



Faculté de Technologie  
Département d'Hydraulique

**MEMOIRE**

Pour obtenir le Diplôme de Master en :  
**Technologies de Traitement des eaux**

Présenté par :

- Anes Abdelghani BENABADJI
- Ilyas SAIDI

---

**Etude sur le Dessalement de l'Eau Saumâtre préparée à partir  
des Eaux de Mer issues du prétraitement de la station de  
Souk-Tlata**

---

Soutenu publiquement en Juin 2016, devant le jury formé de :

<b>Président</b>	Mme. F. ADJIM	Professeur	Univ. Tlemcen
<b>Encadreur</b>	Mr. A. CHIBOUB FELLAH	Professeur	Univ. Tlemcen
<b>Co-Encadreur</b>	Mr. M. BOUMEDIENE	Maître de Conférences « B »	Univ. Tlemcen
<b>Examineurs</b>	Mr. A. BENMANSOUR	Professeur	Univ. Tlemcen
	Mr. C. BENTALHA	Maître Assistant « A »	Univ- Tlemcen

# Remerciements

Après les louanges à Dieu miséricordieux, guide de l'univers, que son salut et sa bénédiction soient portés sur son prophète Mohamed.

Nous remercions tout d'abord nos parents qui n'ont ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail.

Nous remercions aussi nos frères et sœurs qui nous ont soutenus tout au long de notre cursus, avec ferveur.

Je remercie aussi **Mme. F. ADJIM** Professeur à l'Université de Tlemcen, qui a bien voulu honorer de sa présence la présidence du jury.

Nos remerciements vont aussi à nos examinateurs **Mr. A. BENMANSOUR** Professeur ainsi qu'à **Mr. C. BENTALHA** Maître Assistant Classe « A », à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de faire partie du jury.

Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent à notre encadreur **Mr. A. CHIBOUB FELLAH** Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour ses conseils qui nous ont été d'une grande utilité et d'une clairvoyance inouïe dans la rédaction de ce mémoire.

Nos remerciements vont aussi à notre Co-encadreur **Mr. M. BOUMEDIENE**, Docteur et Maître de Conférences Classe « B » à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour ces conseils et orientations qui nous ont aidé à mener au bout notre travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à tous nos camarades et amis pour leur aide précieuse qui nous ont apporté, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué de près et de loin au bon déroulement et à la réussite de ce travail.

## Résumé :

Les pays du Sud de la méditerranée sont confrontés à une pénurie d'eau croissante.

Il existe des possibilités toutefois d'aborder le problème de la pénurie d'eau grâce aux technologies durables de dessalement de l'eau salée et saumâtre. Il s'agit de la technologie dite d'osmose inverse ( *OI* ) qui est la plus efficace et la plus utilisée dans le dessalement de l'eau de mer grâce aux avantages multiples dont les plus importants sont la faible consommation d'énergie, une meilleure qualité du produit obtenu, la facilité d'intégration industrielle, faibles impacts négatifs etc, etc ..

Sur le plan technique, plusieurs facteurs influent sur le rendement d'une unité d'osmose inverse dont trois facteurs majeurs : **la température de l'eau, la pression d'attaque utilisée et la concentration des sels en eau.** Concernant l'étude du projet, nous avons procédé aux travaux expérimentaux dans le laboratoire d'hydraulique de la faculté des technologies de l'Université de Tlemcen sur un pilote fonctionnant selon le principe d'*OI* pour dessaler les eaux saumâtres diluées à partir des eaux de mer, de la région de Souk Tlata selon différentes concentrations et pressions et une température constante de **18°C**.

Cette technique nous a permis d'observer la variation de la production en fonction de la concentration et de la pression. Ainsi, la détermination de la pression et les différences de pressions constituent les vecteurs incontournables dans la production et la qualité de l'eau potable.

**Mots Clés :** Dessalement des eaux de mers, Osmose Inverse, Effet de la Pression, Effet de la Température, Effet de la Concentration.

## ملخص:

بلدان جنوب البحر الأبيض المتوسط تواجه نقصا متزايدا في المياه.

