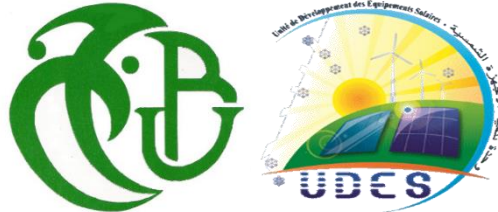


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de

Master

Spécialité : Génie de l'Environnement

Thème

*Etude de Colmatage des Membranes d'Osmose
Inverse Utilisées pour le Dessalement de l'eau de
Mer*

Présenté par :

Mlle. NEMRI Ines

M. TRAORE Mamadou Yaya

Dirigé par :

Dr. TIGRINE Zahia

Dr.AOUDJ Salaheddine

Soutenu le 21/06/2023 devant le jury composé de :

Pr. BOURAS Omar

Dr. OUSSEDIK Salim Mabrouk

Président de jury

Examineur

Année universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude avant tout à DIEU qui nous à aidé, et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions vivement et chaleureusement notre promotrice madame TIGRINE, encadreuse de ce mémoire, pour nous avoir soutenu tout au long de ce travail, en lui témoignant notre reconnaissance pour son caractère sérieux, sa patience et ses conseils, ainsi que notre Co-promoteur Mr. AOUDJ, pour ses orientations, ses conseils et ses riches connaissances.

Nous adressons également nos remerciements à madame YAHIAOUI, du laboratoire de dessalement pour ces conseils judicieux et à toute l'équipe qui travaille au laboratoire de dessalement de l'eau de mer.

Nous tenons à exprimer notre sincère remerciement au directeur de l'UDES pour l'accueil au sein de son centre.

Nous remercions aussi toute l'équipe du laboratoire de microbiologie au sein du centre de recherche CNRDPA pour son accueil chaleureux

Nos vifs remerciements s'adressent également à monsieur BADIS et à tous les enseignant(e)s du département de génie des procédés.

Nos remerciements s'adressent à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail à mes parents pour leur soutien

*Indéfectible et leur amour inconditionnel tout au long de mon
parcours académique et professionnel.*

*Leur confiance en moi a été une source de motivation pour
atteindre mes objectifs et réussir cette étape importante de ma vie.*

DEDICACES

J'ai l'honneur et le plaisir de dédier ce travail à tous ceux qui ont partagé cette période importante de ma vie.

Tout d'abord aux personnes qui me sont très chères au cœur et qui me suivent inconditionnellement depuis toujours avec leurs soutiens, bon conseils et encouragement à chaque instant de ma vie : Mes très chers parents YAYA et NANI, mes sœurs FATOUMATA, KANI, MINATA et frère HADY, à mon précieux oncle MAMBI et sa femme AMINATA, à mon honorable grand père et à toutes la famille TRAORE.

A Mr TRAORE MAMADOU MARIAM de LNE et au Pr. ADAMA TOLOFOUDYE de la FST pour leurs conseils et la partage de leur connaissance.

A AMINATA DEMBELE pour sa présence et ses conseils tout au long de ce travail.

A tous mes amis de la cité universitaire 06.

TRAORE MAMADOU YAYA

SOMMAIRE

Résumé

Introduction.....1

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

1. Osmose inverse (OI)	4
1.1 Osmose	4
1.2 Osmose inverse	4
1.3 Principe d'osmose inverse	5
1.4 Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse.....	6
1.4.1 Pression osmotique	6
1.4.2 Taux de conversion	6
1.4.3 Sélectivité.....	6
1.4.4 Mécanisme de transfert	7
1.5 Avantages et inconvénients de l'osmose inverse	7
2. Membranes de filtration.....	8
2.1 Définition	8
2.2 Classification des membranes d'osmose inverse.....	9
2.2.1 Classification selon la structure.....	9
2.2.2 Classification selon la nature chimique.....	12
3. Colmatage.....	13
3.1 Définition	13
3.2 Différents agents colmatants	13
3.2.1 Composés minéraux.....	14
3.2.2 Composés biologiques	14
3.2.3 Composés organiques	14
3.3 Mécanisme de colmatage.....	14
3.3.1 Adsorption.....	14
3.3.2 Dépôt de matière par convection	15
3.3.3 Colmatage en profondeur par obstruction des pores.....	15
3.4 Nature du colmatage.....	16
3.4.1 Colmatage inorganique	17
3.4.2 Colmatage particulaire	18
3.4.3 Colmatage organique	19
3.4.4 Biocolmatage.....	20

CHAPITRE II : Matériel et Méthodes

1. Stations de prélèvement	22
1.1 Station de Fouka	22
1.2 Station de Hamma	24
1.3 Station de Maqtaa	25
2. Autopsie de la membrane	27
2.1 Evaluation externe	27
2.2 Evaluation interne.....	27
2.2.1 Tests d'intégrité	28
2.2.2 Analyse des composés organiques par perte en feu	28
2.2.3 Analyses chimiques	28
3. Rinçage chimique	28
3.1 Variante.....	28
4. Analyses physico-chimiques	29
4.1 pH.....	29
4.2 Conductivité.....	29
4.3 Turbidité	29
5. Analyse bactériologique	30
5.1 Catalase.....	30
5.2 Coloration de Gram	30
5.3 Galerie API 20E et API STAPH	32
6. Appareillage utilisé.....	34

CHAPITRE III : Résultats et Discussion

1. Evaluation externe.....	36
2. Evaluation Interne.....	37
2.1 Test d'intégrité au Bleu de Méthylène.....	37
2.2 Test d'intégrité à la Rhodamine B	38
3. Caractérisation physicochimique du matériau colmatant	40
3.1 Taux de la matière organique	40
3.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)	41
3.3 Diffraction des rayons X (DRX)	47
4. Étude comparative de l'efficacité de décolmatage de certains produits.....	49
4.1 Fouka	50

4.2	Maqtaa	52
4.3	Hamma.....	54
5.	Caractérisation microbiologique de la boue colmatante.....	55
5.1	Recherche des bactéries présentes dans les échantillons du colmatant des 3 membranes	55
5.2	Préparation des colorations et identification des souches bactériennes	56
5.2.1	Coloration de Gram	56
5.2.2	Catalase	57
5.2.3	Identification de la bactérie en utilisant une Galerie API STAPH.....	58
6.	Conclusion	59

Références Bibliographiques

Annexes

LISTES DES FIGURES

Figure I.1 : Principe de l'osmose inverse.	5
Figure I 2: Représentation schématique de la séparation par membrane	8
Figure I 3: Membranes asymétriques ou anisotropes	10
Figure I 4: Représentation d'une membrane composite.....	11
Figure I 5: Schéma récapitulatif des principaux mécanismes de colmatage membranaire	13
Figure I 6: Micrographie représentative d'une membrane d'osmose inverse colmatée par des matières inorganiques obtenue par MEB.....	17
Figure I 7: Dépôt de la silice sur une surface membranaire d'osmose invers	18
Figure I 8: Membrane d'osmose inverse colmatée par la silice.....	18
Figure I 9: Détérioration apparente d'une membrane d'acétate de cellulose par un microbe de forme hélicoïdale et une bactérie non identifiée en forme de baguette.....	20
Figure II 1: Photo aérienne de près et de loin de la station de dessalement de Fouka.	23
Figure II 2: Photo aérienne de près et de loin de la station de dessalement de Hamma.	25
Figure II 3: Photo aérienne de près et de loin de la station de dessalement de Maqtaa.	26
Figure II 4: les étapes d'autopsie d'une membrane d'osmose inverse.....	27
Figure II 5: Coloration de gram	31
Figure II 6: Galerie API 20E	33
Figure II 7: Galerie API STAPH	34
Figure III 1: Test d'intégrité au Bleu de Méthylène; (1) Membrane de Fouka, (2) Membrane de Maqtaa, (3) Membrane de Hamma.....	37
Figure III 2: Test d'intégrité à la Rhodamine ; (1)Fouka, (2)Maqtaa, (3)Hamma.	39
Figure III 3: Fractions massiques de la matière organique dans le matériau colmatant des trois membranes : (1)Fouka, (2)Maqtaa, (3)Hamma.....	40
Figure III 4: Spectre d'absorbance de la membrane de Fouka.....	42
Figure III 5: Spectre d'absorbance de la membrane de Maqtaa.	43
Figure III 6: Spectre d'absorbance de la membrane de Hamma.	45
Figure III 7: Spectre de diffraction de la membrane deFouka.....	47
Figure III 8: Spectre de diffraction de la membrane de Hamma.	48

Figure III 9: Spectre de diffraction de la membrane de Maqtaa.....	49
Figure III 10: La variation des paramètres physicochimiques des solutions de rinçage en fonction du temps d'agitation pour la membrane de Fouka.	50
Figure III 11: La variation des paramètres physicochimiques des solutions de rinçage en fonction du temps d'agitation pour la membrane de Maqtaa.	52
Figure III 12: La variation des paramètres physicochimiques des solutions de rinçage en fonction du temps d'agitation pour la membrane de Hamma.....	54
Figure III 13: Souches bactériennes après purification (A) Fouka, (B) Maqtaa, (C) Hamma.	55
Figure III 14: Staphylococcus aureus.....	56
Figure III 15: Flavimonas oryzihabitans.	56
Figure III 16: Ochrobacterum anthropic.	57
Figure III 17: l'eau oxygénée avant l'ajout de bactérie.	57
Figure III 18: Réaction de la bactérie après le test de catalase.....	57
Figure III 19: Résultat galerie API STAPH (staphylococcus aureus).	58
Figure III 20: Test d'identification Biomérieux (staphylococcus aureus).	58
Figure III 21: Inspection visuelle de la membrane de Fouka	67
Figure III 22: Inspection visuelle de la membrane de Maqtaa.	69
Figure III 23: Inspection visuelle de la membrane de Hamma	71
Figure III 24: les méthodes à suivre pour faire l'analyse FTIR.....	72
Figure III 25: Resultat des tests d'identifications Biomérieux.	77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I 1: Les substances Typiques responsables du colmatage des membranes.....	16
Tableau II 1: Caractéristique de la membrane M Hyd.....	22
Tableau II 2: Caractéristique de la membrane M LG	24
Tableau II 3: Caractéristique de la membrane Toray TM820V-400	25
Tableau II 4: Expression de la minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique	29
Tableau III 1: Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane de Fouka	43
Tableau III 2: Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane de Maqtaa	44
Tableau III 3 : Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane de Hamma.....	46
Tableau III 4: Résultats rinçage chimique avec HCl (Fouka).....	74
Tableau III 5: Résultats rinçage chimique avec NaCl (Fouka)	74
Tableau III 6: Résultats rinçage chimique avec NaOH (Fouka)	74
Tableau III 7: Résultats rinçage chimique avec $C_6H_8O_7$ (Fouka)	74
Tableau III 8: Résultats rinçage chimique avec H_2O_2 (Fouka)	74
Tableau III 9: Résultats rinçage chimique avec HCl (Maqtaa).....	75
Tableau III 10: Résultats rinçage chimique avec NaCl (Maqtaa)	75
Tableau III 11: Résultats rinçage chimique avec NaOH (Maqtaa)	75
Tableau III 12: Résultats rinçage chimique avec $C_6H_8O_7$ (Maqtaa)	75
Tableau III 13: Résultats rinçage chimique avec H_2O_2 (Maqtaa)	75
Tableau III 14: Résultats rinçage chimique avec HCl (Hamma)	76
Tableau III 15: Résultats rinçage chimique avec NaCl (Hamma).....	76
Tableau III 16: Résultats rinçage chimique avec NaOH (Hamma).....	76
Tableau III 17: Résultats rinçage chimique avec $C_6H_8O_7$ (Hamma).....	76
Tableau III 18: Résultats rinçage chimique avec H_2O_2 (Hamma).....	76
Tableau III 19: Résultats de l'identification des bactéries.....	77

LISTE DES ABREVIATIONS

OMS	Organisation mondiale de la santé
OI	Osmose inverse
M.O.N	Matière organique naturelle
AOC	Carbone organique assimilable
pH	Potentiel d'hydrogène
BFR	Taux de formation des biofilms
SDI	Indice de colmatage
HWD	Hamma Water Desalination Spa
TFN	Thin-film nanocomposite
TMM	Talhiyat Miyah El Maqtaa
EDX	Spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie
DRX	Diffraction de rayons X
FTIR	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
NTU	Unités de turbidité Néphalométrique
F	Degré français
API	Analytical Profile Index
GN	Gelose nutritive
EDTA	Acide éthylènediaminotétraacétique
CIT	Continuous integration testing
VP	Voges-Proskauer
LDC	Hormone antidiurétique
ODC	Decarboxylase
URE	Helicobacter pylori
SDI	Silt density index

Symboles

Lettres Latines

i	Le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté	/
C	La concentration molaire du soluté	<i>mol.m⁻³</i>
R	La constante des gaz parfait	L.bar.mol⁻¹. K¹
T	La température	K
<i>C_P</i>	La concentration finale (perméable)	<i>mol.m⁻³</i>
<i>C₀</i>	La concentration initiale	<i>mol.m⁻³</i>
<i>Q₀</i>	Le débit de l'eau micro filtrée	<i>m³.s⁻¹</i>
<i>Q_P</i>	Le débit de perméat	<i>m³.s⁻¹</i>
<i>γ</i>	Le taux de conversion	%
<i>T_r</i>	Le taux de rétention	%

LETTRES GRECQUES

<i>π</i>	La pression osmotique	Bar
<i>μ</i>		

Résumé

L'objectif de ce travail est d'effectuer une autopsie sur trois membranes épuisées de trois stations de dessalement d'eau de mer par osmose inverse à savoir celle de Fouka utilisant une membrane de marque Hydranautics, celle d'Hamma utilisant une membrane LG Chem et celle de Maqtaa fonctionnant avec une membrane Toray, tous les tests effectués sur ces trois membranes ont révélé un endommagement via le tests au bleu de méthylène et à la Rhodamine B . cependant les analyses basées sur la diffraction des rayons X, la spectroscopie à transformée de Fourier, la perte au feu, l'utilisation des solutions de rinçage à base d'acide chlorhydrique, d'eau oxygénée, d'hydroxyde de sodium, de chlorure de sodium et d'acide citrique étaient unanimes sur la saturation des membranes en composés minéraux et organiques en plus de la démonstration de l'état endommagé et dégradé des surfaces des trois membranes.

Mots clés : Osmose inverse, membrane, colmatage, autopsie, Dessalement de l'eau de mer

The objective of this work is to perform an autopsy on three exhausted membranes from three seawater desalination stations by reverse osmosis, namely that of Fouka using a Hydranautics brand membrane, that of Hamma using an LG Chem membrane and that of Maqtaa operating with a Toray membrane, all the tests carried out on these three membranes revealed damage via the methylene blue and Rhodamine B tests. however, analyzes based on X-ray diffraction, Fourier transform spectroscopy, loss on ignition, the use of rinsing solutions based on hydrochloric acid, hydrogen peroxide, sodium hydroxide, chloride of sodium and citric acid were unanimous on the saturation of the membranes in mineral and organic compounds in addition to the demonstration of the damaged and degraded state of the surfaces of the three membranes.

Keywords: Reverse osmosis, membrane, clogging, autopsy, Seawater desalination

إجراء تشريح لثلاثة أغشية مستنفدة من ثلاث محطات لتحلية مياه البحر عن طريق التناضح العكسي ، وتحديدًا غشاء فوكا باستخدام غشاء العلامة التجارية Hydranautics ، وغشاء Hamma باستخدام غشاء LG Chem وغشاء المقطع الذي يعمل بغشاء Toray. ، كشفت جميع الاختبارات التي أجريت على هذه الأغشية الثلاثة عن وجود ضرر من خلال اختبارات الميثيلين الأزرق والرودامين ب. ومع ذلك ، فإن التحليلات القائمة على حيود الأشعة السينية ، والتحليل الطيفي لتحويل فورييه ، وفقدان الاشتعال ، واستخدام محاليل الشطف المعتمدة على حمض الهيدروكلوريك ، وبيروكسيد الهيدروجين ، وهيدروكسيد الصوديوم ، وكلوريد الصوديوم وحمض الستريك كانت بالإجماع على تشبع الأغشية بالمعادن. والمركبات العضوية بالإضافة إلى بيان الحالة التالفة والمتدهورة لأسطح الأغشية الثلاثة.

الكلمات المفتاحية: التناضح العكسي ، الغشاء ، الانسداد ، التشريح ، تحلية مياه البحر.

INTRODUCTION GENERALE

Au XXème siècle, la population mondiale a triplé et la consommation d'eau a sextuplé.

Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), 3,4 millions de personnes, principalement des enfants, meurent chaque année de maladies dues à la mauvaise qualité de l'eau et 2,4 milliards de personnes manquent d'eau pour leurs besoins d'hygiène élémentaire. En outre, l'accès à l'eau est inégal: un enfant né dans un pays développé consomme 30 à 50 fois plus d'eau qu'un enfant né dans un pays en voie de développement. Les ressources en eau douce sont limitées et l'accroissement prévu de la population ainsi que le développement industriel (l'industrie consomme 20% de l'eau produite) font craindre une rupture des ressources en eau [1].

Dans ce contexte, les procédés membranaires n'ont cessé de se développer depuis une vingtaine d'années, car ils permettent de produire une eau de qualité pour la consommation humaine et pour l'industrie avec une grande fiabilité. Le traitement de l'eau représente 40% du marché global des membranes. Parmi ce marché, 15,4% concerne la potabilisation des eaux de surface ou des eaux souterraines, 4,3% pour le traitement des eaux usées et 20,4% pour le dessalement [1].

Les procédés membranaires font partie des nouvelles technologies qui peuvent jouer un rôle environnemental important. Ces procédés permettent la production d'eau destinée soit à la consommation humaine (dessalement de l'eau) soit aux industries (réutilisation de l'eau) qui consomment de l'eau de pureté contrôlée dans leur chaîne de production (industries agroalimentaires, industrie pharmaceutique, etc.). L'utilisation des techniques membranaires connaît une croissance rapide, en raison notamment de la multiplication des domaines d'application. Ce développement devrait s'amplifier encore, du fait de l'émergence des problématiques liées à la préservation de la ressource (production durable), de l'environnement (dépollution des effluents industriels) et grâce aux performances énergétiques et technico-économiques de ces nouveaux procédés de séparation [2].

Dans les conditions d'utilisation en Algérie, la durée de vie de la majorité de membranes d'osmose inverse n'excède pas trois ans, ainsi le vieillissement de membranes est caractérisé par une dégradation de leurs performances. Dans la plupart des cas, les effets du vieillissement sont peu ou mal connus à l'échelle locale et des mesures globales (flux, pression transmembranaire, débit de perméat, taux de rétention...) ne permettent pas de les caractériser.

Il est nécessaire d'étudier le colmatage de la membrane d'osmose inverse, afin de prolonger leur durée de vie et donc de réduire les coûts de production d'eau. Il a fallu sélectionner sur des sites industriels des membranes d'osmose inverse usées, pour réaliser les essais d'autopsie. Ces essais permettent d'analyser et de comprendre les liens entre la dégradation des performances, observée à l'échelle macroscopique et à l'échelle à laquelle se déroule le vieillissement [1].

Notre travail a porté sur l'étude du colmatage des membranes d'osmose inverse (OI) usées prélevées à l'usine de FOUKA, MAQTAA et HAMMA.

Il comporte trois chapitres:

Le premier chapitre regroupe : l'osmose inverse (aperçu sur les technologies membranaires), les membranes (les différents types et la caractérisation des membranes polyamides), le colmatage (les différents agents colmatant, mécanisme et source), l'autopsie de la membrane et le lavage chimique des membranes colmatées.

Le deuxième chapitre décrit les matériels et méthodes développées pour réaliser cette étude.

Enfin, le troisième chapitre est consacré à évaluer les principaux résultats obtenus au cours de ce travail et leurs comparaisons.

Chapitre I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Osmose inverse (OI)

Dans la nature l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques.

Mais le procédé industriel est qualifié d'osmose inverse car à l'aide d'une forte pression (supérieure à la pression osmotique), on force l'eau salée à passer du compartiment le plus concentré en sels au compartiment d'eau. Dans la réalité, si on avait laissé faire la nature, sans imposer ni membrane ni pression, l'eau douce se serait chargée en sels et l'eau salée se serait diluée [3].

1.1 Osmose

L'osmose directe est un phénomène naturel selon lequel l'eau migre à travers une membrane semi-perméable, du compartiment le moins concentré vers le plus concentré. Il se poursuit jusqu'à atteindre un équilibre; la différence de pression ainsi créée provoque une pression osmotique. Si on applique sur la solution concentrée une pression supérieure à la pression osmotique, on inverse le phénomène : l'eau migre du compartiment le plus concentré vers le moins concentré. Les solutés (sels, molécules.....etc.) sont retenus par la membrane [3].

1.2 Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide qui permet l'élimination d'un solvant (eau dans la plupart des cas) d'une solution par perméation sélective à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de pression (54 bars à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer).

Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement électrique consommée principalement par les pompes haute pression [4].

L'osmose inverse est utilisée pour le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, la concentration des fluides alimentaires (lait, jus de fruits...) et pour le traitement d'effluents liquides [5].

1.3 Principe d'osmose inverse

Le principe de l'osmose est basé sur l'équilibre de concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. Considérons un système à deux compartiments séparés par une membrane perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. La quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler. Si pour simplifier, on suppose que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique. C'est à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée; c'est le phénomène d'osmose inverse [6].

