenir les contaminations, mais également pour tenter d'amoinrir ces effets en cherchant activement des matériaux pour la dépollution des eaux usées.

Par conséquent, les procédés de traitement des eaux usées et de traitement des rejets doivent être sans cesse revus et améliorés pour traiter les effluents et éliminer les différents polluants. Ainsi, L'objectif principal de ce travail a été destiné à une contribution dans ce domaine dans le cadre de la recherche de procédés capables de palier ce fléau néfaste.

Ce travail est subdivisé en deux parties distinctes. La première est en rapport avec le procédé d'épuration des eaux éliminées au sein de la raffinerie ETP de Sidi- Arcine (Alger), ou il est question d'identification des matières premières de nature polymérique utilisée dans le traitement des eaux de raffinerie. Cette opération vise une meilleure compréhension de ces systèmes protégés par le secret industriel et leur éventuelle substitution par des matériaux considérés comme étant plus respectueux de l'environnement. Alors que la seconde partie concerne le développement de matériaux à base de polymères respectueux de l'environnement pour dépolluer les saumures déversées au niveau des stations de dessalement.

Dans ce manuscrit, le premier chapitre de la partie I constitue une étude bibliographique qui présente les différentes pollutions existant dans le monde des eaux à savoir : les eaux usées et les eaux saumâtres.

Le deuxième chapitre présente l'intérêt grandissant des systèmes polymères à encapsulation dans l'épuration des eaux à travers l'élimination des métaux lourds ou des contaminants organiques.

La seconde partie est réservée à la partie expérimentale où la présentation du matériel et les techniques expérimentales appliquées sont développées avant de laisser place aux résultats et discussions.

CHAPITRE I : LES EAUX USEES ET LES EAUX SAUMATRES

1. Généralités sur les eaux usées

1.1 Introduction

L'eau est une ressource essentielle pour toutes les formes de vie sur la planète, et la gestion des eaux, est essentielle pour la vie de tous les organismes, notamment pour la gestion des ressources naturelles [1].

1.2 Définitions

L'eau usée non traitée désigne des eaux d'égout qui n'ont pas subi de transformation physique ou chimique visant à enlever les déchets solides et les contaminants. Ces eaux peuvent causer des problèmes de pollution comme la propagation de produits chimiques toxiques, de bactéries porteuses de maladies et la prolifération d'algues [2].

1.3 Composition des eaux usées

Les eaux usées sont théoriquement composées de 99% d'eau et de 1% de matières en suspension colloïdales et dissoutes. Bien que la composition exacte des eaux usées varie naturellement entre différentes sources et au fil du temps, l'eau demeure de loin son constituant principal [3].

Les eaux usées issues d'activités industrielles et minières ainsi que de la gestion des déchets solides (par exemple le lixiviat des sites de décharge), peuvent également contenir des composés organiques toxiques tels que les hydrocarbures, [3].

1.4 Origine des eaux usées

Selon l'origine des eaux usées, deux grandes catégories sont distinguées :

- Les eaux usées domestiques
- Les eaux usées industrielles

1.4.1 Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont, essentiellement, porteuses de pollution organique :

- Eaux ménagères (salles de bains et cuisines) : elles sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques...
- Eaux-vannes (rejets des toilettes) : elles sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux [4].

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- a) De 70 à 90 grammes de matières en suspension
- b) De 60 à 70 grammes de matières organiques
- c) De 15 à 17 grammes de matières azotées
- d) 4 grammes de phosphore
- e) plusieurs milliards de germes pour 100 ml [5].

1.4.2 Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxiques pour la vie aquatique, ou pour l'homme [6].

On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés...)
- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...)
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...)

- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques...);
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires...) [7].

1.5 La pollution des eaux usées

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques; elle compromet les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu naturel.

Ce tableau représente les différents types de polluants :

Tableau I.1: Les différents types de polluants.

Type de pollution	La nature	La source
Thermique	Rejet d'eau chaude	Central électrique
Radioactive	Radio-isotope	Installation nucléaire
Fertilisants	Nitrates, phosphates	Agriculture, lessives
Métaux	Hg, Cd, Al, Ca, As	Industries, agriculture, Combustion
Pesticides	Insecticides, herbicides	Industrie
Détersifs	Agent tensio-actifs	Effluent domestique
Hydrocarbures	Pétrole brut et dérivés	Industrie pétrolière
Organiques	Glucides, protides	Effluent domestique
Fermentescibles	, lipides	Agricoles

1.6 Caractéristiques des eaux usées

L'évaluation globale de la qualité d'une eau usée s'appuie sur les paramètres suivants :

1.6.1 Paramètres physiques

1.6.1.1 La température (T)

C'est un paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré, surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau.

Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration notamment les dégraisseurs, est sensible à des températures trop élevées ; ainsi la température dans tout le rejet doit être inférieure à 30°C [8].

Une température supérieure à 15°C favorise également le développement des micro-organismes [9].

1.6.1.2 Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension peuvent être d'origine minérale à savoir sable, limon, argile, etc., ou organique représentée par les produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple. A ces composés s'ajoutent les microorganismes tels que les bactéries, les planctons, les algues et les virus. Ces substances sont responsables en particulier de la turbidité et de la couleur [10].

1.6.1.3 La turbidité

La turbidité de l'eau est due à la présence de matériaux solides en suspension qui réduisent sa transparence. Elle peut être également provoquée par la présence d'algues, de plancton, de matière organique et plein d'autres substances comme le zinc, le fer, le manganèse et le sable, résultant du processus naturel d'érosion ou de rejets domestiques et industriels.

Elle représente un indicateur sanitaire et une norme organoleptique de l'eau de consommation humaine [11].

- NTU < 5 => eau claire.
- NTU < 30 => eau légèrement trouble
- NTU > 50 => Eau trouble

1.6.1.4 La couleur

La couleur de l'eau provient de matières organiques, comme par exemple les substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colorés. [11].

1.6.2 Les paramètres chimiques

1.6.2.1 Les matières minérales

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est à dire « extrait sec », constitue à la fois par les matières minérales en suspension et les matières solubles (chlorures, phosphates, etc.) [8].

1.6.2.2 Les matières décantables

Elles sont composées des matières en suspension qui sédiment en deux heures dans une éprouvette [8].

1.6.2.3 Le potentiel hydrogène (pH)

Le terme pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Dans l'eau, ce facteur est d'une importance exceptionnelle, en particulier dans les procédés de traitement.

Dans les laboratoires de routine des usines de traitement, il est mesuré et ajusté si nécessaire pour améliorer la coagulation/ floculation ainsi que pour contrôler la désinfection de l'eau, la valeur du pH allant de 0 à 14. En dessous de 7 l'eau est considérée comme acide et au-dessus de 7 comme alcaline. L'eau au pH de 7 est neutre [11].

1.6.2.4 La conductivité électrique (CE)

Se mesuré selon la norme française à l'aide d'une électrode spécifique (conductimètre) elle s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou ms/cm , elle permet de définir le caractère minéral dessous du milieu.

La mesure de la conductivité au cours d'un procédé de traitement peut notamment permettre de suivre la minéralisation de l'effluent [12].

2. Le traitement des eaux usées

2.1 Introduction

Le traitement des eaux usées est une procédure utilisée pour éliminer les substances polluantes présentes dans les eaux usées. Ce processus se compose de différentes étapes, chacune ayant pour but de cibler et réduire des polluants spécifiques. Dans ce chapitre, nous allons explorer chaque méthode et son objectif respectif.

2.2 Objectifs du traitement des eaux usées

L'assainissement, également connu sous le nom de dépollution, joue un rôle essentiel dans la préservation de la qualité de vie en éliminant la pollution des eaux usées avant leur retour dans l'environnement naturel. Les services d'assainissement ont une contribution significative en termes de protection sanitaire des populations. Grâce au traitement des eaux usées, les rivières ne se transforment pas en égouts et les eaux de baignade sont protégées contre la présence de virus ou de bactéries pouvant propager des maladies.

De plus, l'assainissement contribue à maintenir la qualité de l'environnement et des activités liées à l'eau, telles que le tourisme, la pisciculture, l'agriculture et l'industrie, qui dépendent de l'eau pour leur développement.

2.3 ETP (Unité de traitement des effluents)

L'objectif de cette unité au sein de la raffinerie d'Alger est de traiter toutes les eaux usées résultant de l'exploitation de la raffinerie. Les eaux usées sont collectées et traitées dans la nouvelle station de traitement des effluents (ETP). Les eaux usées passent par trois étapes principales : Traitement physique, chimique et biologique.

2.3.1 Flux reçus

2.3.1.1 Eaux contaminées par les hydrocarbures

Les effluents potentiellement pollués par des hydrocarbures, comme les effluents de vidange, de drainage et d'égouttage, les eaux de pluie et l'eau anti-incendie récupérées sur les surfaces en dur des aires de procédés.

- Les effluents des procédés pollués par des hydrocarbures.
- Eau issue de dessalage (de l'unité de distillation).
- L'eau de purge des bacs de stockage de pétrole brut et des produits pétroliers et de vidange.
- Les effluents des procédés divers et des drains de navires.

2.3.1.2 Eaux non contaminées par les hydrocarbures

Ces effluents sont considérés comme propres et envoyés sans traitement au bassin d'observation avant leur décharge dans l'égout gravitaire hors de la limite de zone.

- Les purges des chaudières.
- Les purges des tours de refroidissement.
- Les eaux usées de régénération de l'unité de déminéralisation.
- L'eau non contaminée d'égout gravitaire de la raffinerie.

2.3.2 Paramètres du design

- Pour collecter jusqu'à 14 400 m³ par jour, ce qui correspond à la plus grosse quantité d'eau de pluie pouvant être générée en 24 heures.
- Pour collecter jusqu'à 3600 m³/h, ce qui correspond au débit maximum par pluie.
- Pour traiter un débit moyen de 200 m³/h par temps sec et jusqu'à 600 m³/h par temps humide.
- L'unité de traitement biologique peut être opérée en continu à 400 m³/h.

2.3.2.1 Entrée de la station de traitement des effluents

Comprend l'eau de drainage et les effluents des unités de traitement.

Tableau I.2 : Entrée de la station de L'ETP

Unité		Temps sec	Temps humide
Débit – moyenne horaire	m ³ /h	200	600
Débit – maximum horaire	m ³ /h	900	3600
Débit – maximum journalier	m ³ /h	4800	14400
Température maximale	°C	30 – 32	30
DCO	mg/l	660	220
DBO5	mg/l	315	105
Sulfures	mg/l	5 – 50	2 – 17
N-NH3	mg/l	10 – 50	4 – 17
Phénols	mg/l	< 10	< 10
Cyanures	mg/l	1 – 2 (à ajout.)	0,3 – 0,5
Hydrocarbures - libres	mg/l	600	200 – 600
Hydrocarbures – émulsionnés	mg/l	400	133 – 400
Hydrocarbures – total	mg/l	1000	333 – 1000
SDT	mg/l	2000 – 2500	2000 – 2500
STS	mg/l	400	133– 400
pH		6 – 9	6– 9

2.4 Le principe de fonctionnement de L'ETP

Après la réception du flux reçus dans le DCI, celle-ci procède à un traitement constitué de plusieurs principales lignes de flux opérationnels suivantes :

2.4.1 Traitement physique

Prétraitement par décantation

Le principe de fonctionnement des bassins de décantation réside dans la différence de masse volumique des matières huileuses et de l'eau.

Elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue.

Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement.

L'eau récoltée en surface est dite clarifiée et dirigée vers un autre stade d'épuration [13].

2.4.2 Traitement physico-chimique

Le traitement physico-chimique a pour objectif d'agglomérer les fines particules ainsi que certains polluants solubles, ayant des difficultés à décanter naturellement ou qui ne décantent pas, en précipités ou en solides stables appelés "flocs" avant leur passage sur un séparateur de type décanteur ou flotteur à air dissous DAF.

2.4.2.1 Coagulation- floculation

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules colloïdales grâce à leur déstabilisation puis formation de flocs par absorption et agrégation. [11]

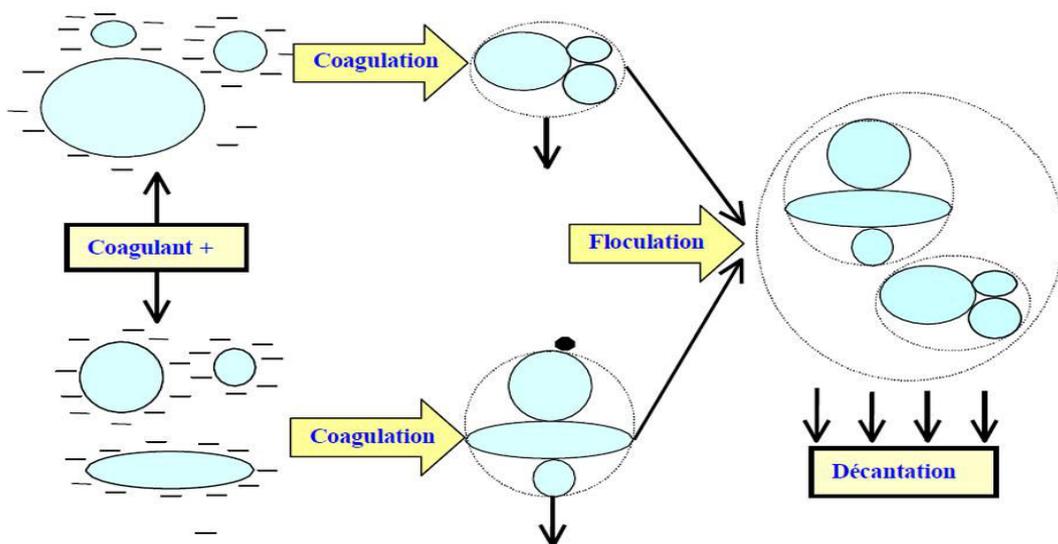


Figure I.1: Représente un schéma général de principe de Coagulation-Floculation.

✓ **Coagulation**

La théorie de la coagulation fait intervenir le phénomène de neutralisation électrique des impuretés chargées négativement par les ions formés à partir de sels métalliques solubles, lorsque le pH du milieu aqueux est suffisamment basique. Pour obtenir une bonne coagulation, il est nécessaire 'effectuer une série de tests sur l'eau à traiter pour déterminer :

- La valeur optimale du pH
- Le coagulant le mieux adapté
- La quantité optimale de coagulant
- Le temps optimal de coagulation
- Le temps de séparation des particules coagulées

Les particules polluantes agglomérées sous forme de boue s'accumulent au fond du clarificateur d'où elles seront prélevées mécaniquement, déshydratées et soit incinérées soit envoyées à la décharge de la raffinerie [13].

✓ **Floculation**

La floculation est le processus de grossissement et d'uniformisation des petits flocons formés lors de l'introduction du coagulant.

Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, pour accroître leur volume, leur masse et leur cohésion.

Une bonne floculation est favorisée par [15] :

- Une parfaite coagulation préalable
- Une augmentation de la quantité du floc dans l'eau
- Un brassage homogène et lent pour tout le volume d'eau
- L'emploi de certains floculats ou adjuvants de coagulation

2.4.2.2 Flottation (Unité DAF)

Les systèmes FAD sont conçus pour éliminer les matières en suspension totale (METS), la demande biochimique en oxygène (DBO) et les huiles et graisses (HG) du flux des eaux usées.

L'eau acheminée vers l'unité de flottation par air dissous (DAF) Subit des étapes de mélange rapide (coagulation)/floculation par l'emploi du chlorure ferrique.

La floculation est réalisée avec un produit poly électrolyte. La saturation est réalisée avec de l'air pris dans le réseau d'air comprimé [14].

2.4.3 Traitement biologique

L'effluent déshuilé des réservoirs de DCI et d'eau de pluie qui est pompé vers le réservoir d'égalisation et qui a traversé les unités DAF passe par le séparateur de flux vers le traitement biologique. Celui-ci qui est basé sur le procédé classique de boues activées à faible charge conçu pour l'élimination de la DCO et la DBO. Dans de telles conditions, presque tout l'azote présent dans les eaux usées sera utilisé pour la croissance bactérienne permettent une décharge spécifique sans nécessiter de traitement supplémentaire telle que là nitrification/dénitrification [14].

2.4.4 Filtrage du sable

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation des filtres et du type de matériau utilisé.

L'espace inter granulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate et les pertes de charge augmentent fortement. Dans ces conditions, Il faut alors déclencher le rétro lavage [15].

2.5 Produits chimique utilisés

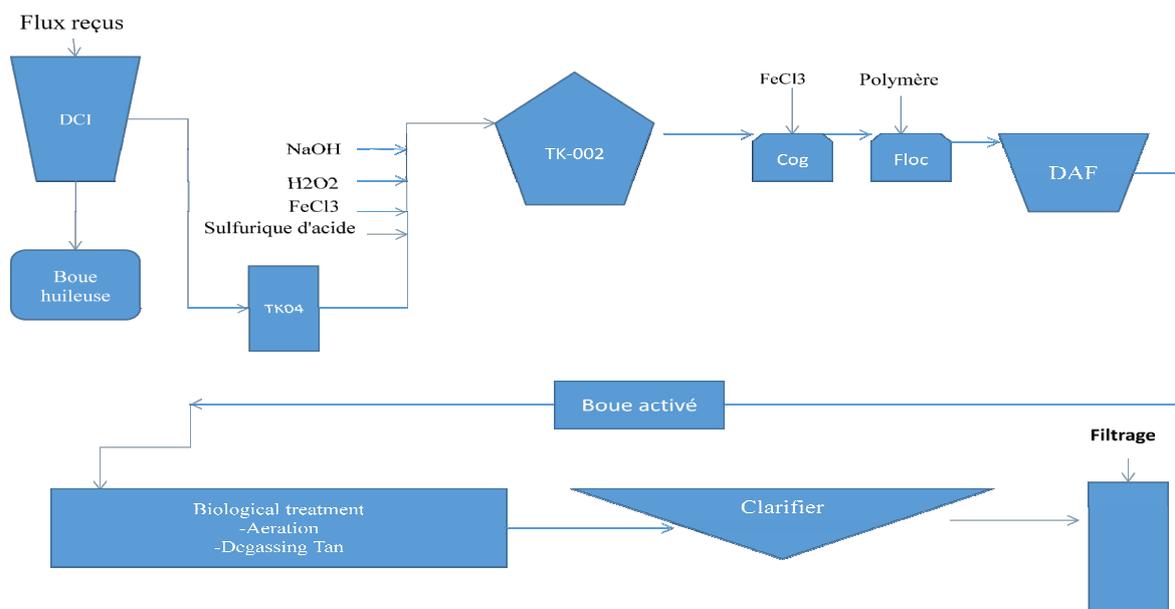
Le tableau suivant résume les injections des produits chimiques utilisées dans le procédé de traitement dans chaque section :

Tableau I.3 : Produits chimique utilisés

Section	Produit	Rôle
Réception	<ul style="list-style-type: none"> • H_2O_2 • Soude caustique • H_2SO_4 • $FeCl_3$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxydant disulfure • Régulateur du pH • Régulateur du pH • Catalyseur
Physico chimique	<ul style="list-style-type: none"> • $FeCl_3$ • Polymère anionique 	<ul style="list-style-type: none"> • Coagulant • Floculant
Biologique	<ul style="list-style-type: none"> • Urée • Acide phosphorique • Polymère cationique 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutriment pour la bactérie • Nutriment pour la bactérie • Déshydratation des boues

Traitement physique

Traitement physico-chimique



Traitement biologique

Filtrage du sable

Figure I.2 : Représente un schéma général de principe de fonctionnement de L'ETP.

3. Généralités sur les eaux saumâtres

3.1 Eaux salines

3.1.1 Origine de la salinité

Les premières théories scientifiques sur l'origine du sel de la mer sont de Edmond Halley qui proposa en 1715 que le sel et les autres minéraux y sont amenés par les rivières : l'écoulement de l'eau en surface (eau de pluie) et dans les rivières arrache des ions par dissolution des roches. Les eaux douces souterraines et de surface sont donc très légèrement salées à cause de ces ions; ces ions sont entraînés jusqu'à l'océan, ou ils restent, tandis que, l'évaporation entraîne leur concentration [16].

Le sodium a été arraché au plancher océanique lors de la formation initiale des océans.

La présence de l'autre ion dominant du sel, l'ion chlorure, provient du «dégazage du chlorure d'hydrogène (sous la forme d'acide chlorhydrique) ainsi que d'autres gaz de l'intérieur de la Terre, via les volcans et les monts hydrothermaux. Les ions sodium et chlorure sont ensuite devenus les constituants majeurs du sel des mers.

La salinité moyenne des océans est stable depuis plusieurs milliards d'années, le plus probablement grâce à un processus tectonique et chimique qui enlève autant de sel qu'il en arrive par les rivières. Les ions chlorure et sodium sont ainsi enlevés par les dépôts d'évaporite (les roches salines), la grésification (le dépôt de sels dans l'eau interstitielle) et les réactions chimiques avec le basalte des fonds marins [16].

Depuis la création des océans, le sodium n'est plus arraché au fond des océans, mais capturé dans les couches de sédiments couvrant les fonds marins. D'autres théories affirment que la tectonique des plaques entraîne une partie du sel sous les masses continentales, où il remonte lentement à la surface [16].

3.1.2 Eaux saumâtres

Les eaux saumâtres ont comme caractéristique une salinité de 1 à 10 g /L. Parfois, même les eaux de surface, le plus souvent souterraines, sont chargées en sels dissous qui proviennent des sols traversés [17].

La composition chimique des eaux saumâtres varie donc en fonction de la nature des sols traversés; de leur vitesse de circulation et du temps de contact. Étant moins concentrées en sels que l'eau de mer, l'utilisation des eaux saumâtres à des fins domestiques est plus avantageuse. Il y a lieu de signaler que leur composition chimique varie selon la région et la saison. Le Tableau I.4 donne un exemple de la composition chimique des eaux saumâtres.

Les variations de la composition chimique dépendent de plusieurs paramètres, l'eau qui pénètre dans le sol dissout les sels qui composent l'écorce terrestre. Les principaux sels qui peuvent être dissous en assez grande quantité sont le CaCO₃ et le NaCl. Indépendamment de la composition chimique et de la structure physique des roches, autres facteurs interviennent également parmi les quelles nous citons:

- Les matières déjà dissoutes (la solubilité varie avec la force ionique), ainsi les eaux chlorurées et gypseuses. Ces dernières peuvent contenir en solution des quantités de sulfate de calcium supérieures à la solubilité de sulfate de calcium dans l'eau pure.