هناك فرص لمعالجة مشكلة ندرة المياه من خلال التقنيات المستدامة لتحلية المياه المالحة وشبه المالحة، ويتعلق الأمر بتقنية تسمى التناضح العكسي (OI) التي تعد الأكثر فعالية والأكثر استخداما في تحلية مياه البحر وذلك لمزاياها المتعددة، أهمها انخفاض استهلاك الطاقة، النوعية العالية للمنتج المتحصل عليه، سهولة الاندماج الصناعي، انخفاض الأثر السلبي...إلخ.

من المنظور التقني، هناك عدة عوامل تؤثر على أداء وحدة التناضح العكسي بما في ذلك ثلاثة عوامل رئيسية هي: درجة حرارة الماء، الضغط الهجومي المستخدم وتركيز الأملاح في المياه.

وفيما يتعلق بدراسة المشروع، أجرينا العمل التجريبي في مخبر الهيدروليك وتحليل المياه التابع لكلية التكنولوجيا من جامعة تلمسان على راند يعمل على مبدأ التناضح العكسي لتحلية المياه المالحة المخففة بواسطة ماء البحر من منطقة سوق الثلاثاء حسب تركيزات وضغوط مختلفة، وعلى درجة حرارة ثابتة مقدرة بـ: 18 درجة مئوية.

سمحت لنا هذه التقنية أن نرى الاختلاف في الإنتاج بالنسبة للتركيز والضغط. وبالتالي، فإن تحديد الضغط والفرق بين الضغوط هي عوامل أساسية في إنتاج وجودة مياه الشرب.

**الكلمات المفتاحية:** تحلية مياه البحر، التناضح العكسي، تأثير الضغط، تأثير درجة الحرارة، تأثير درجة التركيز.

## Abstract :

South of the Mediterranean countries face a growing water shortage.

However, opportunities exist to address the problem of water scarcity through sustainable technologies for desalination of salt and brackish water. This is a technology called reverse osmosis (RO) is the most effective and most widely used in desalination of sea water through multiple advantages, the most important are the low power consumption, improved quality of the resulting product, ease of industrial integration, low negative impacts...

On the technical side, several factors affect the performance of a reverse osmosis unit including three major factors: the temperature of water, the pressure of attack used and the concentration of salts in water. Concerning the study of the project, we conducted the experimental work in the hydraulics laboratory of the Faculty of Technology at the University of Tlemcen on a pilot operating on the principle of (RO) to desalinate brackish water diluted from water sea area *Souk Tlata* different concentrations and pressures and a constant temperature of 18 ° C. This technique allowed us to see the output change depending on the concentration and pressure. Thus, the determination of the pressure and the pressure differences are the essential vectors in the production and quality of drinking water.

**Key words:** Desalination of sea water, Reverse Osmosis, Effect of Pressure, Temperature effect, the Concentration effect.

# Table des Matières

Liste des tableaux .....	i
Liste des figures .....	v
Liste des abréviations .....	xi

<b>Introduction générale .....</b>	<b>01</b>
------------------------------------	-----------

## **Partie I : Partie théorique**

### **CHAPITRE I : NOTIONS D'EAU**

I. Généralités sur l'eau.....	004
I.1. Définition de l'eau.....	004
I.2. Importance de l'eau.....	004
I.3. Les besoins en eau.....	004
I.3.1. Besoins physiologiques.....	004
I.3.2. Besoins domestiques.....	004
II.Caractéristiques des eaux .....	004
II.1. Les eaux marines.....	004
II.2. Les eaux saumâtres.....	005
III.Composition de l'eau de mer.....	005
III.1 Espèces inorganiques .....	005
III.1.1. Constituants majeurs .....	005
III.1.2. Les éléments traces métalliques .....	006
III.1.3. Les éléments nutritifs .....	006
III.2.Matières organiques .....	007
III.2.1. Matières organiques dissoutes .....	007
III.2.2 Matières organiques particulières .....	007
IV.Répartition de l'eau douce sur la planète.....	008
V.Propriétés de l'eau.....	009
VI.Les paramètres de potabilité de l'eau.....	009
VI.1. Paramètres organoleptiques.....	009
VI.1.1. La couleur.....	009
VI.1.2. Goûts et odeurs.....	009
VI.1.3. La turbidité.....	010
VI.2. Paramètres physicochimiques.....	010
VI.2.1. La température.....	010
VI.2.2. pH.....	010
VI.2.3. Matières en suspension.....	010
VI.2.4. La conductivité électrique.....	010
VI.2.5. La dureté totale.....	010
VI.2.6. Solubilité des gaz dans l'eau.....	011
VI.2.7. L'alcalinité.....	011
VI.2.8. Cations et anions.....	011
VI.2.9. Les nitrates et les nitrites.....	011
VI.2.10. Pollution des eaux par les métaux lourds.....	012
VI.3. Paramètres microbiologiques.....	012