Donc ; l'osmose inverse est une technique séparative qui consiste à extraire l'eau d'une solution généralement salée dans notre cas, c'est l'eau de mer. Elle permet en principe de réduire la concentration totale en solutés [7].

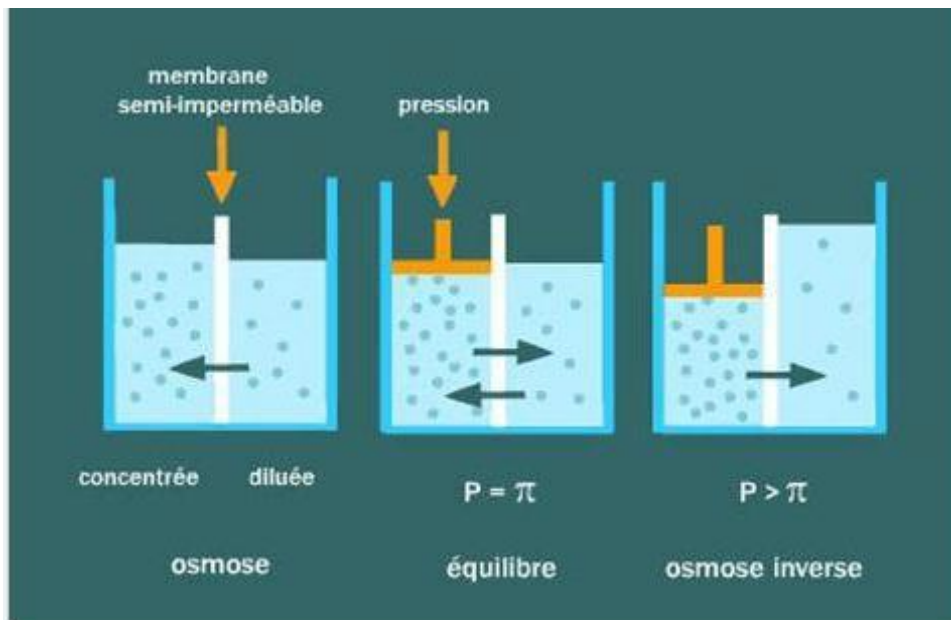


Figure I.1 : Principe de l'osmose inverse.

1.4 Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse

1.4.1 Pression osmotique

La pression osmotique (π) est d'autant plus importante que la concentration est élevée et que la masse molaire est faible.

La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van 't Hoff qui exprime que :

$$\pi = i * C * R * T \quad 1$$

Avec

π : La pression osmotique (bars).

i : Le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté.

C : La concentration molaire du soluté (mol.m^{-3}).

R : La constante des gaz parfaits ($0,0831 \text{ L.bar.mol}^{-1} . \text{K}^{-1}$).

T : La température (K).

1.4.2 Taux de conversion

La solution à traiter (l'eau micro filtrée) à débit Q_0 se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentration différentes :

- Une partie qui passe à travers la membrane appelée perméat à débit (Q_P).
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane qui contient les molécules ou les particules retenues pas les membranes et elle est appelée concentrât (retentât ou saumure).

Le taux de conversion est défini comme la fraction de débit du liquide qui traverse la membrane [8].

$$Y = \frac{Q_P}{Q_0} \quad 2$$

1.4.3 Sélectivité

La sélectivité est une caractéristique de surface de la membrane qui est définie comme la possibilité de laisser passer ou de retenir les solutés en fonction de leur poids moléculaire.

En générale ; elle est définie par le taux de rétention ou le taux de rejet de l'espèce que la membrane est censée retenir.

$$Tr = (C_0 - C_P) * \frac{100}{C_0} = (1 - C_P)/C_0 \quad 3$$

Avec :

C_p : Concentration finale (perméable).

C_0 : Concentration initiale.

Il y a deux valeurs particulières du Tr :

$Tr = 0 \%$ signifie que le soluté n'est pas du tout retenu par la membrane.

$Tr = 100 \%$ signifie que le soluté est entièrement retenu par la membrane.

Dans le cas de l'osmose inverse, le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (NaCl). Certaines membranes développées pour le dessalement de l'eau de mer ont un taux de rejet au chlorure de sodium d'environ 99 % [6].

1.4.4 Mécanisme de transfert

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts des solvants et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation et diffusion :

Toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieure de celle-ci comme à travers un solide ou un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression [6].

1.5 Avantages et inconvénients de l'osmose inverse

Les avantages de l'OI sont :

- Une séparation à température modérée, une absence de changement de phase, donc une moindre dépense énergétique comparée à des opérations comme la distillation ou l'évaporation ;
- Le système ne gaspille pas autant d'eau, accumulation nulle de constituants dans la membrane, d'où un fonctionnement quasiment en continu, n'ayant pas besoin de cycle de régénération ;
- Simplicité d'exploitation dans l'unité de traitement [3] ;
- Capacité de séparation élevée ;
- Le Recyclage de perméat et du retentât est possible ;
- Salinité de l'eau produite qui convient bien aux usages domestiques [9].

Les inconvénients de l'OI:

- Colmatage fréquent des membranes d’osmose ;
- Utilisation des produits chimiques ;
- Problèmes des rejets (saumures) ;
- Impact environnemental ;
- Le système OI est coûteux par rapport à d’autres types de méthodes de purification de l’eau.

2. Membranes de filtration

2.1 Définition

De façon générale, une membrane peut être définie comme étant une couche mince (barrière séparative) permettant l’arrêt ou le passage sélectif de substances dissoutes ou non, sous l’action d’une force de transfert chimique (concentration ...) ou physique (pression “force motrice“). Les critères de séparation des particules, des molécules ou encore des ions peuvent être d’ordre stérique (dimension et forme), chimique (nature) ou encore dépendre de la charge électrique [10]. 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 [11] (Figure I.2).

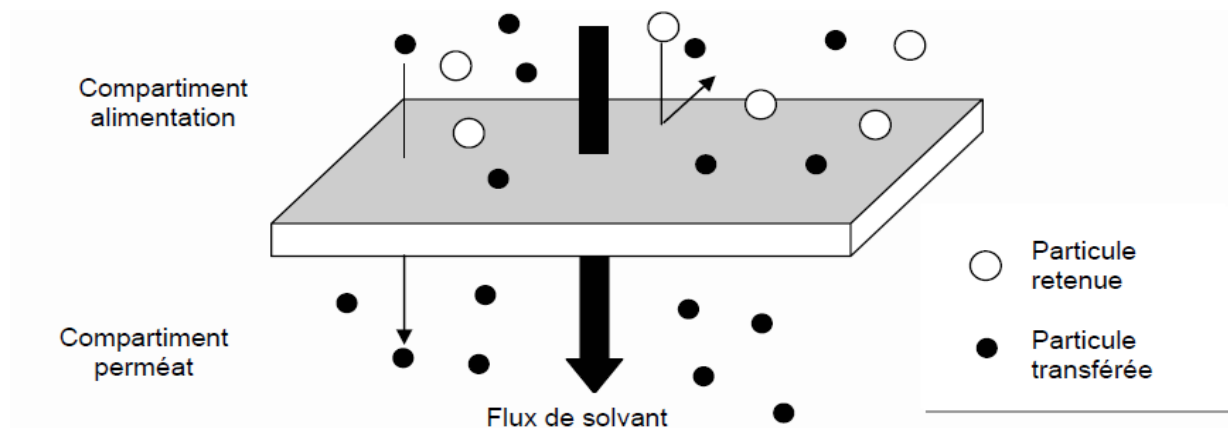


Figure I 2: Représentation schématique de la séparation par membrane [10].

Le procédé de séparation membranaire est illustré schématiquement (Figure I.2) [10]. Le résultat d'une opération membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations différentes [11] :

- Le Retentât qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane ;
- Le Perméat qui contient les molécules qui traversent la membrane.

2.2 Classification des membranes d'osmose inverse

Les progrès technologiques récents dans la conception et la fabrication des membranes semi-perméables d'osmose inverse, à base de polyamide, d'acétate de cellulose et d'autres polymères ont fait que le procédé d'osmose inverse soit le plus performant pour la production d'une eau de grande pureté à partir d'eaux brutes, d'eaux chimiquement contaminées ou d'eaux saumâtres recevant un prétraitement minimal. Cependant, aucune des membranes disponibles sur le marché d'osmose inverse ne peut être opérationnelle pour une longue durée pour des valeurs de pH en-dessous de 4 ou au-dessus de 8, et pour des températures au-dessus de 40°C [12]. Ces membranes peuvent être classées suivant leur structure et leur nature chimique [20].

2.2.1 Classification selon la structure

Du point de vue structure, on peut distinguer les membranes : homogènes, asymétriques, composites et les membranes en fibres creuses.

a) Membranes homogènes

Leur structure microscopique est constante sur toute leur épaisseur. Pour permettre des flux de transfert acceptables, elles doivent être très minces, ce qui les empêche d'avoir la solidité mécanique requise pour un emploi industriel [13].

b) Membranes asymétriques

Dites aussi anisotropes, découvertes vers 1960 par S. Loeb et S. Sourirajan, sont constituées de deux couches superposées sur un support textile :

- une « peau » de très fine épaisseur (de 0,1 à 0,5 μm) ;
- une sous-couche de 50 à 150 μm d'épaisseur, de texture relativement poreuse.

Les propriétés de séparation de ces membranes (perméabilité, sélectivité) dépendent uniquement de la structure de leur peau ; en particulier, la perméabilité d'une membrane étant inversement proportionnelle à son épaisseur, il est évident que la perméabilité doit être élevée [15, 20].

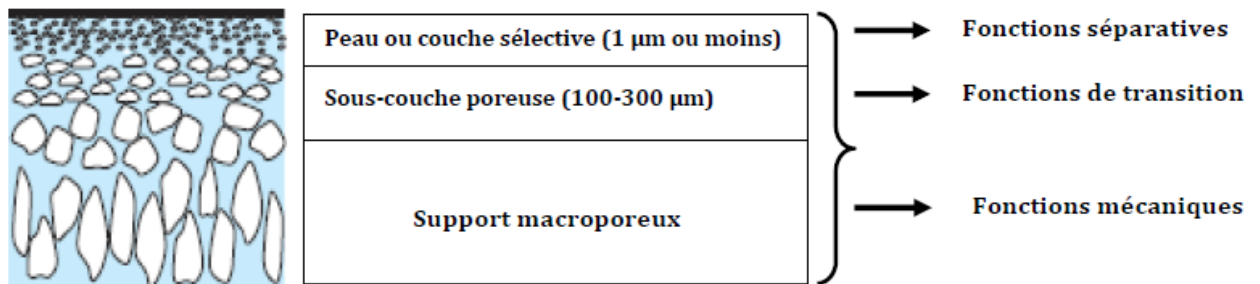


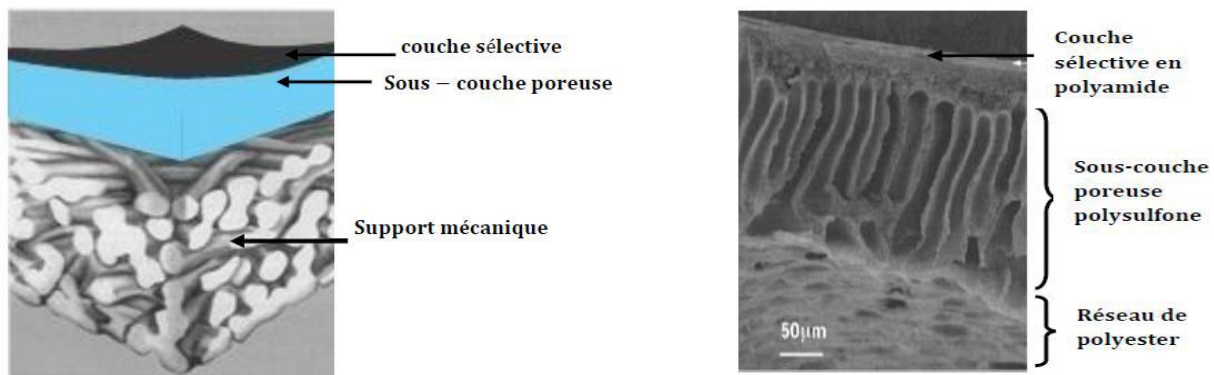
Figure I 3: Membranes asymétriques ou anisotropes [41].

c) Membranes composites

Elles ont été développées en vue d'augmenter la perméabilité des membranes asymétriques classiques en réduisant l'épaisseur de la couche active. Elles sont constituées principalement de deux couches de polymères différents, d'où le nom de membranes composites [16, 35]:

- La peau : un film mince (polymère dense de 10 à 100 nm) semi-perméable. Cette fine épaisseur est obtenue par polymérisation interfaciale d'un polyamide sur une structure microporeuse à base de polysulfone [17, 20] ;
- La couche support : couche plus épaisse d'une épaisseur de 50 à 100 μm [16] et d'une perméabilité beaucoup plus grande, qui supporte la peau et confère à la membrane sa résistance mécanique.

Ces membranes ont de très bonnes caractéristiques de perméabilité et de sélectivité, elles sont stables dans une gamme de pH élevée (2 à 11), et ont une bonne tenue en température (40 à 60°C suivant la pression). Elles sont malheureusement sensibles au chlore, ce qui nécessite un prétraitement de la charge [18].



(a) : Représentation schématique couche d'une membrane composite [41].

(b) : Exemple de membrane composite : sous en polysulfone – couche active en polyamide [42].

Figure I 4: Représentation d'une membrane composite.

d) Membranes fibres creuses

Elles sont constituées de tubes creux ayant un diamètre extérieur compris entre 50 et 1000 μm et un diamètre intérieur entre 25 et 800 μm . Elles sont obtenues par des procédés de filage analogues à ceux utilisés dans l'industrie textile. Leur structure est généralement asymétrique avec la couche active située à l'extérieur ou à l'intérieur de la fibre [20].

2.2.2 Classification selon la nature chimique

Les premières membranes commercialisées étaient asymétriques à base de cellulose. De nos jours, les membranes composites sont les plus utilisées. Les polymères les plus communément employés sont de type acétate de cellulose ou polyamide [26]:

a) Membrane en acétate de cellulose

Le matériau de base est la cellulose dont on remplace un ou plusieurs groupements hydroxyle par des groupements acétyle. On peut ainsi obtenir soit l'acétate, le diacétate ou le triacétate de cellulose [20]. Elaborées selon le procédé d'inversion de phase, ces membranes ont à la fois une perméabilité et une sélectivité élevées, elles présentent l'avantage d'avoir une faible tendance au colmatage comparées à d'autres types de membranes, ceci grâce à l'aspect lisse de leur surfaces actives [20, 40]. Leur mise en œuvre est relativement aisée, leur matériau est très répandu sur le marché. Toutefois, elles présentent certains inconvénients:

- Elles sont sensibles à l'hydrolyse chimique, ce qui limite leur utilisation à des températures maximales de l'ordre de 30 °C à 50 °C et des pH de 3 à 8 et de préférence entre 5 et 6 ;
- Elles sont sensibles au compactage, ce qui entraîne une diminution progressive du flux sous l'effet de la différence de pression ;
- Elles peuvent être dégradées par les bactéries, ainsi que par un fonctionnement à des températures supérieures à 30-35 °C ;
- Elles sont sensibles au chlore qui provoque une dégradation du polymère. la concentration en chlore de 1 mg/L peut être tolérée en permanence et de 50 mg/L par intermittence (traitement de choc).

b) Membranes en polyamide

Compte tenu des inconvénients de l'acétate de cellulose, des membranes en poly (amide/imide) ont été développées, principalement pour les applications en osmose inverse. Il existe plusieurs types de polymères caractérisés par une liaison amide (-CONH-) dans la chaîne. Les avantages de ces membranes par rapport à celles en acétate de cellulose sont leur meilleure stabilité chimique et thermique ainsi que leur meilleure résistance mécanique. Cependant, elles présentent l'inconvénient d'avoir une très grande sensibilité aux oxydants, en particulier au chlore,

et une faible perméabilité qui engendre des problèmes d'adsorption, en particulier des protéines par suite du caractère moins hydrophile que l'acétate de cellulose [20].

3. Colmatage

3.1 Définition

Le colmatage est le processus qui a pour conséquence une diminution des performances de la membrane, provoquée par le dépôt de solides suspendus ou dissous sur la surface externe de cette dernière, et sur ou à l'intérieur des pores de cette membrane (Figure I.5). Ce problème de colmatage est le plus aigu des problèmes rencontrés en filtration membranaire, ce sujet fait l'objet de nombreuses études de recherche portant sur la modélisation de colmatage ou les mécanismes de colmatage ou les indices de colmatage [19].

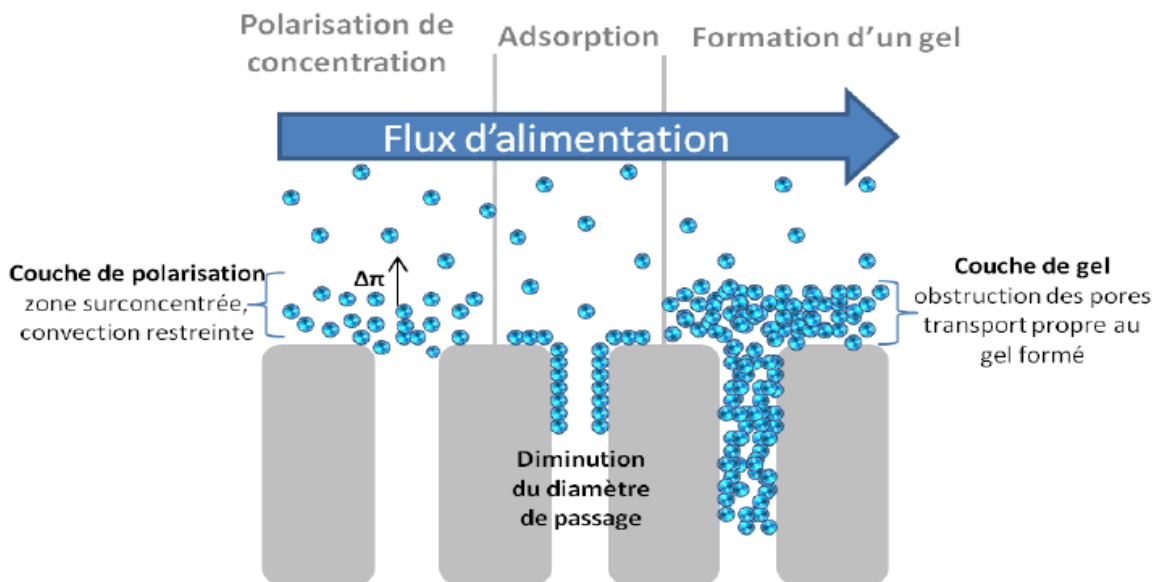


Figure I 5: Schéma récapitulatif des principaux mécanismes de colmatage membranaire [14].

3.2 Différents agents colmatants

Les principaux agents colmatants peuvent se répartir en trois principales catégories [10]:

3.2.1 Composés minéraux

Parmi lesquels on compte les argiles et limons sous forme colloïdale, mais aussi des métaux (aluminium, fer, manganèse) et des sels dont les sulfates et carbonates de calcium [10].

3.2.2 Composés biologiques

Micro-organismes qu'ils soient morts, vivants ou sous forme de débris qui peuvent donner lieu au colmatage par effet stérique et à la formation de bio films [10].

3.2.3 Composés organiques

D'origine naturelle (acides humiques et fulviques, protéines, polysaccharides) ou les polymères utilisés en coagulation floculation lorsqu'il y a lieu [10].

De ce fait, les nombreux travaux de recherche réalisés jusqu'à présent dans le but de mieux appréhender le colmatage portent tant sur des suspensions colloïdales modèles (protéines, argiles,...) que sur des eaux réelles ou dérivées d'eaux réelles (substances humiques du commerce par exemple) [10].

3.3 Mécanisme de colmatage

Il existe plusieurs mécanismes de colmatage qui, dans la pratique, sont généralement présents simultanément. Cependant, il est rare que plusieurs mécanismes de colmatage aient une importance égale. L'essentiel est de déterminer celui qui est prépondérant et dans quelles conditions, afin de prendre les mesures aptes à en réduire les causes et / ou l'intensité.

3.3.1 Adsorption

L'adsorption se produit sous l'effet d'interactions entre certains constituants du fluide et la membrane. Elle peut avoir lieu en mettant simplement le fluide au contact de la membrane, avant même que la filtration ait commencé et provient des interactions fortes conduisant à des couches irréversibles stables.

L'adsorption peut intervenir aussi bien à la surface de la membrane qu'à l'intérieur des pores, et contribue donc à la fois au colmatage externe et au colmatage interne [21]. L'adsorption sur une membrane dépend de la nature physicochimique du matériau (les protéines s'adsorbent davantage sur une membrane hydrophobe), du type de molécules, du pH (point isoélectrique, pHi, pour les protéines), et de la présence des cations spécifiques tels que le calcium. D'une manière générale,

les paramètres qui favorisent l'adsorption sont les mêmes que ceux qui déstabilisent l'espèce dans la solution.

L'adsorption d'un soluté pénétrant par diffusion dans les pores de la membrane, peut se produire sur la surface interne des pores, dont l'aire est bien supérieure à l'aire externe de la membrane. Ainsi, la diffusion du soluté dans le pore contrôle les cinétiques d'adsorption dépendant aussi des conditions opératoires de la filtration [21]. L'augmentation de la concentration des solutés retenus à la paroi par polarisation de concentration, déplace l'équilibre et accélère les cinétiques d'adsorption. L'adsorption des composés peut influencer le caractère hydrophile du matériau membranaire, qui à son tour induit les variations du flux de perméat [22].

3.3.2 Dépôt de matière par convection

Lorsque les fluides contiennent des particules, le flux de convection vers la membrane conduit à un simple phénomène de dépôt. Si aucun phénomène n'élimine l'excès de particules à la surface de la membrane (filtration frontale), alors le dépôt croît et le flux décroît de manière continue au cours du temps.

En filtration tangentielle, l'épaisseur du dépôt peut être limitée par les différents phénomènes de transfert "de retour". Les caractéristiques du dépôt (porosité, densité, stabilité) dépendent des interactions interparticulaires, de la forme des particules, de leur taille, de leur distribution de taille, du mode d'empilement (aléatoire, orienté par la gravité ou le cisaillement, etc.), du flux et d'une certaine manière, de l'âge du dépôt [21].

3.3.3 Colmatage en profondeur par obstruction des pores

Ce colmatage se produit à l'intérieur de la surface membranaire, dans le cas où la taille des substances qui constituent la couche de dépôt est inférieure à la taille des pores membranaires, provoquant ainsi l'obstruction des pores, et donc la réduction de leurs tailles. Ces conséquences engendrent par la suite une résistance à l'écoulement du perméat à travers la membrane. Ce type de colmatage se rencontre principalement en ultrafiltration et en microfiltration et il est difficile à éliminer [20, 23].

3.4 Nature du colmatage

L'encrassement ou « le colmatage inorganique », le colmatage organique, le colmatage par les matières colloïdales et le bio-colmatage « biofouling » semblent généralement être les quatre principaux types de colmatage se produisant sur une surface membranaire d'osmose inverse [24, 25].

En effet, un très large spectre d'espèces peut contribuer au colmatage, comme des macromolécules organiques, des substances organiques et inorganiques dissoutes, des particules colloïdales, des particules en suspension et des microorganismes. Le tableau 2 regroupe les différentes espèces et leurs mécanismes de colmatage [26].

Tableau I 1: Les substances Typiques responsables du colmatage des membranes [26].

Colmatage	Cinétique
Précipités (CaSO ₄ , CaCO ₃ , BaSO ₄ , SrSO ₄)	Lente
Hydroxydes de métaux (Fe, Mn, Al)	Rapide et irréversible
Colloïdes	Lente
Microbiologique	Rapide ou lente

3.4.1 Colmatage inorganique

Les composés inorganiques dissous qui présentent de faibles solubilités dans l'eau tels que les sels de Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , de silice ou de Fer, sont les principaux produits engendrant de tels problèmes de colmatage inorganique.

En effet, si l'un de ces sels est rejeté par une membrane d'osmose inverse, sa concentration peut dépasser la limite de solubilité et il précipite sur la surface membranaire soit seul, soit en combinaison avec d'autres espèces présentes dans la solution, et par conséquent un dépôt se forme causant un encrassement particulière [27, 28] (Figure I 6). Il est également possible que ce dépôt puisse se produire par les effets locaux de la température, du pH de la solution d'alimentation ou par la présence d'autres substances comme dans le cas du colmatage par la silice [28].

Il faut noter que le colmatage par la silice est l'un des plus sérieux problèmes d'encrassement se produisant sur les membranes d'osmose inverse. Sans l'utilisation d'inhibiteurs ou de dispersants, ce colmatage se manifeste souvent pour les eaux contenant 120 à 150 ppm de silice dans le concentrât [29]. En conséquence, une cristallisation de ces minéraux peut avoir lieu sur et/ ou dans la structure de la membrane, induisant à un dépôt de sels sur leur surfaces [30].

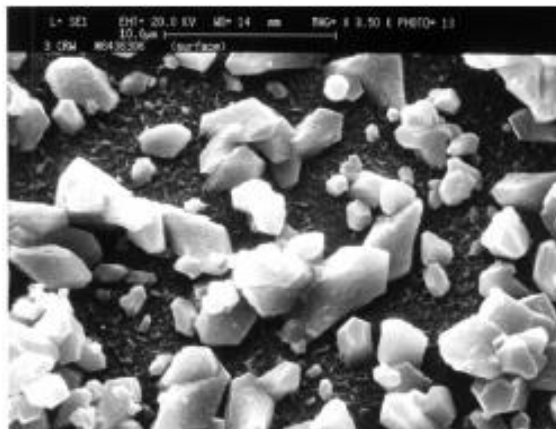


Figure I 6: Micrographie représentative d'une membrane d'osmose inverse colmatée par des matières inorganiques obtenue par MEB [31].

3.4.2 Colmatage particulaire

Le colmatage particulaire (Colloïdal) est dû à l'accumulation des particules colloïdales sur la surface membranaire ou à l'intérieur des pores. Cette accumulation engendre une résistance hydraulique additionnelle à l'écoulement de l'eau à travers la membrane, ce qui réduit le taux de perméation c'est à dire le flux convectif du perméat.

Les colloïdes peuvent être de nature organique ou inorganique, leur dimension varie entre quelques nanomètres et quelques micromètres. L'argile, les colloïdes de silice, le Fer, l'aluminium, l'oxyde de manganèse, les colloïdes organiques et les précipités du carbonate de calcium sont les principales particules provoquant le colmatage colloïdal qui affecte la quantité et la qualité du produit (flux de perméat et teneur en solutés) [32]. Plusieurs études ont été consacrées à l'étude de ce type de colmatage et à l'investigation des interactions physiques et chimiques pouvant l'affecter.

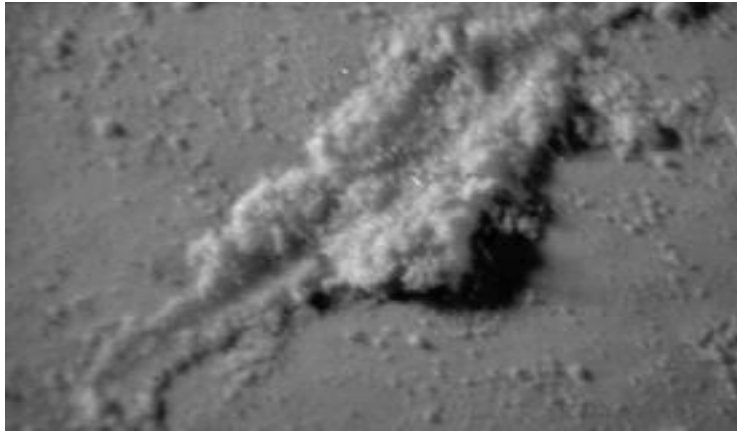


Figure I 7: Dépôt de la silice sur une surface membranaire d'osmose inverse [33].

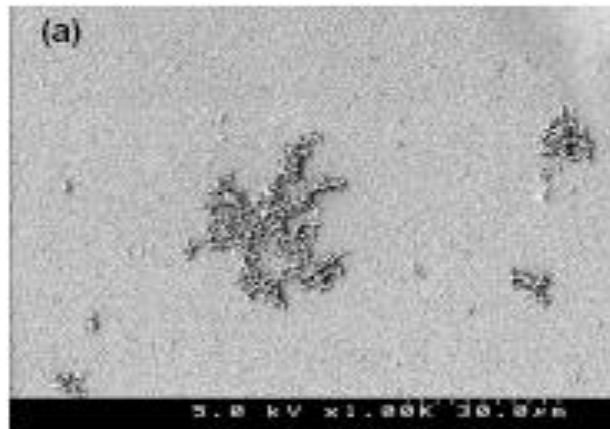


Figure I 8: Membrane d'osmose inverse colmatée par la silice (SiO_2 120 ppm) [27].

3.4.3 Colmatage organique

Les matières organiques peuvent être présentes dans les eaux de surface comme les eaux de rivières et des lacs. Le mécanisme de colmatage par ces matières dépend de la taille et de la nature chimique des agents colmatants. Les composés de poids moléculaire élevé peuvent agir comme des particules et obstruent les pores des séparateurs. Cette obstruction peut être aggravée par la présence des particules minérales telles que l'argile, et les hydroxydes métalliques. Tandis que les composés de faible poids moléculaire colmatent les surfaces membranaires par des interactions chimiques, par exemple, les chlorophénols adhèrent sur la surface membranaire par des liaisons hydrogènes ce qui peut provoquer des pertes remarquables en flux de perméat et ce même pour de faibles concentrations [34].

Parmi les substances organiques colmatantes lors de la filtration membranaire des eaux de surface, un intérêt particulier est porté à la M.O.N (matière organique naturelle), en particulier aux substances humiques constituées de macromolécules qui possèdent un noyau hydrophobe et des groupements anioniques (chargées négativement) [35].

3.4.4 Biocolmatage

Le biocolmatage est dû à une croissance microbienne sur la surface de séparation des membranes et dans les éléments constituant les modules. Il résulte des interactions complexes entre le matériau membranaire, le fluide et les microorganismes. La matrice bactérienne s'établit sur la surface membranaire en absorbant et concentrant les nutriments solubles près des parois cellulaires afin de permettre à ces dernières de proliférer [24].

La prolifération entraîne la formation d'un film biologique « biofilm » qui s'adsorbe sur la surface de la membrane et sur les séparateurs. La prolifération est conditionnée par les facteurs suivants : la température (supérieure à 25 °C), le pH, la quantité de l'oxygène dissous, la vitesse d'écoulement, la pression et la présence des nutriments organiques et minéraux [36, 37].

L'eau d'alimentation est la source principale de la contamination bactérienne car elle contient souvent un nombre de microorganismes important [24]. A cet effet, un potentiel de la croissance bactérienne des eaux d'alimentation est défini, ce potentiel est estimé par le test du carbone organique assimilable « AOC » et par le taux de formation des biofilms « BFR » [25].

Pour lutter contre ce type de colmatage, la désinfection par le chlore est le traitement le plus adéquat.

Cependant, l'utilisation du méta-bisulfite de sodium comme agent de déchloration permet aux bactéries subsistantes, qui ont échappé à l'action du chlore, de procéder à une activité biologique intense favorisée par des conditions propices, notamment l'abondance de substrat constitué par des composés organiques assimilables. Ces composés sont les produits de l'oxydation de la matière organique par le chlore [38, 39]. Pour résoudre ce problème, d'autres désinfectants alternatifs, tels que le chloramine et le sulfate de cuivre, ont été proposés [39].

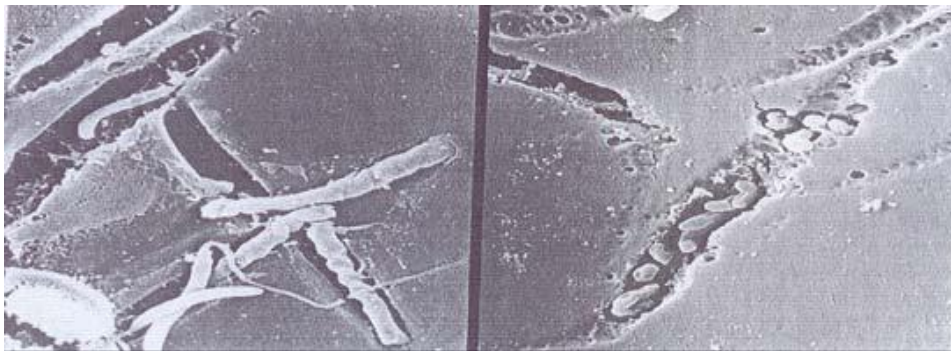


Figure I 9: Détérioration apparente d'une membrane d'acétate de cellulose par un microbe de forme hélicoïdale (image gauche) et une bactérie non identifiée en forme de baguette (image droite).

Les technologies membranaires sont devenues de véritables technologies de séparation depuis la dernière décennie. Leur avantage principal est le fait qu'elles fonctionnent sans ajout de produits chimiques, avec une consommation d'énergie relativement faible et une gestion facile de process. Pour cela, les membranes sont de plus en plus utilisées pour des procédés de traitements d'eaux souterraines, de surface ou même d'eaux usées. Elles sont maintenant compétitives par rapport aux techniques conventionnelles.

L'osmose inverse présente de nombreux avantages pour la production d'eau destinée à la consommation humaine: compacité des installations, automatisation poussée, barrière efficace contre les bactéries, les virus et divers micro-organismes, réduisant d'autant les dosages en produits de désinfection pour la protection des réseaux de distribution, adaptabilité aux évolutions rapides des caractéristiques de l'eau brute, abattement poussé de la matière organique quand elle est couplée à du charbon actif en poudre, elle est adaptée aux petites capacités comme aux grandes.

Le colmatage est le problème le plus aigu de la filtration membranaire, il altère les propriétés de séparation des membranes et réduit leur productivité et donc, concourt à augmenter les dépenses d'énergie, à accroître la fréquence des lavages et à réduire éventuellement la durée de vie des membranes. La cause peut être un précipité organique ou minéral, ou encore le dépôt de biomasse. Pour certaines solutions, le colmatage dépend des paramètres physiques et/ou chimiques comme la concentration, la température, le pH, la force ionique des solvants et des composés, la nature et les propriétés physiques et chimiques du matériau membranaire ainsi que les conditions hydrodynamiques qui déterminent son étendue.

Chapitre II

MATERIELS ET METHODES

1. Stations de prélèvement

Les membranes colmatées utilisées dans ce travail ont été procurées par trois stations de dessalement : la station de Fouka, Hamma et celle de Maqtaa.

1.1 Station de Fouka

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka est l'une des 13 projets décidés par le gouvernement Algérien au début des années 2000 qui faisait suite à 20 ans de sécheresse, qui se situe à Hai 1 Maouz commune de Fouka. Tipaza mise en service en juillet 2011[43], avec une production de $120.000 \text{ m}^3/\text{j}$ d'eau potable destinée à l'Ouest d'Alger et l'Est de la Wilaya de Tipaza [44].

Le système d'osmose de la station est constitué de 9.072 membranes identiques disposées en parallèle dans 6 filières de production d'une capacité unitaire de $20.000 \text{ m}^3/\text{j}$ pour une production nette totale de $120.000 \text{ m}^3/\text{j}$ [43].

Les membranes utilisées sont des membranes Hydranautics SWC 4 MAX.

Tableau II 1: Caractéristique de la membrane M Hyd

Caractéristique	Membrane RO
Fabriquant	Hydranautics
Model	SWX 4 MAX
Matériaux de la membrane	Polyamide composite
Configuration	Spirale
Flux (m^3/j)	27.3
Pression (MPa)	8.27
Rejet de sel (%)	99.8
Poids vierge (Kg)	16
Temps d'opération (ans)	6
Surface active (m^2)	40,9

Détails de l'élément :

Utilisation et restriction :

- Pression maximale applicable : 8.27 MPa
- Concentration maximale du chlore : < 0.1 ppm
- Température d'opération maximale : 45°C
- Intervalle du pH, en continue (nettoyage): 2-11 (1-13)
- Turbidité maximale de l'eau d'alimentation : 1.0 NTU
- SDI maximale de l'eau d'alimentation : 5.0
- Flux maximal de l'alimentation : 17.0 m³/h
- Flux maximal de saumure : 2.7.0 m³/h
- La chute maximale de pression de chaque élément : 0.10 MPa

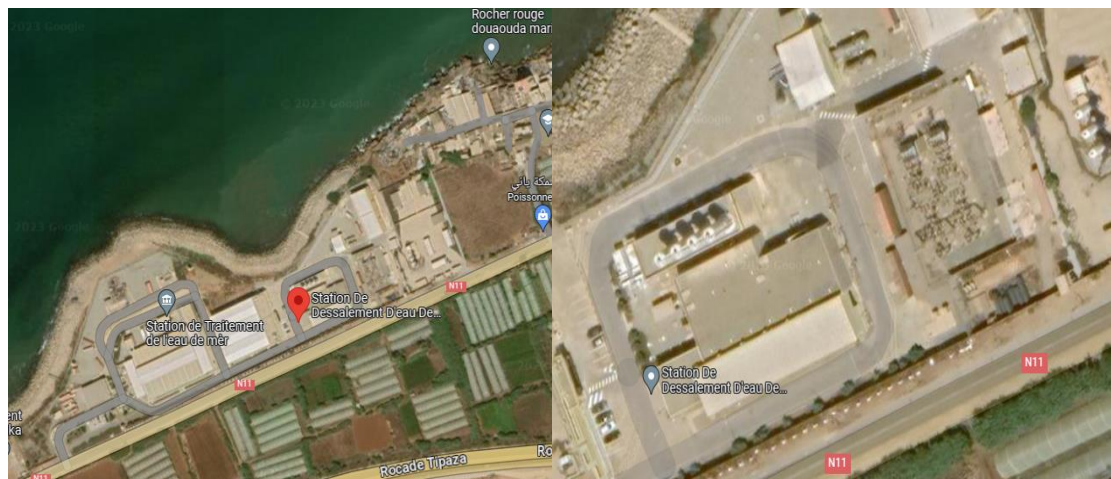


Figure II 1: Photo aérienne de près et de loin de la station de dessalement de Fouka.

1.2 Station de Hamma

HWD abréviation de « Hamma Water Desalination Spa » est une société de projet créée pour le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse sur le site « Les Sablettes » de la circonscription d'Hussein-dey, commune de Belouizdad, Alger mise en service février 2008 [45] ; avec une production de $200.000 \text{ m}^3/j$ d'eau potable, pour pourvoir aux 25% des besoins quotidiens en eau potable de la population algéroise [44].

La station est constituée de neuf modules d'osmose inverse à simple passage avec une production unitaire de $25.100 \text{ m}^3/j$ d'eau potable. Huit modules sont en production tandis que le dernier est en attente [45].

Les membranes utilisées sont des membranes LG Chem SW 400 (34) R.

Tableau II 2: Caractéristique de la membrane M LG

Caractéristique	Membrane RO
Fabriquant	LG Chem
Model	LG SW 400 (34)R
Matériaux de la membrane	Thin-film nanocomposite (TFN) Polyamide composite
Configuration	Spirale (8 pouces)
Flux (m^3/j)	34
Pression (MPa)	8.27
Rejet de sel (%)	99.8
Poids vierge(Kg)	16.4
Temps d'opération (ans)	7



Figure II 2: Photo aérienne de près et de loin de la station de dessalement de Hamma.

1.3 Station de Maqtaa

C'est la plus grande station de dessalement en Algérie, elle est située à El Maqtaa, à l'est d'Oran dotée d'une capacité de 500 000 m³ par jour et elle a été construite par la société singapourienne Hyflux Menaspring Ltd. Cette dernière a, d'ailleurs, créé en partenariat avec l'Algérie une société par actions appelée la « Talhiyat Miyah El Maqtaa » (TMM spa).

Tableau II 3: Caractéristique de la membrane Toray TM820V-400

Caractéristique	Membrane RO
Fabriquant	Toray
Model	TM820V-400
Matériaux de la membrane	Composite Polyamide entièrement aromatique relié en croix
Configuration	spirale
Flux (m ³ /j)	28.33
Pression (bar)	60
Rejet de sel (%)	99.75



Figure II 3: Photo aérienne de près et de loin de la station de dessalement de Maqtaa.

Dans ce travail nous avons fait une autopsie membranaire, l'autopsie des membranes est l'une des méthodes les plus courantes pour identifier la nature et l'origine du colmatage. Cette méthode comprend l'exécution séquentielle d'une série de tests standards dans des conditions de laboratoire sur des éléments membranaires colmatés.

La procédure d'autopsie de la membrane comprend les activités suivantes :

- La sélection des éléments (membranes) représentatifs ;
- La dissection d'un élément de la membrane présentant un encrassement, afin de faire apparaître les différentes couches de la membrane et le matériau de l'entretoise en plastique ;
- Un examen chimique, microbiologique et microscopique ;
- Des cellules de test de l'écoulement transversal pour caractériser les performances des membranes ;
- L'identification des substances principales à l'origine de l'encrassement ;
- Une documentation photographique ;
- Des recours et des recommandations.

Dans le schéma on résume des étapes d'une autopsie :

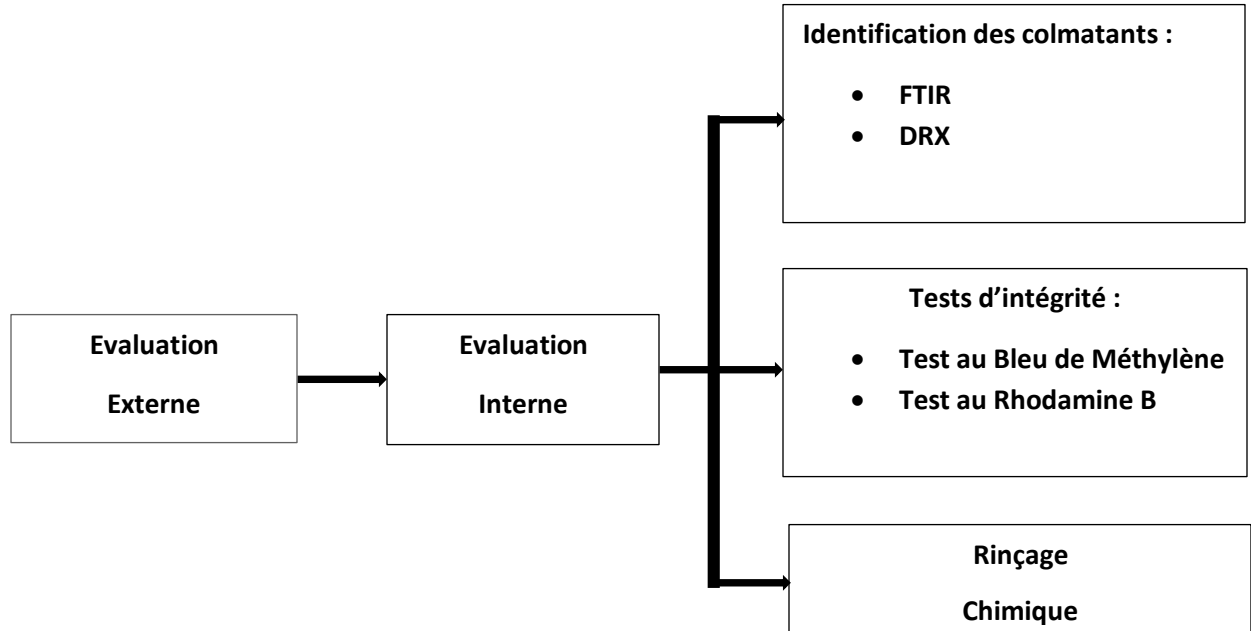


Figure II 4: les étapes d'autopsie d'une membrane d'osmose inverse.

2. Autopsie de la membrane

2.1 Evaluation externe

L'évaluation externe (visuelle) consiste à rechercher des dommages physiques à diverses parties de l'élément, y compris le joint de saumure, l'enveloppe extérieure, le tube de perméat et toute preuve de télescopage de la membrane. Nous recherchons ensuite des signes d'encrassement dans cette zone peut restreindre le débit d'eau à travers toute la membrane.

2.2 Evaluation interne

L'élément est démonté par retrait des bouchons d'extrémité et la coque en fibre de verre qui protège la membrane déroulée. Une fois que les membranes sont ouvertes sur leur longueur et déroulées en feuilles de membranes individuelles, la surface interne des feuilles des membranes est inspectée visiblement pour détecter toute contamination de surface ou d'accumulation de débris, de biofilm et de tartre sur la surface de la membrane OI.

Cela permet d'effectuer une série de tests spécifiques.

2.2.1 Tests d'intégrité

Un certain nombre de tests ont été effectués afin de vérifier les dommages physiques et chimiques de la membrane. Le test au bleu de méthylène a été fait pour savoir si la membrane est endommagée et le test à la rhodamine B pour déterminer si la membrane a été endommagée par exposition à un oxydant ou par une sorte d'attaque physique.

2.2.2 Analyse des composés organiques par perte en feu

Le but de ce test est d'identifier le colmatage organique à la surface des membranes. Pour ce test, un échantillon de l'encrassement est prélevé à la surface de la membrane OI et son poids est pris. Après la mesure l'échantillon est d'abord séché à 110°C (taux d'humidité) puis chauffé à 500°C (taux de cendres). Le poids du résidu de calcination est calculé en pourcentage du poids initial. Si la perte de poids lors de l'allumage est supérieure à 35%, ce résultat est indicatif d'un encrassement organique par contre si elle est supérieure à 50% cela signifie qu'il y a un fort colmatage.

2.2.3 Analyses chimiques

L'analyse par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) (SHIMADZU FTIR-8900) qui identifie les groupes fonctionnels caractéristiques afin d'identifier les composants organiques et inorganiques du colmatage.

La diffractométrie de rayons X (DRX) a été utilisée pour caractériser la structure cristallographique et la taille des grains.

3. Rinçage chimique

Différents protocoles de nettoyages ont été testés sur les coupons des membranes afin de voir leurs efficacités.

3.1 Variante

Après découpage de la membrane en tranches de film membranaires ($10 \times 7 \text{ cm}^2$) à traiter, une série de solution sont préparées pour le décolmatage des films, avec solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 2%, solution d'acide citrique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) à 2%, solution de chlorure de sodium (NaCl) à 0.1N, solution d'eau oxygénée (H_2O_2) à 3%, et une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 2%.

4. Analyses physico-chimiques

4.1 pH

C'est un paramètre physique qui correspond à la concentration d'ions hydrogènes (H^+) présents en solution dans l'eau. Il détermine l'acidité ou la basicité de l'eau, et il traduit la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. La valeur 7 étant le pH neutre, il a été mesuré à l'aide d'un multi paramètre de paillasse de la marque HANNA.

4.2 Conductivité

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire le courant électrique et d'avoir très rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une concentration élevée traduit soit des pH anormaux soit le plus souvent une salinité élevée. Elle conduira à un entartage des conduites si l'excès est dû aux ions calcium ; elle a été mesurée à l'aide d'un multi paramètre de paillasse de la marque HANNA.

Tableau II 4: Expression de la minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique

La conductivité ($\mu s/cm$)	La minéralisation de l'eau
Conductivité < 100	Très faible
100 < conductivité < 200	Faible
200 < conductivités < 333	Moyenne
333 < conductivité < 666	Moyenne accentuée
666 < conductivité < 1000	Importante
Conductivité > 1000	Elevée

4.3 Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau. On la mesure en NTU (Unités de Turbidité Néphélométrique) à l'aide d'un turbidimètre.

Elle peut s'échelonner de moins d'une NTU à plus de 1000 NTU.

A 5 NTU, l'eau est visiblement trouble et à 25 NTU elle est noirâtre.

5. Analyse bactériologique

Le dénombrement des bactéries se fait par incubation de cellules bactériennes sur des milieux nutritifs pendant une période de temps fixe et la détermination par la suite des colonies visibles qui se forment durant cette période.

Pour identifier le type de bactérie responsable de l'encrassement biologique, on peut opter pour un test largement utilisé par les auteurs : LE BART.

Ce test peut être remplacé par : un test de catalase, une coloration de Gram et un test API (Analytical Profile Index). Les bactéries présentes dans les trois membranes (Fouka, Maqtaa et Hamma) sont cultivées dans différents milieux de culture et conditions.

5.1 Catalase

L'enzyme catalase sert à neutraliser les effets bactéricides du peroxyde d'hydrogène [46] La catalase accélère la décomposition de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en eau et oxygène ($2H_2O + O_2$). Catalase donne $2H_2O + O_2$). Cette réaction se manifeste par la formation rapide de bulles [47,48].

Dans ce contexte, le test de la catalase est utilisé pour différencier les souches aérotolérantes de Clostridium, qui sont catalase négatives, des espèces de Bacillus, qui sont positives [49].

La méthode de la catalase par glissement ou goutte utilisée est l'une des méthodes les plus populaires en bactériologie clinique, car elle nécessite une petite quantité d'organisme et repose sur une technique relativement simple [50].

PROTOCOLE : A l'aide de l'anse de platine stérile, on prélève une petite quantité d'organisme d'une colonie bien isolée de 24 heures et la placer sur une lame de microscope, à l'aide d'une pipette on dépose 1 goutte de H_2O_2 à 3% sur l'organisme. Les réactions positives se manifestent par une formation immédiate de bulles.

5.2 Coloration de Gram

La coloration de Gram est fondamentale pour la caractérisation phénotypique des bactéries. La procédure de coloration différencie les organismes du domaine Bactérie en fonction de la structure de la paroi cellulaire [50].

- Les cellules Gram-positives ont une épaisse couche de peptidoglycane et se colorent du bleu au violet ;
- Les cellules Gram-négatives ont une fine couche de peptidoglycane et se colorent du rouge ou rose.

PROTOCOLE :

a) Faire un frottis :

- Nettoyer une lame à l'alcool ;
- Déposer une goutte d' H_2O sur la lame ;
- Toucher une colonie à l'aide de l'anse stérile pour prélever des bactéries ;
- Frotter la pointe de l'anse dans la goutte d'eau et laisser sécher à l'air ;
- Passer 3 fois la lame dans la petite flamme du bec Bunsen pour fixer l'échantillon à la chaleur.

b) Coloration et explications :

- Déposer quelques gouttes de solution de violet de gentiane sur le frottis fixé, laisser agir 1 minute et rincer brièvement à l'eau ;
- Déposer quelques gouttes de lugol sur le frottis et laisser agir 1 minute puis rincer à l'eau ;
- Décolorer en faisant couler une solution d'alcool sur le frottis et laisser agir pendant 5 secondes suivant d'un rinçage à l'eau ;
- Contre-colorer en déposant la solution de Fuchsine Phéniquée pendant 1 minute puis rincer à l'eau ;
- Laisser sécher à l'air ;
- Observer au microscope (avec une goutte d'huile à immersion, au grossissement 100x).

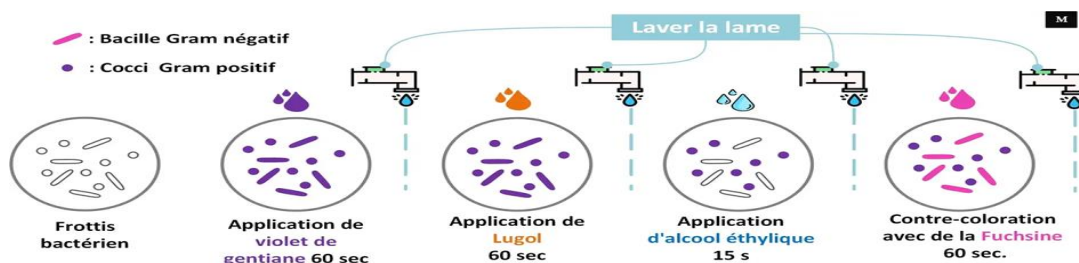


Figure II 5: Coloration de gram

5.3 Galerie API 20E et API STAPH

PROTOCOLE (API 20E) :

API 20E est un système standardisé permettant d'identifier les bactéries (généralement les bacilles à Gram (-)). Cette galerie comporte 20 micros tubes dans lesquels se trouvent des substrats déshydratés. Lors de la répartition d'une suspension bactérienne dans les tubes, des virages colorés et spontanés seront révélés lors de l'addition de réactifs. On fera ici 4 tests biochimiques.

Tout d'abord on commence par préparer la galerie : les substrats des 20 micros tubes de la galerie étant déshydratés, on commence par répartir 5ml d'eau distillée dans les alvéoles afin d'humidifier le milieu et de le placer dans sa boîte d'incubation. Ensuite, on prépare l'inoculum. L'inoculum est un échantillon qui contient des germes vivants que l'on introduit dans un milieu favorable en vue de son identification. On le prélève à l'aide d'une pipette, puis on homogénéise les bactéries dans le milieu pour réaliser la suspension bactérienne. On inocule alors la galerie : la suspension bactérienne est introduite dans les 20 micros tubes de la manière suivante :

- Tests CIT, VP et GEL : tube ET cupule ;
- Le reste : tube.

On procède délicatement, la pipette légèrement sur le côté de la cupule ainsi que la boîte doucement inclinée. On a créé une anaérobiose dans certains tests (ADH, LDC, ODC, H₂S, URE). Pour cela, on remplit les cupules d'huile de paraffine, les bactéries seront donc dans un milieu en absence d'oxygène.

La boîte d'incubation est ensuite fermée et placée en incubation durant 24h à 37°C.

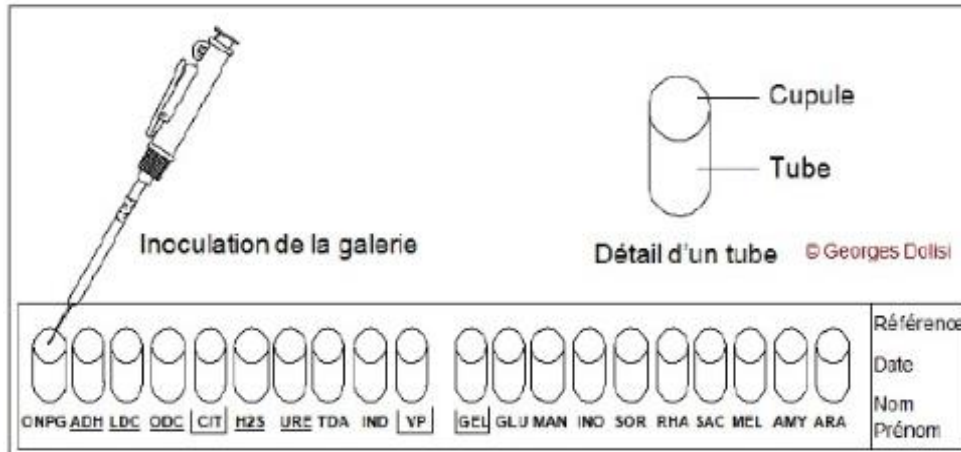


Figure II 6: Galerie API 20E

PROTOCOLE (API STAPH) :

API® STAPH est un système standardisé pour l'identification des genres *Staphylococcus*, *Micrococcus* et *Kocuria* comprenant des tests biochimiques miniaturisés ainsi qu'une base de données. Lors de la répartition d'une suspension bactérienne dans les tubes, des virages colorés et spontanés seront révélés lors de l'addition de réactifs. On fera ici un seul test biochimique.

- Réunir fond et couvercle d'une boîte d'incubation et répartir environ 5 ml d'eau distillée ou déminéralisée [ou toute eau sans additif ou dérivés susceptibles de libérer des gaz (Ex : Cl₂, CO₂ ...)] dans les alvéoles pour créer une atmosphère humide .A l'aide d'une pipette ou d'une PSIpette, remplir les tubes de la galerie avec API STAPH Mediumensemencé. Ne remplir que les tubes et non les cupules, sans dépasser le niveau du tube. Pour éviter la formation de bulles au fond des tubes, poser la pointe de la pipette ou de la PSIpette sur le côté de la cupule, en inclinant légèrement la boîte d'incubation vers l'avant ;
- Créer une anaérobiose dans les tests ADH et URE en remplissant leur cupule d'huile de paraffine pour former un ménisque convexe ;
- Renfermer la boîte d'incubation ;
- Incuber à 36°C ± 2°C pendant 18-24 heures ;
- Après incubation, lire les réactions conformément au Tableau de Lecture en ajoutant 1 goutte de chacun des réactifs suivants :

- Test VP : VP 1 et VP 2. Attendre 10 minutes, une couleur rose franche ou violette indique une réaction positive. Une couleur rose pâle ou rose claire obtenue après 10 minutes doit être considérée négative;
- Test NIT : NIT 1 et NIT 2. Attendre 10 minutes, une coloration rouge indique une réaction positive ;
- Test PAL : ZYM A et ZYM B (*). Attendre 10 minutes, une coloration violette indique une réaction positive. Une couleur beige-rosé ou violet très pâle obtenue après 10 minutes doit être Considérée comme négative.

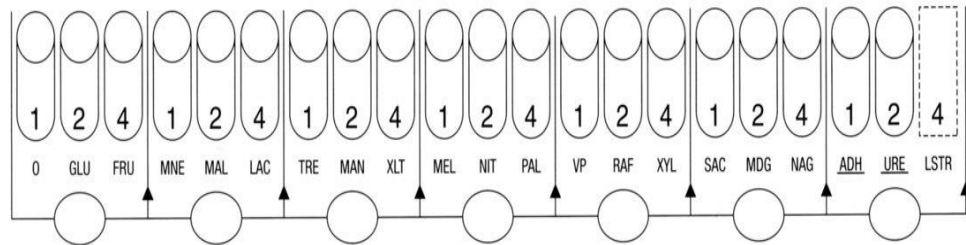


Figure II 7: Galerie API STAPH

6. Appareillage utilisé

- Four, avec régulation automatique de la température à $105 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Four à Moufle, pour contrôler les températures à $(550 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C})$;
- Balance analytique, d'une capacité d'au moins 100g et d'une sensibilité de 0,1mg ;
- Plaques agitateurs ;
- Creusets en porcelaine, 09 par 37mm avec couvercles en porcelaine ;
- Dessiccateur, contenant du chlorure de calcium comme agent de séchage ;
- Bécher en verre 1000 ml ;
- Spatules en acier inoxydable ;

- Bec bunsen ;
- Ethanol/Acétone ;
- Anse de platine stérile ;
- Colorants (violet de gentiane, lugol, Fuchsine Phéniquée) ;
- Micropipettes et embouts ;
- Souches bactériennes (A, B, C) ;
- Boîtes de cultures avec gélose nutritive ;
- Eau distillée ;
- Pipette pasteur ;
- Huile de paraffine ;
- Etuve ;
- Microscope ;
- Minuterie ;
- Lamelles de verres ;
- Galerie API (20E, STAPH).

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Evaluation externe

Les résultats de l'inspection visuelle des trois (3) membranes sont regroupés sous forme de figure dans l'annexe I.

Avant dissection, les trois éléments montrent une forme intacte sans dommages physiques apparents. Après l'enlèvement de la coque en fibre de verre, les trois membranes présentent des aspects de détérioration inégaux.

La membrane provenant de la station de dessalement de Fouka présente un aspect très habituel d'une membrane colmatée. Une couleur jaune verdâtre avec des points noirs caractérisent la couche visqueuse sur la face de la membrane. Cette couleur est due très probablement aux microorganismes qui l'ont colonisée. Ces microorganismes peuvent être à l'origine du colmatage de la membrane, ils peuvent être de nature algale à cause de la couleur verdâtre. Cependant, la contamination de cette membrane peut être postérieure, après son enlèvement du module de production, pendant le stockage.

Après la dissection de la membrane de Maqtaa, on découvre des composants altérés. Une feuille d'espaceur décollée est enrôlée dans le sens du flow. La membrane est saturée par des boues et des résidus cristallisés. Une pression très forte induisant le phénomène de télescopage de la membrane est fort probablement l'origine de cet impact. Les feuilles membranaires ont une couleur marron encrassée. Dans plusieurs endroits nous pouvons remarquer des chatoyements rougeâtres. La couleur rouge caractérise les oxydes de fer. La présence des oxydes de fer dans l'eau de mer dessalée est très probablement due à la canalisation. Mais le prétraitement doit en éliminer dans la norme la majorité. Le diamètre de ces molécules est proche de celui de la molécule d'eau, cela leur fait le premier ennemi de la membrane d'osmose inverse, car ils se fixent facilement à l'intérieur des pores de filtration. Cette membrane présente le degré d'encrassement le plus élevé.

La membrane de la station de Hamma paraît la plus propre. Les feuilles membranaires se caractérisent par une couleur jaune claire. Parfois nous remarquons une nuance vert clair au fond de la membrane ainsi que des reflets rouges. La surface des feuilles paraît fragilisée et s'abîme facilement. Toutes les feuilles de cette membrane présentent une couche superficielle visqueuse.

2. Evaluation Interne

2.1 Test d'intégrité au Bleu de Méthylène

Les résultats obtenues après les tests sont représentée sur les figures ci-dessous.

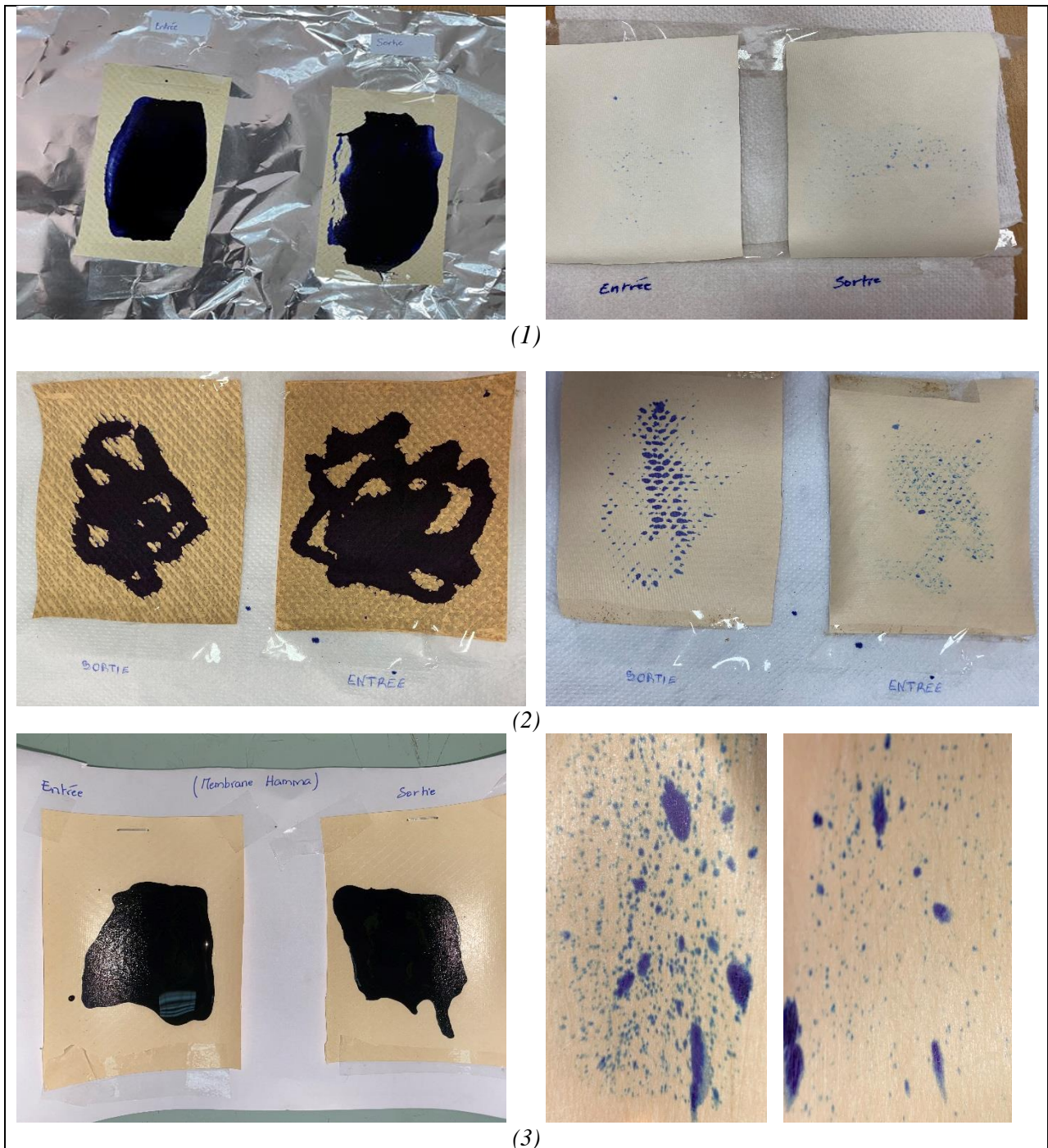


Figure III 1: Test d'intégrité au Bleu de Méthylène; (1) Membrane de Fouka, (2) Membrane de Maqtaa, (3) Membrane de Hamma.

L'objectif de ce teste est de mettre en évidence les dommages physiques macroscopiques. D'après la figure III 1, la membrane de Hamma parait la plus endommagée, suivis par celle de Maqtaa. La membrane de Fouka parait la plus intacte.

Ce type de fissures au niveau de la membrane, est causé essentiellement par les produits acides/bases pendant les procédures de décolmatage de la membrane (1,2). La fréquence des rinçages chimiques ainsi que la composition des solutions utilisées sont des facteurs qui déterminent le niveau de détérioration de la membrane ultérieurement.

Le résultat pour la membrane de Hamma confirme nôtre première impression d'une membrane fragilisée. En comparant avec les autres membranes, on peut constater que les lavages chimiques successifs ont épuisé cet élément.

2.2 Test d'intégrité à la Rhodamine B

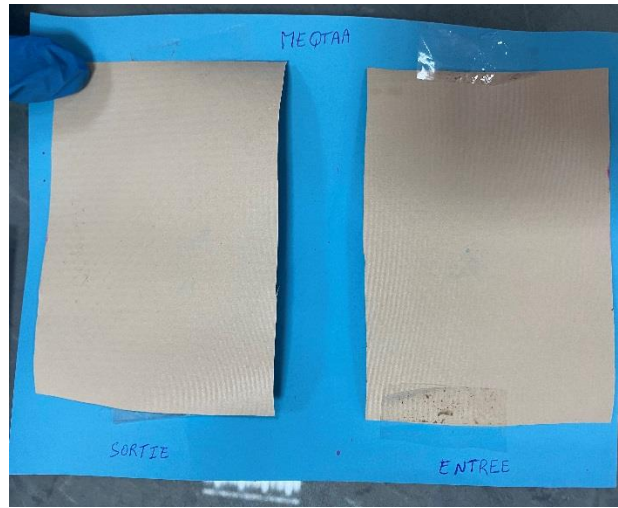
Ce test a donné un résultat positif pour toutes les membranes autopsiées. La membrane de Hamma parait plus touchée. Les autres membranes présentent quelques points minuscules.

Comme le Bleu de Méthylène, la Rhodamine diffuse à travers la membrane endommagée, et visualise ainsi les endroits fissurés. Cependant ; la rhodamine fait apparaitre les pores plus larges que ceux apparus par le Bleu de méthylène. Car le diamètre de la molécule de Rhodamine est plus important (3). De ce fait, un test positif à la Rhodamine signifie un état de détérioration avancé.

Le test à la Rhodamine complète le résultat obtenu par le Bleu de Méthylène. La membrane de Hamma est remarquablement plus altérée.



(1)



(2)



(3)

Figure III 2: Test d'intégrité à la Rhodamine ; (1)Fouka, (2)Maqtaa, (3)Hamma.

3. Caractérisation physicochimique du matériau colmatant

3.1 Taux de la matière organique

Après la calcination les résultats obtenues sont représentée sur les figures ci-dessous.

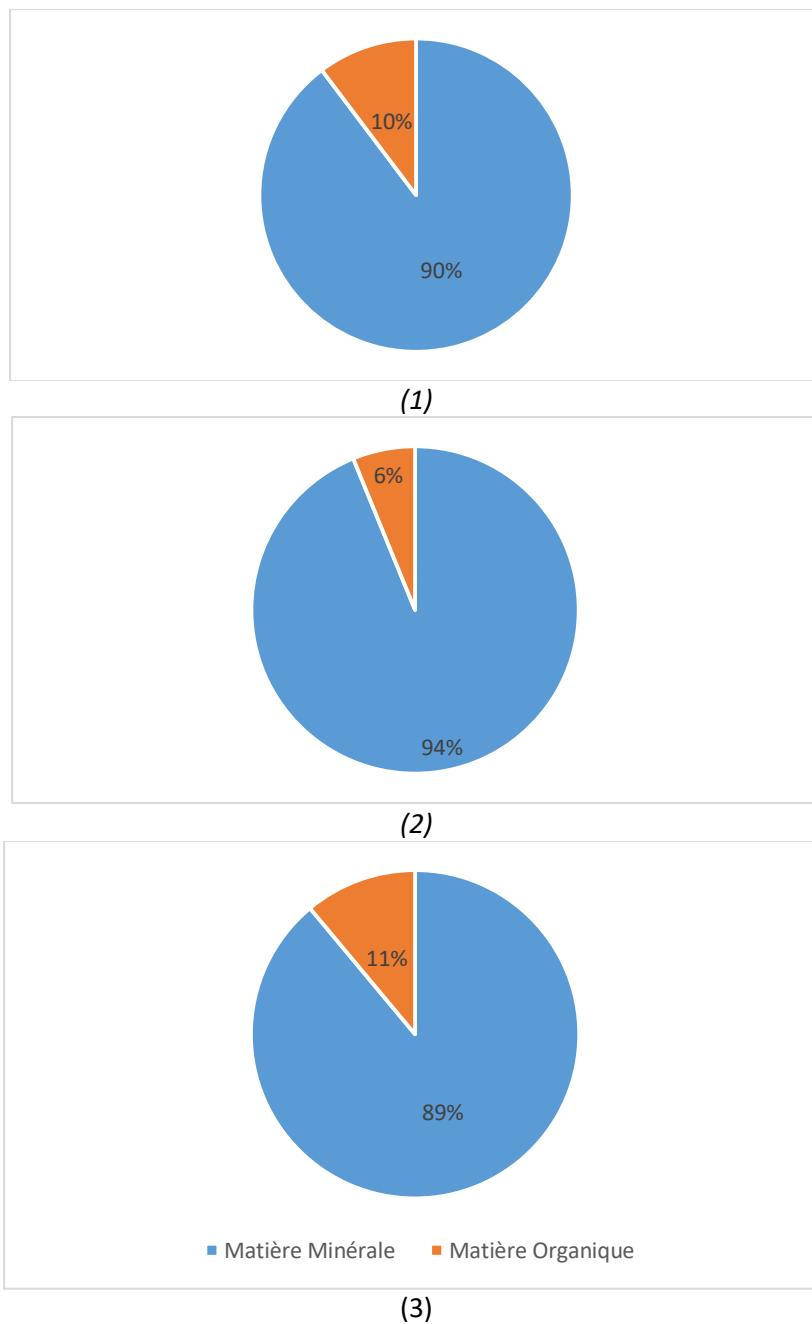


Figure III 3: Fractions massiques de la matière organique dans le matériau colmatant des trois membranes : (1)Fouka, (2)Maqtaa, (3)Hama.

La perte du poids par calcination à 550°C pendant cinq (5) heures, est un procédé très simple pour définir la fraction massique de la matière organique dans le matériau colmatant. Ce rapport détermine le type de colmatage : biologique ou bien minéral. Pour nos éléments, les trois membranes présentent des pourcentages proches de la matière organique (6%, 10% et 14%). Pour la membrane de Maqtaa le taux de la matière minérale est sensiblement plus élevé avec 94%. De ce fait, le type de colmatage tend vers le colmatage minéral.

La matière organique accumulée sur les membranes étudiées est probablement due à la formation d'une couche de gel organique qui provient habituellement des débris cellulaires des microorganismes. Les résultats de la membrane de Maqtaa montrent un aspect cristallin de la cendre issue de la calcination. Ça ressemble initialement aux argiles.

3.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) est un outil intéressant pour identifier la nature moléculaire de la matière colmatante [4]. Grâce au spectre d'absorbance de la matière on peut deviner avec certaine précision sa nature chimique.

Les figures III.4, III.5 et III.6 représentent successivement les spectres d'absorbance de la membrane de Fouka, Maqtaa et de Hamma.

Les spectres sont divisés en trois régions : la région de simples liaisons entre (2500-4000 cm^{-1}), la région des triples liaisons entre (2000-2500 cm^{-1}), la région de doubles liaisons (1500-2000 cm^{-1}) et la région de l'empreinte chimique (500-1500 cm^{-1}).

Les trois spectres présentent des structures différentes. Le spectre de la membrane de Fouka est assez comparable à celui de Hamma, par contre les deux sont différents à celui de la membrane de Maqtaa. L'absorbance dans la région des simples liaisons pour ces deux membranes est importante contre une absorbance minimale dans le spectre de la membrane de Maqtaa. Pour les autres régions les spectres présentent une structure complexe où nous remarquons plusieurs vibrations importantes.

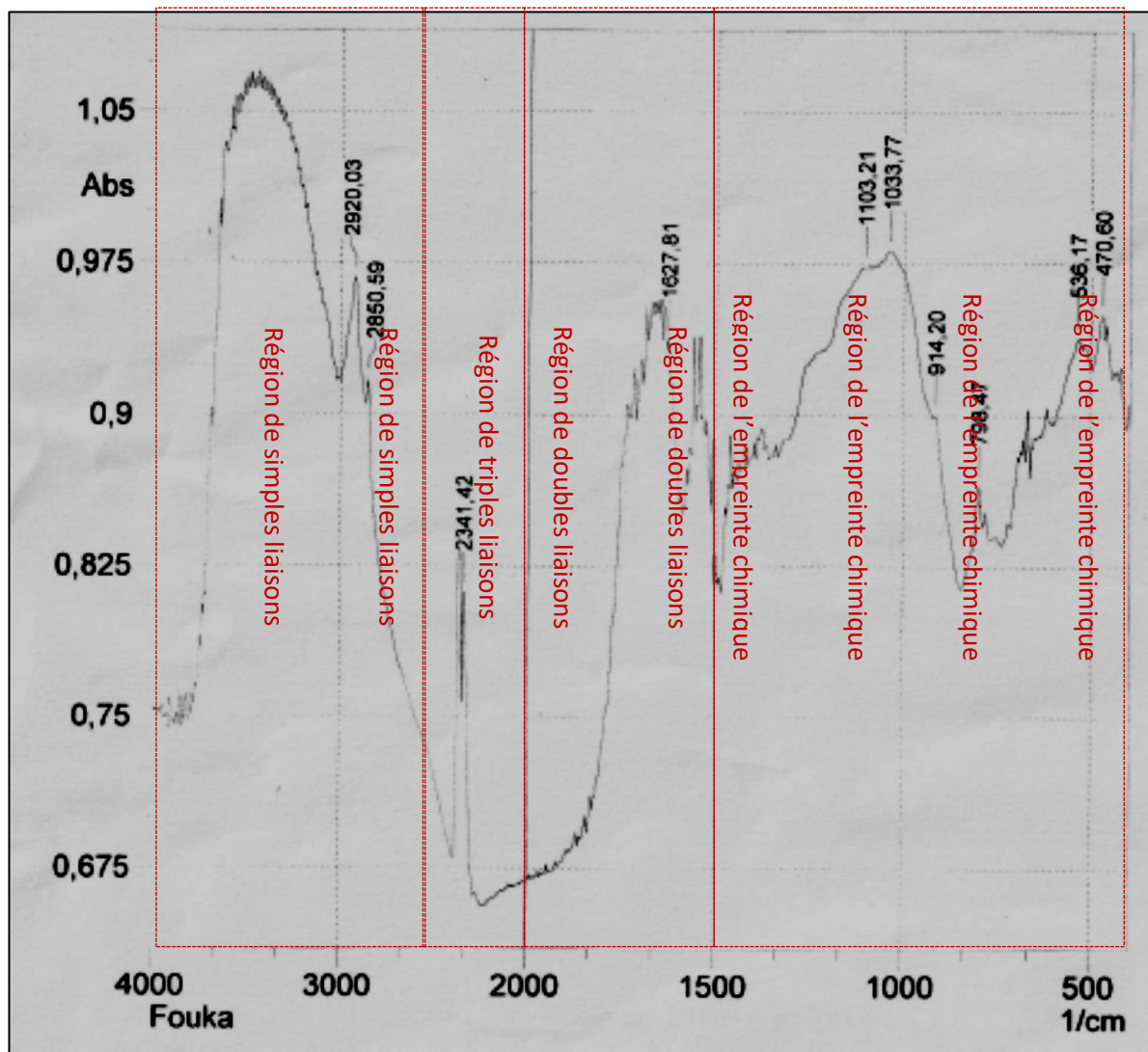


Figure III 4: Spectre d'absorbance de la membrane de Fouka.

Le spectre de la membrane de Fouka est caractérisé par une structure complexe le long de toutes les régions. Nous enregistrons plus de 12 pics d'absorbance. Le tableau III.1 résume les points d'absorbance les plus importants :

Tableau III 1: Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane de Fouka

	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	470,6	0,949458	0,027754	497,6	447,45	46,97946	0,759952
2	536,17	0,938086	0,010654	605,61	524,6	74,46700	0,361301
3	798,47	0,865468	0,022406	844,76	790,76	45,18206	0,261106
4	914,2	0,899989	0,009729	921,91	848,62	62,67762	0,170928
5	1033,77	0,981202	0,026642	1072,35	921,91	143,3781	2,664586
6	1103,21	0,97313	0,002519	1253,64	1095,49	150,2865	0,353142
7	1627,81	0,936956	0,013017	1631,67	1589,23	37,71772	0,172372
8	2341,42	0,811863	0,033257	2345,28	2283,56	44,90708	0,680167
9	2850,59	0,916923	0,016315	2862,17	2391,57	360,9041	0,154522
10	2920,03	0,967484	0,057948	3001,03	2866,02	126,4288	3,511795

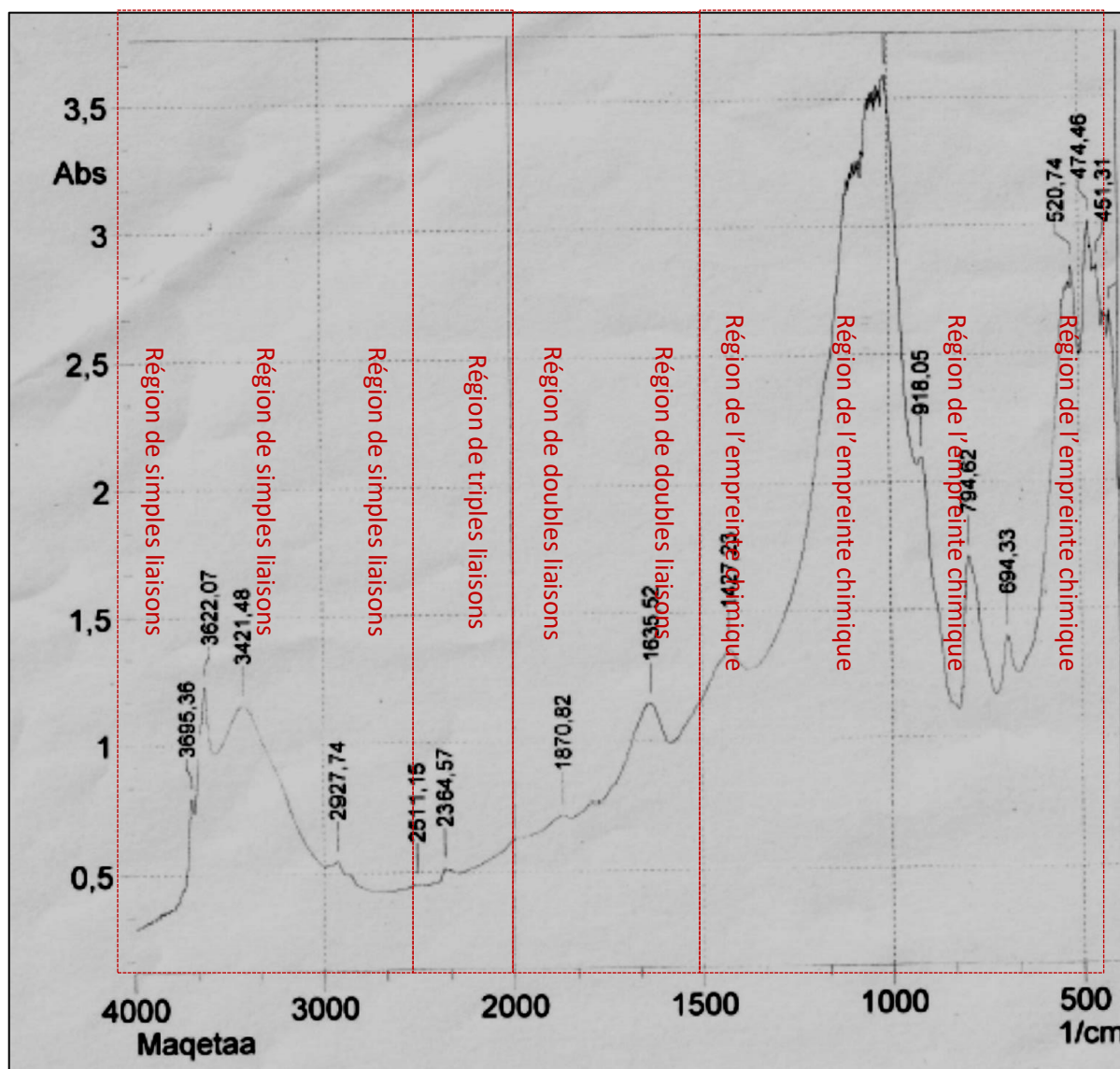


Figure III 5: Spectre d'absorbance de la membrane de Maqtaa.

La structure du spectre de la membrane de Maqtaa est relativement simple. L'absorbance est minimale dans la région de triples et de simples liaisons. Dans le tableau III.2 on résume les pics d'absorbance les plus importants.

Tableau III 2: Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane de Maqtaa

	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	420,45	2,6661	0,2111	424,31	397,31	63,7865	5,4962
2	451,31	2,8436	0,0746	455,17	439,74	41,9555	0,5177
3	474,46	3,0126	0,302	497,6	462,88	98,0679	5,2818
4	520,74	2,8422	0,1368	524,6	501,46	62,2269	2,0917
5	694,33	1,3952	0,1848	725,18	667,32	74,1933	4,1638
6	794,62	1,7108	0,585	821,62	729,04	131,6646	26,0989
7	918,05	2,0992	0,1032	925,77	825,48	152,1113	2,4232
8	1006,77	3,5973	0,3115	1018,34	929,63	247,0224	9,2466
9	1427,23	1,3485	0,1422	1573,81	1380,94	232,8023	13,6632
10	1635,52	1,144	0,2114	1785,96	1585,38	192,9825	17,3065
11	1870,82	0,7196	0,0207	2291,28	1851,54	259,1893	0,6922
12	2364,57	0,515	0,0158	2476,43	2349,14	59,936	0,2252
13	2511,15	0,4562	0,0102	2661,58	2480,29	79,9387	0,3804
14	2927,74	0,546	0,0416	2989,46	2738,73	121,8917	2,5586
15	3421,48	1,1516	0,3008	3571,92	2993,32	510,0945	79,6287
16	3622,07	1,2285	0,351	3679,93	3583,49	99,8668	16,9571
17	3695,36	0,7888	0,0876	3791,79	3683,78	56,4453	1,4586

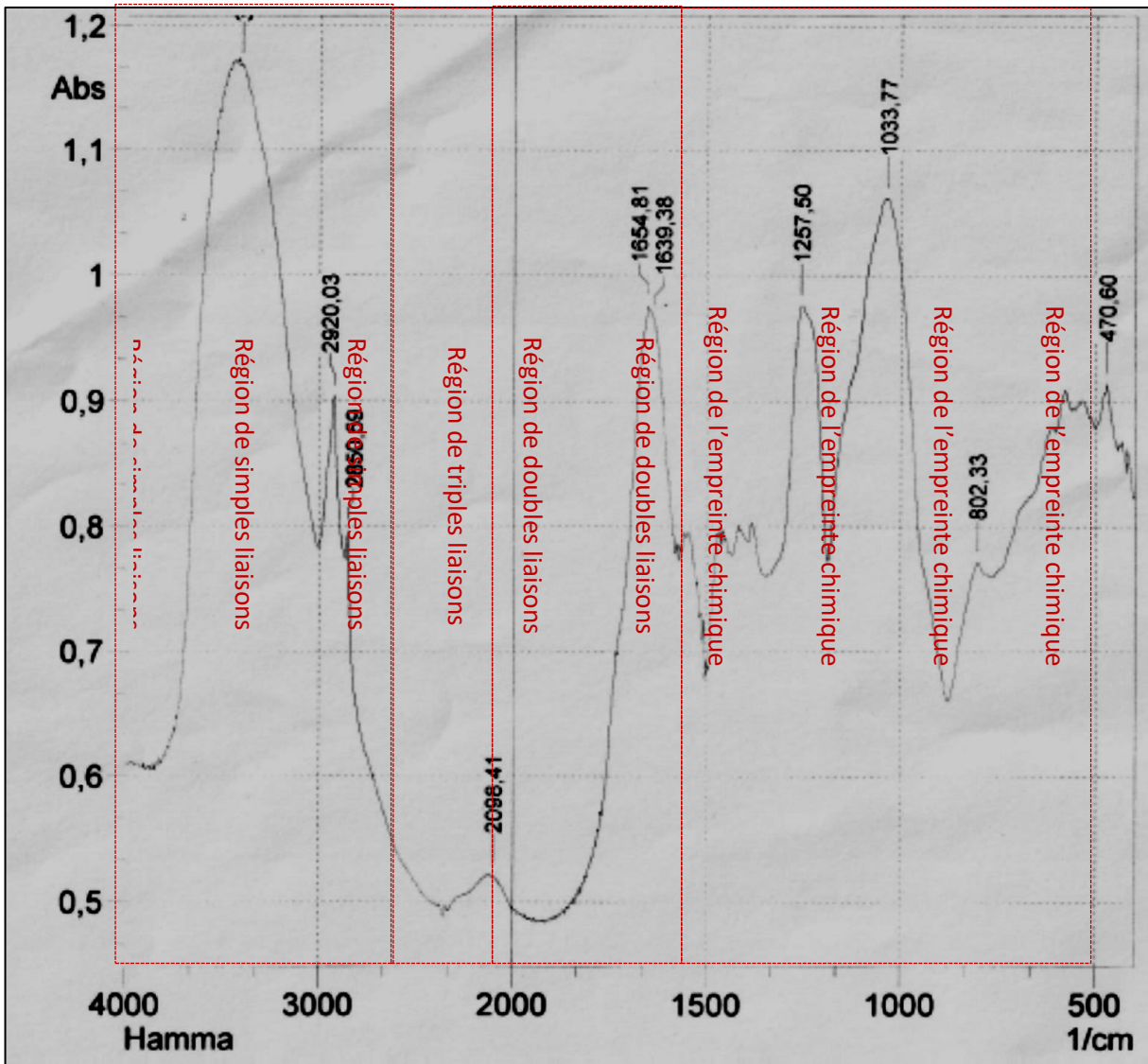


Figure III 6: Spectre d'absorbance de la membrane de Hamma.

La structure du spectre Hamma est plus simple que celui de Fouka. Mais l'absorbance moyenne est plus importante. Le spectre enregistre moins de pics et l'absorbance est assez homogène. L'absorbance est minimale dans la région de triples liaisons et maximale dans la région de simples liaisons.

Tableau III 3 : Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane de Hamma

	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	470,6	0,914035	0,041457	497,6	447,45	44,72527	0,96916
2	802,33	0,771732	0,026321	879,48	786,9	67,44525	1,427407
3	1033,77	1,06134	0,342737	1184,21	883,34	270,4564	54,46386
4	1257,5	0,975795	0,208059	1334,65	1188,07	127,9076	15,39273
5	1639,38	0,966273	0,010862	1643,24	1573,81	60,00776	0,411153
6	1654,81	0,975943	0,037323	1839,96	1643,24	138,0843	1,284943
7	2098,41	0,521302	0,001911	2106,12	1963,4	71,97058	0,181988
8	2850,59	0,796749	0,02965	2862,17	2395,42	267,5773	0,259991
9	2920,03	0,90427	0,12588	3001,03	2866,02	112,1276	6,945723
10	3402,2	1,169158	0,012339	3413,77	3004,89	404,4495	7,557609

Les spectres dessinés par la Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) confirme les résultats obtenus par le test de la perte du poids au feu. Les régions des doubles et de triples liaisons caractérisent en grande partie les composés organiques. Ces composés sont plus variables dans la membrane de Fouka par rapport à celle de Hamma. Ces composés sont peut-être moins présents dans la membrane de Maqtaa.

Les pics enregistrés correspondent probablement aux ions suivants :

- Ion de Carbonate (1490–1410/880–860)
- Ion de Sulfate (1130–1080/680–610)
- Ion de Nitrate (1380–1350/840–815)
- Ion de Phosphate (1100–1000)
- Ion ammonium (3300–3030/1430–1390)
- Ion de Cyanite, thiocyanate, et ions reliés (2200–2000)
- Ion de Silicate (1100–900)

3.3 Diffraction des rayons X (DRX)

a) FOUKA

La membrane de la station de dessalement de Fouka est caractérisée par la présence de plusieurs pics indiquant l'existence de plusieurs phases cristallines et la plus importante et celle relative à l'oxyde de silicium SiO_2 identifié sur le spectre DRX de la membrane de Fouka. A côté des phases cristallines, une partie amorphe de 2θ se situe entre 15° et 30° caractéristique de la structure carbonée de la membrane.

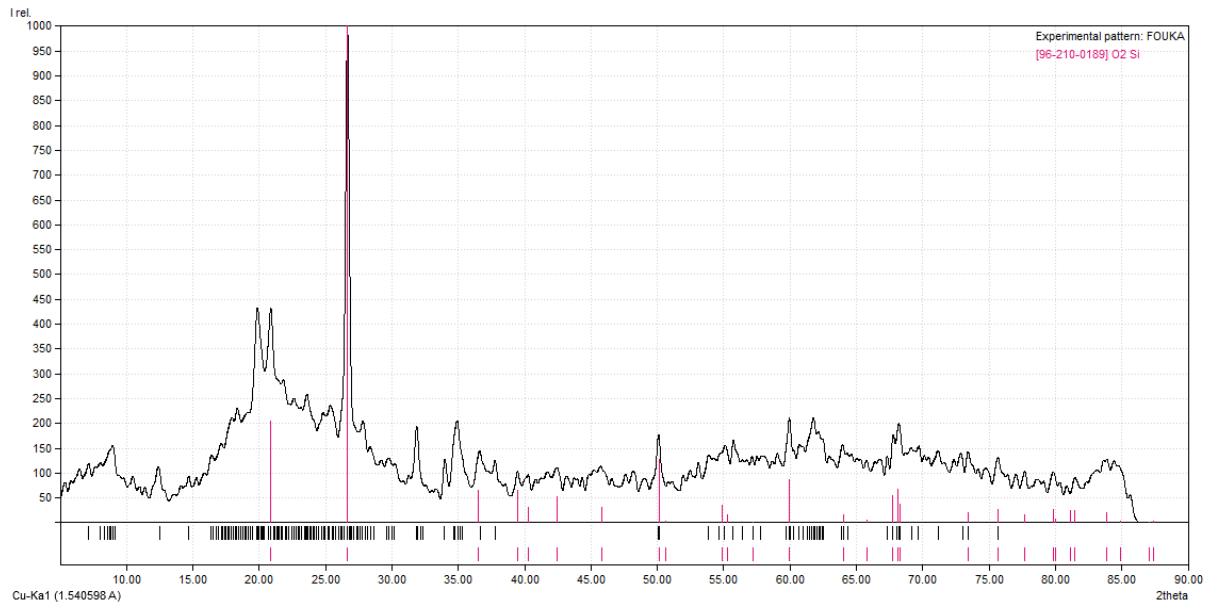


Figure III 7: Spectre de diffraction de la membrane de Fouka.

b) HAMMA

Le spectre DRX de l'échantillon de la membrane de HAMMA contient moins de phases cristallines que celui de Fouka avec la partie amorphe spécifiquement la plus importante de la structure carbonée de la membrane situé à 2θ soit entre 15° et 30° . Contrairement, à celle de Fouka, celle de Hamma contient la phase cristalline de SiO_2 avec une très faible proportion.

Ces analyses, permettent de déclarer la stabilité de la membrane de Hamma par rapport à celle de Fouka.

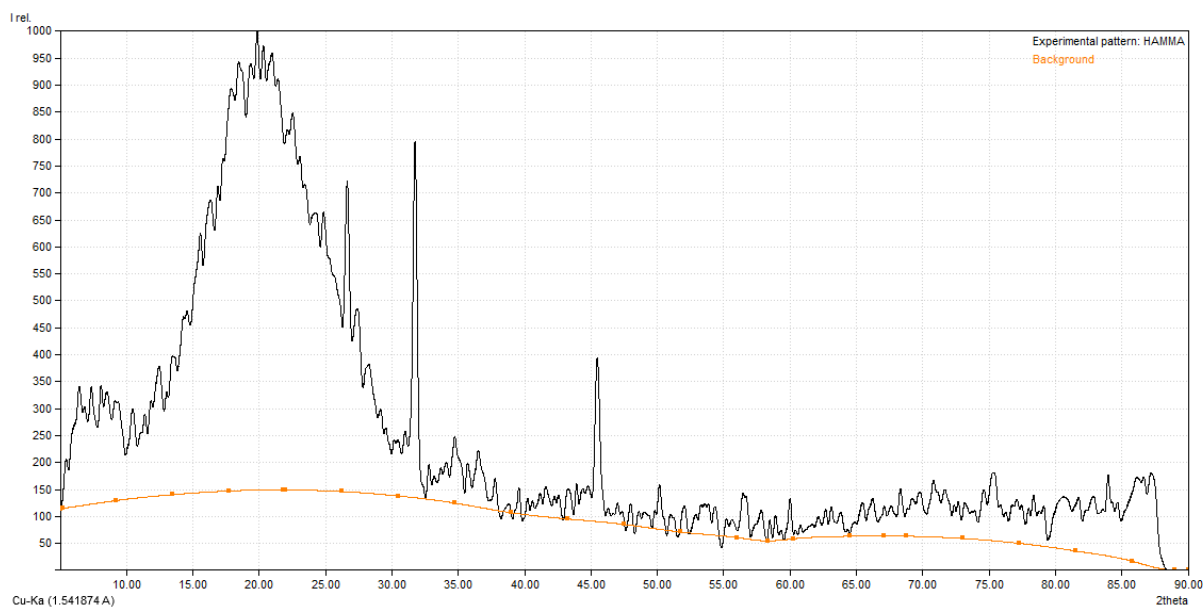


Figure III 8: Spectre de diffraction de la membrane de Hamma.

c) MAQTAA

Le spectre DRX de cette membrane ne contient que la phase cristalline de SiO_2 , ce qui permet de dire que cette membrane est totalement inexistante (la membrane était tellement abimée que l'exploitation de son résultat n'a rien donné).

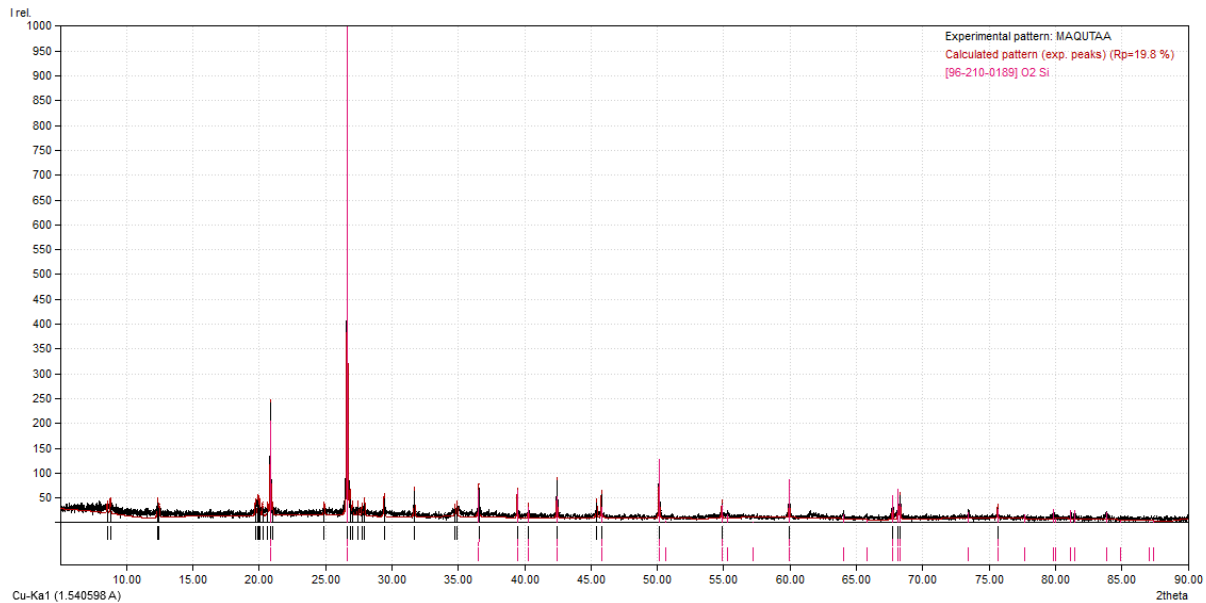


Figure III 9: Spectre de diffraction de la membrane de Maqtaa.

4. Étude comparative de l'efficacité de décolmatage de certains produits

Pendant le rinçage de coupons des membranes étudiées, nous avons suivi la cinétique des paramètres suivants : la conductivité, la turbidité et le pH.

Dans les figures III.10, III.11 et III.12 on représente les résultats obtenus pour 5 produits à savoir : le Peroxyde d'hydrogène, chlorure d'hydrogène, chlorure de sodium, l'acide citrique et l'hydroxyde de sodium. Nous avons pris les trois mesures toutes les 20 minutes. Plus la variation de ces paramètres est importante, plus l'action du produit est notable. Cependant les matériaux déposés sur les membranes agissent différemment avec ces produits.

Résultats du rinçage chimiques (Turbidité, conductivité, pH) : (Annexe III)

4.1 Fouka

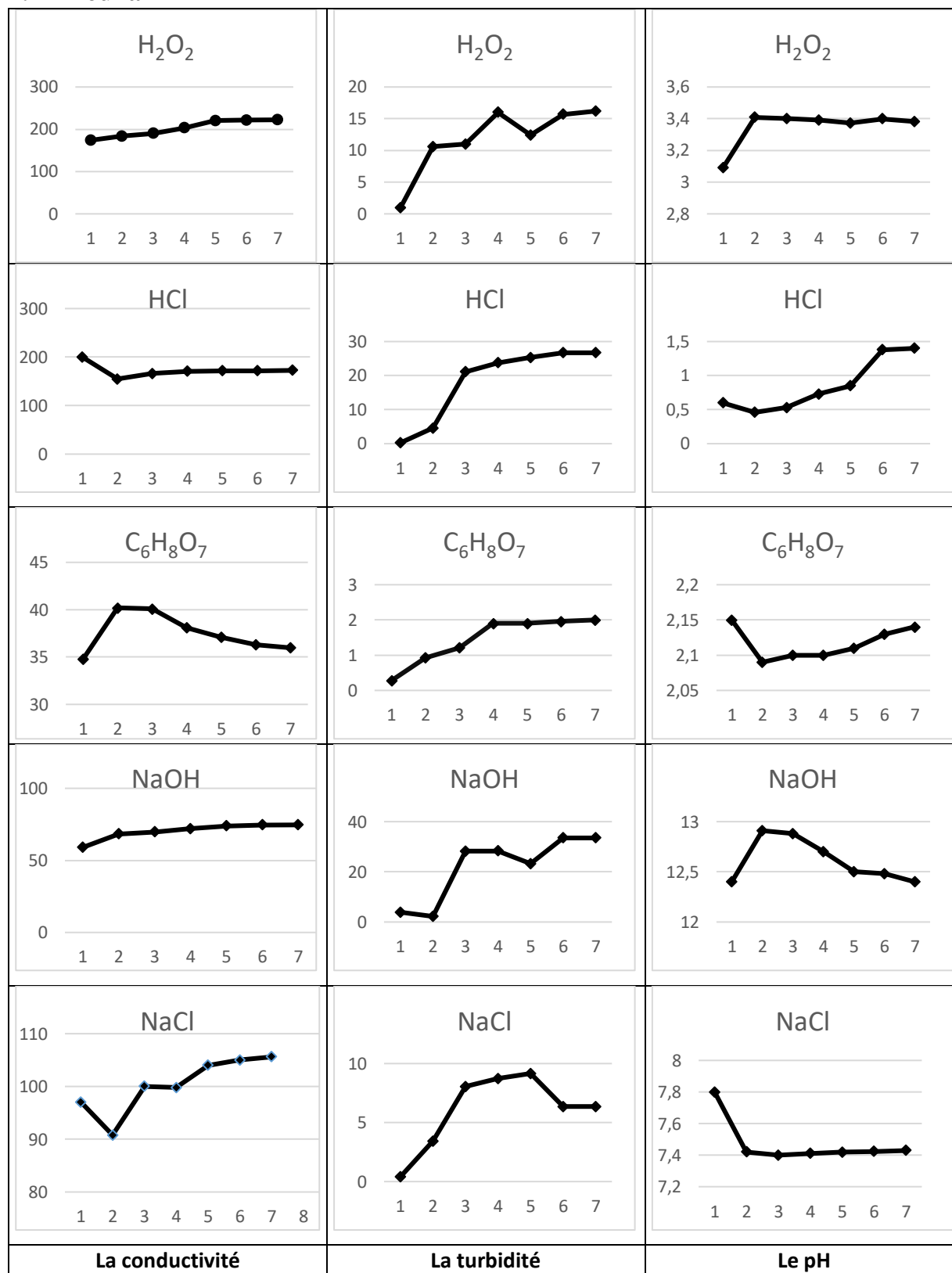


Figure III 10: La variation des paramètres physicochimiques des solutions de rinçage en fonction du temps d'agitation pour la membrane de Fouka.

La conductivité enregistre des valeurs sensiblement croissantes pour H_2O_2 , NaCl et le NaOH. Contrairement à la solution de l'HCl qui présente des valeurs décroissantes. L'acide citrique présente un pic entre la deuxième et la troisième prise (entre 20 mn et 40 mn d'agitation).

Pour la solution de NaCl la conductivité diminue rapide au début de l'agitation, puis reprend un rythme croissant à partir de la 20^{ème} minute.

La turbidité dans toutes les solutions de rinçage enregistre une augmentation. La plus grande valeur est enregistrés pour NaOH avec 33.5UNT suivie par celle enregistrée pour le HCl avec 26.7UNT.

Le pH des solutions utilisées varie différemment. L'HCl est un acide fort, son pH augmente avec le temps d'agitation. Après 120 minutes il atteint une valeur de 1.4. Également pour le Peroxyde d'hydrogène, après 120 minutes d'agitation sa valeur aboutit à 3.4. Pour les autres solutions, ce paramètre tend à diminuer en fonction du temps d'agitation.

4.2 Maqtaa

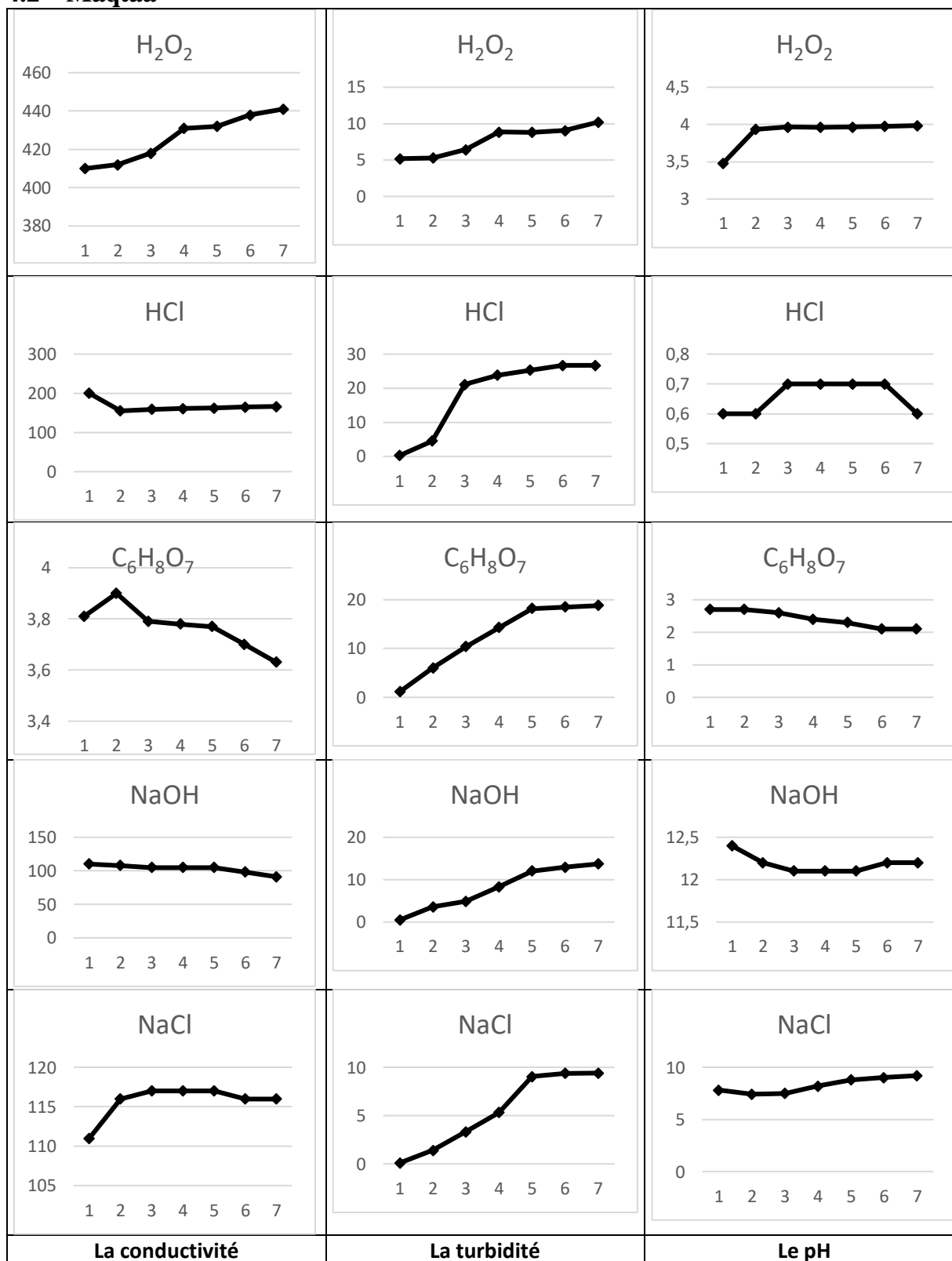


Figure III 11: La variation des paramètres physicochimiques des solutions de rinçage en fonction du temps d'agitation pour la membrane de Maqtaa.

La membrane de Maqtaa présente des variations différentes par rapport à celle de Fouka.

La conductivité tend à baisser en fonction du temps d'agitation pour toutes les solutions du rinçage, sauf pour les solutions de H_2O_2 et de NaCl. Ces deux dernières enregistrent une augmentation dans la valeur conductivité, on peut lire 116 pour le NaCl et 440 pour le H_2O_2 .

La Turbidité enregistre une variation progressive en fonction du temps d'agitation pour toutes les solutions appliquées. Les acides présentent les valeurs les plus élevées : le HCl avec 26.7 et L'acide citrique avec 18.8.

Pour le pH, les valeurs pour toutes les solutions ne varient pas considérablement. Pour cette membrane, les rinçages appliqués ne montrent pas une action significative par rapport à ce paramètre.

4.3 Hamma

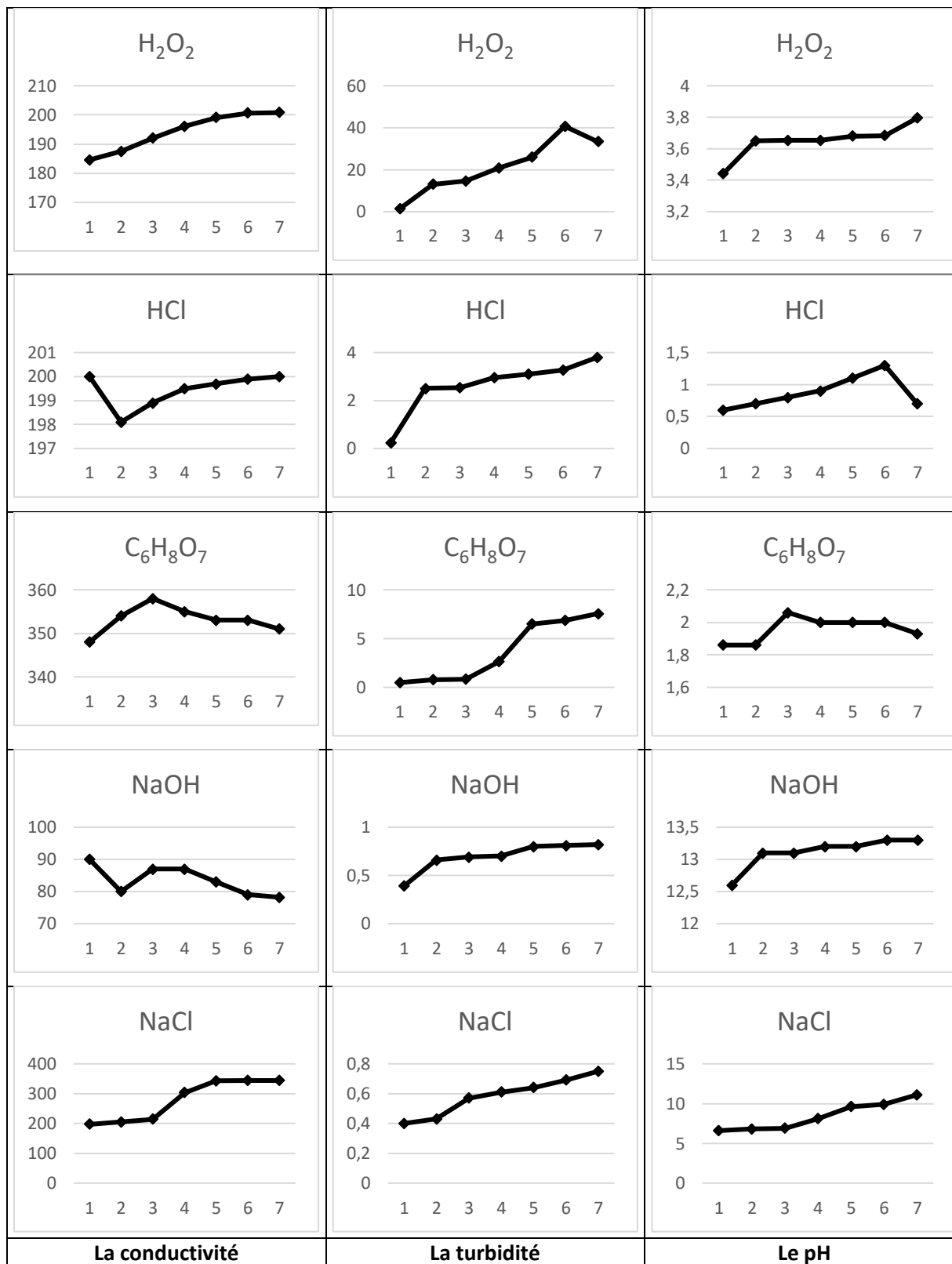


Figure III 12: La variation des paramètres physicochimiques des solutions de rinçage en fonction du temps d'agitation pour la membrane de Hamma.

Les trois paramètres suivis pour la membrane de Hamma sont corrélativement stables. Les valeurs ne présentent pas des différences significatives. Entre autre ; la turbidité présente des valeurs sensiblement croissantes, spécialement pour le H₂O₂ en premier lieu et l'acide citrique en deuxième lieu.

5. Caractérisation microbiologique de la boue colmatante

5.1 Recherche des bactéries présentes dans les échantillons du colmatant des 3 membranes

Après la purification des échantillons, des isolations des souches bactériennes ont été faites comme suit.

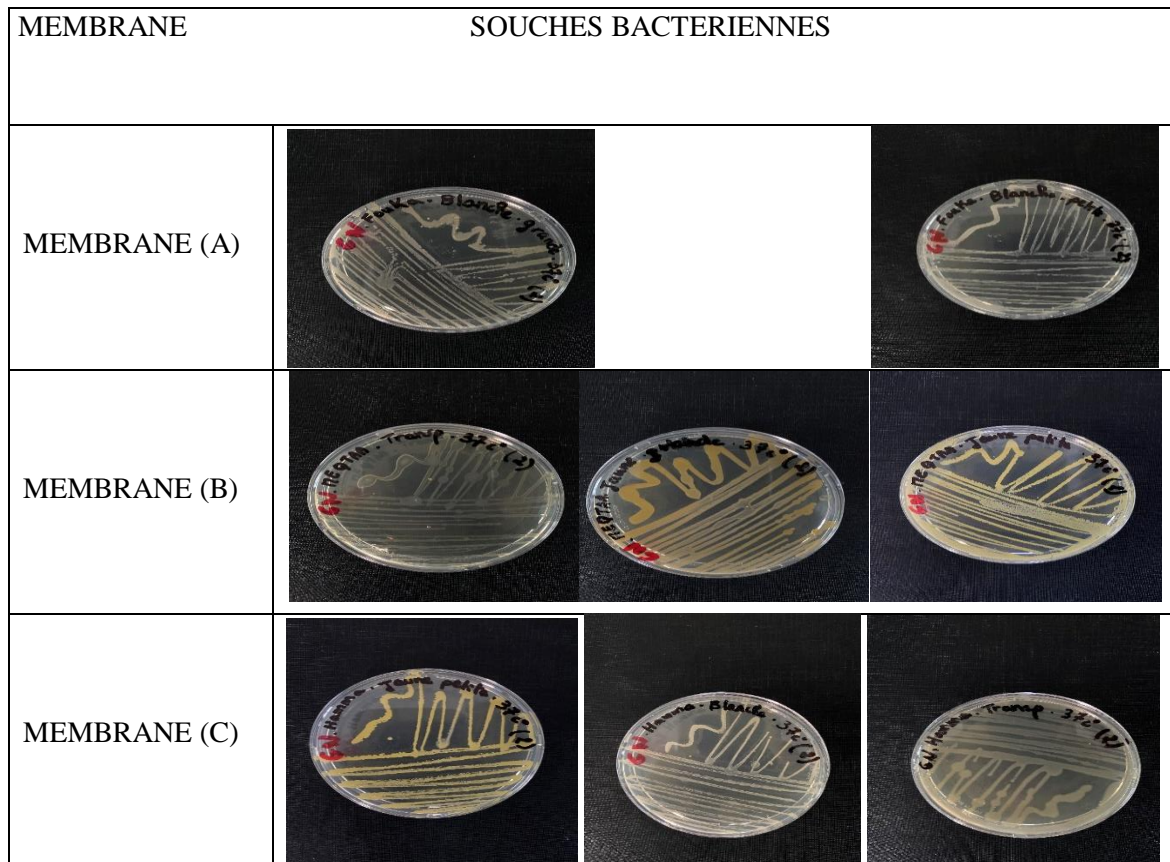
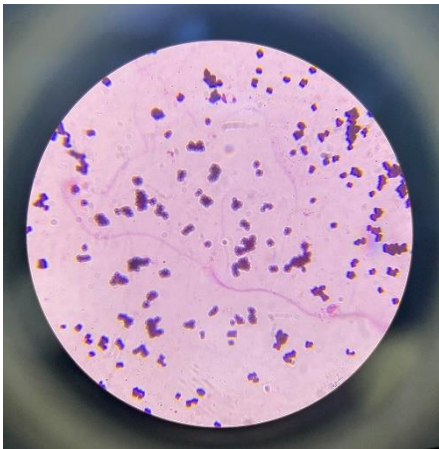


Figure III 13: Souches bactériennes après purification (A) Fouka, (B) Maqtaa, (C) Hamma.

5.2 Préparation des colorations et identification des souches bactériennes

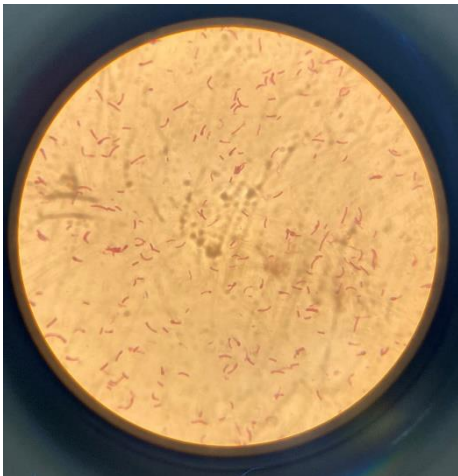
5.2.1 Coloration de Gram

-Les résultats de la coloration de Gram sont interprétés au microscope, les différentes bactéries visibles sont alors observées. "On précise si les bactéries sont Gram + (violet) ou Gram - (rose), leur forme : soit rondes (coques) soit en bâtonnets (bacilles), soit en spirales ou hélices (spirochètes).



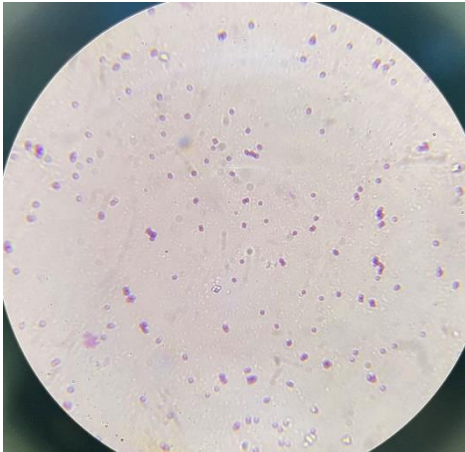
Les bactéries observées dans deux souches bactériennes de la membrane A et C sont de couleur violet. Ce sont donc des bactéries Gram (+) de forme (Cocci).

Figure III 14: Staphylococcus aureus.



Les bactéries observées dans une des souches bactériennes de la membrane B sont de couleur rose. Ce sont donc des bactéries Gram (-) de forme (Bacille).

Figure III 15: Flavimonas oryzae.



Les bactéries observées dans deux souches bactériennes de la membrane A et C sont de couleur rose. Ce sont donc des bactéries Gram (-) de forme (Cocci).

Figure III 16: *Ochrobacterum anthropic*.

5.2.2 Catalase

Tous les résultats de catalase ont été positifs. La réaction positive au Catalase a été produite par la bactérie (*Staphylococcus*).

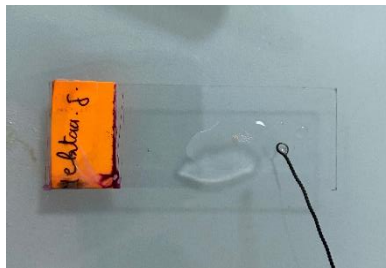


Figure III 17: l'eau oxygénée avant l'ajout de bactérie.

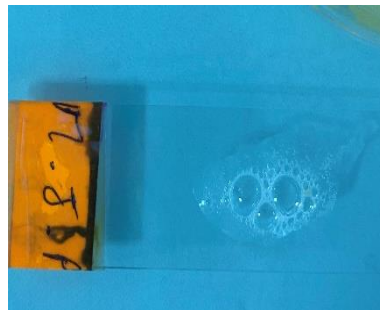


Figure III 18: Réaction de la bactérie après le test de catalase.

5.2.3 Identification de la bactérie en utilisant une Galerie API STAPH

Résultat de la galerie API STAPH après incubation 24h à 37°C.



Figure III 19: Résultat galerie API STAPH (staphylococcus aureus).

Test d'indentification Biomérieux

API® STAPH		CE	REF:	07228		BIOMÉRIEUX	
		Origine / Source / Herkunft: / Origen / Origen / Προέλευση Ursprung / Oprindelse / Pochodzenie:		Staphylococcus aureus			
(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
1	2	4	1	2	4	1	2
O	GLU	FRU	MNE	MAL	LAC	TRE	MAN
(6)	(7)	(3)	(8)	(6)	(4)	(1)	(5)
Autres tests / Other tests / Andere Tests / Otras pruebas / Altri test / Outros testes / Άλλα εξετάσεις δια tests / Andre tests / Inne testy:		Nihale 2 YMA ⊕ H2E YMB		Ident. / Ταυτοποίηση			

Figure III 20: Test d'indentification Biomérieux (staphylococcus aureus).

6. Conclusion

Le dessalement de l'eau de mer est la solution la plus recommandée pour vaincre la soif qui menace l'humanité à cause du changement climatique contemporain. L'Algérie est parmi les pays les plus touchés par la sécheresse. Devant la pénurie de l'eau potable, le gouvernement Algérien a lancé plusieurs stations de dessalement de l'eau de mer le long de la côte méditerranéenne.

Les procédés de l'osmose inverse deviennent la technologie la plus utilisée pour le dessalement de l'eau de mer. Bien que, parmi les freins majeurs des procédés de l'osmose inverse figure le colmatage des membranes. Les performances des membranes sont altérées et la durée de vie est réduite considérablement.

Le travail vise à identifier et caractériser les différents agents colmatant des membranes usagées grâce à l'autopsie de trois membranes venant de stations différentes, à savoir : la station de dessalement de Fouka, la station de dessalement de Hamma, la station de dessalement de Maqtaa.

En premier lieu les membranes sont inspectées, les trois éléments montrent une forme intacte sans dommages physiques apparents. Après l'enlèvement de la coque en fibre de verre, les trois membranes présentent des aspects de détérioration inégaux. Après la dissection de la membrane de la station de Maqtaa, on découvre des composants altérés. La surface des feuilles de la membrane de Hamma paraît fragilisée et s'abîme facilement. La membrane provenant de la station de dessalement de Fouka présente un aspect très habituel d'une membrane colmatée.

Le résultat de test d'intégrité au bleu de Méthylène pour la membrane de Hamma confirme notre première impression d'une membrane fragilisée. En comparant avec les autres membranes, on peut constater que les lavages chimiques successifs ont épuisé cet élément. Le test à la Rhodamine complète le résultat obtenu par le Bleu de Méthylène. La membrane de Hamma est remarquablement plus altérée.

Selon le test de la perte du poids au feu, les trois membranes présentent des pourcentages proches concernant la matière organique (6%, 10% et 14%). Pour la membrane de Maqtaa le taux de la matière minérale est sensiblement plus élevé avec 94%. De ce fait, le type de colmatage tend vers le colmatage minéral.

Les spectres dessinés par la Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) confirme les résultats obtenue par le test de la perte du poids au feu. Les régions des doubles et de triples liaisons caractérisent en grande partie les composés organiques. Ces composés sont plus variables dans la membrane Fouka par rapport à Hamma. Ces composés sont peut-être moins présents dans la membrane Maqtaa.

Pendant le rinçage de coupons des membranes étudiées, nous avons suivi la cinétique des paramètres suivants : la conductivité, la turbidité et le pH. Les trois paramètres suivis pour les trois membranes sont corrélativement stables. Les valeurs ne présentent pas des différences significatives. Entre autre ; la turbidité présente des valeurs sensiblement croissantes, spécialement pour H_2O_2 en premier lieu et l'acide citrique en deuxième lieu.

L'efficacité de ces derniers produits nécessite plus d'études approfondies pour mieux s'argumenter.

Concernant les résultats de notre identification bactériologique (LE BART) nous a montré que la matière colmatante de la membrane de Fouka se constitue de (*Ochrobactrum anthropi*, *vibrio fluvialis*) pour la membrane de Maqtaa (*Staphylococcus aureus*, *flavimonas oryzihabitans*, *burkholderia cepacia*) et enfin la membrane de Hamma (*Staphylococcus aureus*).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BELGAID. D, « Etude comparative sur le vieillissement de membranes d'osmose inverse exploitées sur sites industriels : Maïnis (Ténès), Céramit (Sidi Akkacha), Chlore (Mostaganem) », Mémoire de MAGISTER en Sciences de l'Eau et Développement Durable, Université HASSIBA BEN BOUALI, CHLEF (2015).
- [2] EL KHEBBAZE. H, « Traitement des solutions modèles du lait pur des membranes des nanofiltration et d'osmose inverse », Thèse de DOCTORAT en chimie, Université de RENNES 1, France (2008).
- [3] Projet d'évolution de la station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de l'île de sein, société Lorientaise de construction électromécanique, 2006.
- [4] N. NOUREDDINE, Etude d'impact des rejets des eaux de la station de déminéralisation de Brédéah sur l'environnement, Mémoire de Magister en Sciences et Techniques, Université d'Oran (2008).
- [5] N. WEMSY DIAGNE, Le nettoyage : une étape-clef pour une production durable par procédé à membrane : réflexion sur le lien entre conceptions de production et nettoyabilité d'une membrane PES de l'industrie laitière, Thèse de Doctorat en chimie, Université de Rennes 1(2013).
- [6] A. MAUREL, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2^{ème} éditions, Septembre 2006.
- [7] J. P.BRUN, Procédés de séparations par membrane : transport, techniques membranaires, application, édition Masson, 1988.
- [8] A.BENAIRIA, N.EL KHARMECHEN, Impact de la turbidité de l'eau de mer sur la station de dessalement de Mainis à Ténès (W.Chlef), mémoire de Master en Génies chimique, Université de Bejaia (2017).
- [9] <http://WWW.ecotoscicologie.fr/> Dessalement. PHP.
- [10] BESSIERE. Y, « Filtration frontale sur membrane : mise en évidence du volume filtre critique pour l'anticipation et le contrôle du colmatage », Thèse de DOCTORAT en Génie des Procédés et de l'Environnement, Université PAUL SABATIER, France (2005).
- [11] BOUKHIAR. S, « Caractérisation des membranes d'ultrafiltration. Application au dessalement et à la concentration de jus de fruit », Mémoire de MASTER en Génie des Procédés et d'Environnement. Université HASSIBA BEN BOUALI, CHLEF(2016).

- [12] Drioli, E., A. Criscuoli, E. Curcio, Integrated membrane operations for seawater desalination, *Desalination*, 147 (2002) 77-81.
- [13] Belkacem, M., Nouvelle méthodologie dans le traitement des huiles de coupe par ultrafiltration, thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 1995 (France).
- [14] LEITNER. L, « Etude d'un procédé de filtration membranaire à sélectivité variable et contrôlée utilisant des membranes de polydiméthylsiloxane en milieu organique : application à la séparation », Thèse de DOCTORAT en Génie Chimique. Université de LORRAINE, France (2013).
- [15] Meloan, C. E., Techniques in Analytical Chemistry "Chemical separations principles" Techniques and experiments "Osmosis and reverse osmosis", Kansas State University Manhattan, Kansas, A wiley interscience publication, INC 1999.
- [16] Koller, E., "séparation par membranes" Génie chimique, l'usine nouvelle, Edition Dunod Paris 2001.
- [17] Ferjani, E., R. Hadj Lajimi, A. Deratani, M. Sadok Roudesli, Bulk and surface modification of cellulose diacetate based RO/NF membranes by polymethylhydrosiloxane: preparation and characterization, *Desalination*, 146 (2002) 325-330.
- [18] BRUN, J. P., Procédés de séparation par membranes, Transport Techniques membranaires, applications, URF de sciences et technologies, Paris VII, 1989.
- [19] KECILI. K, « Etude et caractérisation de membranes synthétiques organiques immergées de microfiltration (MF) et d'ultrafiltration (UF) employées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine : Intensification des opérations de déconditionnement et de nettoyage », Thèse de DOCTORAT, Université PIERRE ET MARIE CURIE (Paris VI), France (2006).
- [20] MAUREL, A. Techniques séparatives à membranes, Techniques de l'ingénieur, J2, J2790 (Tome 1) 1993.
- [21] DUAFIN, G., F. René, P. Aimar, Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire, Collection Sciences et techniques agroalimentaires, Edition Lavoisier 1998, Paris.
- [22] SCHAFER, A.I., A.G Fane, T.D. Waite, Fouling effects on rejection in the membrane filtration of natural waters, *Desalination*, 131 (2000) 215-224.

- [23] Mohammadi, T., M. Kazemimoghadam, M. Saadabadi, Modeling of membrane fouling and flux decline in reverse osmosis during separation of oil in water emulsions, *Desalination*, 157 (2003) 369-375.
- [24] Visvanathan, C., N. Boonthanon, A. Sathasivan, V. Jegatheesan, Pretreatment of seawater for biodegradable organic content removal using membrane bioreactor, *Desalination*, 153 (2002) 133-140.
- [25] Vrouwenvelder, J.S., J.W. N. M. Kappelhof, S. G. J. Heijman, J. C. Schippers, D. Van der Kooij, Tools for fouling diagnosis of NF and RO membranes and assessment of the fouling potential of feed water, *Desalination*, 157 (2003) 361-365.
- [26] CAETANO, A., M. N. De pinho, E. Drioli, H. Muntau, *Membrane technology: Applications to industrial wastewater treatment*, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, LONDON, 1995.
- [27] Sahachaiyunta, P., T. Koo, R. Sheikholeslami, Effect of several inorganic species on silica fouling in RO membranes, *Desalination*, 144 (2002) 373-378.
- [28] AIMAR, P, P. APTEL, Membrane preparation, fouling emerging processes, fouling and process design, Récents progrès en génie des procédés, European Society of Membrane Science and Technology, (J. A. Howell, membrane application, Centre University of Bath).
- [29] YING, R. Y., Discussion of silica speciation, fouling, control and maximum reduction, *Desalination*, 151 (2002) 67-73.
- [30] KOO, T., Y.J. Lee, R. Sheikholeslami, Silica fouling and cleaning of reverse osmosis membranes, *Desalination* 139 (2001) 43–56.
- [31] Gabelich, C., Yun, T.I, Green, J.F. (MWD), Suffet, I.H, Chen, W.R (UCLA), Evaluation of precipitative fouling for Colorado River water desalination using reverse osmosis, *Desalination and water Purification Research and Development Program*, Décembre 2002, University of California, Los Angeles.
- [32] ZHU, X., M. ELIMELECH, Colloidal fouling of reverse osmosis membranes: Measurements and fouling mechanisms, *Environmental science technology*, 37 (1997) 3654-3662.
- [33] NEOFOTISTOU, E., K. D. Demadis, Use of antiscalants for mitigation of silica (SiO_2) fouling and deposition: fundamentals and applications in desalination systems, *Desalination* 167 (2004) 257-272.
- [34] LUECK, S., RODI systems Corp, Manuel de traitement des eaux d'ABC PEPSI 2000.



- [35] TAMAS, A. P., Étude comparée du colmatage en nanofiltration et en ultrafiltration d'eau de surface, Mémoire de maîtrise, Faculté des sciences et de Génie, Université LAVAL QUÉBEC, 2004.
- [36] Abd El Aleem, F. A., K. A. Al- Sugair, M. I. Alahmad, Biofouling problems in membrane processes for water desalination and reuse in Saudi Arabia, *International biodeterioration and biodegradation*, 41 (1998) 19-23.
- [37] DUDLEY, L., Membrane fouling and the use of autopsy as means of optimising cleaning procedures, Permacare Housman limited, 1995.
- [38] FETHI, K., C. Habib, Performance de la station de dessalement de Gabès (22,500 m³/j) après cinq ans de fonctionnement, *Desalination*, 136 (2001) 263- 272.
- [39] SAEED, M. O., A. T. Jamaluddin, I. A. Tisan, D. A. Lawrence, M. M. Al- Amri, Kamran Chida, Biofouling in a seawater reverse osmosis plant on the Red Sea Coast, Saudi Arabia, *Desalination*, 128 (2000) 177-190.
- [40] Lopez- Ramirez, J. A., D. S. Marquez, J. M. Q. Alonso, Comparison studies of feedwater pre-treatment in a reverse osmosis pilot plant, *Desalination*, 144 (2002) 347-352.
- [41] REMIGY. J-C, « Sandrine DESCLAUX, “Filtration membranaire (OI, NF, UF) – Présentation des membranes et modules” », *Techniques de l'ingénieur*, J 2 791, (2008).
- [42] YUJUN. S, FUAN. L, BENHUI. S, « Preparation, characterization and application of thin film composite nanofiltration membranes », *Journal of Applied Polymer Science* 9 (2005).
- [43] “Myah Tipaza” <http://www.myahtipaza.dz/index.php.presentation-myahtipaza> (accessed Jun. 14, 2021).
- [44] “Ministère de l’Energie | Algerie.” <http://www.energy.gov.dz/?article=projet-de-dessalement-de-l'eau-de-mer> (accessed Jun. 13, 2021).
- [45] “HWD.” <http://hwd-dz.com/cms/fr/presentation/hwd.html> (accessed Jun. 14, 2021).
- [46] Wheelis, M. *Principles of modern microbiology*. Jones & Bartlett Publishers, Inc., Sudbury, MA 2008.
- [47] Clarke, H., and S. T. Cowan. *Biochemical methods for bacteriology*. *J. Gen. Microbiol.* 6:187–197, 1952.
- [48] MacFaddin, J. F. *Biochemical tests for identification of medical bacteria*, 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA 2000.

[49] Mahon, C. R., D. C. Lehman, and G. Manuselis. Textbook of diagnostic microbiology, 4th ed. W. B Saunders Co., Philadelphia, PA 2011.

[50] American Society for Microbiology © 2016.

Annexes

Annexe I: Fiches techniques

		Désignation	
<p>Evaluation externe (Dommages physiques)</p>   	Joint de saumure	Intacte	
	Enveloppe externe	Intacte	
	Tube de perméat	Intacte	
	Signes d'encrassement grossier	Residues grossiers	

Evaluation interne 	Contamination macroscopique de surface	Taches noires (verdâtres) le long de la membrane
	Accumulation de débris	Couche visqueuse verdâtre
	Couleur	Jaune verdâtre
	Odeur	Pas d'odeur
	Dommages physiques	Pas de dommages

Figure III 21: Inspection visuelle de la membrane de Fouka

	Designation	-Problème de télescopage -Espaceur enroulé dans le sens de la pression
Evaluation externe (Dommages physiques)    	Joint de saumure	Intacte
	Enveloppe externe	Intacte
	Tube de perméat	Intacte
	Signes d'encrassement grossier	Encrassement boue et résidus cristallisés










Evaluation interne    	Contamination macroscopique de surface	-Tâches noires -Corrosion
	Accumulation de debris	-Boue accumulée -Sel
	Couleur	Marron encrassé
	Odeur	Odeur de la mer
	Dommages physiques	Endomagement à cause de l'explosion due au problème de télescopage, ce qui a laissé la file s'enrouler

Figure III 22: Inspection visuelle de la membrane de Maqtaa.

	Designation	
<p>Evaluation externe (Dommages physiques)</p>  	Joint de saumure	Intacte
<p>Evaluation interne</p> 	Tube de perméat	Intacte
	Signes d'encrassement grossier	
	Contamination macroscopique de surface	<ul style="list-style-type: none"> -Corrosion -Taches oranges



Accumulation de debris	Couche visqueuse
Couleur	-Jaune naturel -Couleur rougeâtre probablement due à des oxydes de fer
Odeur	Neutre
Dommages physiques	La couche de polyamide de la membrane est fragilisée et se détériore facilement

Figure III 23: Inspection visuelle de la membrane de Hamma

Annexe II: Préparatif pour l'analyse de FTIR

Préparation pour Analyse IR

 Réduire en poudre 3 mg d'un échantillon avec 20 mg de KBr dans un mortier en Agathe.

 Mettre le mélange dans le moule pour obtenir une pastille translucide.

 Mettre le moule dans la presse à pastille et presser l'échantillon jusqu'à 5 tonnes maximum.


Pastille de KBr

Démouler la pastille de KBr avec l'échantillon.

 Placer la pastille dans le support et analyser dans l'appareil IR.

Figure III 24: les méthodes à suivre pour faire l'analyse FTIR.

Tableau III 1: Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane Fouka

	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	470,6	0,949458	0,027754	497,6	447,45	46,97946	0,759952
2	536,17	0,938086	0,010654	605,61	524,6	74,46700	0,361301
3	798,47	0,865468	0,022406	844,76	790,76	45,18206	0,261106
4	914,2	0,899989	0,009729	921,91	848,62	62,67762	0,170928
5	1033,77	0,981202	0,026642	1072,35	921,91	143,3781	2,664586
6	1103,21	0,97313	0,002519	1253,64	1095,49	150,2865	0,353142
7	1627,81	0,936956	0,013017	1631,67	1589,23	37,71772	0,172372
8	2341,42	0,811863	0,033257	2345,28	2283,56	44,90708	0,680167
9	2850,59	0,916923	0,016315	2862,17	2391,57	360,9041	0,154522
10	2920,03	0,967484	0,057948	3001,03	2866,02	126,4288	3,511795

Tableau III 2: Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane Maqtaa

	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	420,45	2,6661	0,2111	424,31	397,31	63,7865	5,4962
2	451,31	2,8436	0,0746	455,17	439,74	41,9555	0,5177
3	474,46	3,0126	0,302	497,6	462,88	98,0679	5,2818
4	520,74	2,8422	0,1368	524,6	501,46	62,2269	2,0917
5	694,33	1,3952	0,1848	725,18	667,32	74,1933	4,1638
6	794,62	1,7108	0,585	821,62	729,04	131,6646	26,0989
7	918,05	2,0992	0,1032	925,77	825,48	152,1113	2,4232
8	1006,77	3,5973	0,3115	1018,34	929,63	247,0224	9,2466
9	1427,23	1,3485	0,1422	1573,81	1380,94	232,8023	13,6632
10	1635,52	1,144	0,2114	1785,96	1585,38	192,9825	17,3065
11	1870,82	0,7196	0,0207	2291,28	1851,54	259,1893	0,6922
12	2364,57	0,515	0,0158	2476,43	2349,14	59,936	0,2252
13	2511,15	0,4562	0,0102	2661,58	2480,29	79,9387	0,3804
14	2927,74	0,546	0,0416	2989,46	2738,73	121,8917	2,5586
15	3421,48	1,1516	0,3008	3571,92	2993,32	510,0945	79,6287
16	3622,07	1,2285	0,351	3679,93	3583,49	99,8668	16,9571
17	3695,36	0,7888	0,0876	3791,79	3683,78	56,4453	1,4586

Tableau III 3 : Les pics d'absorbance les plus importants de la membrane Hamma

	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	470,6	0,914035	0,041457	497,6	447,45	44,72527	0,96916
2	802,33	0,771732	0,026321	879,48	786,9	67,44525	1,427407
3	1033,77	1,06134	0,342737	1184,21	883,34	270,4564	54,46386
4	1257,5	0,975795	0,208059	1334,65	1188,07	127,9076	15,39273
5	1639,38	0,966273	0,010862	1643,24	1573,81	60,00776	0,411153
6	1654,81	0,975943	0,037323	1839,96	1643,24	138,0843	1,284943
7	2098,41	0,521302	0,001911	2106,12	1963,4	71,97058	0,181988
8	2850,59	0,796749	0,02965	2862,17	2395,42	267,5773	0,259991
9	2920,03	0,90427	0,12588	3001,03	2866,02	112,1276	6,945723
10	3402,2	1,169158	0,012339	3413,77	3004,89	404,4495	7,557609

Annexe III: Résultats du rinçage chimique (turbidité, conductivité, pH)

Fouka

Tableau III 4: Résultats rinçage chimique avec HCl (Fouka)

HCl	t1	t2	t3	t4
Turbidité	4,58	21,1	25,3	26,7
Conductivité	155	166	171	172
pH	0,46	0,53	0,8	1,4

Tableau III 5: Résultats rinçage chimique avec NaCl (Fouka)

NaCl	t1	t2	t3	t4
Turbidité	3,42	8,05	9,16	6,36
Conductivité	9,7	10	9,98	10,5
pH	4,2	4	4,1	4,3

Tableau III 6: Résultats rinçage chimique avec NaOH (Fouka)

NaOH	t1	t2	t3	t4
Turbidité	2,23	28,2	23,2	33,5
Conductivité	68,3	69,8	72	74,6
pH	12,91	12,88	12,5	12,4

Tableau III 7: Résultats rinçage chimique avec $C_6H_8O_7$ (Fouka)

$C_6H_8O_7$	t0	t1	t2	t3	t4
Turbidité	0,28	0,93	1,21	0,9	0,96
Conductivité	3,65	4,02	4,01	3,81	3,63
pH	2,15	2,09	2,1	2,11	2,14

Tableau III 8: Résultats rinçage chimique avec H_2O_2 (Fouka)

H_2O_2	t0	t1	t2	t3	t4	t5	t6
Turbidité	0,93	10,6	11	16	12,4	15,7	16,2
Conductivité	174,1	184	194	203	220,6	221,5	222,4
pH	3,09	3,408	3,4	3,391	3,372	3,399	3,381

Maqtaa

Tableau III 9: Résultats rinçage chimique avec HCl (Maqtaa)

HCl	T1	t2	t3	t4
Turbidité	6,27	11,4	18,5	21,3
Conductivité	155	159	16,2	166
pH	0,6	0,7	0,7	0,6

Tableau III 10: Résultats rinçage chimique avec NaCl (Maqtaa)

NaCl	t0	t1	t2	t3	t4
Turbidité	2,1	14	33,3	90,4	94
Conductivité	11,1	11,6	11,7	11,5	11,6
pH	8	4,2	5	8,8	9,2

Tableau III 11: Résultats rinçage chimique avec NaOH (Maqtaa)

NaOH	t0	t1	t2	t3	t4
Turbidité	0,5	3,54	4,84	12	13,7
Conductivité	11	10,8	10,5	10,5	9,1
pH	12,4	12	12,1	12,1	12,2

Tableau III 12: Résultats rinçage chimique avec C₆H₈O₇ (Maqtaa)

C ₆ H ₈ O ₇	t0	t1	t2	t3	t4
Turbidité	1,15	5,99	10,4	18,2	18,8
Conductivité	3,81	3,9	3,79	3,77	3,63
pH	2,07	2,07	2,06	2,06	2,1

Tableau III 13: Résultats rinçage chimique avec H₂O₂ (Maqtaa)

H ₂ O ₂	t0	t1	t2	t3	t4	t5	t6
Turbidité	5,19	53,5	64,4	88,3	88,2	90,5	102
Conductivité	410	412	418	431	432	438	441
pH	3,48	3,936	3,968	3,962	3,965	3,978	3,986

Hamma

Tableau III 14: Résultats rinçage chimique avec HCl (Hamma)

HCl	t0	t1	t2	t3	t4	t5
Turbidité	0,25	45,1	2,54	2,96	3,27	3,8
Conductivité	200ms	198,1ms	199,9ms	199,5ms	199,9ms	200ms
PH	0,6	0,7	0,8	0,8	1,3	0,7

Tableau III 15: Résultats rinçage chimique avec NaCl (Hamma)

NaCl	t0	t1	t2	t3	t4
Turbidité	0,4	0,43	0,87	0,64	0,75
Conductivité	19,7	20,5	21,4	34,3	34,4
PH	6,6	6,8	6,9	9,6	11,1

Tableau III 16: Résultats rinçage chimique avec NaOH (Hamma)

NaOH	t0	t1	t2	t3	t4
Turbidité	3,91	0,66	0,6	0,8	0,82
Conductivité	0,9	8	8,7	8,7	7,82
PH	12,6	13,1	13,1	13,2	13,3

Tableau III 17: Résultats rinçage chimique avec C₆H₈O₇ (Hamma)

C ₆ H ₈ O ₇	t0	t1	t2	t3	t4	t5	t6
Turbidité	0,49	0,78	0,85	2,65	6,51	6,85	7,56
Conductivité	3,48	3,54	3,58	3,55	3,53	3,53	3,51
pH	1,86	1,86	2,06	2	2	2	1,93

Tableau III 18: Résultats rinçage chimique avec H₂O₂ (Hamma)

H ₂ O ₂	t0	t1	t2	t3	t4	t5	t6
Turbidité	1,37	13	14,6	20,8	25,9	40,7	33,4
Conductivité	184,6	187,5	192	196,1	199,1	200,6	200,8
pH	3,44	3,65	3,653	3,653	3,68	3,683	3,795

Annexe III: Analyse bactériologique

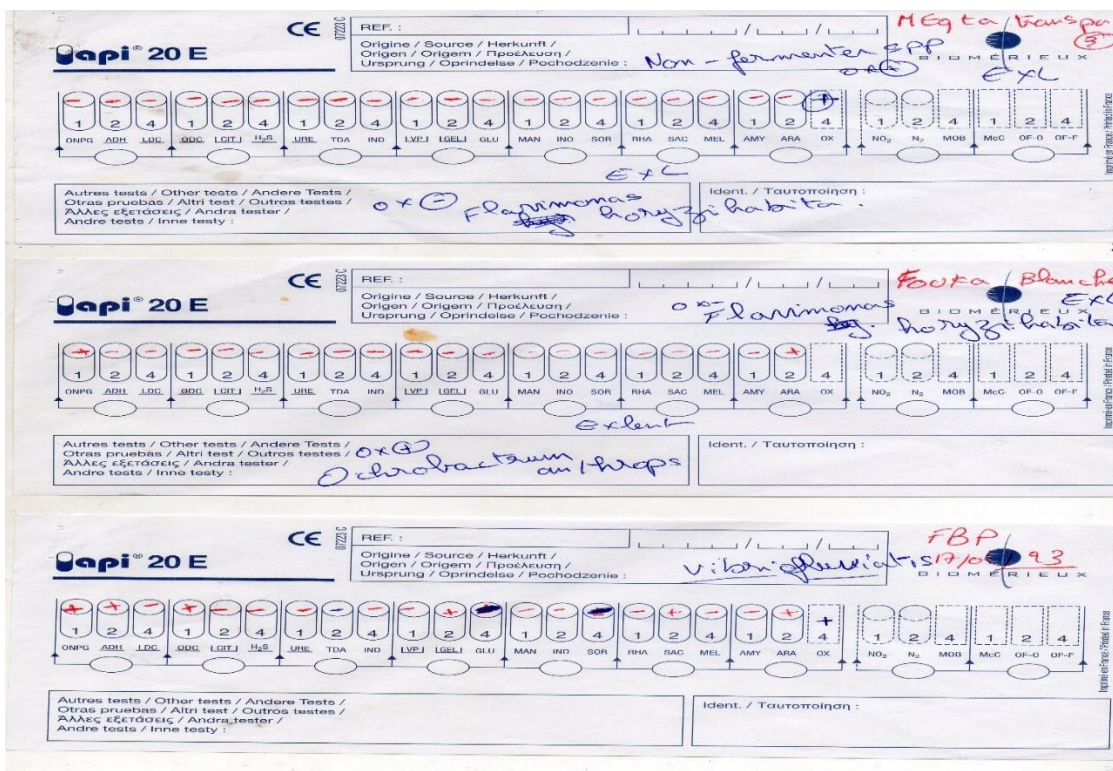


Figure III 25: Resultat des tests d'identifications Biomérieux.

Tableau III 19: Résultats de l'identification des bactéries.

Souche	Catalase	Gram	forme	Bactérie
Fouka.b.g	+	Negatif	Bacille	Ochrobactrum anthropi
Fouka.b.p	+	Negatif	Cocci	Vibrio fluvialis
Maqtaa.j.p	+	Positif	Cocci	Staphylococcus aureus
Maqtaa.transp	+	Negatif	Bacille	Flavimonas oryzihabitans
Maqtaa.j.g	+	Negatif	Bacille	Burkholderia cepacia
Hamma.j.p	+	Positif	Cocci	Staphylococcus aureus
Hamma.transp	-	Negatif	Bacille	(non-fermenter spp)
Hamma.b	+	negatif	Cocci	Ochrobactrum anthropi