Le phénomène d'évaporation, ce paramètre est principalement lié non seulement aux conditions chimiques mais aussi à la profondeur des nappes souterraines [18].

Tableau I.4 : Composition chimique d'une eau saumâtre [19]

Paramètre	Unité	Concentration
Conductivité	μS.cm	2640
Ca ⁺⁺	mg/L	262,65
Mg ⁺⁺	mg/L	52,14
Na ⁺	mg/L	189
K ⁺	mg/L	2,37

Cl	mg/L	308,19
SO ₄ ²⁻	mg/L	508,07
HCO ₃ ⁻	mg/L	428,2
TH	°F	87,4
Turbidité	NTU	2,43
pH	-	7,14
TAC	°F	35,1
NH ₄ ⁺	mg/L	0,34
NO ₃ ⁻	mg/L	0,05
PO ₄ ⁻	mg/L	<0,09

3.1.3 Eaux de mer

a) Composition de l'eau de mer

La composition varie d'une saison à une autre et d'une région à une autre. D'une façon générale elle possède la composition suivante:

✓**Salinité:** La salinité de l'eau de mer change, d'une eau à une autre, selon sa situation géographique. Elle est exprimée en g.L¹, les salinités les plus basses se concentrent au voisinage des deux pôles: elles augmentent au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'Équateur [20].

La salinité des mers ouvertes, telles que les océans, est de l'ordre de 35 g.L¹, elle est considérée comme une salinité standard. La salinité peut être différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques [21]:

- Mer Morte 270 g.L. Mer Méditerranée 36 à 39 g.L¹, Mer Rouge environ 40 g. L.
- Mer Baltique 7 g.L¹, Mer Caspienne 13 g.L¹, Mer Noire 20 g.L¹

Le Tableau I.5 présente la composition chimique de l'eau de mer. En dehors du chlorure de sodium qui représente 85% de la salinité totale, s'ajoute des ions bicarbonate, sulfate et calcium.

Ces ions sont des sources potentielles d'entartrage qui est lié aux conditions de température, de concentration et du pH [22].

Tableau I.5 : Composition chimique de l'eau de mer [22]

Elément	Eau de mer standard	Eau méditerranéenne
Salinité	35000	38000
Sodium	11049	13200
Magnésium	1318	1440
Calcium	422	428
Potassium	408	480
Sulfate	2750	18670
Chlorure	19497	19250
Bicarbonate	108	157
Nitrite	0,002	0,008
Bromure	67	58
Fluore	1,3	0,9
Iode	0,06	0,08
Plomb	<0,001	<0,001
pH	7,5-8,5	7,5-8,5

✓ **Matière organique:** Elle est responsable de la coloration des eaux. Elle est constituée d'un ensemble complexe et hétérogène de structures organiques, des masses moléculaires et de groupements chimiques différents. Ces matières sont d'origine animale ou végétale. L'eau de mer peut contenir des cellules, des œufs ainsi que des organismes animaux vivants et des substances végétales [23].

✓ **Métaux lourds:** dans les écosystèmes aquatiques naturels, les métaux lourds sont de concentration faible généralement de l'ordre du nanogramme ou du microgramme par litre. Ils se trouvent dans les sédiments ou en suspension sous une forme complexe. Les métaux lourds entrant dans la composition de l'eau de mer sont : Mercure, Cadmium, Plomb, Argent, Zinc. Le taux de toxicité dépend de la forme chimique dans laquelle ils se trouvent. Ils ne se sont pas dégradables par les bactéries [18].

b) Caractéristiques physicochimiques de l'eau de mer

L'eau de mer possède plusieurs caractéristiques physicochimiques qui peuvent se résumer de la manière suivante:

✓**pH:** La variation du pH peut être due à une modification de la concentration des formes ionisées ou non ionisées. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physicochimiques et dépend des facteurs multiples dont l'origine de l'eau. Le pH moyen de l'eau de mer varie entre 7,5 et 8,4.

✓**Température:** elle constitue d'un paramètre très important qui influence la composition des eaux marines. Le domaine des températures océaniques s'étend de -20°C (température de congélation des eaux de mer) à plus de 30°C . La température moyenne de l'océan est de 4°C , alors que celle des eaux profondes de la Méditerranée est de l'ordre de 13°C . La température de l'eau de mer peut varier de quelques degrés sur les côtes. Sous l'influence des courants polaires, elle peut atteindre jusqu'à 35°C autour de la Péninsule Arabique [21].

✓**Conductivité:** La masse totale des sels dissous dans 1 Kg d'eau de mer varie d'une eau à une autre. La conductivité étant une grandeur directement mesurée au même titre que la température, la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouve sous forme d'ions chargés électroniquement. La mesure de la conductivité permet donc d'estimer la quantité des sels dissous dans l'eau. La conductivité varie avec la température de l'eau: elle est plus importante lorsque la température est élevée [22]

✓**Turbidité:** elle est définie comme étant l'aspect trouble de l'eau; c'est le contraire de la limpidité. La turbidité de l'eau provient de la combinaison de diverses matières en suspension telles que l'argile, la matière organique et inorganique en fines particules. L'eau de mer est un milieu vivant qui véhicule d'une part des matières minérales et d'autre part des organismes vivants. La turbidité de l'eau de mer varie de 2 à 25 NTU [20].

3.2 Adéquation entre ressources et besoins en eau

Les ressources en eaux renouvelables offertes par la nature peuvent être estimées à partir des flux du cycle de l'eau et plus particulièrement des flux de circulation des eaux continentales aux environs de 40 000 Km/an. Compte tenu de la population actuelle de la planète qui est d'environ 6 milliards d'habitants [24].

En fait, les problèmes actuels et futurs sont multiples:

- La population de la planète ne cesse d'augmenter, alors que la ressource reste constante.
- Dans certains cas, cette ressource diminue par suite des problèmes de pollution.

Ce problème des pénuries d'eau pour l'ensemble des pays de la Méditerranée méridionale et aussi orientale est déjà préoccupant et ne fera que s'aggraver dans les prochaines décennies. Si l'on considère les seuils de consommation admis officiels, ils se situent au dessus de 1700 m³/an/habitant en situation d'abondance. Au-dessous de 1700 m³ surviennent des crises périodiques; au-dessous de 1000 m³, les pénuries deviennent chroniques et au-dessous de 500 m³, il s'agit de pénurie absolue. Or en 2025, cinq Etats du Sud et à l'Est de la Méditerranée devraient connaître une telle pénurie.

Il faudra donc d'ici là, trouver d'autres ressources en eau: dessalement, épuration des eaux usées... etc. [24]

3.3 Dessalement en Algérie

L'Algérie est un pays qui possède des ressources hydriques limitées pour des raisons climatiques capricieuses, caractérisées par une pluviométrie irrégulière oscillant entre 100 et 600 mm/an et enregistrant un déficit hydrique estimé à 20% durant les cinq dernières années. Ces faits sont aggravés par une période exceptionnelle de sécheresse qui dure depuis une vingtaine d'années. La mobilisation des ressources en eau depuis l'indépendance a été axée en premier lieu sur les ressources souterraines.

L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que les besoins incompressibles de la population ont amené les pouvoirs publics à mobiliser de plus en plus de ressources superficielles [32]. Mais la mobilisation des eaux souterraines au nord du pays a atteint son seuil maximal, d'où une surexploitation des nappes superficielles et la détérioration de la qualité de l'eau notamment dans l'ouest du pays. Le recours au dessalement

d'eau de mer devient alors indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable dans cette région.

Pour assurer une alimentation pérenne en eau potable, l'Algérie a choisi de se tourner résolument vers la mer. Ce faisant, notre pays entend profiter au maximum de l'expérience déjà acquise dans d'autres pays sachant que, dans le cas algérien, le dessalement réduit de manière pérenne les pénuries car plus de la moitié de la population réside sur la bande littorale longue de 1200 Km, théâtre, par ailleurs, d'un déficit chronique en eau potable. En vertu d'une réforme institutionnelle engagée en 2001, l'Algérienne des Eaux (ADE) a amorcé la réalisation d'une série de 21 petites unités de dessalement de 2500 m².j chacune, totalisant une production de 57500 m³.j¹ [24].

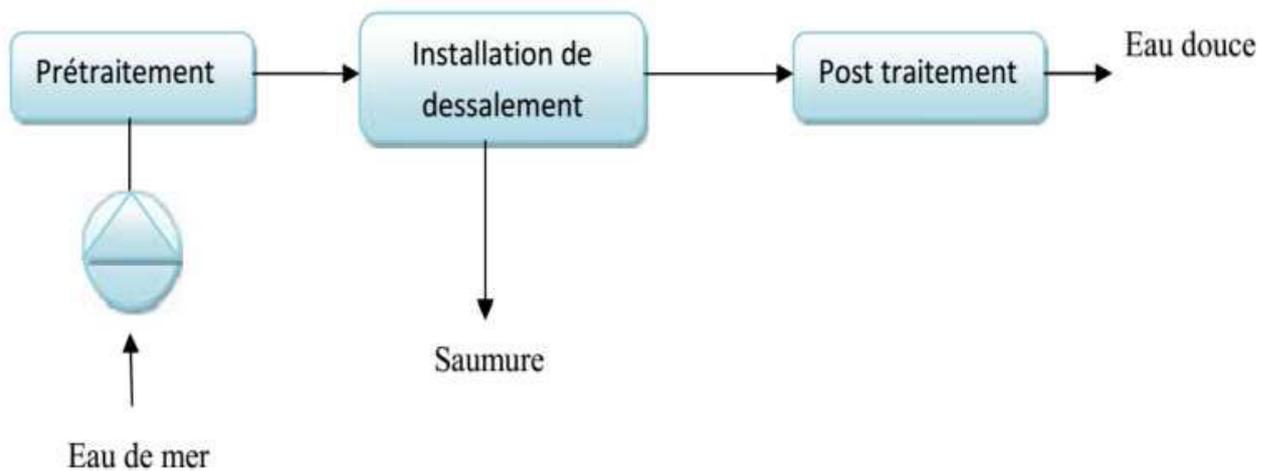


Figure I.3 : Représente un schéma général d'une installation de dessalement

CHAPITRE II : LES POLYMERES DANS LE TRAITEMENT DES EAUX

1. La place des polymères dans le traitement des eaux usées et saumâtre

1.1 Introduction

Les polymères jouent un rôle crucial dans le traitement des eaux usées et saumâtres, offrant des solutions efficaces et respectueuses de l'environnement. Ils peuvent être utilisés dans un processus de coagulation et floculation pour éliminer les matières en suspension afin d'améliorer la qualité de l'eau [25].

Les polymères naturels, comme les amidons et les polysaccharides apparentés, sont de plus en plus prisés pour leur innocuité et offrant ainsi une possibilité de substitution des polymères synthétiques [26].

Dans le traitement des boues résiduaires, les polymères organiques sont essentiels pour la floculation, permettant une séparation efficace du liquide et des solides dans les stations d'épuration [27].

En résumé, les polymères occupent une place centrale dans le traitement des eaux usées et saumâtres, offrant des solutions innovantes et respectueuses de l'environnement pour la purification de l'eau [28].

1.2 Les polymères, acteurs de la dépollution

Beaucoup ciblés comme responsable de la pollution, les matériaux polymères, les plastiques, sont pourtant une solution majeure pour développer des méthodes de dépollution encore efficaces et sécurisée.

Les matériaux polymères peuvent être de simples barrières physiques à la pollution (membrane, filtres particuliers) mais aussi des matières actives pour la décontamination. Les polymères fonctionnels sont des matériaux synthétiques ou naturels qui contiennent des fonctions spécifiques, tels que des groupes chimiques réactifs ou des sites de liaisons spécifiques.

Ces groupes fonctionnels permettent aux polymères de se lier et d'interagir avec différents polluants présents dans les sols, l'air ou les eaux.

Ils présentent des groupements chimiques spécifiques, dans leur chaîne ou en greffons (latéraux) :

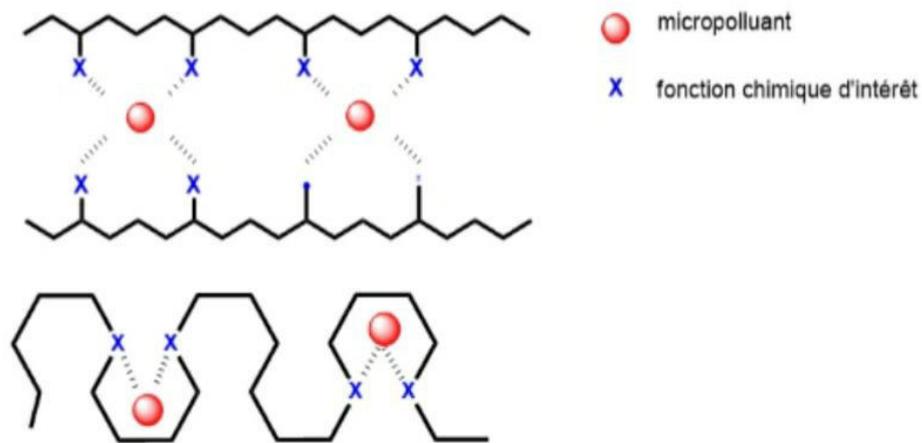


Figure II .1 : Représente un polymère à interactions spécifiques [29].

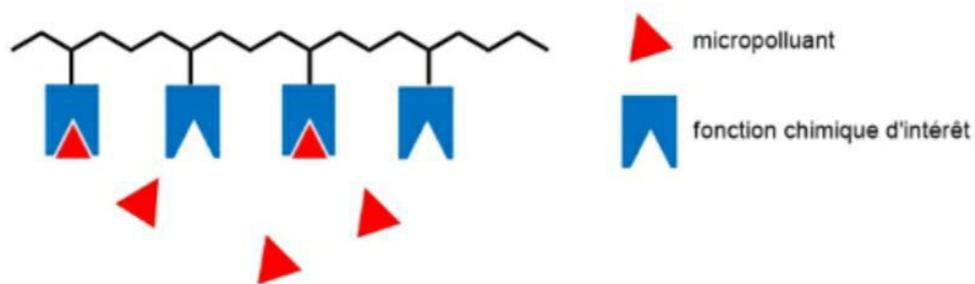


Figure II .2 : Représente un polymère avec sites réactifs pendants [29].

Le choix des polymères à cette fin doit se faire sur la base de leur fonctionnalité vis-à-vis de l'élimination des contaminants tels que les hydrocarbures, les métaux lourds ou les produits chimiques toxiques.

Les polymères peuvent être appliqués sur les sols contaminés sous forme de gels, de films minces ou de particules, formant ainsi une barrière physique ou chimique qui empêche la migration des polluants ou favorise leur extraction de la phase ciblée. Certains polymères fonctionnels ont également la capacité d'adsorber ou de séquestrer les polluants, les rendant ainsi moins disponibles et toxiques pour l'environnement.

En ce qui concerne la dépollution des eaux, les polymères fonctionnels peuvent être utilisés dans des processus de traitement des eaux usées pour éliminer les polluants tels que les métaux lourds, les colorants, les produits pharmaceutiques ou les substances organiques. Ils peuvent agir comme des agents de coagulation ou de floculation, aidant à regrouper les polluants en particules plus grosses qui peuvent être facilement éliminées par filtration ou décantation. Ils peuvent également être utilisés comme adsorbants pour extraire les polluants des eaux contaminées [29].

1.3 Mécanisme de fixation des contaminants

Il existe une multitude de groupements fonctionnels capables de complexer et donc de retirer une substance de l'eau. Ils possèdent pour la plupart des hétéroatomes qui interagissent par des liaisons faibles avec les composés à capturer.

C'est ce phénomène de complexations qui permet la captation d'agents contaminants dans les eaux usées. Il est réversible et dépendra de plusieurs facteurs et notamment de la concentration des contaminants dans l'eau.

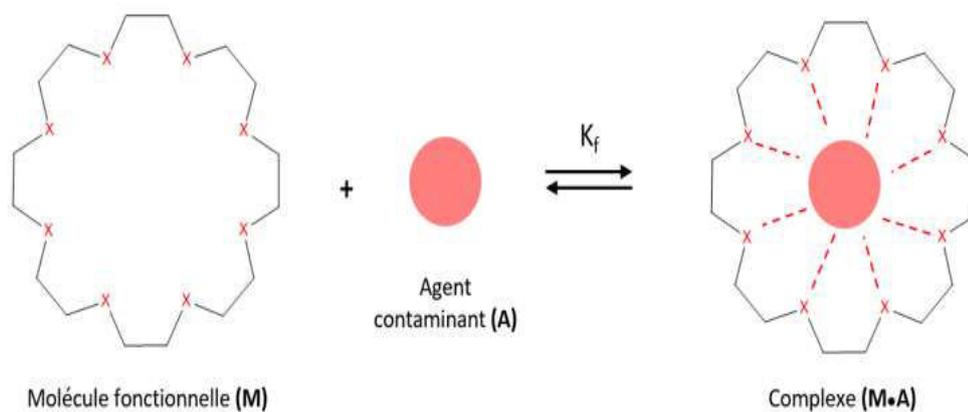


Figure II.3 : Représente le phénomène de complexations des ions métalliques par les macromolécules [29].

Cette complexation est due à la présence de groupement hydroxyles en position ortho sur les cycles benzéniques qui créent des interactions avec l'agent contaminant. [30]

Une autre molécule très connue capable de capter des molécules contaminants est la cyclodextrine qui est un oligosaccharide cyclique obtenu par dégradation enzymatique de

l'amidon. Ce synthon naturel est aujourd'hui utilisé pour des applications dans différents domaines tels que la cosmétique (protection des composés actifs), le secteur pharmaceutique (encapsulation de molécule thérapeutique), l'agroalimentaire, la dépollution de l'air et de l'eau. Cette molécule de cyclodextrine possède un caractère amphiphile : alors que l'extérieur de la molécule est plutôt hydrophile et donne la solubilité dans l'eau, le caractère apolaire de la cavité permet l'inclusion de molécule et la formation d'un complexe. [31,32]

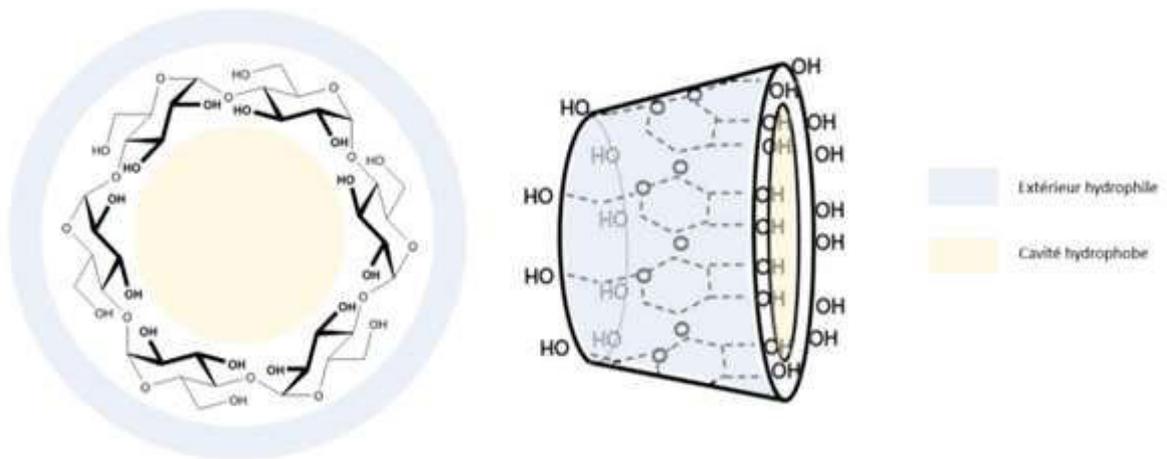


Figure II .4 : Représente la structure moléculaire amphiphile de la cyclodextrine [29].

La cyclodextrine étant soluble dans l'eau, elle ne peut pas être utilisée seule pour dépolluer les eaux usées. Elle nécessite d'être greffée sur une matrice polymère insoluble (Fig II.5). Idéalement cette dernière sera naturelle et pourra se dégrader afin de s'inscrire complètement dans le concept de développement durable.

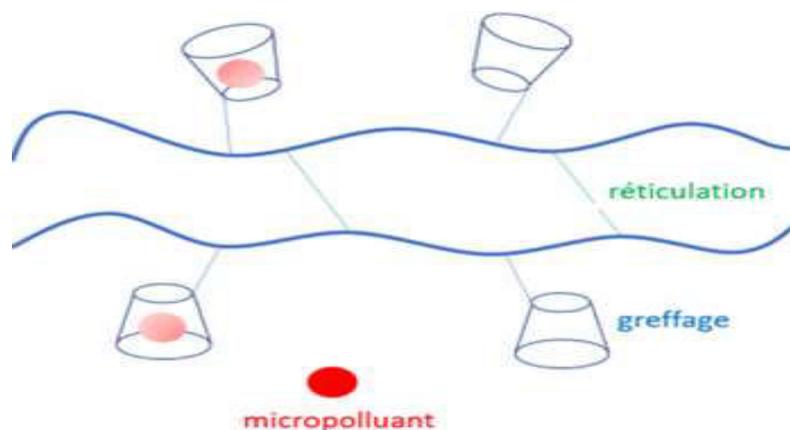


Figure II .5 : Représente la modification par greffage d'une molécule fonctionnelle sur une matrice polymère [29].

Les matières polymères constituent donc une matrice de choix pour les systèmes de filtration membranaire ou filtres cartouches car elles parviennent à capter les agents contaminant dans l'eau grâce à leur porosité et à leur fonctionnalité.

En plus de leurs propriétés, elles sont facilement disponibles et économiquement viables, ce qui en fait des matériaux de choix pour la filtration. Toutefois, il est important de noter que la plupart sont toujours issues de ressources fossiles et participent donc à la pollution.

Les polysaccharides et les polyesters sont aujourd'hui étudiés de part leur naturalité et leur biodégradabilité. Si leur efficacité parvient à être augmentée par l'utilisation notamment de la beta-cyclodextrine ou les catéchols, ces matériaux pourraient substituer les solutions actuelles : le charbon actif et les polymères pétrochimiques [29].

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

Dans cette partie de mémoire de fin d'études nous allons d'écrire les matérielles et les méthodes que nous avons utilisées pour faire une caractérisation de deux produits l'un est un polymère anionique flocculant et l'autre est un polymère cationique pour le traitement biologique et aussi pour la préparation d'un flocculant

1. Matériels utilisés

Tableau III.1 : Matériels utilisés

Appareil	Photo
<ul style="list-style-type: none"> spectromètre SHIMADZU FTIR-8900 	
<ul style="list-style-type: none"> Conductivimètre HANNA 	
<ul style="list-style-type: none"> pH-mètre inoLab 7110 	

<ul style="list-style-type: none"> • Turbidimètre Lovibond 	
<ul style="list-style-type: none"> • Tensiomètre GIBERTINI 	
<ul style="list-style-type: none"> • Centrifugeuse eppendorf centrifuge 5702R 	

- **Rhéologie**

La rhéologie est la science de la matière en écoulement, des contraintes qu'il faut lui appliquer et des modifications structurelles qui en résultent. Elle permet d'appréhender des problématiques industrielles complexes du point de vue de la structure physiques des fluides ou des semi-solides. La rhéologie va donc plus loin que la simple mesure de viscosité, qui n'est l'attribut exclusive que des fluides Newtoniens : eau, huiles et gaz. L'ensemble des autres produits sont non-

Newtoniens, avec une viscosité qui évolue en fonction des sollicitations appliquées et une élasticité qui reflète la structure moléculaire.

L'usage de la rhéologie s'étend de la formulation à l'utilisation des produits, en passant par la transposition industrielle, l'amélioration continue et le contrôle qualité. Partout où un produit est manipulé et sa structure modifiée, son comportement rhéologique est clé : la compréhension de la rhéologie d'un produit est donc stratégique et sa maîtrise un avantage économique.

Les problématiques liées à la rhéologie nécessitent des experts ayant des compétences à l'interface avec plusieurs domaines scientifiques : Mécanique, Mécanique des fluides, Thermique, Physique de la Matière Molle, Matériaux, Génie des procédés, Chimie des polymères et Biologie. [33]



Figure III .1 : Représente rhéomètre Anton paar

- **Absorption atomique**

La spectrométrie d'absorption atomique étudie les absorptions de lumière par l'atome libre.

C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible utilisée en analyse chimique. Elle permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques (métaux et non-métaux). La spectrométrie d'absorption atomique en flamme permet le dosage mono-élémentaire des cations majeurs de l'ordre du mg/L dans des échantillons liquides chaque élément a un nombre spécifique d'électrons associés à son noyau. La configuration orbitale normale et la plus stable des électrons est appelée état de base. Lorsque qu'une énergie est fournie à un atome, ce dernier l'absorbe et adopte une configuration

électronique appelée état d'excitation. Cet état est instable et l'atome retourne immédiatement à son état de base libérant ainsi une, énergie lumineuse. [34]

❖ Principe de fonctionnement

Les techniques de spectroscopie d'absorption atomique (AAS) reposent sur le fait qu'un élément atomisé absorbera la lumière d'une longueur d'onde caractéristique, le faisant quitter l'état fondamental vers un état excité.

La quantité d'énergie lumineuse absorbée est proportionnelle au nombre d'atomes analytes dans le trajet optique.

La technique est étalonnée en introduisant des concentrations connues d'atomes analytes dans le trajet optique et en faisant un graphique d'absorption par rapport à la concentration. [35]

❖ Appareillage

Tout instrument d'absorption atomique contient les mêmes éléments de base, à savoir :

- Une source de lumière (source primaire) qui produit une radiation caractéristique de l'élément à doser à la longueur d'onde
- Un système pour moduler le rayonnement provenant de la source
- D'un diviseur de faisceau lumineux dans les appareils à double faisceau
- Un atomiseur dont le rôle est de produire un nuage d'atomes à l'état fondamental
- Un monochromateur sert à éliminer toutes les radiations autres que celle à la longueur d'onde choisie
- Un détecteur couplé à un système électronique pour enregistrer et traiter les signaux. [36]

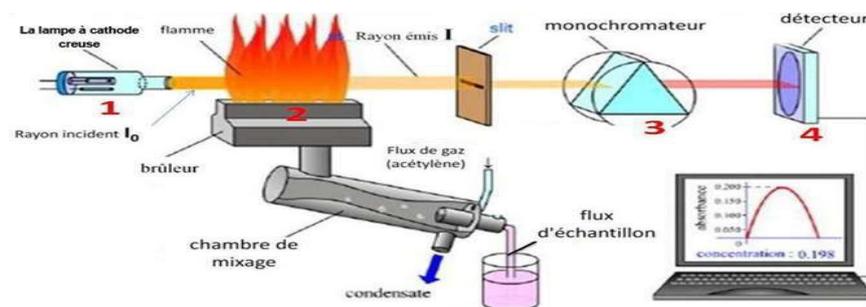


Figure III .2 : Représente un dispositif expérimental d'absorption atomique

Autres matériels

- Bain thermostat « Memmert » pour le chauffage des échantillons afin de poursuivre le point trouble.
- Balance électronique « Sartorius analytic A200S » avec une précision de 0,0001g et un poids maximal de 202 g pour la pesée des échantillons.
- Agitateurs magnétiques de type IKA RH-KT/C.
- Verrerie usuelle (Béchers, fioles, pipettes graduées, tubes à essais, .etc.).

1.1 Protocole de préparations d'un produit qui élimine les métaux lourds

Nous avons préparé des solutions de 1 % et 2 % et 5 % de (PE / PF et 1M de NaCl) selon les conditions opératoires suivantes :

- Préparer des solutions de :
 - 1g de PF dans 1M de NaCl
 - 0.8g de PF avec 0.2g PE dans 1M de NaCl
 - 0.5g de PF avec 0.5g de PE dans 1M de NaCl
 - 0.2g de PF avec 0.8g de PE dans 1M de NaCl

Avec une agitation de 24h.

- On met les solutions dans des tubes à essai bien fermer puis on les plonge dans un bain thermostat en augmentant graduellement la température par 5°C jusqu'à 80°C

Après ce travaille le choix de flocculant est porté sur le tube de concentration qui avait plus de précipitation.

La deuxième étape formulée par la préparation des solutions (PF/PE) avec la concentration choisie dans (la saumure) et (saumure / pb) et dans (l'eau distillée / pb) et on les mettre dans une centrifugeuse avec température de 40C°pendant 15 minutes et vitesse de rotation 4000 tours

Les solutions qu'on a préparées seront mises dans la centrifugeuse pour extraire le surnagent (liquide) qui est destiné à l'absorption atomique.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats de l'identification des deux polymères anionique flocculant et cationique pour traitement biologique des eaux usées et aussi pour les résultats de la formulation d'un polymère pour l'élimination de contaminants organiques et inorganique (métaux lourds) d'un milieu aqueux

En ce qui concerne le premier volet, une étude structurale par FTIR est suivie par une série d'évaluation des pouvoirs d'agrégation, d'activité superficielle et de dissociation ionique ainsi que la délimitation des sensibilités au pH et à la température des deux systèmes étudiés. Les techniques expérimentales adoptées pour cette stratégie sont : la conductimétrie, la pH-métrie ainsi que la tensiométrie et la rhéologie.

Les résultats des deux systèmes seront présentés en couple et successivement par technique expérimentale

1. Résultats et discussion de l'identification

L'identification de la rhéologie et IR pour polycationique et polyanionique s'effectuée à la concentration initiale

1.1 Identification structurale par FTIR

Les systèmes flocculant largement utilisés pour l'encapsulation des contaminants sont pour la plupart des poly anioniques. L'incorporation des ions ferriques Fe^{3+} est un moyen pratique pour concevoir des lits gélifiés adaptés à la séquestration de corps indésirables.

Le second système ne peut être qu'un poly électrolyte cationique sachant que les ions ammonium sont des bactéricides par excellence notamment avec la multiplication des groupements chargés et convenant à cet effet.

- **La spectroscopie infrarouge (FTIR)**

Le spectre FTIR du PCat présente plusieurs vibrations caractéristiques. Les bandes d'absorption aux environs de 3450 et 2950 cm^{-1} qui peuvent être attribuées à la vibration d'étirement des

groupes - NH₂ du groupement amide épaulée de la vibration asymétrique des groupements méthylénique -CH₂- . Pour leur part, les pics d'absorption à 1650 et 1450 cm⁻¹ concernent respectivement les vibrations d'étirement du C=O et des vibrations de flexion de - CH₂-

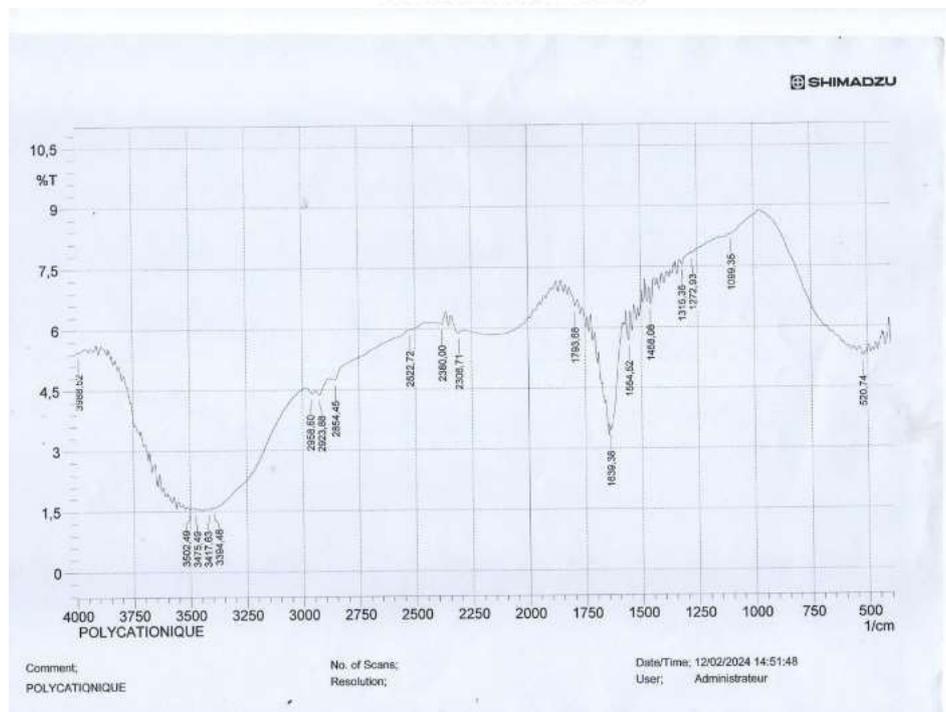
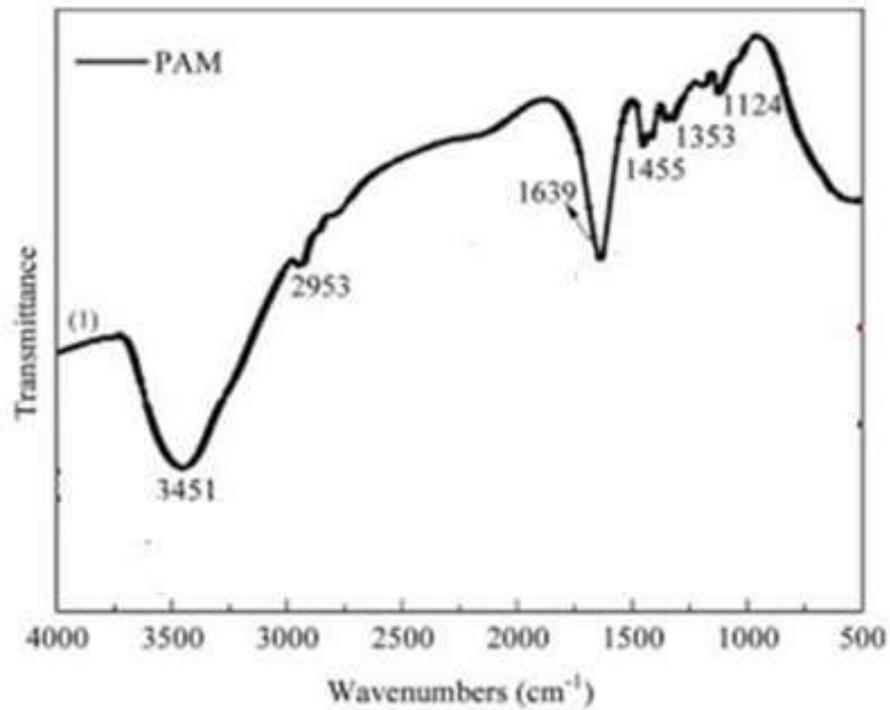


Figure IV .1 : Représente les spectres FTIR du PCat (en bas) et d'un polyamide protoné rapporté dans la littérature (en haut [37])

La figure IV.1 montre les bandes caractéristiques du PCat conjointement avec celle d'un polyamide protoné inspiré de la littérature. Cette comparaison montre une similitude notoire et confirme l'hypothèse sus-indiquée.

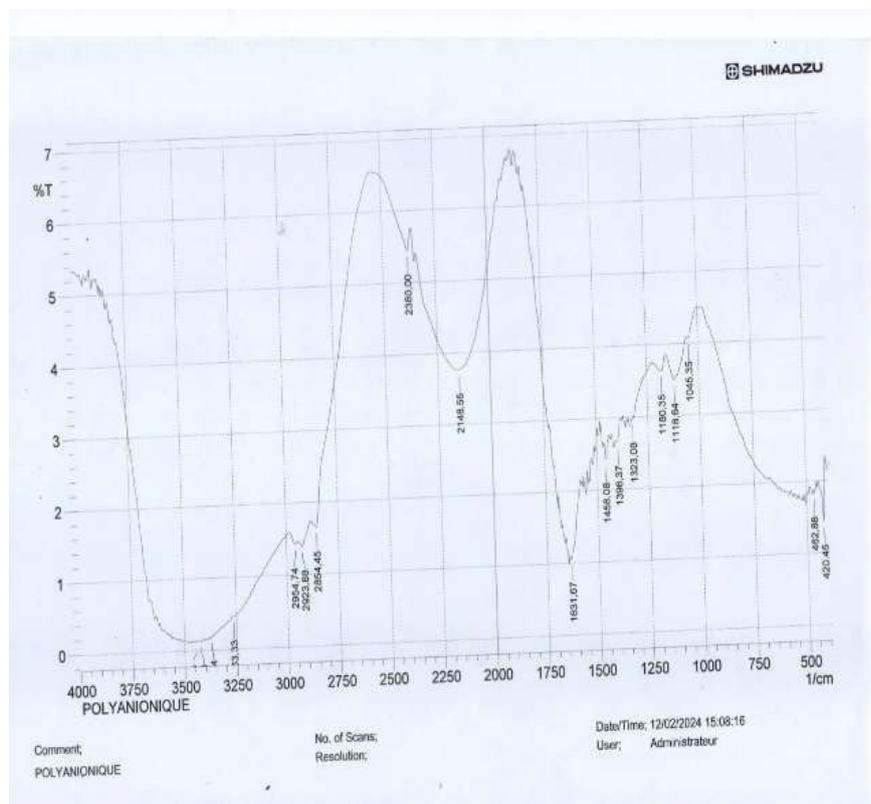
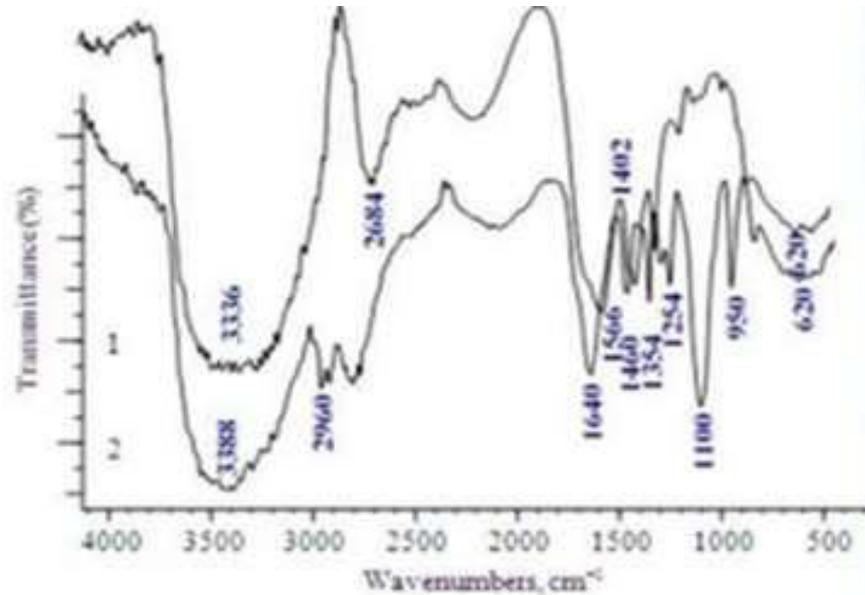


Figure IV.2 : Représente les spectres FTIR du poly anionique (en bas) et d'un poly carboxylate rapporté dans la littérature (en haut [38])

La figure IV.2 montre les spectres FTIR du PAn avec celle d'un poly carboxylate cité et décrit dans la littérature. On note la présence de la bande OH autour de 3400 cm^{-1} et celle près de 3000 cm^{-1} pour l'étirement du groupement hydroxyle propre à l'acide carboxylique.

Également pour, dans la même région, figurent les bandes d'étirement C–H des groupes alkyle et aromatiques.

L'étirement de la fonction carbonyle d'un acide carboxylique apparait à une bande intense entre 1700 et 1600 cm^{-1} . Le tronçon C–O apparait dans la région 1440 et 1390 cm^{-1}

1.2 Caractérisation rhéologique des polymères

A travers la caractérisation rhéologique est visée l'examen de la texture des deux polymères et l'évaluation de leur viscosité ainsi que leur comportement à la contrainte. Aux deux régimes de sollicitation sont soumis les deux polymères étudiés à savoir le régime permanent et le régime oscillatoire.

Les propriétés d'écoulement des deux textures (en pseudo-gels) dans leur état de commercialisation ont été essentiellement étudiées par des mesures rhéologiques. Les propriétés d'écoulement et viscoélastiques ont été déterminées successivement

- **Les courbes d'écoulement**

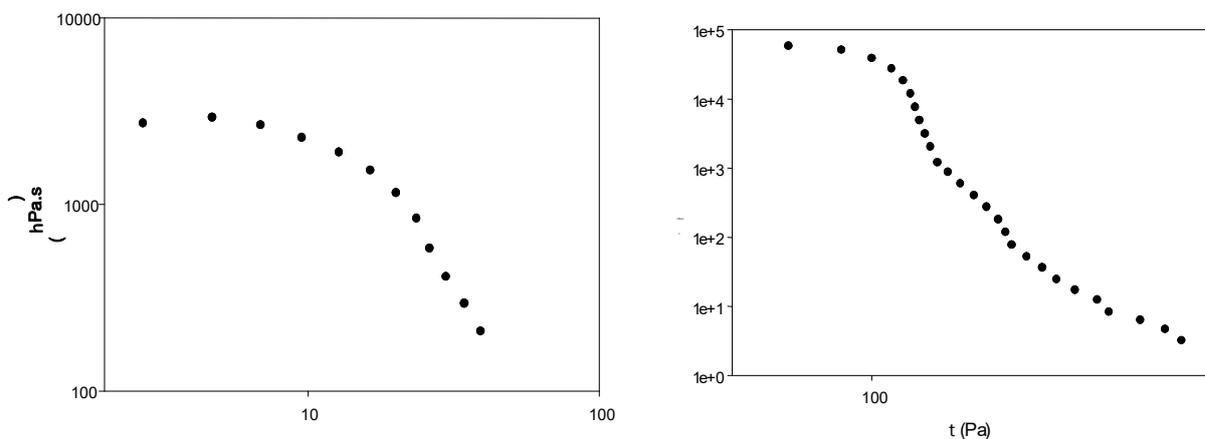


Figure IV.3: Représente le rhéogramme d'écoulement des deux polymères (Pan : poly anionique et PCat : poly cationique)

Les deux textures présentent un caractère rhéofluidifiant avec des plateaux Newtoniens mettant en relief la différence des viscosités η_0 . La viscosité au plateau Newtonien de notre application vaudrait 5800 Pa.s pour le Pan alors que pour le PCat elle est de l'ordre de 2200 Pa.s.

Une comparaison par superposition des deux rhéogrammes laisse entrevoir une différence apparente entre les deux systèmes en faveur du Pan qui est conçu pour la formation du lit gélifié de séquestration.

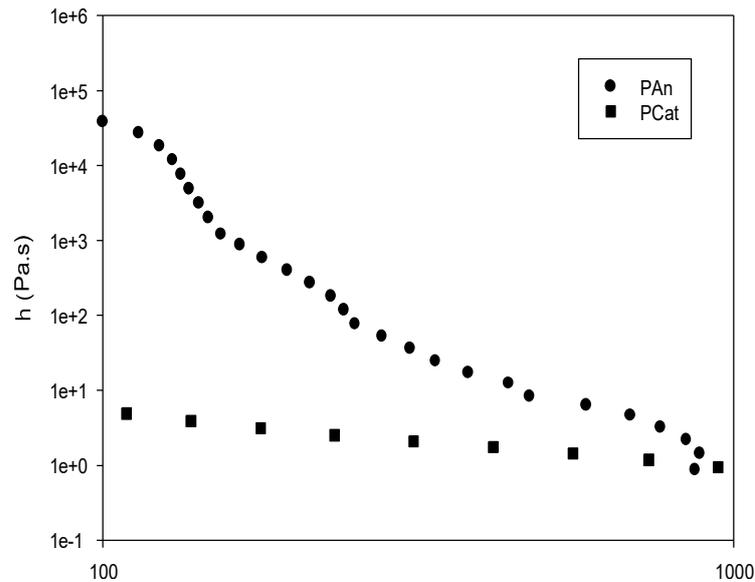


Figure IV.4 : Représente les rhéogrammes d'écoulement superposés du Pan et du PCat

Pour les deux produits, il s'agit de fluides rhéo-fluidifiants pour lesquels la viscosité diminue lorsque la contrainte de cisaillement augmente. Les contraintes seuil (τ_0) sont très distinctes et se situent respectivement à environ 20 Pa pour le PCat et 100 Pa pour le Pan.

- **En régime dynamique**

Nous avons tenté, à travers cette étude, d'étudier la variation des modules élastique (G') et visqueux (G'') en fonction de la contrainte. Les modules de conservation et perte ont été mesurés à l'aide d'un système cône-plan et en soumettant le cône à des oscillations de 1 Hz. L'étude rhéologique met en évidence la différence des propriétés mécaniques entre le système préparé et les deux autres.

La figure ci-dessous reprend l'évolution de G' des deux systèmes. Les modules élastiques varient d'une manière significative avec les applications en jeu montrant que les textures correspondantes sont majoritairement élastiques ($G' > G''$). En plus, le rapport G'/G'' pour le Pan dépasse la valeur 10 mettant en relief la consistance de cette texture dont le comportement s'identifie à celui d'un gel. Par contre celui du PCat ne dépasse pas la dizaine (≈ 13)

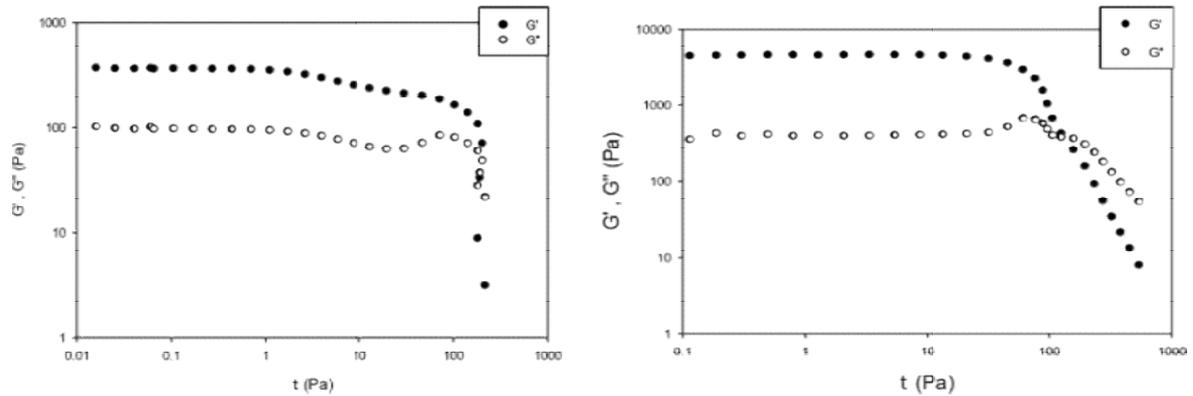


Figure IV.5 : Représente les rhéogrammes en régime oscillatoire superposés du Pan et du PCat

Evaluation des caractères acide et basique Pour effectuer cette identification nous avons préparé 20 solutions filles de 2 pour cent pour chaque polymère (polymère anionique et polymère cationique).

1.3 Evaluation des points d'équivalence de la neutralisation du Pan et du PC

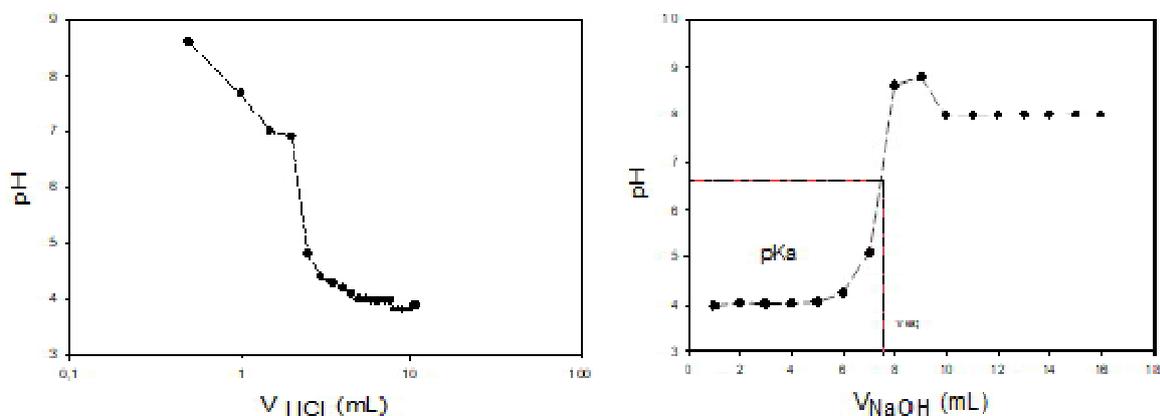


Figure IV.6 : Représente les courbes d'évolution du pH en fonction du volume de neutralisation du Pan (par HCl) et du PCat (par NaOH)

Pour un acide faible comme PCat, le pH à la neutralisation est exprimé par la relation :

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \text{pKa} - \frac{1}{2} \log C \text{ acide}$$

Le pKa étant fixé par le point de demi-neutralisation et par conséquent prend la valeur d'environ $\text{pKa} \approx 4,2$

En ce qui concerne le Pan, le pH de neutralisation est exprimé par la relation

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \text{pKa} + \frac{1}{2} \log C \text{ base}$$

Le point de demi-neutralisation correspondrait au $\text{pKa} \approx 7,5$

1.4 Evaluation des concentrations d'agrégation par conductimétrie, tensiométrie et tribométrie

Le suivi des trois grandeurs suscitées, à savoir la conductivité, la tension superficielle et la turbidité à travers l'évolution de la concentration en polymère mènerait à l'identification de la nature des systèmes étudiés en matière d'associativité ou de pouvoir d'agrégation en milieu dispersé.

Les changements de comportement en milieu aqueux de telles macromolécules auront comme conséquence la possibilité de délimitation des plages d'agrégation qui sont les principales raisons des possibilités de séquestration et d'activité biologique.

- **Mesures conductimétriques**

L'augmentation de la conductivité des solutions avec la concentration en électrolytes est due à une dissociation des poly électrolytes en question. Notons que la mobilité conductimétrique est plus prononcée aux plus hautes concentrations en raison de la richesse en espèces électrolytique au sein de ces systèmes aqueux.

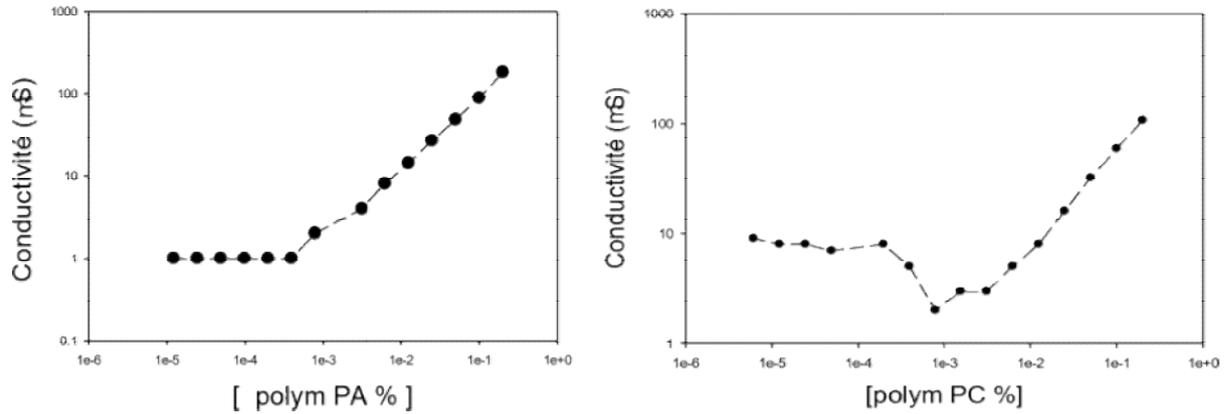


Figure IV.7: Représente les courbes d'évolution de la conductivité en fonction de la concentration en polymère du PAN et du PCat

Les points d'inflexion se situent pour le Pan (3.7×10^{-4}) aux environs de et pour le PCat aux environs de (7.8×10^{-4}).

- **Mesures de tension superficielle**

Les mesures de la tension superficielle (TS), par la méthode de la lame, en fonction de la concentration en polymère montre bien une activité superficielle accompagnée de l'existence d'un palier pour le Pan mais inexistant chez le PCat.

La diminution de la tension superficielle pour le poly anionique est due à une activité superficielle couronnée par un palier et une tension superficielle minimale de l'ordre de 39,3 mN/m avec une CAC (concentration d'agrégation critique) de l'ordre de 0,02%.

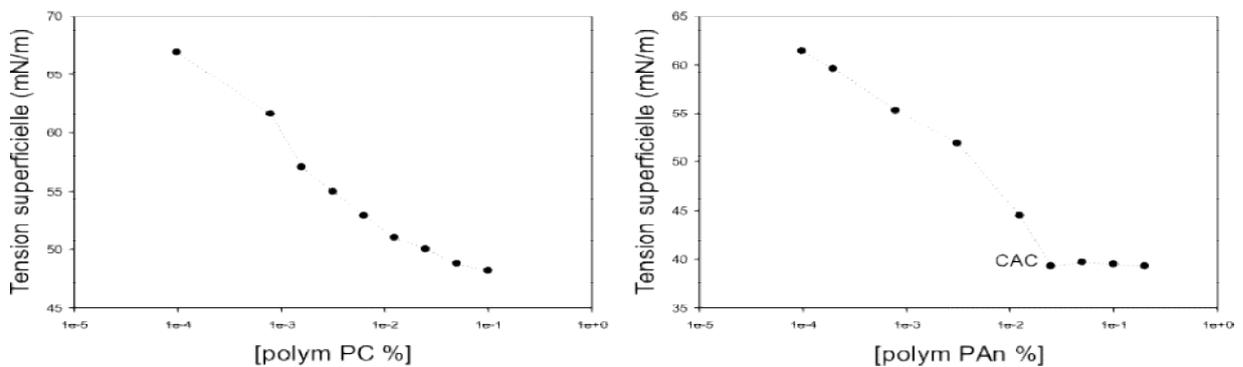


Figure IV.8 : Représente les courbes d'évolution de la tension superficielle en fonction de la concentration en polymère du PAN et du PCat

Le système poly cationique présente une tendance quelque peu similaire. Toutefois, le palier n'a pas été atteint et la chute de la TS peut être uniquement due à la multiplication de la force ionique ou une amphiphile qui présente une faible activité superficielle dont les raisons nécessitent des études plus poussées.

Mesures de turbidité

La turbidimétrie est une technique optique qui repose sur la mesure de l'absorption de la lumière par des solutions. C'est un indicateur de transparence qui pourrait bien renseigner sur la taille des dispersions et éventuellement des possibilités d'agrégation des macromolécules en solution.

Les courbes ci-dessous montrent l'évolution de la turbidimétrie des solutions de Pan et PCat en fonction de la concentration en polymère.

L'existence de deux zones d'évolution avec de deux différentes pentes serait lié à un changement d'arrangement des macromolécules en solution du type monomère à l'association dite micellaire. Ce qui laisse présager un caractère amphiphile aux deux systèmes PAN et PCat.

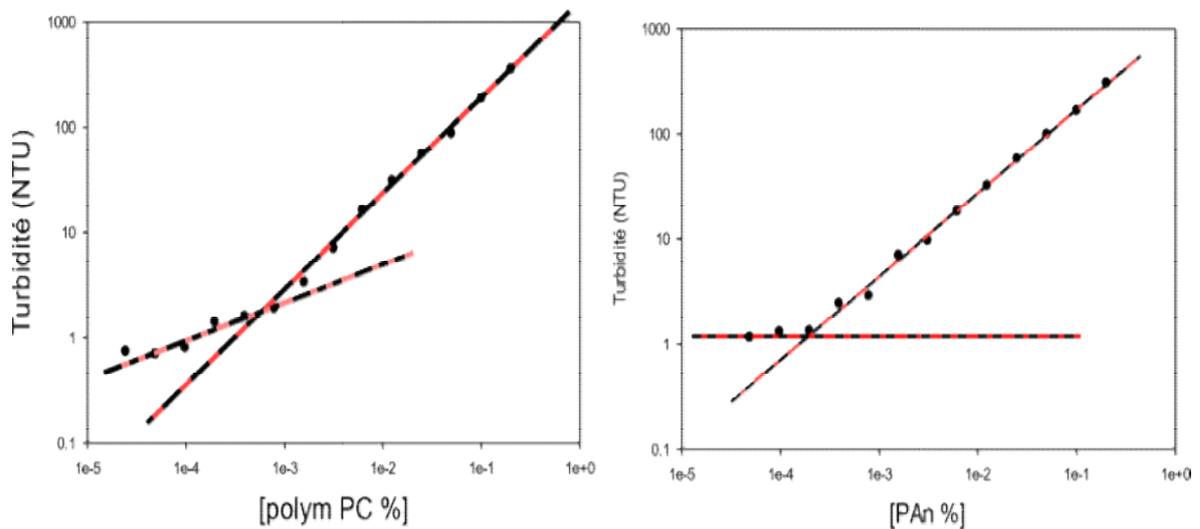


Figure IV.9 : Représente les courbes d'évolution de la turbidité en fonction de la concentration en polymère du PAn et du PCat

2 Résultats de comportement de PE/PF destiné au traitement de la saumure

La soumission au chauffage des solutions du PolyE conduit à des formations de trouble suivies par des thermo-précipitation, Les différents aspects des solutions observées durant le chauffage seront explicités dans ce qui suit. On présentera sur des diagrammes de miscibilité les différentes températures de transition qui accompagnent l'opération de chauffage des solutions de MC. Ces phases se résument aux états de trouble puis de séparation.

Les trois états de phase possibles des solutions sont illustrées ci-dessous :



(a) solution isotrope



(b) solution trouble



(c) thermoséparation

Les essais ont été accomplis en milieu à différentes concentrations de NaCl, soit 0 M, 0,25M 0,5M et enfin 1 M NaCl.

Notons que les états de précipitations sont réversibles. Ils sont aisément détruit par un retour à une plus faible température. On explique l'aspect trouble de l'état de transition issu du Polyme à l'existence de connexions hydrophobes déshydratées.

La présence du NaCl en solution semble favoriser la formation de connexions hydrophobes par déshydratation thermique des chaînes macromoléculaires.

2.1 Résultats de comportement de PF/PE avec NaCl

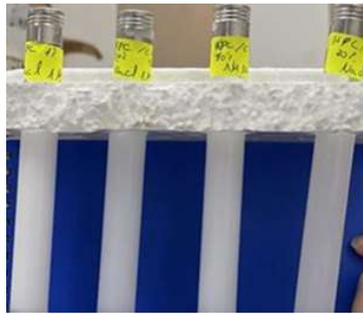
On a suivi le changement des solutions avec les différentes concentrations de PF/PE pendant le chauffage dans un bain thermostat.

Les observations qu'on a remarqué pendant le chauffage sont :

- Un aspect laiteux
- Début de précipitation de PF
- Un déphasage solide liquide dû à la thermo séparation



Avant le chauffage



aspect laiteux



déphasage

Figure IV .10 : représente Les différents aspects des solutions de PolyE observés durant le chauffage

La figure IV .10 met en relief les hauteurs des phases riches en eau qui sont inversement proportionnelles à la concentration en PE et en sel. Ainsi, plus la concentration en PE et augmente et plus la force ionique est importante plus la proportion de la phase sol augmente.

est sûr que les sels contribuent à favoriser les interactions hydrophobes et ainsi à provoquer des interactions plus coopératives entre les macromolécules.

Les concentrations retenues pour la caractérisation SAA sont les compositions PF/PE : 100/0 et 80/20 dans la saumure.

2.2 Résultats d'absorption atomique

C'est dans cet esprit qu'on s'est proposé d'envisager l'application de cette thermoséparation pour la l'élimination des métaux lourds du surnageant.

Parmi toutes les combinaisons ayant la capacité de dégager la thermo-précipitation on a choisi celle à 2% de PE avec un étalonnage interne en $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ à raison de 200 ppm.

On a pensé alors à exprimer le phénomène de migration, s'il existait, en termes de pourcentages d'extraction (%E).

Système	[Pb](ppm)Avant thermoséparation	[Pb](ppm)Après thermoséparation	E%
PF	200	13.79	93.1
PF/PE (80/20)	200	15.15	92.4

Tableau IV.1: Valeurs des pourcentages d'extraction du Pb

Cependant, à ce stade de l'étude, il est encore trop tôt pour tirer de conclusions plus précises sur la performance du procédé notamment en fonction de la quantité initiale en polymère utilisé. Il est également préférable d'aborder d'une manière systématique l'effet des conditions de thermoséparation (température, cinétique du chauffage...) mises en jeu sur le rendement de l'extraction.

CONCLUSION GENERALE

L'identification structurale des systèmes adoptés par la raffinerie Naphtal a permis de situer les propriétés fonctionnelles des systèmes adoptés à cette fin. Le polymère anionique utilisé dans la coagulation possède une structure amphiphile accompagné d'une tendance à l'agrégation. Par contre le polycationique se comporte plutôt comme un polyelectrolyte ayant un pouvoir bactéricide. Le polyanionique se rapprocherait de la famille des polycarboxylates alors que le polycationique de celle des polyamides.

D'autre part, notre étude a eu comme objectif le traitement de solutions de saumure récupérées en aval de la station de désalination de Douaouda contaminée en métaux lourds Cuivre, Cobalt, Plomb ou Zinc par le biais d'un phénomène de séquestration assuré par deux polymères hydrosolubles de nature thermosensible et électrolytique. L'étude de l'élimination du Plomb a permis d'atteindre un taux d'élimination de l'ordre de 95%. Les températures de transition nécessaire à la thermoséparation et la libération du surnageant exempt des contaminants se situent aux environs de 40°C.

Références bibliographiques

- [1] M. TABET AOUL, ISLAM ET ENVIRONNEMENT. Algérie: BENMERABET, 2010.
- [2] « Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 Les eaux usées une ressource inexploitée », 2018. <https://unesdoc.unesco.org> (consulté le juin 13, 2020)
- [3] L'eau et les changements climatiques Rapport mondiale des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020. 2020
- [4] Medbouhi Saliha et Chachoua M'hammed, 2016 : Etude comparative entre deux procédés d'épuration le lagunage aéré à Sidi Amer et les boues activées à Hassasna, Mémoire de Master, Wilaya de Saida.
- [5] Bessedik Madani : Traitement et épuration de l'eau. Page 255.
- [6] « Etude et suivi des effluents liquides dans l'unité de traitement du complexe GL1/Z ». 2013.
- [7] J.RODIER, L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 8e éd. Paris: DUNOD technique, 2005.
- [8] Chikha Belgacem Rachid et Younes Tarek ,2014 /2015 : Epuration des eaux usées de la commune de Touggourt par la procèdes de la boue activée, Mémoire Master de fin d'étude, Université Hamma Lakhdar d'El-oued, Faculté des Sciences et Technologie-département d'hydraulique
- [9] Marc stalin et Bachir selmi : Guide technique de l'assainissement-le moniteur- page69
- [10] Journal Officiel de la N° 36 le 17 Jomada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009.pages 18.
- [11]. Brault J. L, 1989 : Mémento Technique de l'eau. Ed. Technique et Documentation, Paris : 3- 119.
- [12]. Fondation nationale de la santé-Brasilia ,2013 : Manual pratique de l'analyse d'eau.
- [13] **Raffinage et génie chimique** P. Withier tome1
- [14] **Documentation de la raffinerie d'Alger**, manuel d'exploitation nouvelle station de traitement des effluents U850
- [15] **Mémoire de magister**, réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, Melle Faiza MEKHALIF, université du 20 Août 1955 SKIKDA ,2009
- [16]. Rapport Technique « La Détermination des eaux saumâtres et perspectives. Entreprise nationale de forage et reprise (ENAFOR), juillet 1984.

- [17]. Metaiche M., « Etude d'optimisation des systèmes d'osmose inverse pour le dessalement des eaux de mer sur modèle (la simulation numérique) », Thèse magistère. Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. Blida. 2000.
- [18]. Maurel A., « Dessalement de l'eau de mer et les eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce >>> Lavoisier Tec et Doc. France, 2001.
- [19]. Rapport d'analyse « Résultat d'analyse d'une eau saumâtre », Laboratoire chimie des eaux et des sols Ouargla. Région Touggourt, 2007.
- [20]. Cheknane B. « Elimination des acides humiques par coagulation floculation en lit fluidisé », Mémoire de magister, département de chimie industrielle. Université de Blida, 2005.
- [21]. Maurel A., Jean C.-S., Michel R., « Techniques à membranes et dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », Journées de formation au CDER-MEDRC, 11-15 Décembre 2004, Alger.
- [22]. Zermane F., « Adsorption des acides humiques de l'eau de mer synthétique sur une bentonite algérienne modifiée », Mémoire de magister, département de chimie industrielle. Université de Blida, 2005.
- [23]. Bouguerra S., « Extraction, caractérisation et aptitude à la coagulation-floculation de la matière organique des eaux de barrage Ghrib (Medea) », Mémoire de magister, département de chimie industrielle. Université de Blida, 2001.
- [24]. Akretche J., « Les prétraitements par membranes en dessalement » Journées de formation, Février 2004 au Gabès, Tunis
- [25] <https://fr.genesiswatertech.com/article-de-ce-blog/Lib%C3%A9rer-1%E2%80%99efficacit%C3%A9-des-polym%C3%A8res-naturels-pour-le-traitement-des-eaux-us%C3%A9es-municipales/>
- [26] <https://fr.genesiswatertech.com/blog-post/natural-flocculants-versus-synthetic-polymers-for-wastewater-treatment/>
- [27] <https://www.emo-france.com/produits/conditionnement-des-boues/preparation-polymere/>
- [28] <https://www.veoliawatertechnologies.fr/fr/solutions/technologies/extraction-polymeres-macroporeux-mppe>
- [29] <https://polymerexpert.fr/r-d/les-polymeres-un-remede-pour-la-sauvegarde-de-notre-planete/>
- [30] Gulley-Stahl, H.; Hogan, P. A. I.; Schmidt, W. L.; Wall, S. J.; Buhrlage, A.; Bullen, H. A. Surface Complexation of Catechol to Metal Oxides: An ATR-FTIR, Adsorption, and Dissolution Study. Environ. Sci. Technol. 2010, 44 (11), 4116–4121. <https://doi.org/10.1021/es902040u>.
- [31] Khaoulani, S. Traitement d'eaux Usées Par Adsorption Sur Des Polymères de Cyclodextrine et Développement de Capteurs Chimiques à Base de Membranes de Verres de Chalcogénures Destinées à La Détection Des Ions Hg²⁺. These de doctorat, Littoral, 2015. <https://www.theses.fr/2015DUNK0386> (accessed 2023-07-20).

[32] Krause, R.; Mamba, B.; Bambo, M.; Malefetse, T. Cyclodextrin Polymers: Synthesis and Application in Water Treatment; 2011; pp 185–210.

[33] <https://www.rheonova.fr/fr/qui-sommes-nous/qu-est-ce-que-la-rheologie/>

[34] https://fac.umc.edu.dz/vet/Cours_Ligne/cours_21_22/Biochimie_med_A4/Les_spectroscopies.pdf

[35] https://www.agilent.com/cs/library/slidepresentation/public/5991-6593_Agilent_Atomic%20Spectroscopy_Hardware_FR.pdf

[36] <https://chimieanalytique.com/spectrophotometrie-absorption-atomique/>

[37] Yongzhi Liu et coll, RSC Adv., 2018, 8, 28329–28340)

[38] M. Saraya et coll, American Journal of Nanotechnology 2 (1) : 106-111, 2011)