## **CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER**

I. Définition.....	014
II. Histoire du dessalement.....	014
III. Dessalement en Algérie.....	014
IV. Conception d'une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse.....	014
V. Etapes de dessalement par osmose inverse.....	015
V.1. Poste de pompage.....	015
V.2. Poste de prétraitement.....	015
V.3. Poste de dessalement (OI).....	016
V.3.1. Constitution d'un système d'osmose inverse.....	016
V.3.2. Fonctionnement d'un poste d'osmose inverse.....	016
V.4. Poste de traitement.....	017
V.4.1. Les traitements de neutralisation ou de reminéralisation des eaux.....	017
V.4.2. La désinfection.....	017
V.4.3. L'aération.....	018
VI. Impacts environnementaux.....	018
VI.1. Evacuation de la saumure.....	018
VI.2. Rejet des produits de traitement.....	018
VII. coût d'investissement et d'exploitation.....	018

## **CHAPITRE III : SEPARATION MEMBRANAIRE**

I. Historique des membranes.....	019
II. Généralités sur les procédés membranaires.....	019
III. Osmose inverse.....	020
III.1. Définition.....	020
III.2. Principes de l'osmose inverse.....	021
III.2.1. Pression osmotique.....	021
III.2.2. Mécanisme diffusionnel.....	021
III.3. Condition de fonctionnement.....	022
III.4. Modèle phénoménologique de transfert de matière.....	023
III.4.1. Grandeurs de transferts caractéristiques.....	023
III.4.2. Polarisation de concentration.....	025
III.4.3. Prédiction de la sélectivité à partir de grandeurs phénoménologiques.....	028
III.5. Récupération d'énergie.....	029
III.5.1. Installation avec récupération sur un turbo compresseur.....	029
III.5.2. Installation avec échangeur de pression (PX).....	030
III.6. Configuration des modules.....	031
III.6.1. Module plan ou filtre-pressé.....	031
III.6.2. Modules spirales (SW).....	032
III.6.3. Modules tubulaires.....	032
III.6.4. Modules fibres creuses.....	032
III.7. Avantage.....	032
III.7.1. Avantages des techniques membranaires.....	032
III.7.2. Avantages en exploitation.....	032
III.8. Comparaison avec d'autres procédés.....	032
IV. Membrane.....	033
IV.1. Définition.....	033
IV.2. Modes de fonctionnement.....	033
IV.2.1. Filtration frontale.....	033
IV.2.2. Filtration tangentielle.....	034
IV.3. Types de membrane.....	034
IV.3.1. De par leur nature.....	034
IV.3.2. De par leur porosité.....	035
IV.3.2.1. Membranes poreuses.....	035

IV.3.2.2 Membranes denses.....	035
IV.3.3. De par leur fabrication.....	035
IV.3.3.1 Membranes anisotropes (ou asymétriques).....	036
IV.3.3.2 Membranes composites.....	036
IV.3.3.3 Membranes à charge électrique.....	036
IV.4 Structure de matériaux membranaire.....	037
IV.4.1- Les membranes organiques.....	037
IV.4.2. Les membranes minérales ou inorganiques.....	037
IV.4.3. Les membranes composites.....	038
IV.4.4. Les membranes liquides.....	038
IV.4.5. Les membranes échangeuses d'ions (MEI).....	038
IV.4.6. Les sites fonctionnels utilisés.....	039
IV.4.7. Les textiles échangeurs d'ions.....	039
IV.5.Caractéristiques des membranes.....	040
IV.5.1. Sélectivité d'une membrane.....	040
IV.5.2. Perméabilité d'une membrane.....	041
IV.5.3. Résistance d'une membrane.....	042
IV.6.Vie utile des membranes.....	042
IV.7. Les ennemis de la membrane.....	043
IV.7.1. Pression d'opération.....	043
IV.7.2. Température.....	044
IV.7.3. Une sève mal filtrée.....	044
IV.7.4 Le développement bactérien.....	044
IV.8. L'entretien des membranes.....	045
V. Colmatage.....	046
V.1 Concepts liés au colmatage.....	046
V.2 Colmatage d'une membrane.....	047
V.3 Facteurs influençant le colmatage.....	048
V.4 Modèle des résistances en série.....	048
V.5 Lois du colmatage.....	049
V.6 Impact des prétraitements sur le colmatage membranaire.....	052
V.6.1 Ozonation.....	052
V.6.2 Filtration sur charbon actif biologique.....	052

## Partie II : Partie expérimentale

### *CHAPITRE IV : Matériels et méthodes*

IV.1. Introduction.....	053
IV.2. Objectif.....	053
IV.3. Le pilote TE200.....	053
IV.4. Description du pilote.....	054
IV.4.1. Construction.....	054
IV.4.2. Instrumentation.....	055
IV.4.3. Liste des vannes.....	057
IV.5. Expériences.....	058
IV.5.1. Préliminaires.....	058
IV.5.2. Procédure de démarrage du pilote.....	059
IV.5.3. Production d'eau osmosée.....	060
IV.5.4. Procédure générale d'arrêt.....	060
IV.5.5. Détermination de la perméabilité de la membrane.....	061
IV.5.6.Manipulation (Rétention globale du module).....	061
IV.6. Description des appareillages de mesure.....	062
IV.6.1. Le conductimètre.....	062
IV.6.2. Agitateur.....	062

IV.6.3. La balance électronique.....	063
--------------------------------------	-----

## **CHAPITRE V : Résultats et Interprétations**

V.1. Perméabilité de la membrane au solvant.....	064
<u>Pour une pression de 5 bars</u>	
V.2 Etude de la rétention globale du module.....	065
V.2.1 pour une concentration de 2 g/l.....	065
V.2.1.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	065
V.2.1.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	066
V.2.1.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	066
V.2.1.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	068
V.2.1.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	069
V.2.2 pour une concentration de 2,5 g/l.....	069
V.2.2.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	069
V.2.2.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	070
V.2.1.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	070
V.2.2.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	072
V.2.1.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	073
V.2.3 pour une concentration de 3 g/l.....	073
V.2.3.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	074
V.2.3.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	074
V.2.3.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	075
V.2.3.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	076
V.2.3.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	077
<u>Pour une pression de 7 bars</u>	
V.2.4 pour une concentration de 3 g/l.....	077
V.2.4.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	077
V.2.4.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	078
V.2.4.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	078
V.2.4.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	080
V.2.4.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	081
V.2.5 pour une concentration de 3,5 g/l.....	081
V.2.5.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	082
V.2.5.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	082
V.2.5.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	083
V.2.5.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	084
V.2.5.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	085
V.2.6 pour une concentration de 4 g/l.....	085
V.2.6.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	086
V.2.6.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	086
V.2.6.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	087
V.2.6.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	088
V.2.6.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	089
<u>Pour une pression de 9 bars</u>	
V.2.7 pour une concentration de 4 g/l.....	089
V.2.7.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	089
V.2.7.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	090
V.2.7.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	090
V.2.7.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	092
V.2.7.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	093
V.2.8 pour une concentration de 4,5 g/l.....	093
V.2.8.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	094
V.2.8.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	094
V.2.8.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	095
V.2.8.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	096

V.2.8.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	097
V.2.9 pour une concentration de 5 g/l.....	097
V.2.9.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	098
V.2.9.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	098
V.2.9.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	099
V.2.9.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	100
V.2.9.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	101
V.2.10 pour une concentration de 5,5 g/l.....	101
V.2.10.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	102
V.2.10.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	102
V.2.10.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	103
V.2.10.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	104
V.2.10.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	105
<u>    Pour une pression de 11 bars</u>	
V.2.11 pour une concentration de 3 g/l.....	105
V.2.11.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	106
V.2.11.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	106
V.2.11.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	107
V.2.11.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	108
V.2.11.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	109
V.2.12 pour une concentration de 3,5 g/l.....	109
V.2.12.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	109
V.2.12.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	110
V.2.12.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	110
V.2.12.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	112
V.2.12.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	113
V.2.13 pour une concentration de 4 g/l.....	113
V.2.13.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	113
V.2.13.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	114
V.2.13.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	114
V.2.13.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	116
V.2.13.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	117
V.2.14 pour une concentration de 4,5 g/l.....	117
V.2.14.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	117
V.2.14.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	118
V.2.14.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	118
V.2.14.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	120
V.2.14.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	121
V.2.15 pour une concentration de 5 g/l.....	121
V.2.15.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	121
V.2.15.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	122
V.2.15.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	122
V.2.15.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	124
V.2.15.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	125
V.2.16 pour une concentration de 5,5 g/l.....	125
V.2.16.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	125
V.2.16.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	126
V.2.16.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	126
V.2.16.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	128
V.2.16.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	129
V.2.17 pour une concentration de 6 g/l.....	129
V.2.17.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	130
V.2.17.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	130
V.2.17.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	131
V.2.17.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	132

V.2.17.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	133
V.2.18 pour une concentration de 6,5 g/l.....	133
V.2.18.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	134
V.2.18.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	134
V.2.18.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	135
V.2.18.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	136
V.2.18.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	137
V.2.19 pour une concentration de 7 g/l.....	137
V.2.19.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.....	138
V.2.19.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps.....	138
V.2.19.3 : La variation du volume de la rétention globale du module.....	139
V.2.19.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps.....	140
V.2.19.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.....	141
V.3. Etudes concernant la pression d'alimentation.....	141
V.3.1. pour une concentration de 3 g/l.....	141
V.3.1.1. pression 5 bar.....	141
V.3.1.2. Pression 7 bar.....	141
V.3.1.3. Pression 11 bar.....	142
V.3.2. Pour concentration =4g/l.....	142
V.3.2.1. Pression 7 bar.....	142
V.3.2.2. Pression 9 bar.....	143
V.3.2.3. Pression 11 bar.....	143
V.3.3. pour une concentration de 5.5 g/l :	144
V.3.3.1. pression 9bar.....	144
V.3.3.2. Pression 11 bar.....	144
V.4. Interprétations des Résultats.....	145
V.4.1. Pour une pression de 5 bars.....	145
V.4.2. Pour les pressions de 7, 9 et 11 bars.....	146
V.4.3. Etudes concernant la différence de pression de part et d'autre de la membrane ( $\Delta P$ ).....	146
V.4.4. Etudes concernant la pression d'alimentation :	147
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>152</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>154</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>180</b>

# Liste des Tableaux

## Chapitre I : Notion D'Eau

- Tableau 1.1 :** Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35 mg.kg<sup>-1</sup>
- Tableau 1.2 :** Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer.
- Tableau 1.3 :** Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer
- Tableau 1.4 :** La répartition de l'eau douce et salée sur la planète.
- Tableau 1.5 :** Pourcentage de la population privée d'accès à l'eau potable et l'assainissement par région.
- Tableau 1.6 :** Principaux effets associés aux métaux lourds
- Tableau 1.7 :** Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables

## Chapitre III : Séparation Membranaire

- Tableau 3.1 :** corrélations de sherwood principales – Coefficients  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  (éq)
- Tableau 3.2 :** Lois du colmatage selon le modèle d'Hermia (1982)
- Tableau 3.3 :** Les différents UEFI dans la littérature

## Chapitre V : Résultats et Interprétations

- Tableau 5.1 :** Résultats des débits de perméat en fonction de pression
- Tableau 5.2 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 10 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C = 2 g/l)
- Tableau 5.3 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 5 bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ; C = 2 g/l)
- Tableau 5.4 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C = 2 g/l)
- Tableau 5.5 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 5 bars ;  $\Delta P = 1,5$  bar ; C = 2 g/l)
- Tableau 5.6 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C = 2,5 g/l)
- Tableau 5.7 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 5 bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ; C = 2,5 g/l)
- Tableau 5.8 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C = 2,5 g/l)
- Tableau 5.9 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 5 bars ;  $\Delta P = 1,5$  bar ; C = 2,5 g/l)
- Tableau 5.10 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 10 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C = 3 g/l)
- Tableau 5.11 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 10 bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ; C = 3 g/l)
- Tableau 5.12 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 10 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C = 3 g/l)
- Tableau 5.13 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.  
(Pentrée = 10 bars ;  $\Delta P = 1,5$  bar ; C = 3 g/l)
- Tableau 5.14 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.









# Liste des Figures

## Chapitre I : Notion D'Eau

**Figure I.1** : Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer

## Chapitre II : Généralités Sur Le Dessalement De L'eau De Mer

**Figure II.1** : Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

**Figure II.2** : Photos de trois unités d'ultrafiltration différentes : (a)- Unité d'Ultrafiltration avec des membranes céramiques, (b)- Unité d'Ultrafiltration avec des membranes spiralées, (c)- Unité d'Ultrafiltration avec des membranes tubulaires.

## Chapitre III : Séparation Membranaire

**Figure III.1** : Profils du potentiel chimique, de la pression et de l'activité (Concentration molaire) d'une espèce perméant par diffusion sous l'action d'un gradient de pression.

**Figure III.2** : Représentation schématique du profil de concentration d'un soluté et de son accumulation en surface d'une membrane sélective au sein de la couche limite de polarisation de concentration.

**Figure III.3** : Rétention intrinsèque et observée en fonction du flux de perméation.

**Figure III.4** : Installation avec turbo-compresseur

**Figure III.5** : Turbo sur une unité SH62-918 pour un débit eau de mer de 18m<sup>3</sup>/h.

**Figure III.6** : Osmoseur.SSH62-928 équipé d'un turbo

**Figure III.7** : Installation avec échangeur de pression PX

**Figure III.8** : Echangeur type PX 180 sur l'une des unités SLCE de 500 m<sup>3</sup>/jour de l'installation d'Anau sur l'île de Bora-Bora

**Figure III.9** : Présentation du fonctionnement de la filtration frontale

**Figure III.10** : Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle.

**Figure III.11** : Description des différents types de membrane

**Figure III.12** : Image prise par MEB d'une membrane composite de polypyrrole préparée par Polymérisation interfaciale

**Figure III.13** : Représentation schématique d'une membrane échangeuse de cations

**Figure III.14** : Evolution du taux de rejet en fonction du ratio rayon de soluté/ rayon du pore.

**Figure III.15** : Evolution du taux de rejet observé avec le flux (ou le nombre de Péclet)

**Figure III.16** : Vie utile théorique d'une membrane exprimée en perte d'efficacité en fonction du temps d'opération.

**Figure III.17 :** Courbes schématiques illustrant les causes d'une perte d'efficacité d'une membrane O.I.

**Figure III.18 :** Courbes théoriques illustrant les causes et le taux de développement des populations bactériennes dans la sève.

**Figure III.19 :** Filtration d'eau de surface par une membrane UF (Carbure de silicium,  $D_{\text{pores}} = 0,005 \mu\text{m}$ , 100 l/h)

**Figure III.20 :** Cycle de filtration d'eau de rivière par une membrane céramique UF (Carbure de silicium,  $D_{\text{pores}} = 0.005 \mu\text{m}$ , 100 l/h)

**Figure III.21 :** Différentes résistances hydrauliques s'appliquant lors du colmatage d'une membrane

**Figure III.22 :** Calcul des UMFI, cas de l'ultrafiltration d'une eau de surface (Carbure de silicium,  $D_{\text{pores}} = 0.005 \mu\text{m}$ , 100 l/h).

## Chapitre IV : Matériels et Méthodes

**Figure IV.1:** photo de pilot TE 200 (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

**Figure VI.2:** Construction de pilot TE 200.

**Figure IV.3:** Photo de conductimètre (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

**Figure IV.4:** Photo de l'agitateur (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

**Figure IV.5:** Photo de balance électronique (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen)

## Chapitre V : Résultats et Interprétations

**Figure V.1:** Perméabilité de la membrane au solvant.

**Figure V.2:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2\text{g/l}$ ).

**Figure V.3:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2\text{g/l}$ ).

**Figure V.4:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2 \text{ g/l}$ ).

**Figure V.5:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2 \text{ g/l}$ ).

**Figure V.6:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2 \text{ g/l}$ ).

**Figure V.7:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2.5\text{g/l}$ ).

**Figure V.8:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2.5\text{g/l}$ ).

**Figure V.9:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2.5 \text{ g/l}$ ).

- Figure V.10:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2.5$  g/l).
- Figure V.11:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2.5$  g/l).
- Figure V.12 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$ g/l).
- Figure V.13:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$ g/l).
- Figure V.14:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.15:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.16:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.17:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$ g/l).
- Figure V.18:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$ g/l).
- Figure V.19:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.20:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.21:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.22 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$ g/l).
- Figure V.23:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$ g/l).
- Figure V.24:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$  g/l).
- Figure V.25:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$  g/l).
- Figure V.26:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$  g/l).
- Figure V.27:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$ g/l).
- Figure V.28:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$ g/l).
- Figure V.29:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).
- Figure V.30:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).
- Figure V.31:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).
- Figure V.32:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$ g/l).
- Figure V.33:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$ g/l)
- Figure V.34:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).
- Figure V.35:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).

- Figure V.36:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).
- Figure V.37:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4.5$ g/l).
- Figure V.38:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4.5$ g/l)
- Figure V.39:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4.5$  g/l).
- Figure V.40:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4.5$  g/l).
- Figure V.41:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4.5$  g/l).
- Figure V.42:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5$ g/l).
- Figure V.43:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5$ g/l)
- Figure V.44:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5$  g/l).
- Figure V.45:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5$  g/l).
- Figure V.46:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5$  g/l).
- Figure V.47 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5.5$ g/l).
- Figure V.48:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5.5$ g/l)
- Figure V.49:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5.5$  g/l).
- Figure V.50:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5.5$  g/l).
- Figure V.51:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5.5$  g/l).
- Figure V.52:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$ g/l).
- Figure V.53:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$ g/l)
- Figure V.54:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.55:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.56:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).
- Figure V.57:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$ g/l).
- Figure V.58:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$ g/l)
- Figure V.59:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$  g/l).
- Figure V.60:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$  g/l).



0.5;1; 1.5 ; C=6 g/l).

**Figure V.87:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5g/l).

**Figure V.88:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5g/l)

**Figure V.89:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5 g/l).

**Figure V.90:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5 g/l).

**Figure V.91:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5 g/l).

**Figure V.92:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=7g/l).

**Figure V.93:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=7g/l)

**Figure V.94:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=7 g/l).

**Figure V.95:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=7 g/l).

**Figure V.96:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0$ ; 0.5;1; 1.5 ; C=7 g/l).

**Figure V.97:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 ; 7 ; 11$  bars ;  $\Delta P=1$  ; C=3 g/l).

**Figure V.98:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7 ; 9 ; 11$  bars ;  $\Delta P=1$  ; C=4 g/l).

**Figure V.99:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9 ; 11$  bars ;  $\Delta P=1$  ; C=5,5 g/l).

# Liste des Abréviations

**A** : Perméabilité au solvant.  
**B** : La perméabilité de la membrane au soluté.  
**C** : Concentration.  
**C<sub>m</sub>** : La concentration d'une espèce au voisinage de la membrane.  
**C<sub>p</sub>** : Concentration de perméat.  
**FC** : Facteur de conversion.  
**i** : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte.  
**J<sub>m</sub>**: Flux massique de solvant.  
**J<sub>soluté</sub>** : Le flux massique de soluté.  
**J<sub>solvant</sub>** : Le flux massique de solvant.  
**J<sub>v1</sub>** : Flux volumique de solvant.  
**MES** : Matière en suspension.  
**MF** : Microfiltration.  
**MFI**: Modified Fouling Index.  
**MFI-UF**: Modified Fouling Index by using Ultrafiltration membrane.  
**MSF**: Multi-Flash.  
**NF**: Nanofiltration.  
**OI** : Osmose Inverse.  
**P** : Pression  
**P<sub>e</sub>** : Pression efficace.  
**PH** : Potentiel d'Hydrogène.  
**PS** : Passage de sels.  
**Q<sub>0</sub>** : Débit d'alimentation.  
**Q<sub>A</sub>** : Débit d'alimentation.  
**Q<sub>c</sub>** : Débit de concentrât.  
**Q<sub>p</sub>** : Débit de perméat.  
**R** : Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>).  
**R** : Sélectivité.  
**R<sub>m</sub>**: Réention globale du module.  
**RS** : Rejet de sels.  
**S** : Surface.  
**SDI** : Silt Density Index.  
**T** : Température.  
**TDS** : Total de Sel Dissous.  
**UF** : Ultrafiltration.  
**V** : Volume.  
**VC** : Compression de Vapeur.  
**Y** : Taux de conversion.  
**γ** : Facteur de polarisation.  
**ΔP** : La différence de pression de part et d'autre de la membrane ;  
**ΔΠ**: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.  
**Π** : Pression osmotique.  
**ρ**: La masse volumique.



# Introduction Générale

---

## Introduction Générale :

L'eau est source de vie pour la flore et la faune, elle est une substance essentielle pour la survie de l'humanité et de son développement.

Si l'eau douce disponible au niveau des lacs, fleuves, rivières et eaux souterraines ne représente que **2,5 %** du volume total d'eau sur la planète, les mers et les océans couvrent par contre **74%** de la terre et représentent **97%** du volume d'eau.

La répartition de l'eau douce et salée sur la planète d'établit comme suit :

- Eau douce                                      35 millions de Km<sup>3</sup>                      soit 2,5 %
- Eau souterraine                                8 millions de Km<sup>3</sup>                      soit 0,56 %
- Lacs et réservoirs                            105.000      Km<sup>3</sup>                      soit 0,3%
- Eau salée                                        1.365.000.000 Km<sup>3</sup>                    soit 97%

Dix pays de l'hémisphère Nord se partagent **60%** des réserves d'eau douce, tandis que trente pays d'Afrique et du moyen orient sont confrontés à des pénuries d'eau. Cela signifie que **700 millions de** personnes souffrent d'un manque d'eau, que la mortalité infantile est très importante dans ces pays selon l'OMS due aux maladies d'origine hydrique et aux agents microbiologiques responsables de choléra, de fièvre typhoïde, de dysenterie et de gastro entérite. Le PNUE (programme des nations unies pour l'environnement) estime que **2,5 milliards** de personnes souffriront du manque d'eau à cause de l'explosion démographique **en 2050**. Cela s'accompagnera sans doute par des tensions entre pays qui partagent des ressources communes voir même des conflits entre pays voisins (partage problématique des eaux du Nil entre l'Egypte, le Soudan, et l'Ethiopie. Le Tigre, l'Euphrate et le Jourdain n'échappent pas à la logique de survie des peuples et constituent un foyer de tension régional au moyen orient).

L'eau dans la région est une arme politique et de contrôle, elle affaiblit les populations adverses en restreignant leurs accès à l'eau. En 1996 Israël et la Jordanie ont signé un traité de partage des eaux du Yarmouk et du Jourdain. La Chine par exemple accepte de laisser couler le fleuve Irtych et la rivière Ili jusqu'au Kazakhstan qui accepte en échange des prix favorables sur le pétrole Kazakh. Certains pays développés comme la Chine, l'Australie ou encore l'Inde amorcent le même virage. Toujours est-il que le problème de la rareté de l'eau subsistera en raison des changements climatiques

qui bouleverseront les données socio-économiques des pays à faible pluviométrie (déplacement des populations vers les régions plus clémentes).

Les nouvelles techniques de production d'eau potable viendront sans doute au secours des populations constamment en déplacement, permettront un développement économique durable, apaiseront les tensions entre pays voisins et conduiront peut-être vers une rationalisation dans la gestion de l'eau. Il s'agit du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres facilement accessible pour les pays ayant une façade sur la mer.

Pour les pays d'Afrique subsaharienne à faible pluviométrie, les techniques de production d'eau potable consistent dans les traitements des eaux de surface et des eaux souterraines (lacs, fleuves etc...). La technique du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres devient ainsi la solution indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable dans les régions de pénuries en eau douce à forte concentration humaine essentiellement (**70% de la population mondiale occupent les régions près des côtes maritimes**).

La première usine de dessalement d'eau saumâtre par osmose a vu le jour à la fin des années 1960. Le procédé de purification par osmose inverse est actuellement le procédé le plus utilisé à travers le monde par la plupart des unités de dessalement de l'eau de mer. Cette technique est la solution salutaire face à cette problématique.

Le marché pour les équipements des stations de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres est en pleine expansion de l'ordre de 9% par an. La banque Goldman Sachs estime que le marché compte plus de 15.000 usines dont la moitié est localisée au moyen orient, évalué à plus de 5 Milliards de Dollars. Le marché est donc porteur eu égard à la situation de stress hydrique des deux tiers de la population mondiale et au déplacement des populations des zones rurales des pays en développement. