

République Algérienne Démocratique Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة ابن خلدون - تيارت
Université Ibn Khaldoun – Tiaret



Faculté des Sciences de la Matière
كلية علوم المادة
Département de Chimie
قسم الكيمياء

Mémoire

Présenté par :

M^{elle}. SEGHIR TURKIA

Pour obtenir le diplôme de

Master

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie organique

Sujet :

*Préparation, caractérisation et application des
membranes polymériques*

Soutenu le : 27/06/2024

Devant le jury :

M ^r . BADAoui Mohamed	Président (MCA)	UNIV -Tiaret
M ^r . BEN ABDELLAH Abdelkader	Examinateur (Pr)	UNIV -Tiaret
M ^{me} . SEHIL Hafida	Examinatrice (MCA)	UNIV -Tiaret
M ^r . CHOUGUI Abdelkader	Promoteur (Pr)	UNIV -Tiaret

Année Universitaire : 2023/2024



Remerciement

En tout premier lieu nous remercions ALLAH, le tout puissant et miséricordieux qui nous donne la santé, la force, la volonté pour avoir accomplir ce travail en peu de temps en seulement deux semaines, je suis fière de moi.

*Je remercie m'encadrant Mr **CHOUGUI Abdelkader** pour sa confiance pour mener bien les travaux. Sans oublier de remercier Mr **CHEMRAK Mohammed Amin** de (université Tissemsilt), qui m'a aidé en me donnant des conseils.*

*Je remercie sincèrement Mr **BADAoui Mohamed**, de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de mémoire.*

*Je remercie Mme **SEHIL Hafida** et Mr **BEN ABDELLAH Abdelkader** pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

*Je remercie particulièrement le chef de département Mr. **YESREF Djamel**.*

*Un grand merci est aussi adressé à l'ensemble d'équipe technique du Laboratoire de chimie et plus particulièrement Mr **LARBI** et Mme **NADIA**.*

*Je remercie Mme **MAKHLOUFIA**, la responsable du laboratoire en génie civil.*

En fin je souhaite adresser mes remerciement à tous mes enseignants qui on fait prévue de générosité et nous ont donné ce qu'il faut pour être à la hauteur.

SEGHIR TURKIA





Dédicace

Au nom d'Allah

Je dédie ce modeste travail

A mon très cher père (Allah yarhmou)

*Ame très cher **Mama** m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

*Ame chéri sœur, qui était pour moi comme une mère (**Hada** rahimaha allah), et à me*

*sœur (**Aicha**), et mon frères **Abdel Kader** et **Khaled***

*A enfants de mes frées, Surtout mon cher **Omar Al-Farouk***

*A ma très chère amies **Belabid Mokhtaria** et **Kabir Lamia***

*A mon marie et mon très cher **Oussama***

A mes proches, ceux qui m'ont soutenu.

Merci à tous.

SEGHIR TURKIA



Liste des figures

Chapitre I

Figure I. 1 : La réaction de polymérisation.....	2
Figure I.2 : Schéma représentatif d'une chaîne macromoléculaire.....	3
Figure I.3 : Polymères linéaires (a- homopolymère, b-copolymère statistique, c- copolymère alterné, d-copolymère séquencé).....	5
Figure I.4 : Polymères ramifié (Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b))	6
Figure I.5 : polymère réticulé avec ponts di-sulfure reliant deux chaînes	6
Figure I.6 : Structure Amorphe	8
Figure I.7 : Structure Cristalline	9
Figure I.8 : Structure Semi cristalline.....	9
Figure I.9. La formule développée de polychlorure de vinyle.....	12

Chapitre II

Figure II.1. Membrane sélective.	18
Figure .II.2.Membranes composites.....	20
Figure II.3. Représentation schématique des différentes structures membranaires Membrane asymétrique.....	21
Figure II.4 : Représentation schématique de membrane symétrique.....	21
Figure II.5. Structure d'une membrane plane(a), et d'un module spiralé (b).....	24
Figure II.6.Exemples de membranes tubulaires	24
Figure II.7. Schéma de la structure d'une membrane en enroulement spiralé.....	25
Figure II.8.Membrane géométrie fibre creuse avec différents types de structures (a), (b) et (c)	25
Figure II.9 : Principe de l'ultrafiltration.	29
Figure II.10 : Principe de l'osmose inverse.	29
Figure II.11. Gauche : Schéma de fonctionnement de la filtration frontale ; Droite : Evolution du débit et de l'épaisseur du dépôt en fonction du temps.....	30
FigureII.12 : Gauche : Schéma de principe de la filtration tangentielle ; Droite : Evolution du débit et de l'épaisseur du dépôt en fonction du temps.....	31

Chapitre III

Figure III.1. Structure chimique de polymère PVC.....	32
Figure III.2. Type et Les morceaux de polymère PVC utilisé.....	33
Figure III.3.N,N-Diméthylformamide (DMF).....	33
Figure III.4. Broyé et tamisé le sable (Sb).....	33
Figure III.5. Structur et un morceau de polystyrène(PS).....	34
Figure III.6. Procédure de préparation des membranes par filme en verre, Placé ensuite plongé dans un bain de coagulation.	34
Figure III.7.préparation la solution de membrane M1 en PVC (0% Sb).....	35
Figure III.8.préparation la solution de la membrane PVC/Sable en pourcentage.	35
Figure III.9. Polystyrène dissous dans le solvant.....	36
Figure III.10.préparation des solutions membrane PVC/PS.....	36
Figure III.11.Formation de membrane	37
Figure III.12. Bain de coagulation (d'eau distillée).....	37
Figure III.13.Séchage la membrane sur du papier filtre.	37
Figure III.14 : Spectromètre infrarouge SHIMADZU de type FTIR - 8400.....	38
Figure III.15. Jauge de mesure d'épaisseur.	38
Figure III.16.Specter FTIR de M1 (0% de sable).	39
Figure III.17.Specter FTIR de Mps (10% de PS).	39
Figure III.18.Specter FTIR de M4 (7% de sable).....	39
Figure III.19.Specter FTIR de (M1.M4.Mps).....	39
Figure III.20.Specter FTIR de filme1 (0% Sb).	41
Figure III.21.Specter FTIR de filme Mps (10% PS).....	41
Figure III.22.Specter FTIR de filme M4.	41
Figure III.23.Specter FTIR de filme (M1, M4, Mps).	41
Figure III.24. Courbe de Perméabilité en fonction du temps de la membrane M4.....	42
Figure III.25.Specter DRX de M1.	42
Figure III.26. Spectre DRX de M4.	42
Figure III.27.Specter DRX de Mps.....	43
Figure III.28.Specter DRX de (M1, M4 et Mps).....	43
Figure .III.29. Filtration de la solution colorée.....	44
Figure III.30.Filtration de l'eau contaminée.	44

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Exemple d'utilisation des polymères.....	7
Tableau I.2 : les propriétés du PVC rigide et du PVC souple.....	13

Chapitre II

Tableau II.1 : nom, abréviations et formule chimique de différents polymères constitutifs de membrane organique.....	19
Tableau II.2 : Comparaison entre différents types de modules à membranes (UF, MF, NF, OI) industriels.....	26
Tableau II.3. Procédés de séparation utilisés dans l'industrie membranaire.	27

Chapitre III

Tableau III.1. Caractéristiques de polymère PVC.	32
Tableau III.2. Epaisseur des membranes.	41
Tableau III.3. Données de Perméabilité en fonction du temps de la membrane M4.....	42

Liste d'abréviations

PVC : Polychlorure de polyvinyle.

DMF : N,N-Diméthylformamide

PS : Polystyrène

Sb : Sable

M ps : Membrane de PVC/PS

M1 : Membrane de PVC

M4 : Membrane de PVC/Sb

FTIR : Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier en transmission

DRX : La diffraction des rayons X

Ep : Epaisseur

Tables des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Liste des abréviations	
Table des Matières	
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur les polymères	
I.1.Introduction	2
I.2. Définition d'un polymère	2
I.3. Classification des polymères	3
I.3.1 Les éléments de squelette macromoléculaire	3
I.3.2.a.Selon leur origine.....	3
I.3.2.b. Selon le nombre de motifs	3
I.3.2. c. Selon l'architecture des chaînes moléculaires.....	5
I.3.3. Classement selon la nature chimique.....	6
I.3.4.selon Les propriétés thermomécaniques.....	7
I.3.4.1. Les Thermoplastiques.....	7
I.3.4.2. Les Thermodurcissables	7
I.3.4.3. Les Elastomères	7
I.4. Structure d'un polymère	8
I.4.1. Structure amorphe.....	8
I.4.2. Structure cristalline.....	8

I.4.3. Structure semi-cristalline.....	9
I.5. Propriété des polymères	9
I.5.1.Propriétés chimiques des polymères.....	9
I.5.2.Propriétés physiques des polymères	10
I.5.3.Propriétés thermiques des polymères	10
I.6. Recyclage des matières plastiques.....	10
I.7.Polychlorure vinyle (PVC)	11
I.7.1.Définition.....	12
I.7.2. Structure.....	12
I.7.3. Propriété de polychlorure de vinyle (PVC)	13
I.7.3.1. Propriétés physiques	13
I.7.3.2.Propriétés mécaniques	13
I.7.3.3. propriétés chimiques.....	14
I.7.3.4. Propriétés thermiques	14
I.7.4. Applications de PVC	14
I.7.5.Inconvénients et Avantages du PVC	15
I.7.5.1.Inconvénients.....	15
I.7.5.2.Avantages	15
Conclusion	16

Chapitre II : Les membranes

II.1. Introduction	17
II.2.Définition de la membrane.....	17

II.3. Classification de membrane	18
II.3.1. Les membranes organiques	18
II.3.2. Les membranes minérales (ou inorganique)	19
II.3.3. Membranes hybrides (organique – inorganique)	19
II.3.4. Membranes composites	20
II.3.5. Membranes anisotropes (ou asymétriques)	20
II.3.6. Membranes symétriques	21
II.4. Caractérisation des membranes	22
II.4.1. Le taux de conversion	22
II.4.2. Durée de vie	22
II.4.3. Résistance	22
II.4.4. Sélectivité	22
II.4.5. Perméabilité	22
II.4.6. Taille des pores	23
II.4.7. Seuil de coupure	23
II.5. Géométrie des modules	23
II.5.1. Membranes planes	23
II.5.2. Membranes tubulaires	24
II.5.3. Membranes spiralées	25
II.5.4. Membranes fibre creuse	25
II.6. Filtration	26

II.7. Gamme de filtration	27
II.8. Procédés de filtration membranaire	28
II.8.1. Microfiltration	28
II.8.2. Ultrafiltration.....	28
II.8.3. Nanofiltration	29
II.8.4. Osmose inverse	29
II.9. Modes de fonctionnement.....	30
II.9.1. La filtration frontale	30
II.9.2. Filtration tangentielle	30
Conclusion	31

Chapitre III : Préparation et caractérisation

III.1. Introduction.....	32
III.2. Elaboration des membranes polymère	32
III.2.1. Les produits chimique utilisés pour l'élaboration des membranes	32
III.2.2. les matériels utilisés	34
III.2.3. Préparation des membranes	34
III.2.3.1. Préparation les solutions membrane	35
III.2.3.1.1. Préparation les solutions PVC et PVC/Sable.....	35
III.2.3.1.2. Préparation les solutions membranes PVC/PS	36
III.2.3.2. Formation des membranes	36
III.2.3.3. Coagulation et séchage la membrane.....	37
III.3. Méthodes de caractérisations	38
III.3.1. Caractérisation par Infrarouge à Transformée de Fourier en transmission (FTIR)	38

III.3.2. Jauge de mesure d'épaisseur (Ep).....	38
III.3.3. Diffraction des rayons X (DRX).....	39
III.4.Résultats et discussions.....	39
III.4.1.1.Les spectres de FTIR	39
III.4.1.2.Les spectres de FTIR par Filme	41
III.4.2.Epaisseur des membranes	41
<u>III.4.3.Les spectres de DRX de M1, M4 et Mps.....</u>	42
III.5.Application de la membrane	43
Conclusion	44
Conclusion générale.....	45
Reference	46

Résumé

*Introduction
générale*

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est essentielle à la vie humaine au quotidien, notamment pour la cuisine et la consommation. Il est primordial que l'eau utilisée soit dépourvue de bactéries et de polluants. Ces dernières années, la contamination de l'eau est devenue un problème sérieux qui nécessite notre attention, car de nombreuses vies peuvent être perdues en raison de la consommation d'eau non salubre [1].

La membrane est une barrière qui permet à un composant d'un mélange de passer à travers tout en bloquant les autres composants. La séparation par membrane est une méthode efficace sans substance absorbante, offrant des avantages tels que l'économie d'énergie et des équipements compacts. La performance de la membrane est essentielle, et la structure poreuse est importante pour stimuler le flux et la sélectivité. Différentes méthodes sont utilisées pour préparer la membrane poreuse.

Le PVC est un polymère utilisé pour fabriquer des membranes microporeuses en raison de ses propriétés exceptionnelles telles que sa rigidité, sa flexibilité, sa durabilité, sa résistance à l'abrasion et son faible coût [2].

Cependant, le PVC est naturellement super hydrophobe, ce qui signifie qu'il ne peut pas être utilisé seul pour filtrer l'eau. Afin de rendre le PVC utilisable comme matériau de filtration de l'eau, il doit être dissous dans des solvants tels que le DMA, le DMF et le THF. De plus, l'ajout de matériaux est nécessaire pour améliorer les propriétés de filtration du PVC [3].

Ce manuscrit est structuré en 3 chapitres :

Le premier chapitre est un rappel bibliographique sur généralité sur les polymères et PVC.

Le second chapitre porte bibliographique sur les membranes généralement.

Dans le chapitre trois, préparation et la caractérisation ainsi que la discussion des résultats obtenus.

Enfin, ce travail est clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I
Généralité sur les
polymères

I.1.Introduction

Les polymères, communément appelés "matières plastiques", sont omniprésents dans la vie quotidienne, utilisés dans diverses activités, des objets banals aux applications techniques sophistiquées, et même dans les produits d'hygiène et alimentaires.

Les matériaux ont de tout temps défini le niveau de développement des différentes civilisations qu'a connues l'homme, les progrès techniques étant en général tributaires de la mise au point de matériaux nouveaux aux performances améliorées. Les polymères s'intègrent dans cette optique [4].

L'objectif de ce chapitre est de donner des généralités sur les polymères et également les définitions des différentes structures de ces derniers. Nous allons aussi classer les polymères selon leur caractéristique. Et en particulier une vision générale sur le polychlorure de vinyle et leurs propriétés.

I.2. Définition d'un polymère

Un polymère est une macromolécule organique ou inorganique, composée de longues séquences de molécules appelées monomères composées principalement de carbone et d'hydrogène liées chacune aux autres par des liaisons primaires, le plus souvent covalentes.

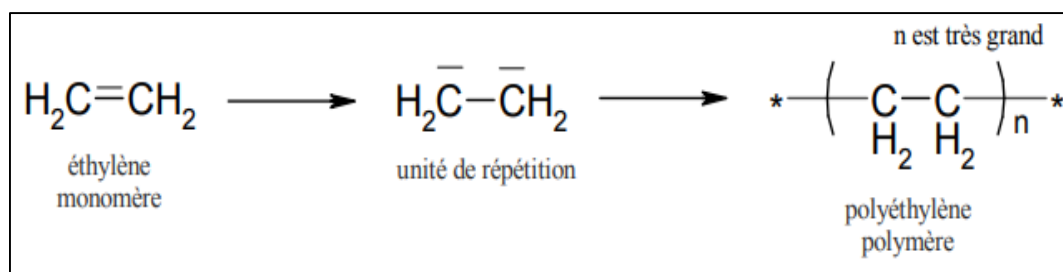


Figure I.1. La réaction de polymérisation [5].

Si tous les monomères de la chaîne macromoléculaire sont identiques, la macromolécule est appelée homopolymère ; si les chaînes forment des motifs différents, elle est appelée copolymère [6].

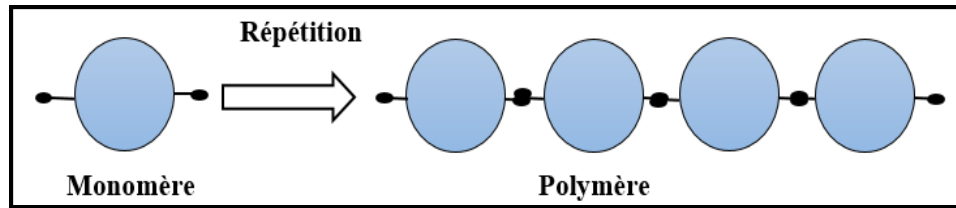


Figure I.2 : Schéma représentatif d'une chaîne macromoléculaire.

I.3. Classification des polymères

Il est possible de classer les polymères selon différents critères :

I.3.1 Les éléments de squelette macromoléculaire

- **les polymères organiques** : obtenus à partir des monomères carbonés.
- **Les polymères inorganiques** : obtenus à partir des autres monomères principalement des dérivés de silicium, de l'aluminium,....etc.
- **L'origine des macromolécules** : Les polymères peuvent être d'origines naturelles, artificielles ou synthétiques [7].

I.3.2.a.Selon leur origine

- **Polymères naturels** : sont obtenus à partir de sources végétales ou animales, ils sont sous forme de fibres. Les fibres végétales sont : le bois, le papier, le coton, le latex (extrait de l'arbre L'hévéa)... Les fibres animales sont : cuir, soie et laine...
- **Polymères artificiels (dérivés des polymères naturels)** : sont obtenus par modification chimique de polymère naturel. Par exemple, les dérivés cellulosiques dont la molécule de base est la cellulose (ex : les esters cellulosiques, caoutchouc, soie artificielle, etc.)
- **Polymères synthétiques** : sont entièrement fabriqués par l'homme à partir de molécules monomères qui n'existent pas dans la nature. (Ex : polyéthylène (PE), polychlorure de vinyle (PVC), polystyrène (PS), polyéthylène téréphtalate (PET) [8].

I.3.2.b. Selon le nombre de motifs

Il existe deux types de polymères :

1. **Les homopolymères** : Ils sont constitués d'un seul type de monomère (ex : PS, PVC).

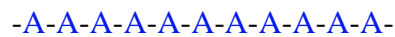


a-Homopolymère linéaire

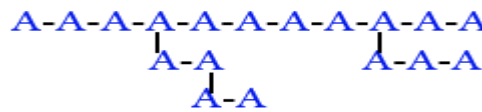
➤ Types d'homopolymères

Parmi les différents types d'homopolymères, nous trouvons :

- Les homopolymères linéaires.



- Les homopolymères branchés.



- Les homopolymères étoilés.



2. **Les copolymères** : Ils sont constitués de plusieurs types de monomères (ex : PET).

Il existe plusieurs types de copolymères :

Copolymère alterné : deux monomères qui alternent sur la chaîne.



b-Copolymère alterné

Copolymère statistique (aléatoire)

Deux monomères se suivent dans n'importe quel ordre, A et B se répartissent en suivant une statistique. Les copolymères désordonnés font partie de cette famille.



c-Copolymère statistique

Copolymère bloc (séquencé)

Est considéré comme deux homopolymères réunis par leurs extrémités, Chaque unité constitutive est répétée plusieurs fois de suite pour former de longues séquences.



d-Copolymère bloc

I.3.2. c. Selon l'architecture des chaînes moléculaires

Les polymères existent sous deux arrangements linéaire et non linéaire.

a) Arrangement linéaire

Un polymère linéaire est constitué de longues chaînes d'atomes, appelée chaîne principale, attachée par de petites chaînes, appelées chaînes secondaires.

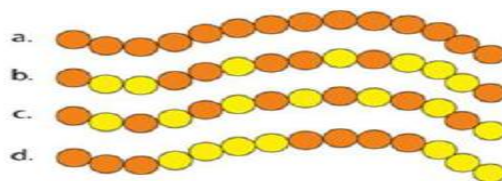


Figure I.3 : Polymères linéaires (a- homopolymère, b-copolymère statistique, c- copolymère alterné, d- copolymère séquencé).

b) Polymère ramifié

Est un polymère présentant des ramifications (branchement). Des chaînes homopolymériques ou copolymériques peuvent se greffer sur la chaîne au cours de la polymérisation [9-11].

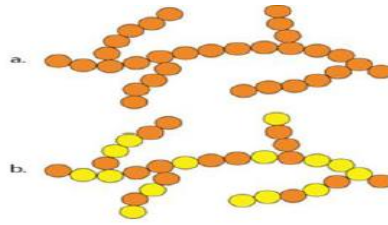


Figure I.4 : Polymères ramifiés (Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b)).

c) Polymères réticulés

La réticulation correspond à la formation de liaisons chimiques suivant les différentes directions de l'espace au cours de la polymérisation, et qui conduit à la formation d'un réseau [12].

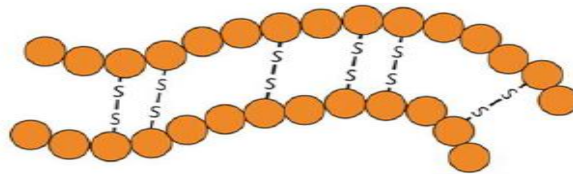


Figure I.5 : polymère réticulé avec ponts di-sulfure reliant deux chaînes.

I.3.3. Classement selon la nature chimique

- **Les Polymères minéraux :** Ils sont constitués soit de chaînes renfermant un seul corps simple (graphite, soufre,...) soit de chaînes renfermant plusieurs hétéro atomes (silicates,...).
- **Les Polymères organiques :** C'est la classe la plus riche. Les polymères organiques constituent la presque totalité des polymères utilisés couramment (les polyoléfines, polyéthylènes,...).
- **Les Polymères mixtes :** Dotés d'une bonne résistance thermique (300° - 350°), les plus représentants de cette classe sont surtout les silicones [13].
 - **Les polymères polaires :** Les polymères polaires possèdent dans leurs molécules des atomes (généralement électronégatifs tels que F, Cl, O, N) qui fournissent des dipôles. Ils ont une permittivité élevée (3.5 à 10) et un indice de perte élevé (10-2 à 10).
 - **Les polymères apolaires :** Les polymères apolaires sont généralement de très bons isolants avec un faible indice de pertes, de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-3} et une permittivité quasi constante (2.5 à 3) dans un large domaine de températures et de fréquences. Ils ne contiennent pas des atomes électronégatifs, tels que le fluor [14].

Tableau I.1 : Exemple d'utilisation des polymères.

Exemples de polymers isolants	Application
Poychlorure de vinyle (PVC)	Câbles BT
Polypropylène (PP)	Condensateurs de puissance
Polyéthylène téréphtalate (PET)	Condensateurs de puissance
Polysulfones, polyéther-éther-cétones (PEEK)	Accessoires électriques automobiles
Polyépoxy	Electrotechnique : entretoise, moteurs, isolateurs
Polyamides	Câbles BT des alimentations des avions

I.3.4. selon Les propriétés thermomécaniques

Trois grandes familles de polymères peuvent être distinguées : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

I.3.4.1. Les Thermoplastiques

Sous l'effet de la chaleur, les chaînes de ces polymères glissent les unes par rapport aux autres. Le polymère se ramollit, peut se déformer et être mis en forme. Après refroidissement, la forme donnée est figée. Sous l'action de la chaleur le polymère redevient malléable et peut être remis en forme. Exemple : PE, PVC, PP... [15].

I.3.4.2. Les Thermodurcissables

Ou thermo durs sont des matières réticulées (macromolécules tridimensionnelles). Au cours de leur transformation la structure finale des macromolécules est obtenue par des réactions chimiques irréversibles, exemple : résines phénol/formol.

I.3.4.3. Les Elastomères

Sont des matières réticulées d'une manière incomplète. Le degré de réticulation est faible à la différence des thermodurcissables.

Les pontages permettent aux macromolécules de revenir en place plus ou moins rapidement après une déformation sous contraintes. C'est la propriété fondamentale des élastomères [16].

I.4. Structure d'un polymère

I.4.1. Structure amorphe

Les structures amorphes manquent de régularité dans l'arrangement cellulaire et l'orientation, les macromolécules formant des points d'enchaînement. La longueur des segments entre les enchevêtrements est suffisamment grande pour que les chaînes individuelles se comportent, créant ainsi une mobilité moléculaire. La structure amorphe est sensible aux impuretés.

La structure amorphe attache des molécules à un site, vibrant, mais restant encastrée dans un volume fixe. Le temps d'encagement τ est long, mais peut produire de la chaleur dans un site voisin. Au fur et à mesure que la température augmente, les chaînes atomiques se désintègrent, faisant passer le matériau à un état dur [17].

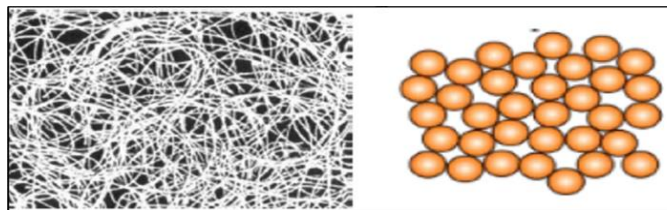


Figure I.6 : Structure Amorphe.

I.4.2. Structure cristalline

Les zones cristallines ou zones à structure ordonnées sont caractérisés par l'arrangement et l'orientation parallèle les unes aux autres des chaînes macromoléculaires et entre elles s'établit un réseau d'interaction transversale qui maintiendra la solidité de la structure. Cet alignement des chaînes moléculaires lui donne les propriétés de permittivité et de résistance mécanique.

Dans la zone cristalline la molécule est attachée à un site ou elle vibre constamment, mais reste engagée dans un petit volume de position fixe. Il est impossible d'avoir un ordre sur toute la longueur de la chaîne, les zones cristallines ne sont pas donc étendues [18].

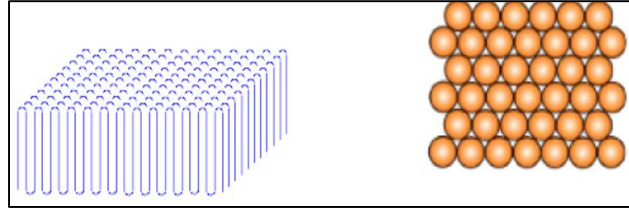


Figure I.7 : Structure Cristalline.

I.4.3. Structure semi-cristalline

La structure se compose d'états ordonnés et désordonnés, avec des zones ordonnées apparaissant à l'intérieur du polymère, des chaînes parallèles et un réseau transversal d'interactions qui maintient sa solidité.

En raison de l'existence d'enchevêtrements entre chaînes en solide pendant la formation cristalline, la régularité du parallélisme de chaîne est limitée à des portions restreintes de leurs longueurs [19].

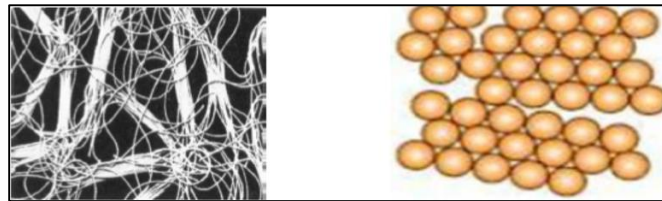


Figure I.8 : Structure Semi cristalline.

I.5. Propriété des polymères

I.5.1. Propriétés chimiques des polymères

La teneur en eau affecte les propriétés mécaniques des polyamides. La présence d'eau peut favoriser l'hydrolyse des polyesters (ainsi que la rupture des fibres de verres qu'ils contiennent éventuellement).

Mais généralement les polymères sont peu affectés par les solutions salines, les acides faiblement dosés. En revanche ils sont pour la plupart sensibles aux solvants organiques (dérivés du pétrole...).

Compte-tenu de la diversité des polymères, il faut toujours spécifier au fabricant (via le fournisseur éventuellement) les conditions d'utilisation de son produit et l'associer au choix du meilleur produit ou compromis [20].

I.5.2. Propriétés physiques des polymères

Les matériaux polymères sont divisés en deux classes : techniques et structurales. Les techniques sont produites pour leurs propriétés optiques, électroniques, physicochimiques et pharmaceutiques, tandis que les matériaux structurels sont formés pour adapter leur propriété mécanique à une utilisation spécifique, tels que les polymères transparents.

Les polymères sont de bons, voire très bons, isolants électriques et des isolants thermiques de qualité moyenne tant qu'ils ne forment pas de mousse [20].

I.5.3. Propriétés thermiques des polymères

La température de transition vitreuse "T_g" et la température de fusion "T_f" sont les deux températures fondamentales nécessaires dans l'étude des matériaux polymères.

La température de transition vitreuse est importante pour les polymères amorphes, notamment les thermoplastiques amorphes, qui ne présentent aucune force de cohésion et les zones cristallines n'existent pas. Les températures caractéristiques d'un seul et même matériau peuvent alors être classées de la façon suivante :

Température de transition entre différents comportements mécaniques. Ceci peut se produire pour les matériaux en verre thermoplastique aux températures suivantes : température de fusion, température de cristallisation et température de décomposition thermique. Une matrice polymère peut présenter des semi-cristaux dans une région également limitée à la température, en fonction des températures appliquées [21].

I.6. Recyclage des matières plastiques

Les motivations pour recycler au sens large les matières plastiques incluent des raisons écologiques, la demande des consommateurs, la législation et un coût réduit par rapport aux matières neuves. Le

développement de l'intérêt pour l'environnement et la réduction de la capacité des sites d'enfouissement ont suscité un programme de recyclage des matières plastiques dans la plupart des pays développés depuis plus d'une dizaine d'années [22].

Le recyclage des matières plastiques est un défi en raison de l'existence de plusieurs familles de polymères avec des grades et des additifs différents (anti-UV, antistatiques, retardateurs de flamme, colorants, pigments, charges, etc.).

L'industrie du recyclage des plastiques est en pleine croissance. Toutefois dans les faits, toutes les matières plastiques ne sont pas concernées par ce type de valorisation [23].

En effet, certaines sont également valorisées par voie énergétique. Deux procédés de recyclage existent :

- le recyclage mécanique : Ce processus consiste à transformer les déchets en matières plastiques, qui sont posées, frottées et remplies pour créer des granules ou des produits finis sans modifier la structure chimique des plastiques.
- le recyclage chimique : Le processus consiste à décomposer les déchets, ce qui entraîne souvent la découverte des monomères originaux [24].

Il faut distinguer deux types de recyclage :

- le recyclage en boucle : Le matériau d'un produit est réutilisé dans la production du même type de produit.
- le recyclage en cascade : Le matériau d'un produit est recyclé pour produire un autre produit [25].

I.7.Polychlorure vinyle (PVC)

Le PVC est l'un des matériaux polymères les plus fréquemment employés dans de nombreuses applications, principalement en raison de son prix abordable et de sa grande fonctionnalité. Pour cela. Le PVC est un matériau polymère solide. La présence d'additifs peut facilement altérer ses caractéristiques [26].

Le PVC est un produit solide très dangereux, notamment en raison de ses propriétés cancérigènes (l'inhalation de vapeurs de PVC peut provoquer des neuropathies au niveau des os et induire certains cancers, notamment le cancer du foie) [27].

I.7.1. Définition

Le poly (chlorure de vinyle), également connu sous le nom international PVC, est une substance thermoplastique amorphe ou faiblement cristalline, fabriquée à partir de carbone, d'hydrogène et de chlore. Le pétrole fournit 43 % du carbone et de l'hydrogène, tandis que le sel fournit 57 % du chloré [28].

La chaîne de PVC est constituée d'éléments identiques ou monomères. Il s'agit du chlorure de vinyle monomère C_2H_3Cl ($CH_2=CH-Cl$) pour le PVC. Le PVC est composé de 750 à 1500 molécules.

Le PVC est le second matériau plastique le plus couramment employé dans le monde. Il appartient à une famille de polymères thermoplastiques (polymères à moulage et à formation par chauffage).

La polymérisation radicalaire en bloc ou en suspension de chlorure de vinyle permet d'obtenir ces produits [29].

I.7.2. Structure

La structure du PVC est constituée d'une chaîne d'hydrocarbures avec des atomes de chlorure et de carbonate, avec des zones microcristallines basées sur la configuration syndiotactique, affectant jusqu'à 20% de l'ensemble structurel [30].

Les atomes de chlore exercent principalement deux forces de cohésion puissantes dans le PVC, ce qui rend le PVC incompatible avec les hydrocarbures non polaires. Cependant, cette polarité permet au polymère de se dissoudre dans des solvants fortement polaires, comme les hydrocarbures chlorés [31].

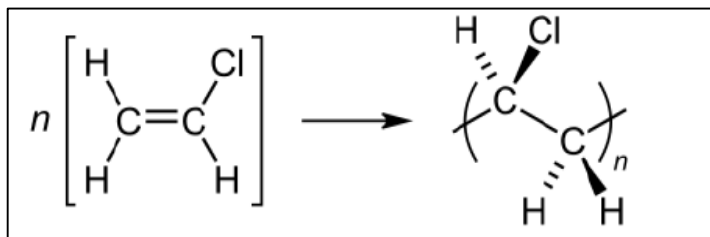


Figure I.9. La formule développée de polychlorure de vinyle.

I.7.3. Propriété de polychlorure de vinyle (PVC)

I.7.3.1. Propriétés physiques

Le PVC est un polymère amorphe, mais il peut être syndiotactique sur les segments de chaîne et s'organiser en phase cristalline, mais le taux de cristallinité ne dépasse jamais 10 à 15%.

Le PVC a une masse volumétrique de 1,38 g/cm³ et est transparent et relativement perméable à l'eau. Sa masse moléculaire moyenne est généralement donnée par la "valeur K". À mesure que la valeur K augmente, sa résilience, sa stabilité thermique et sa résistance au débit augmentent, rendant la transformation plus difficile [32].

I.7.3.2. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques sont essentielles, car la plupart des utilisations finales nécessitent une charge mécanicienne dans des conditions de service spécifiques.

Comme d'autres matériaux thermoplastiques, le PVC est un matériau viscoélastique dont les propriétés mécaniques dépendent de la température, du temps et des contraintes. En général, vous devriez considérer les effets de votre environnement de travail. Les propriétés mécaniques typiques sont indiquées dans le tableau [33].

Ce tableau représente la différence entre les propriétés du PVC rigide et du PVC souple :

Tableau I.2 : les propriétés du PVC rigide et du PVC souple [34].

Propriétés	Unités	PVC rigide	PVC souple
Masse volumique	g/cm ³	1.86	1,16 -1,35
Module d'élasticité	M Pa	2700 - 3000	25 -1600
Contrainte à la rupture	M Pa	50 - 60	8 - 25
Allongement à la rupture	%	10 - 50	170 - 400
Allongement à la rupture	%	4 - 6	/
Température de transition vitreuse	°C	80	-50-80

Le PVC présente une rigidité exceptionnelle jusqu'à sa température de transition vitreuse, il présente une résistance à l'abrasion remarquable, mais il est plutôt fragile face aux chocs à basse température (-10 °C) [35].

I.7.3.3. propriétés chimiques

PVC non-plastifié résiste bien à 60°C aux acides et bases, huiles, alcools et hydrocarbures aliphatiques, mais est insensible aux hydrocarbures aromatiques et chlorés, esters et cétones qui provoquent un gonflement, et est sensible aux agents atmosphériques et à la lumière solaire [36].

I.7.3.4. Propriétés thermiques

- Tenue au feu : La décomposition du PVC entraîne la libération d'acide chlorhydrique gazeux, mais il est également auto-extinguible.
- Conductivité thermique : Environ 0,2 W.m-1.K-1. est sa valeur.
- Capacité thermique massique : 1046 J.kg-1.K-1.
- Coefficient de dilatation linéique : $5.10^{-5}.K^{-1}$ pour les PVC non plastifiés.
- Pouvoir calorifique : 17 K/kg La valeur du PVC non plastifié est plus élevée, mais variable après la formation, tandis qu'elle est supérieure pour le PVC plastifié.
- Température de ramollissement : elle se situe entre 65 et 85°C pour les PVC non plastifiés, elle atteint des valeurs supérieures à 100°C pour les mélanges de PVC et PVC chloré.
- Température de fléchissement sous charge : elle ne s'applique qu'au PVC non plastifié, elle varie entre 55 et 70°C selon les formulations. Pour celles contenant du PVC chloré, elle peut atteindre 90°C [37].

I.7.4. Applications de PVC

La consommation de PVC augmente d'environ 3,5% à l'échelle mondiale, avec des profils rigides en croissance plus rapide que le marché, en particulier dans l'emballage et l'ameublement. Le PVC est facilement recyclable, semblable à la plupart des polymères, et ses principaux secteurs industriels le consomment. L'évolution des marchés du PVC peut être observée comme suit :

- Emballage.
- bâtiment : profilés (encadrement de fenêtre et portes).
- automobile : tableaux de bord, accoudoirs.
- bagagerie, chaussures.
- câblerie : isolation de câbles haute et basse tension.
- plasticulture : tuyaux d'irrigation, serres, films, et de drainage [38].
- Industrie électrique lourde et électrodomestique : corps et aspirateurs, composants pour radio.
- Industrie chimique : cuves de stockage, revêtement de cuves...est.
- Soins de santé : cathéters, masques à oxygène, poches à sang, emballages stériles, toutes sortes de conduites et petits tubes, gants chirurgicaux, équipement médical divers [39].

I.7.5.Inconvénients et Avantages du PVC

I.7.5.1.Inconvénients

Le PVC très dangereux en raison notamment de ses propriétés concérogènes : l'inhalation de vapeur de PVC susceptibles de provoquer de lésions osseuses et angioneurotiques et d'induire certains cancers (angiosarcomes) notamment du foie.

Odeur avec libération de substances nocives [27].

I.7.5.2.Avantages

Le PVC offre plusieurs avantages :

- est un excellent isolant thermique et acoustique.
- est un produit sain et familier.
- se laisse facilement modeler.
- un prix attractif.
- nécessite moins de combustibles fossiles.
- est un produit de construction relativement bon marché [40].

Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre les généralités sur les polymères, tel que des définitions et Les classifications des polymères en suite, les propriétés des polymères. Et en particulier nous avons présenté le polychlorure de vinyle(PVC) leur définition, propriétés, Avantages et Inconvénients.

Dans le chapitre suivant on va ce focalisé sur les membranes polymérique.

Chapitre II
Les membranes

II.1. Introduction

Les processus de séparation et de purification utilisant des membranes ont suscité un intérêt croissant dans de nombreuses industries, car les membranes offrent une haute sélectivité sans nécessiter de chaleur, contrairement aux processus conventionnels tels que l'évaporation [41].

Différents types de membranes, telles que les membranes de microfiltration, d'ultrafiltration, de nanofiltration et d'osmose inverse, sont largement utilisées dans les industries alimentaires, des boissons, pharmaceutiques et chimiques pour divers processus de séparation et de purification. Ces membranes fonctionnent principalement sous pression et ne nécessitent que des pompes électriques pour leur opération [42].

Les membranes de per évaporation sont également devenues une méthode alternative pour séparer divers mélanges liquides, car elles peuvent séparer des composants difficiles à traiter par des méthodes de séparation thermique. En fonction des matériaux utilisés pour leur fabrication, les membranes sont généralement classées en deux groupes principaux : les membranes polymères (organiques) et les membranes céramiques (inorganiques). Cependant, des recherches récentes se sont également penchées sur le développement de membranes hybrides organiques-inorganiques. En termes de coût de production, les membranes céramiques sont généralement plus coûteuses que les membranes polymères [43].

L'une des membranes les plus populaires utilisées dans les processus de traitement de l'eau et des eaux usées industrielles est la membrane d'ultrafiltration. Ces membranes sont généralement caractérisées par leur seuil de coupure moléculaire (MWCO), qui varie de 300 à 500 000 Da. De nombreuses études portent sur l'utilisation de divers matériaux polymères dans le but d'améliorer les performances des membranes ou de réduire leur coût [44].

II.2. Définition de la membrane

Une membrane est une barrière sélective formée d'une couche mince de matière, permettant l'arrêt ou le passage sélectif de substances dissoutes ou non, sous l'action d'une force chimique (concentration) ou physique (pression). En général, les constituants qui sont plus petits que les pores de la membrane sont

capables de passer à travers la membrane sous l'effet d'une pression appliquée tandis que les substances et les molécules de taille plus importante sont retenues par la membrane [45].

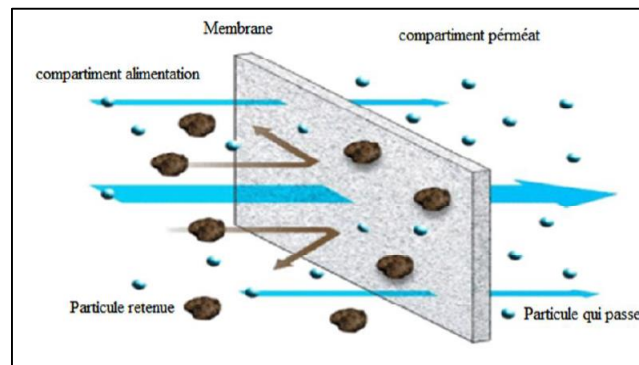


Figure II.1. Membrane sélective.

II.3. Classification de membrane

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

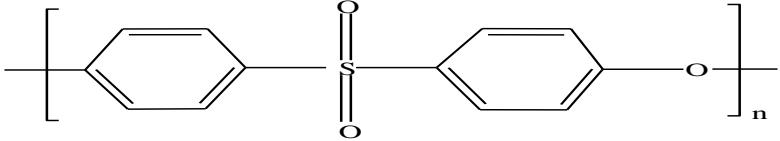
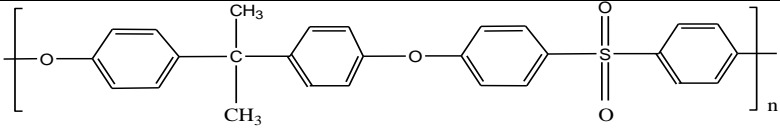
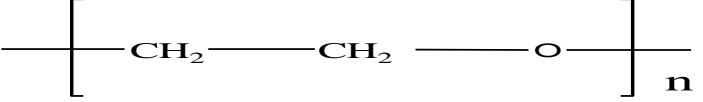
Il existe différents types de membranes.

II.3.1. Les membranes organiques

Les membranes à base de polymères comptent parmi les plus utilisées dans les installations de dessalement. Différents polymères sont utilisés pour être adaptés au seuil de coupure des poids moléculaires, pour obtenir la résistance au colmatage désirée ou le rendement voulu. Les matériaux les plus usités pour les membranes organiques sont les polymères organiques synthétiques ou naturels : acétate de cellulose, Polysulfone, polyamides aromatiques, Polyacrylonitrile, Fluorure de Polyvinylidène (tableau II.1). La plupart d'entre elles ont des qualités (facilité de mise en forme, élasticité par exemple) qui leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. La majeure partie (aux alentours des 90%) des membranes d'ultrafiltration (UF) et de microfiltration (MF) est actuellement constituée de membranes organiques. En revanche, elles présentent une faible résistance mécanique aux hautes pressions, une résistance thermique limitée, une durée de vie plus faible que les membranes céramiques [46].

Les membranes organiques de microfiltration à nanofiltration ont une matrice organique poreuse d'épaisseur 100 à 200 μm qui servent de support à la membrane filtrante dont l'épaisseur se situe entre 0,1 et 1 μm [47].

Tableau II.1 : nom, abréviations et formule chimique de différents polymères constitutifs de membrane organique.

Nom	Abréviations	Formule Chimique
Polyethersulfone	PES	
Polysulfone	PCU	
Polyéthylène glycol	PEG	

II.3.2. Les membranes minérales (ou inorganique)

Ces membranes présentent une structure à la fois composite et asymétrique : elles sont composées d'un support macroporeux à base d'alumine ou de carbone sur lequel sont déposées un nombre variable de couches d'oxydes minéraux (aluminium, ZrO_2 , TiO_2 ...). Le rôle de ces couches filtrantes de faible épaisseur est d'assurer la séparation des solutés grâce à un rayon de pore adapté, alors que le support assure la résistance mécanique. Ces membranes peuvent travailler dans des conditions plus sévères que les membranes organiques grâce à leur résistance mécanique, chimique et thermique (jusqu'à $P = 40$ bar, $T = 120$ °C et $\text{pH} = 1-14$) [48].

II.3.3. Membranes hybrides (organique – inorganique)

Ils allient les avantages des uns et des autres, ils offrent des avantages spécifiques pour la préparation de membranes exigeant une sélectivité importante et des débits élevés, ou une résistance chimique et thermique considérable. On les range en deux catégories : Premier type : seules les forces de Van Der Waals ou les liaisons hydrogène existent entre les parties organiques et inorganiques. Ces matériaux

hybrides peuvent être comparés avec des micros ou nano composites dans lesquels une part (organique ou inorganique) est dispersée dans l'autre agissant comme la matrice hôte.

Second type : les liaisons covalentes entre les phases organiques et inorganiques sont présentes dans ces modèles. Il en résulte soit un matériau hybride homogène au niveau moléculaire, soit une grande aire de surface inorganique greffée de groupes organiques [49].

II.3.4. Membranes composites

Les membranes composites, également connues sous le nom de TFC (Thin Film Composite), sont constituées de plusieurs couches de matériaux ayant différentes porosités et compositions chimiques. Elles ont été développées dans le but d'augmenter la perméabilité des membranes en réduisant l'épaisseur de la couche active sélective. Ces membranes sont principalement utilisées dans des applications telles que la nanofiltration et l'osmose inverse, avec des épaisseurs allant de 10 à 100 nm. Les autres couches de la membrane présentent une porosité croissante afin d'assurer la résistance mécanique de la couche active [50].

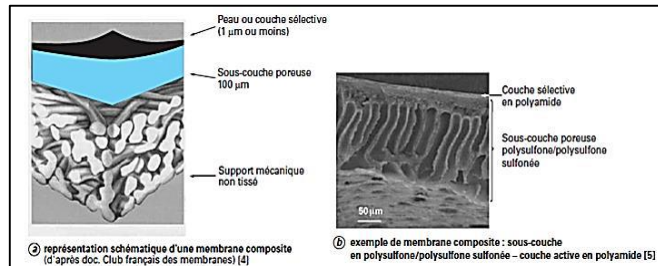


Figure .II.2.Membranes composites [51].

II.3.5. Membranes anisotropes (ou asymétriques)

Ces membranes sont formées d'une couche de surface très fine déposée sur un support poreux plus épais. Les propriétés de séparation et de perméabilité sont assurées par la fine couche extérieure, alors que la structure interne assure le support mécanique.

Les membranes anisotropes sont largement utilisées dans les procédés de séparation commerciaux en raison de leurs avantages en termes de gain de flux. Pour des raisons économiques, il est préférable que les membranes soient aussi fines que possible afin d'obtenir des flux élevés.

Les membranes organiques de microfiltration à nano filtration ont une matrice organique de 100 à 200 nm qui sert de support à la membrane filtrante, tandis que les membranes minérales sont composées d'une matrice à base d'alumine ou de carbone avec des couches d'oxydes minéraux appliquées par frittage. La taille des pores est déterminée par la granulométrie de la poudre initiale, et la peau peut être dense ou poreuse en fonction de l'application envisagée. L'incorporation d'un support textile peut également améliorer la résistance mécanique de la membrane [52].

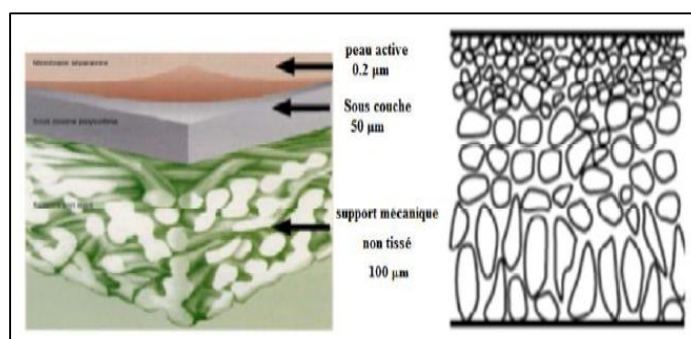


Figure II.3. Représentation schématique des différentes structures membranaires (Membrane asymétrique).

II.3.6. Membranes symétriques

Ces membranes sont caractérisées par une microstructure homogène dans toute l'épaisseur. Elles peuvent être poreuses ou denses [53].

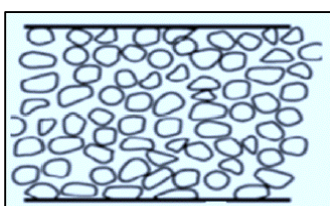


Figure II.4 : Représentation schématique de membrane symétrique.

II.4. Caractérisation des membranes

On a grandes notions qui permettent de caractériser les membranes :

II.4.1. Le taux de conversion

Le texte explique que dans le cas des techniques à membrane, l'écoulement du fluide à filtrer peut être continu et tangentiel. La fraction du liquide qui traverse la membrane est appelée taux de conversion de l'opération de séparation.

II.4.2. Durée de vie

Chaque membrane a une durée de vie limitée, au-delà de laquelle elle ne fonctionnera pas correctement. Cela se traduit par une diminution de son rendement et de ses performances, ainsi que par une détérioration de son état et des signes d'usure.

II.4.3. Résistance

En ce qui concerne la pression, la température et les agents chimiques, nous constatons que la sélectivité et la perméabilité sont directement influencées par ces facteurs. Une membrane est utilisée dans des limites précises de pression, de température et de pH [54].

II.4.4. Sélectivité

La sélectivité est une caractéristique essentielle mais difficile à quantifier. Elle concerne la surface de la membrane et détermine quels composés de la solution peuvent la traverser. Cette caractéristique est étroitement liée à la nature physique et chimique de la membrane.

II.4.5. Perméabilité

La perméabilité est un paramètre qui définit la facilité avec laquelle l'eau traverse la membrane. Elle repose essentiellement sur la taille des pores et l'épaisseur de la membrane pour les membranes poreuses, ainsi que sur les propriétés chimiques pour les membranes denses [55].

II.4.6. Taille des pores

Les pores de microfiltration varient de micromètres à nanomètres, la porosité de la membrane n'étant pas toujours uniforme. Le mécanisme de transfert est de solution/diffusion plutôt que de convection, la structure du polymère change en fonction de l'énergie d'activation et de la température. La sélectivité des membranes dépend de l'affinité des matériaux [56].

II.4.7. Seuil de coupure

Le seuil de coupure est la masse molaire critique pour laquelle 90 % des solutés sont retenus par la membrane, mesurée en g/mol ou Dalton. C'est un moyen de caractériser les membranes, mais il n'est pas rigoureux scientifique [56].

II.5. Géométrie des modules

Les membranes sont utilisées dans des modules, qui sont constitués de films, de tubes ou de fibres. Différents types de modules varient en termes de performances, de coût, de filtration de surface, de consommation d'énergie, de susceptibilité à l'encombrement, de facilité de nettoyage et d'adhésion à une condition de processus spécifique. Les quatre modules disponibles pour les applications industrielles sont les suivants [57] :

- module à membrane plane.
- module à membrane tubulaire.
- module à membrane spiralée.
- module à fibres creuses.

II.5.1. Membranes planes

Les plans de membrane sont faits de supports en polyester non tissé et peuvent être faits soit d'un seul matériau, soit de composites. Ils ne sont pas résistants mécaniquement lorsqu'ils sont appliqués inversement, ce qui les rend inadaptés pour les filtrations rétro. Ces membranes organiques sont utilisées dans les modules en spirale, qui sont généralement disponibles sous la forme de membrane plane pour les essais préliminaires.

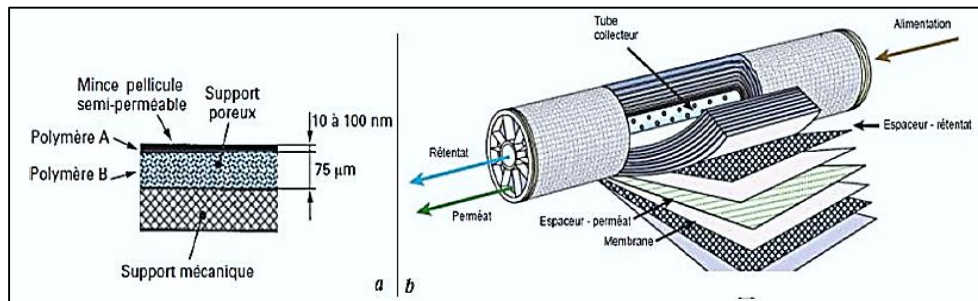


Figure II.5. Structure d'une membrane plane(a), et d'un module spiralé (b).

Les membranes en céramique sont rigides, non enroulables et ne conviennent qu'aux modules de type filtre-pressé en raison de leur structure cristalline [58].

II.5.2. Membranes tubulaires

La structure des membranes tubulaires est cylindrique et leur diamètre interne dépasse le centimètre. Les membranes capillaires sont des membranes dont le diamètre varie de 3 mm à 10 mm .En général, il s'agit de membranes minérales, même s'il existe des membranes organiques.

Elles peuvent être monocanaux (figure II.6.a) ou multicanaux (figure II.6.b). Elles sont constituées d'un support poreux dans lequel circule le perméat sur lequel est déposée la couche active. Celle-ci est généralement située à la surface interne des canaux. La couche active est souvent utilisée à la place des filtrations rétro en raison de sa structure simple.

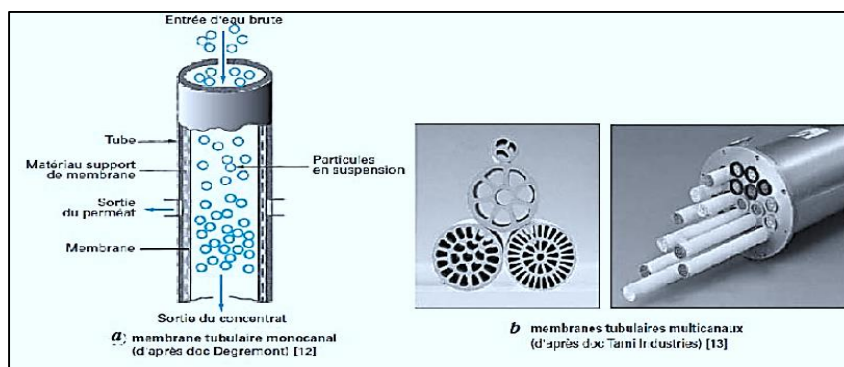


Figure II.6.Exemples de membranes tubulaires [58].

II.5.3. Membranes spiralées

Les membranes peuvent être enroulées en spirale pour améliorer leur compatibilité, comme le montre la figure II.7, qui montre la composition d'une membrane spirale avant et après l'enroulement.

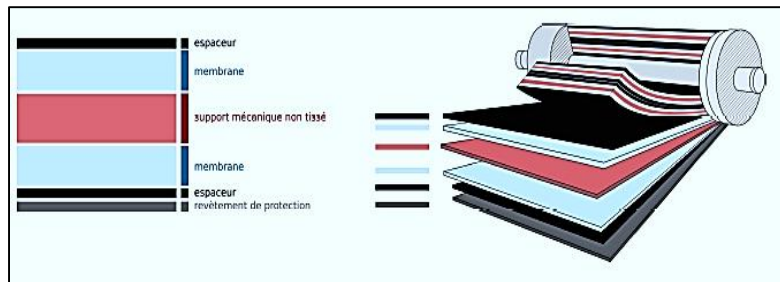


Figure II.7. Schéma de la structure d'une membrane en enroulement spirale [59].

La couche sélective, située sur un support mécanique, offre grande flexibilité et peut être adaptée pour la membrane application finale, mais ne fonctionne pas avec la filtration inverse. Membranes planes peuvent être utilisées dans modules spiralés. (cf. Figure II.7). Elles sont enroulées autour de l'axe de la spirale du module [59].

II.5.4. Membranes fibre creuse

Les membranes de creuse sont autonomes et ont une surface active d'un volume important, ce qui les rend idéales pour les applications industrielles (cf. Figure II.8). Elles sont généralement composées d'un seul matériau, même s'il existe également des fibres composites.

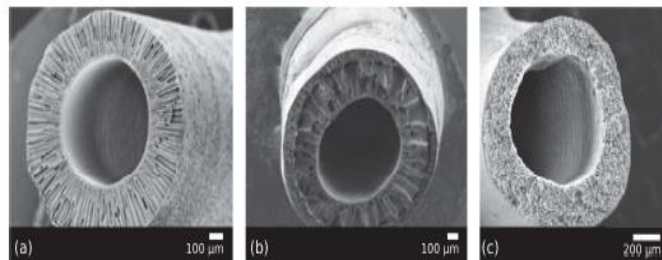


Figure II.8. Membrane géométrie fibre creuse avec différents types de structures (a), (b) et (c).

La membrane fibre creuse se constitue d'une ou deux couches actives en fonction de la méthode d'élaboration. La couche active se situe au niveau de la surface interne, externe ou les deux. L'alimentation

de la fibre creuse peut se faire de l'intérieur de la fibre (dans le cas d'une couche active interne) vers l'extérieur et réciproquement. Cette géométrie facilite la filtration en sens inverse, ce qui permet de décolmater les membranes [59].

Tableau II.2 : Comparaison entre différents types de modules à membranes (UF, MF, NF, OI) industriels [58].

Géométrie				
Plan	Spiralée		Tubulaire	Fibres creuse
Membranes	Organique en format rectangulaires ou en disque	Organiques	Organiques : monotubulaires Minérales : monotubulaires ou multicanaux	Organiques avec la couche séparatrice ou peau à l'intérieur ou à l'extérieur
Assemblage	Le principe de pression des fibroblastes stipule que le côté de retrait est situé entre les plaques liées à la membrane, séparées par des articulations structurelles, et le côté pénétré est placé dans la partie cellulaire.	Les membranes d'origine plate sont encerclées et serrées sur un tube perforé avec des grilles souples pour séparer le côté reculé du côté pénétré.	Le module se compose de membranes tubulaires parallèles séparées par des joints d'étanchéité, avec le côté rétentat à l'intérieur et le côté pénétré à l'extérieur des tubes, enveloppés dans une enveloppe en plastique ou en acier inoxydable.	Le module se compose d'un ou de plusieurs fils de fibres tordues intégrés dans un matériau résistant et assemblés dans une enveloppe en plastique ou en acier inoxydable.
Surface filtrante par module industriel	jusqu'à 100 m ²	jusqu'à 30 m ²	jusqu'à 25 m ²	jusqu'à 74 m ²

II.6.Filtration

La filtration est un processus de séparation qui implique le passage d'un mélange liquide à travers un milieu poreux pour conserver de manière optimale les particules solides tout en permettant au liquide de passer. Il aide à retenir les particules suspendues dans l'eau, qu'elles soient en eau crue ou formées pendant les phases de prétraitement. L'objectif est de maintenir les matériaux suspendus à la surface et les pores du support de filtration [60].

La filtration de membrane est un processus de séparation fiable et efficace, mais ses défis découlent d'un blocage complexe, qui peut affecter les performances du système et provoquer une détérioration de l'osmose inverse [61].

II.7. Gamme de filtration

Membrane sélectivité est dépendante du domaine d'application et de la taille des pores. La membrane agit comme une barrière physique, soulignant large particules. Les membranes sont présentées et regroupées en fonction de la taille des pores, ressemblant à la gamme de membranes.

Tableau II.3. Procédés de séparation utilisés dans l'industrie membranaire [59].

	Membranes	Force motrice	Méthode	Application
Microfiltration	Symétrique micropores 0.1 – 1 μm	Pression hydrostatique 0.1 – 1 bars	Tamissage	Clarification
Ultrafiltration	Asymétrique micropores 0.01 – 0.1 μm	Pression hydrostatique 1 – 5 bars	Tamissage	Séparation macromolécules
Nanofiltration	Asymétrique nanopores 1 -10 nm	Interfaces hydrostatique	Tamissage interaction	Séparation sels inorganique et petite molécules organique
Osmose inverse	Asymétrique couche sélective composite (A° - nm)	Pression hydrostatique 20 – 200 bars	Diffusion solubilité	Séparation sel et microsolutés
Dialyse	Symétrique	Concentration	Diffusion	Séparation sel et microsolutés de solution de macromolécules
Electrodialyse	Echange cation et anion	Potentiel électrique	Charge électrique des particules et taille	Désalinisation solution ionique
Séparation gaz	Homogène	Pression hydrostatique concentration	Diffusion solubilité	Séparation gaz composés

II.8. Procédés de filtration membranaire

II.8.1. Microfiltration

La Microfiltration est le plus ancien de tous les procédés membranaires, L'utilisation d'un tel procédé a été nécessaire pour assurer une eau potable sûre du point de vue bactériologique dans les villes allemandes bombardées durant la Deuxième guerre mondiale. Les membranes de MF utilisées dans le domaine de l'eau potable sont capables de retenir des particules plus grandes que $0,1\mu\text{m}$. Ces membranes permettent donc de retenir en bonne partie des particules à l'origine de la turbidité.

L'utilisation principale de la MF reste la clarification c'est-à-dire l'enlèvement des particules en suspension. La pression d'opération en MF est relativement basse ($< 350\text{ kPa}$) et les flux de perméation sont élevés (10^{-2} à 10^{-4} m/s). La MF peut aussi servir de prétraitement pour la NF et l'OI [62. 63].

II.8.2. Ultrafiltration

L'ultrafiltration est utilisée des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes). Le seuil de coupure est décrit par la masse moléculaire maximale des composés susceptibles de traverser la membrane pour les membranes d'ultrafiltration.

Le seuil de coupure s'exprime alors en unité de poids moléculaire, le Dalton ($1\text{D} = 1\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$). Cette appellation est expliquée par l'étalonnage des membranes d'ultrafiltration, qui se fait grâce à des protéines et des sucres purifiés de poids moléculaires bien connus. Par ailleurs, l'utilisation du poids moléculaire plutôt que d'une mesure métrique des pores dans l'ultrafiltration est justifiée par le fait que d'autres paramètres que la taille entre en jeu. C'est par exemple le cas de la couche de polarisation qui est plus grande que la taille des pores. Pour passer au travers du port, le composé doit également franchir les interactions avec la couche de polarisation [59].

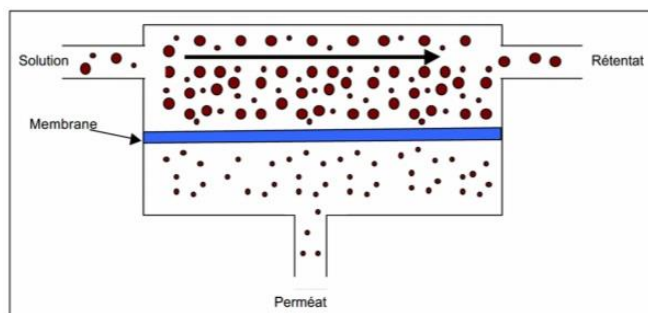


Figure II.9 : Principe de l'ultrafiltration.

II.8.3. Nanofiltration

La nanofiltration permet la séparation de composants ayant une taille voisine de celle du nanomètre. Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à 200 – 250 g.mol^{-1} ne sont pas retenus par ce type de membrane. Les sels ionisés multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques non ionisés de masse molaire supérieure à environ 250 g.mol^{-1} sont, par contre, fortement retenus.

II.8.4. Osmose inverse

Le phénomène d'osmose est un phénomène naturel courant (membranes cellulaires) qui tend à équilibrer la concentration en solutés de part et d'autre d'une membrane semi-perméable laissant passer le solvant. La différence de concentration crée une pression, appelée Pression osmotique. Le soluté traverse alors la membrane vers la solution la plus concentrée afin de la diluer et donc équilibrer les concentrations. Dans l'osmose inverse, pour inverser le passage du solvant et augmenter la différence de concentration, il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique [59].

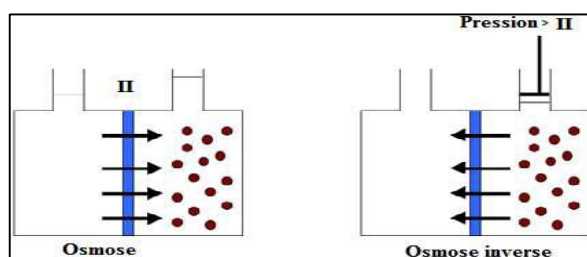


Figure II.10 : Principe de l'osmose inverse.

II.9. Modes de fonctionnement

Les membranes peuvent être utilisées en filtration selon deux fonctionnements principaux :

- La filtration frontale.
- La filtration tangentielle.

II.9.1. La filtration frontale

La filtration frontale sur support est l'un des principaux modes adoptés en filtration membranaire à côté de la filtration tangentielle et est caractérisée par le passage perpendiculaire du mélange à séparer par convection sous l'action de la différence de pression transmembranaire [64].

Le fluide circule perpendiculairement à la membrane sous l'effet d'un gradient de pression. Les solutés rejetés s'accumulent au fur et à mesure de l'avancement de la filtration sur la membrane et le débit du filtrat diminue de façon très importante au cours du temps [65].

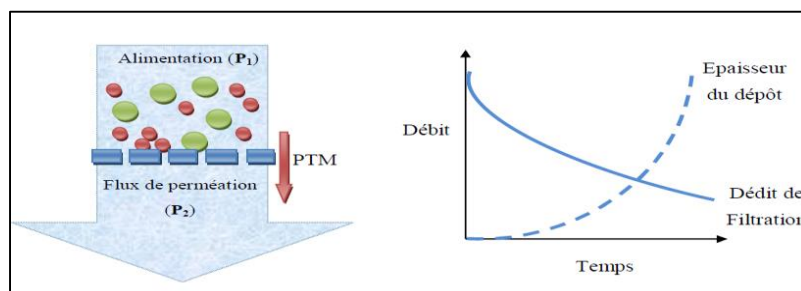
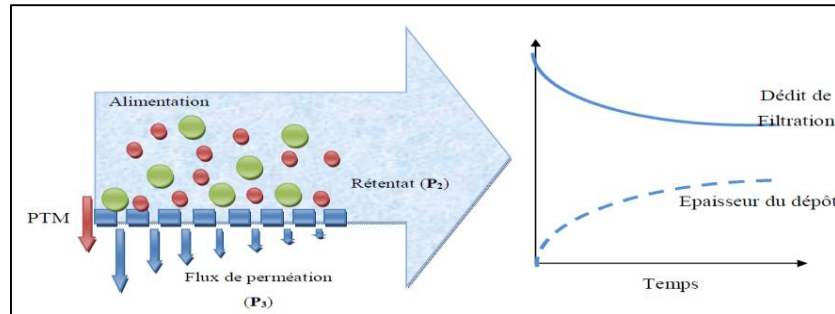


Figure II.11. Gauche : Schéma de fonctionnement de la filtration frontale ; Droite :

Evolution du débit et de l'épaisseur du dépôt en fonction du temps.

II.9.2. Filtration tangentielle

Afin d'obtenir des taux élevés de transfert de masse, il est nécessaire de contrôler / atténuer l'accumulation qui limite le transfert. Cela est rendu possible par l'imposition d'une circulation du fluide tangentielle à la membrane (cisaillement) et/ou de turbulence dans l'environnement immédiat de la membrane [66].



FigureII.12 : Gauche : Schéma de principe de la filtration tangentielle ; Droite :

Evolution du débit et de l'épaisseur du dépôt en fonction du temps.

Conclusion

Dans cette étude bibliographique. Les principes de base de la filtration membranaire ont été exposés dans ce chapitre. Les différentes classes de membranes disponibles. Nous nous sommes attachés à décrire le principe de différentes techniques de séparation membranaire. Les quatre procédés de séparation ont été présentés à savoir la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse.

Chapitre III
Préparation et
caractérisation

III.1.Introduction

Ce travail porte sur la préparation et la caractérisation des membranes à base de polymère et leurs applications dans le traitement des eaux polluées.

Dans ce chapitre nous présentons le travail expérimentale comprend préparations de membranes où les membranes ont été fabriquées à partir de le poly (chlorure de vinyle) (PVC) après l'avoir dissous avec un solvant chimique approprié et y avoir ajouté du sable dans différentes proportions. Les membranes ont également été fabriquées à partir de PVC avec du polyester dans certaines proportion.

Et qui ensuite caractérisées par différentes techniques d'analyses : FTIR, Ep et DRX.

III.2.Elaboration des membranes polymère

III.2.1.Les produits chimique utilisés pour l'élaboration des membranes

Dans la réalisation de ce travail, nous avons utilisé plusieurs types de produits chimiques pour la préparation des membranes pour les essais de filtration.

- **Polymère (polychlorure de vinyle) PVC**

Dans ce travail, le PVC utilisé est un polymère de base pour la préparation des membranes, avec une masse molaire moyenne de 62,49 g/mol.

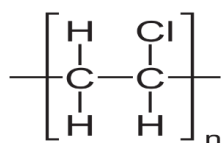


Figure III.1. Structure chimique de polymère PVC [28].

Tableau III.1. Caractéristiques de polymère PVC.

Formule brute	C ₂ H ₃ Cl avec n=700 à 1500
Masse molaire	62,49 g/mol
Masse volumique	1,38 g/cm ³
T de fusion	> 170 (°C)



Figure III.2. Type et Les morceaux de polymère PVC utilisé.

▪ Solvant

Par définition, un solvant est une substance qui forme une solution uniforme avec d'autres substances. Dans l'industrie, nous nous sommes traditionnellement limités aux solvants organiques, c'est-à-dire aux solvants qui contiennent au moins un atome de carbone dans leur structure moléculaire.

Le choix du solvant est critique pour la préparation de la membrane PVC ; le polymère doit être soluble dans le solvant (DMF).



Figure III.3. N,N-Diméthylformamide (DMF).

▪ Sable (Sb)

Le sable est un matériau solide granulaire constitué de petites particules résultant de la décomposition de matériaux d'origine minérale ou organique [67].

Dans notre travail expérimental, nous avons broyé et tamisé le sable à l'aide d'un tamis 50 μ m.



Figure III.4. Broyé et tamisé le sable (Sb).

Polystyrène

Le polystyrène (PS) est un composé qui est un polymère d'hydrocarbure aromatique synthétique dérivé de la molécule monomère de styrène. Il peut être solide ou expansé [68].

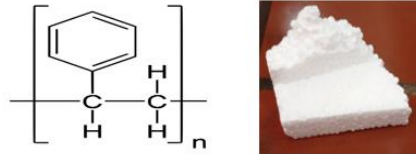


Figure III.5.Structur et un morceau de Polystyrène (PS).

III.2.2. les matériels utilisés

- Bouteilles en verre
- Agitateur magnétique
- Filme en verre
- Bain de coagulation

III.2.3.Préparation des membranes

Cette technique comporte 3 étapes principales nous avons suivi les étapes suivantes pour la préparation des membranes :

- 1- Préparation les solutions membranes (PVC), (PVC/Sable) et (PVC/PS).
- 2- Formation la membrane.
- 3- Coagulation et séchage la membrane.

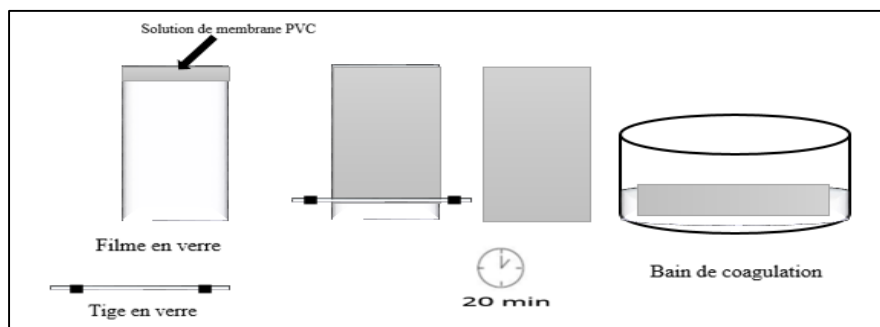


Figure III.6. Procédure de préparation des membranes par filme en verre, Placé ensuite plongé dans un bain de coagulation.

III.2.3.1. Préparation les solutions membrane

III.2.3.1.1. Préparation les solutions PVC et PVC/Sable

Des solutions de membranes de différentes proportions de polymères mixtes PVC/Sable (50 μ m) variant de 0%, 2%, 5%, 7%, de sable ont été fabriquées, nommées M1, M2, M3, M4.

Tout d'abord, une solution de la membrane M1 en PVC pur a été préparée avec une teneur en sable de 0%, tout d'abord, une quantité de 4,5 g de PVC sont pesés et introduits dans une bouteille en verre contenant 20 ml de solution de solvant chimique, le contenu est ensuite bien mélangé en utilisant un agitateur magnétique pendant une durée totale de 12 heures.

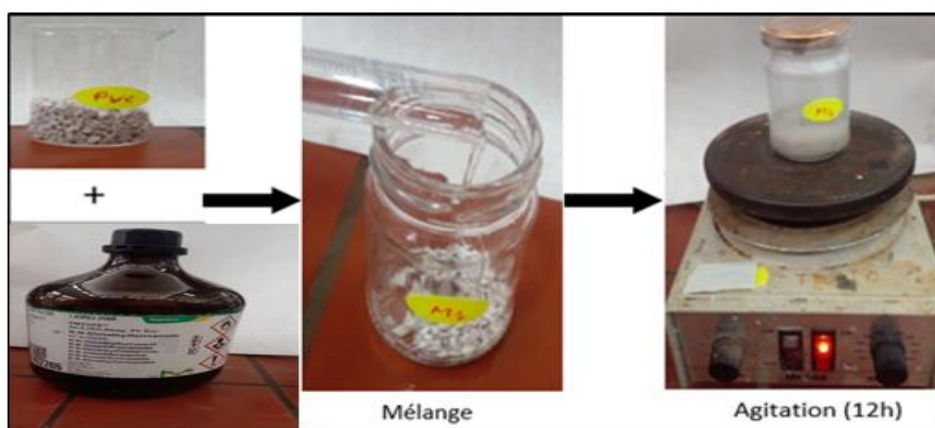


Figure III.7.préparation la solution de membrane M1 en PVC (0% Sb).

Le pourcentage désiré de sable étant ajouté lentement pour former M2 (2% Sb, 98%PVC), M3 (5% sSb, 95%PVC), M4 (7%Sb, 93%PVC).

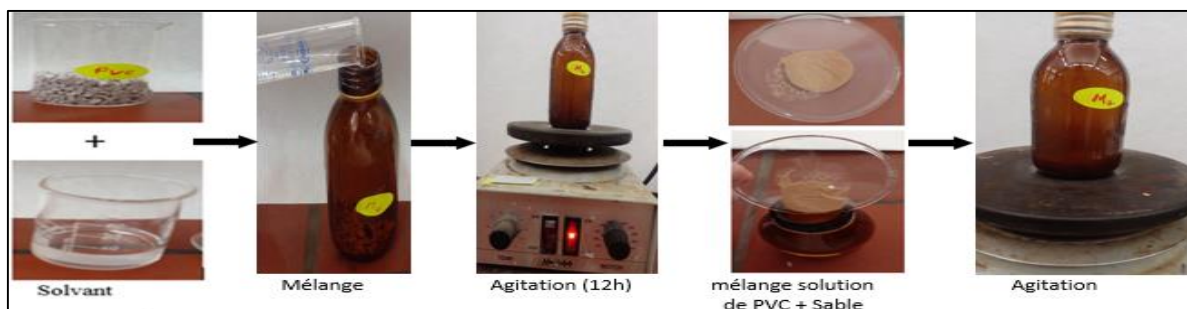


Figure III.8.préparation la solution de la membrane PVC/Sable en pourcentage.

III.2.3.1.2. Préparation les solutions membranes PVC/PS

Des solutions des membranes de différentes proportions de polymères mixtes PVC/PS variant de 10%, 15%, 20%, de Polystyrène (PS) ont été fabriquées, nommées Mps 10% ,Mps 15% et Mps 20%.



Figure III.9. Polystyrène dissous dans le solvant.

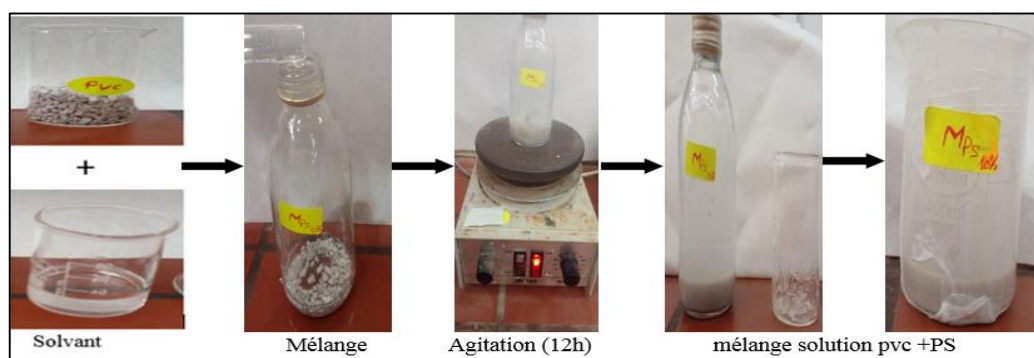


Figure III.10.préparation des solutions membrane PVC/PS.

III.2.3.2. Formation des membranes

La solution de la membrane M1, M2, M3, M4 et Mps en PVC homogène formée a été maintenu à une température ambiante pendant environ 5 h, il est ensuite coulé sur un film en verre à température ambiante à l'aide d'une tige en verre, et laissé 20 minutes à une température ambiante.

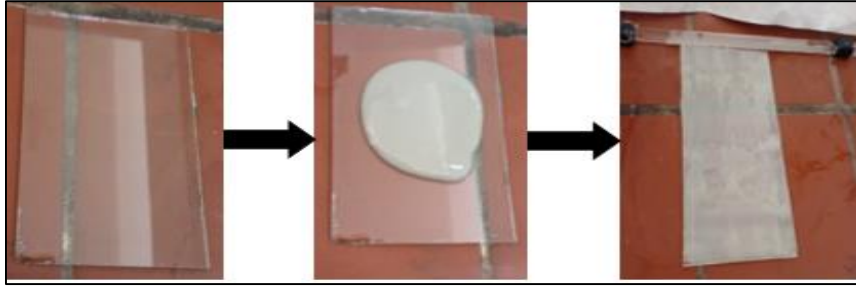


Figure III.11. Formation de membrane.

III.2.3.3. Coagulation et séchage la membrane

La plaque en verre contenant le film est immergée dans un bain de coagulation d'eau distillée, puis après la formation d'une membrane solide à l'intérieur du bain de coagulation.

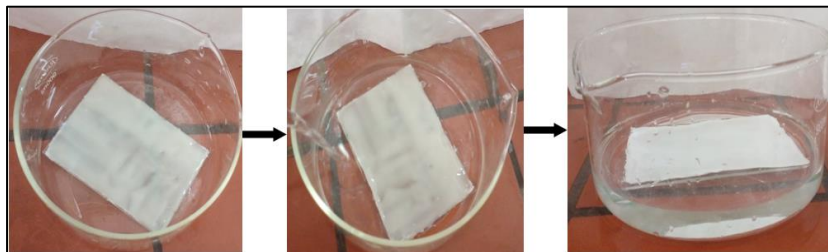


Figure III.12. Bain de coagulation (d'eau distillée).

La membrane est retirée et conservée à l'intérieur d'un papier filtré pendant une période de 8 heures pour un bon séchage.



Figure III.13. Séchage la membrane sur du papier filtre.

III.3.Méthodes de caractérisations

Nos échantillons ont été caractérisés par les méthodes tels que : la Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier en transmission (FTIR), l'épaisseur (Ep) et diffraction aux rayons X (DRX).

III.3.1.Caractérisation par Infrarouge à Transformée de Fourier en transmission (FTIR)

La caractérisation a été réalisée au niveau de laboratoire de Génie-physique par l'appareil FTIR-8400 de SHIMADZU.



Figure III.14 : Spectromètre infrarouge SHIMADZU de type FTIR - 8400.

III.3.2. Jauge de mesure d'épaisseur (Ep)

Micromètre numérique certifié INSIZE avec une résolution de 0,001 mm, illustré à la Figure III.23. Il est utilisé pour mesurer l'épaisseur des membranes PVC formées à plat. Pour une précision de mesure, il est recommandé de laisser sécher complètement le film, puis de réaliser plusieurs mesures sur le film puis d'utiliser la moyenne des épaisseurs obtenues [69].



Figure III.15. Jauge de mesure d'épaisseur.

III.3.3. Diffraction des rayons X (DRX)

L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) est une technique utilisée en science des matériaux pour déterminer la structure cristalline d'un matériau.

La DRX consiste à irradier les rayons X entrants vers le matériau, puis à mesurer l'intensité et l'angle de diffusion des rayons X sortant du matériau.

III.4. Résultats et discussions

III.4.1.1. Les spectres de FTIR

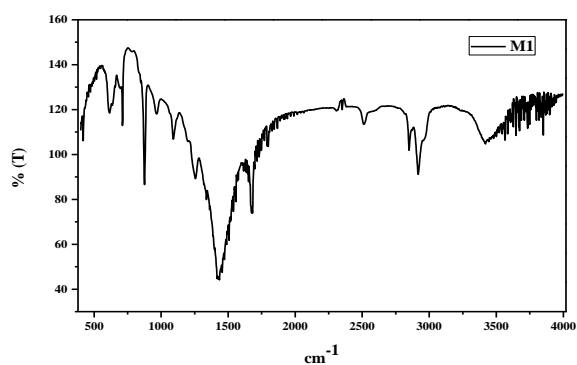


Figure III.16. Specter FTIR de M1 (0% de sable).

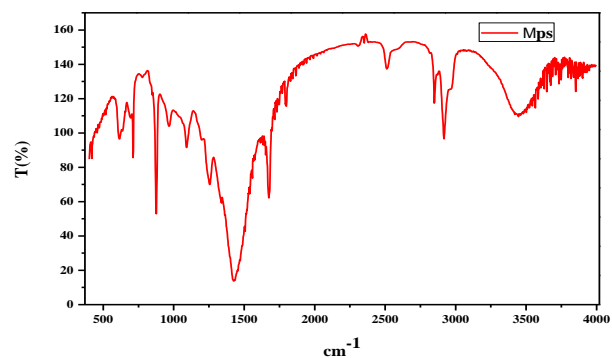


Figure III.17. Specter FTIR de Mps (10% PS).

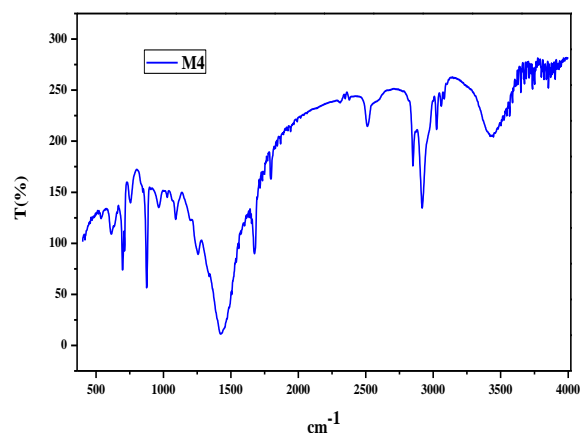


Figure III.18. Specter FTIR de M4 (7% de Sb).

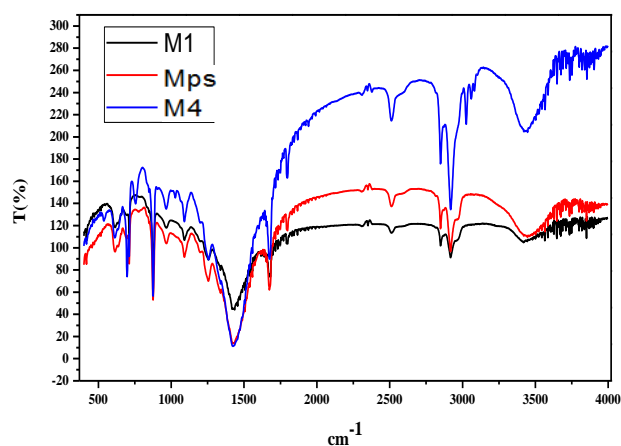


Figure III.19. Specter FTIR de (M1.M4.Mps).

Les figures (16 et 17) montrent les spectres infrarouges du PVC mesurés. Les résultats de la (figure 16) ont été obtenus à partir de mesures de PVC Pur qui ne contenait presque aucun plastifiant ou autre additif, tandis que les résultats présentés sur la (figure 17) ont été obtenus à partir de mesure du PVC souple contenant du sable comme additif. De plus, la (figure 18) montre les résultats de la mesure du spectre infrarouge de PVC et polystyrène comme plastifiant. En comparant les spectres infrarouges des (figures 16, 17 et 18), il est clair que les résultats des mesures du PVC souple sont très différent des résultats du PVC pur, mais sont assez similaires aux résultats obtenus par mesure du PVC + sable.

C'est car le spectre infrarouge de PVC + polystyrène est plus résistant que celui du PVC. Dans les résultats de mesure du PVC souple, les pics aux alentours de 1400 cm^{-1} et 700 cm^{-1} sont des pics provenant du PVC, mais lorsque d'autres additifs tels que le sable et le polystyrène sont également inclus comme additifs, les pics proches de 1400 cm^{-1} C=C sont se chevauchent et sont donc difficiles à confirmer, et C-H saturé 2900 cm^{-1} . Par conséquent, dans de nombreux spectres infrarouges du PVC souple, la vérification du PVC est effectuée à l'aide du C – Cl vibration d'étirement proche de 700 cm^{-1} . Cependant, en fonction du détecteur et méthode de mesure utilisée, confirmation à l'aide du pic associé à l'étirement C – Cl ci-dessus les vibrations peuvent ne pas être possibles en raison de la mesure plage de numéros d'onde utilisée. Même dans ce cas, si l'échantillon est en PVC souple, on peut supposer qu'il s'agit d'un tel basé sur la similarité des résultats de mesure avec eux, et C-H aromatique 3000 cm^{-1} . Cependant, en raison des préoccupations concernant les effets néfastes sur la santé effets de certains plastifiants esters phtaliques, PVC souple contenant des plastifiants autres que les esters phtaliques sont apparaissant.

Un exemple en est l'étiquetage des « PVC ester non phtalique » sur les jouets et autres article. La (figure19) regroupe les spectres FTIR des trois types des membranes.

III.4.1.2. Les spectres de FTIR par Filme

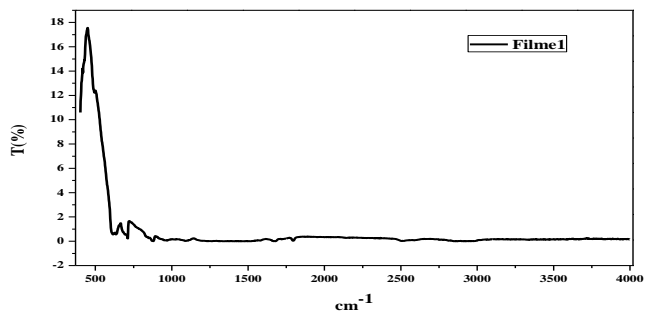


Figure III.20. Specter FTIR de filme1 (0% Sb).

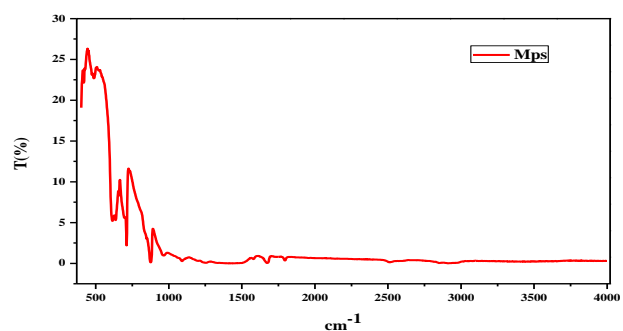


Figure III.21. Specter FTIR de filme Mps (10% PS).

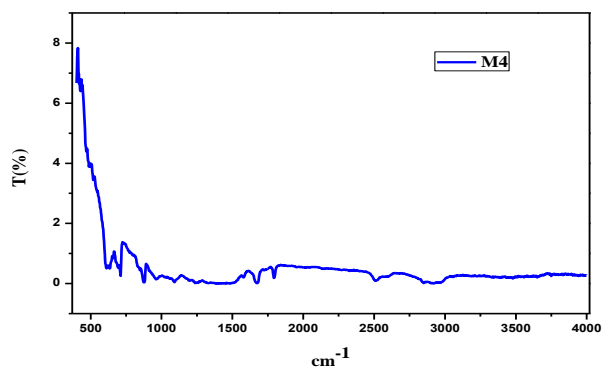


Figure III.22. Specter FTIR de filme M4

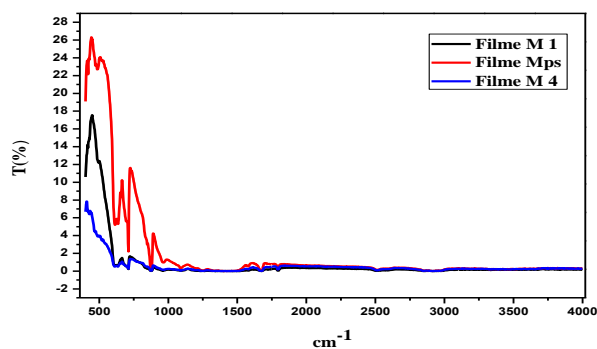


Figure III.23. Specter FTIR de filme (M1, M4, Mps).

Les (figures, 20, 21 ,22 et 23) montrent respectivement les spectres infrarouges du film des membranes PVC pur, PVC+sable, PVC+polystyrène et l'ensemble des spectres.

III.4.2. Epaisseur des membranes

Tableau III.2. Epaisseur des membranes.

Membrane	Epaisseur (µm)
M1	65
M2	96
M3	120
M4	105
Mps	110

Tableau III.3. Données de Perméabilité en fonction du temps de la membrane M4.

M4	
Perméabilité (L/h.m ² .bar)	Temps (min)
0	0
0,4	120
0,5	240
0,7	360
0,9	480
1,12	600
1,4	720
1,6	840
1,9	960
2,1	1080

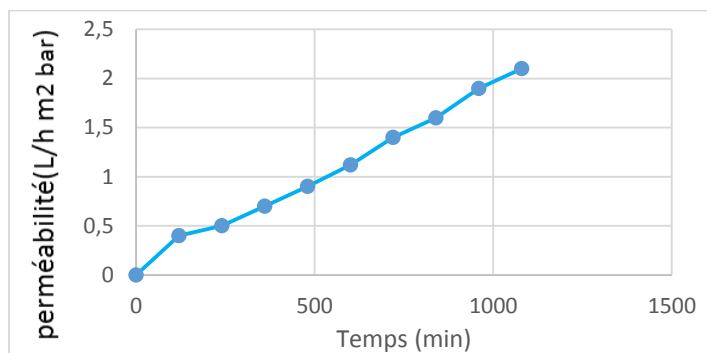


Figure III.24. Courbe de Perméabilité en fonction du temps de la membrane M4.

III.4.3. Les spectres de DRX de M1, M4 et Mps

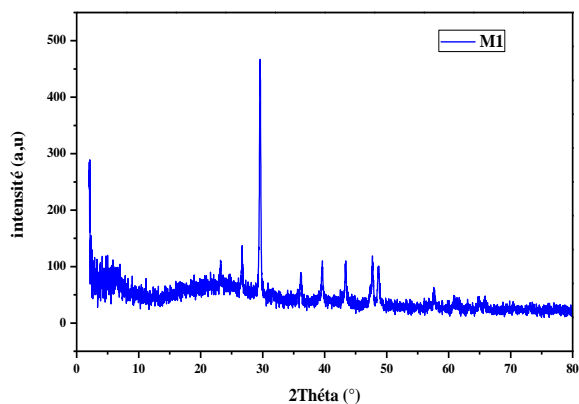


Figure III.25. Spectre DRX de M1.

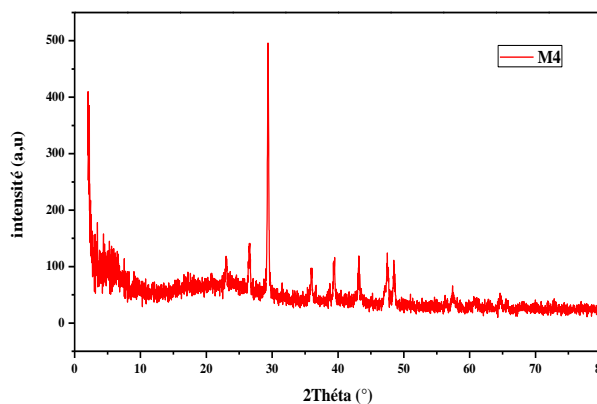


Figure III.26. Spectre DRX de M4.

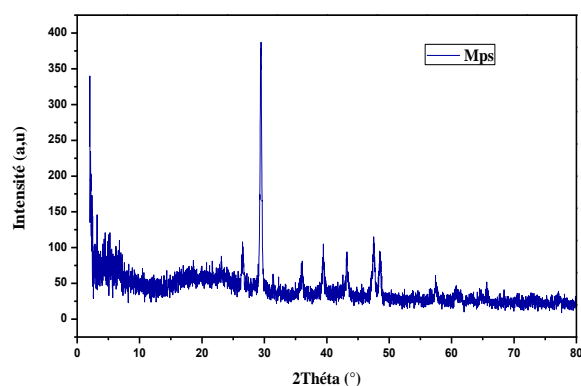


Figure III.27. Specter DRX de Mps.

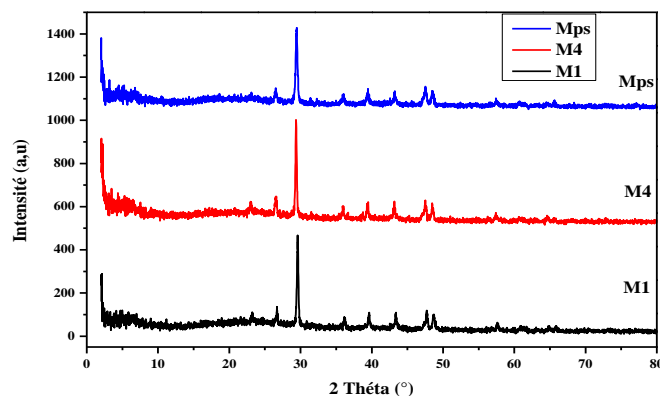


Figure III.28. Specter DRX de (M1, M4 et Mps).

Les modèles DRX pour les surfaces des échantillons de membranes PVC ont également été analysés et représentés dans les (figures 25, 26 et 27). Plusieurs pics de diffraction évidents ont été observés à partir d'échantillons de surface dans la plage de 25 à 70°, bien que les courbes DRX révèlent également des pics de l'ordre de 20 à 40°. La position globale du pic de diffraction de l'échantillon de PVC était similaire à celle de $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$. Une partie des pics de diffraction étaient compatibles avec MgCl_2 qui est impliqué dans la conduite du traitement, bien que plusieurs pics d'impuretés sont restés sans composés appropriés correspondant à eux.

Ces résultats découlent du PVC surface de la membrane contenant des quantités importantes d'impuretés colmatage dû à la présence interrompue d'eau d'entrée pendant le processus expérimental. Cela entraîne un blocage des pores de la membrane et l'adhésion des substances inorganiques contenant du calcium, conduisant à des pics de diffraction modifiés du PVC.

III.5. Application de la membrane

Les tests sont effectués sur la membrane préparée à l'aide d'une seringue filtrante, où l'on filtre l'eau contaminée et une solution colorée.



Figure .III.29. Filtration de la solution colorée.



Figure III.30. Filtration de l'eau contaminée.

Conclusion

Ce chapitre s'est porté sur préparation de membrane de PVC et caractérisé par différentes méthodes de caractérisation des analyses effectuées DRX, FTIR et Ep, à présentation et l'interprétation des résultats, et application de filtration de membrane à l'eau contaminée et une solution colorée.

Les résultats montrent l'efficacité des membranes dans la réduction de la charge polluantes et représente une faible résistance vis-à-vis la pression appliquée.

Conclusión Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail réalisé au cours de ce mémoire consiste à l'élaboration, préparation et la caractérisation des membranes à base de polymère PVC et leurs applications dans le traitement des eaux polluées. On a ajouté le polystyrène et le sable au PVC à différentes proportions pour améliorer les performances de la membrane préparée ses propriétés physiques, chimiques et mécaniques et par conséquent un effet direct sur la performance des membranes préparées.

Après la préparation les films et les poudres sont caractérisés par spectroscopie infrarouge afin d'identifier les fonctions principales synthétisées. Les résultats ont montré que les blends sont obtenus avec succès et confirmés par la DRX. Les résultats sont :

Les bandes principales en (cm^{-1}) apparaissent sont PVC ($\text{C}=\text{C}$: 1400, $\text{C}-\text{H}$ saturé 2900 et $\text{C}-\text{Cl}$ 700), $\text{C}-\text{H}$ aromatique 3000, $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ (entre 400 et 600) et $\text{O}-\text{H}$ (3500-3100). Les pics similaires au composé $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ et MgCl_2 .

Finalement, les membranes de filtration sont appliquées sur l'eau contaminée et une solution colorée par seringue de filtration, ce qui a donné un meilleur résultat c'est le PVC/PS (10%).

Les résultats montrent l'efficacité des membranes dans la réduction de la charge polluante et représente une faible résistance vis-à-vis la pression appliquée.

Reference

- [1]. DINA, Baghdadi Mazini. Pollution de l'environnement marin et santé humaine: mesure, évaluation et Impact des contaminants chimiques et biologiques dans les produits de la pêche au niveau du littoral marocain. 2012.
- [2]. SOSIATI, Harini; RAMADHAN, Fachri; RAHMAN, M. Budi Nur. Fabrication and Characterization of PVC-Based Nanofiber Membranes for Water Filtration Application. *Semesta Teknika*, 2023, 26.1: 78-85.
- [3]. Norfarhana Ab. Samada, Nazwa Jonb, Mohd Azwan Shah Mat Lazimb, Ibrahim Abdullahb and Rizafizah Othamanb. Preparation of ENR/PVC/RH Composite Membrane for Water Permeation Application. *Adv. J. Technol. Vocat. Educ*, 2017, 1: 20-30.
- [4]. BELKACEM, Ramdane. Etude et Conception d'un moule d'injection plastique d'une couverture pour la boîte de la lampe 202-079 d'un congélateur CF 1686 grands formats ENIEM. PhD Thesis. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.2022.
- [5]. HALIMA, SADOK CHÉRIF. Faculté des Sciences et de la Technologie. PhD Thesis. Université de Saida. 2009.
- [6]. FONTANILLE, Michel ; GNANOU, Yves ; SIX, Monsieur Jean-Luc. Chimie et physico-chimie des polymères-4e éd. Dunod, 2021.
- [7]. COMBETTE, Patrick ; ERNOULT, Isabelle. Physique des polymères. Presses inter Polytechnique, 2005.
- [8]. de Gaetano, Yannick. Nouveaux systèmes complexants sélectifs d'ions métalliques supportés. Diss. Université Henri Poincaré-Nancy 1, 2010.
- [9]. Gohfriedw –Ehrenstein ; Fabienne Montagne ; matériau polymères (structures propriétés et applications) paris.2000.

- [10]. MISHRA, Kirti, et al. Ionic Liquid-Based Polymer Nanocomposites for Sensors, Energy, Biomedicine, and Environmental Applications: Roadmap to the Future. *Advanced Science*, 2022, 9.26: 2202187.
- [11]. J-P Trotignon J- Verdu. A-Doraczynski. M-Piperaud. *Précis matières plastiques*, 1996.
- [12]. WEISS, P. *La chimie des polymères*. Université Médicale Virtuelle Francophone, 2010.
- [13]. Belounis, Fahouzi. Structuration par voie colloïdale de nanopoudres de boehmite à partir de systèmes mixtes organique/inorganique. Diss. Université de Limoges, 2015.
- [14]. Batistella, Marcos. Modification de kaolinites submicroniques en vue de leur incorporation dans des matrices polymères. Diss. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, 2013.
- [15]. Aucher, Jérémie. Etude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable. Diss. INSA de Rouen, 2009.
- [16]. MOHAMED, MARREF. *MODULE DE CHIMIE DES POLYMERES : Synthèses, Analyses et Applications*. 2020.
- [17]. Bouita, Mouad. Étude des propriétés et des lois de comportement mécaniques à différentes échelles de polyesters par WAXS et spectroscopie Raman in situ. Diss. Université de Lorraine, 2024.
- [18]. G. Torgovnikov, « Dielectric Properties of Wood-Based Materials. » Springer Berlin Heidelberg. .p169. 1993.
- [19]. HABIBAH, Azibatul, et al. Plasma laser ablation (PLA) technique for synthesis of chitosan-coated Cu nanoparticles colloid for antibacterial. In : *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2023.
- [20]. Mohammed Adnane DOUAR « Recherche de matériaux isolants pour la conception d'une nouvelle génération de connecteurs électriques Haute Tension – Influence de la pollution sur les phénomènes de décharges partielles du contournement et de claquage » thèse doctorat, L'école centrale de Lyon ; 2014.

- [21]. BENABDELHAMID. B ; Kerrouchi. A ; « Elaboration d'un filtre composite à base d'une matrice polymère PVC et l'étude de sa capacité pour la filtration des eaux polluées » ; Master Académique ; Université El Oued ; 2018 ; P (2-10).
- [22]. SCHEIRS J., Polymer Recycling – Science, Technology and Applications, Eds. WILEY J.and sons, 1998.
- [23]. TANGE L., DROHMANN D., Waste electrical and electronic equipment plastics with brominated flame retardants – from legislation to separate treatment – thermal process, Polymer Degradation and Stability, 88, 35-40, 2005.
- [24]. PARKER, Kristin. Une nouvelle étude met en lumière la complémentarité entre les différentes technologies de recyclage des plastiques. 2023.
- [25]. Pedneault, Julien. Vers un futur circulaire à faible empreinte carbone : modélisation et optimisation prospectives des impacts et des flux d'aluminium. Diss. Ecole Polytechnique, Montreal (Canada), 2022.
- [26]. MARCILLA, A. ; GARCÍA, Silvia ; GARCIA-QUESADA, J. C. Migrability of PVC plasticizers. Polymer testing, 27.2 : 221-233.2008 .
- [27]. GIRARDI, Paolo, et al. Mortality for lung cancer among PVC baggers employed in the vinyl chloride industry. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19.10: 6246.2022 .
- [28]. HRUSKA, Zdenek, et al. Poly (chlorure de vinyle) ou PVC. Ed. Techniques Ingénieur, 2007.
- [29]. Christopher D. Anderson et Eric S Daniels, Emulsion Polymerisation and Latex Applications, Smithers Rapra Publishing, 2003.
- [30]. Feng, Chaochao, Feng Yu, and Yuan Fang. "Mechanical behavior of PVC tube confined concrete and PVC-FRP confined concrete: A review." Structures. Vol. 31. Elsevier, 2021.
- [31]. LING, Mengxue, et al. Hydrothermal treatment of polyvinyl chloride: Reactors, dechlorination chemistry, application, and challenges. Chemosphere, 316: 137718.2023 .

- [32]. BOURICHE, Sabrina, et al. Smart membrane absorbing electromagnetic waves based on polyvinyl chloride/graphene composites. *Materials Research Express*, 9.4: 045703.2022 .
- [33]. BOLLARD, Clémentine. Le nettoyage des biens culturels en polychlorure de vinyle plastifié : problématiques spécifiques et recherches en cours. *Technè. La science au service de l’histoire de l’art et de la préservation des biens culturels*, 38: 25-29, 2013.
- [34]. LADJAL. Y ; « Etude des migrations des plastifiants des PVC et autres polymères vers les liquides » ; Mémoire de master ; Université de Bouira .2015 .
- [35]. EHRENSTEIN, Gottfried W. MONTAGNE, Fabienne. *Matériaux polymères, structure, propriétés et applications*. Hermès science publications, 2000.
- [36]. BOLLARD, Clémentine. Le nettoyage des biens culturels en polychlorure de vinyle plastifié : problématiques spécifiques et recherches en cours. *Technè. La science au service de l’histoire de l’art et de la préservation des biens culturels*, 38: 25-29.2013 .
- [37]. J. Dupuy, « Synthèse de nouveaux matériaux catalyseurs pour polymérisation de l’éthylène », Thèse de Doctorat, Université de Lyon, 1994.
- [38]. ECHALIER, Bruno. Point de vue sur les nanotechnologies. L'opinion d'un acteur. *Realites Industrielles-Annales des Mines*, 39-44.2004 .
- [39]. LAMBERT, Byron James; TANG, F.-W.; ROGERS, Wayne J. *Polymers in medical applications*. 2001.
- [40]. <https://www.dumaplast.com/fr/a-propos-de-nous/durabilite/quelques-avantages-du-pvc>.
- [41]. BILLARD, Isabelle; LAGROST, Corinne. Liquides ioniques, espoirs et raison, de la recherche à l'industrie. *Techniques de l'Ingénieur. Physique Chimie*, 2020.
- [42]. AMAR, Mme Raja Ben. Performances comparatives des techniques de nanofiltration et d’osmose inverse pour le traitement d'eau de consommation contaminée à l'arsenic au Burkina Faso. Université de Sfax, 2016.

- [43]. BESSON, Luc. Inférence de source de traces d'essence retrouvées dans des débris d'incendie: Evaluation de la contribution de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse à rapport isotopique. Université de Lausanne, Faculté de droit, des sciences criminelles et d'administration publique, 2015.
- [44]. Samuel P. Kusumocahyo*, Syarifa K. Ambani, Sylvia Kusumadewi, Hery Sutanto, Diah I. Widiputri, Irvan S. Kartawiria. Utilization of used polyethylene terephthalate (PET) bottles for the development of ultrafiltration membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8.6: 104381.2020.
- [45]. VANCE, Jacob A.; DEVARAJ, Neal K. Membrane mimetic chemistry in artificial cells. *Journal of the American Chemical Society*, 143.22 : 8223-8231.2021.
- [46]. BOSCH, F, synthèse et caractérisation de couches minces et de membranes photo catalytiques et mesostructurées à base de TiO₂ anatase, thèse de doctorat, Université Montpellier II, 2004.
- [47]. DJAFER, Lahcène. Etude d'un système autonome pour le traitement des eaux usées par les techniques membranaires. Membranes à effet photocatalytiques à base de TiO₂. PhD Thesis. OUAGUED Abdallah..2011
- [48]. El khabbaze H. Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nanofiltration et d'osmose inverse. Thèse de doctorat. Université Mohammed V-Agdal. Maroc. 2008.
- [49]. LESLIE DOS .S, Mécanisme de conduction protonique au sein de membrane hybrides pour piles à combustible, thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie-France, 2014.
- [50]. LI, Yifan, et al. Recent advances in the fabrication of advanced composite membranes. *Journal of Materials Chemistry A*, 1.35 : 10058-10077, 2013.
- [51]. HATAT-FRAILE, Mélisa Marie. Etude des méthodes d'élaboration et de la mise en oeuvre de photocatalyseurs pour le traitement de la micro pollution bio-réfractaire dans l'eau. Université de Montpellier, Montpellier, France, 2013.

- [52]. MAKSYM, Geoffrey N., et al. Beneficial and harmful effects of oscillatory mechanical strain on airway smooth muscle. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 83.10: 913-922, 2005.
- [53]. SEYHI, Brahim, et al. État actuel des connaissances des procédés de bioréacteur à membrane pour le traitement et la réutilisation des eaux usées industrielles et urbaines. *Revue des Sciences de l'Eau*, 24.3 : 283-310, 2011.
- [54]. BOSCH, Florence. Synthèse et caractérisation des couches minces et de membranes photocatalytiques mésosstructurées à base de TiO₂ anatase. PhD Thèses. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, 2004.
- [55]. HAOUARI, Selim. Préparation et caractérisation de membranes poreuses à base de polyéthylène. 2022.
- [56]. ELLOUZE, Fatma ; AMAR, Nihel Ben ; DERATANI, Andre. Étude comparative de deux méthodes de caractérisation de membranes d'ultrafiltration et de nanofiltration : la porométrie bi-liquide et le transport de solutés neutres. *Comptes Rendus Chimie*, 2015, 18.5: 482-491.
- [57]. YANG, Xing, et al. Membrane module design and dynamic shear-induced techniques to enhance liquid separation by hollow fiber modules: a review. *Desalination and Water Treatment*, 51.16-18 : 3604-3627, 2013.
- [58]. CHOUGUI. A. Thèse de doctorat. Application des membranes dans la filtration des polluants liquides. Université Abdelhamide Ibn Badis-Mostaganem, 2015.
- [59]. King Wo LI. Thèse de docteur. Membranes polymères pour le traitement d'eau de production sur plateforme offshore .l'université de montpellier. En Génie des procédés. Le 10 octobre, 2018.
- [60]. Jarid H., Amzil K. Optimisation de la filtration sur sable pour le traitement des eaux potable à la compagnie minière Guemassa (CMG). Mémoire de licence. Université Cadi Ayyad Marrakech. Maroc, 2012.
- [61]. MELLE. TAIBI. SARAH, les facteurs influençant le vieillissement des membranes D'osmose inverse, Étude d'un cas, 2016.

- [62]. NECHAD A, Elaboration d'une membrane de filtration d'eau à base de polyéthylène basse densité et de gypse de Bouzgaïa, mémoire de magister, université hassiba benboualichlef. 2009.
- [63]. ANIS, Shaheen Fatima; HASHAIKEH, Raed; HILAL, Nidal. Microfiltration membrane processes: A review of research trends over the past decade. *Journal of Water Process Engineering*, 2019, 32 : 100941.
- [64]. SEYHI, Brahima, et al. État actuel des connaissances des procédés de bioréacteur à membrane pour le traitement et la réutilisation des eaux usées industrielles et urbaines. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2011, 24.3 : 283-310.
- [65]. SAADAoui, Housseem, et al. Etude de fractionnement des hydrolysats protéiques de co-produits de l'industrie de transformation du thon par ultrafiltration et nanofiltration. 2020.
- [66]. BESSIERE, Yolaine. Filtration frontale sur membrane : mise en évidence du volume filtré critique pour l'anticipation et le contrôle du colmatage. PhD Thesis. Université Paul Sabatier-Toulouse III.2005 .
- [67]. DRAMAIS, Guillaume, et al. Observation et calcul de flux de sable en suspension sur le Rhône à Lyon. In : Colloque TSMR–CFBR «Transport sédimentaire : rivières & barrages réservoirs». 2022.
- [68]. TURNER, Andrew. Foamed polystyrene in the marine environment: sources, additives, transport, behavior, and impacts. *Environmental Science & Technology*, 2020, 54.17 : 10411-10420.
- [69]. DIEVAL, F., et al. Les tests mécaniques d'évaluation des prothèses vasculaires. *ITBM-RBM*, 2001, 22.2: 70-87.

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier la préparation de membranes de filtration à partir d'un polymère peu coûteux qui filtre les eaux polluées. Nous avons choisi un polymère (PVC) auquel ont été ajoutés du sable et du polystyrène pour améliorer ses performances. L'étude a également permis d'appliquer la membrane préparée en filtrant de l'eau contaminée et une solution colorée à l'aide d'une seringue de filtration (ultrafiltration).

Méthodes de caractérisation des membranes par diffraction des rayons X (DRX), Spectroscopie infrarouge (IR) et mesure de l'épaisseur du film avec un mesureur d'épaisseur (Ep).

Mots clés : membrane, polymère, polychlorure de vinyle (PVC), filtration.

Abstract

The objective of this work is to study the preparation of filtration membranes from an inexpensive polymer that filters polluted water. We chose a polymer (PVC) to which sand and polystyrene were added to improve its performance. The study also allowed us to apply the membrane prepared by filtrating contaminated water and a colored solution using a filtration syringe (ultrafiltration).

Methods of characterizing membranes by X-ray diffraction (DRX), Infrared (IR) spectroscopy and film thickness measurement with a thickness meter (Ep).

Keywords: membrane, polymer, polyvinyl chloride (PVC), filtration.

المخلص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تحضير اغشيه الترشيح من بوليمر غير مكلف ويقوم بتصفية المياه الملوثة، وقد اخترنا بوليمر (PVC) الذي تم إضافة له مادة الرمل و polystyrène لتحسين أدائه. كما سمحت لنا الدراسة بتطبيق الغشاء المحضر بترشيح المياه الملوثة ومحلول ملون بواسطة حقنة الترشيح (فائق الترشيح). طرق توصيف الأغشية بحيود الأشعة السينية X (DRX). التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (IR) وقياس سمك الغشاء ب مقياس قياس السماكة (Ep).

الكلمات المفتاحية: غشاء، بوليمر، بولي فينيل كلوريد (PVC)، ترشيح.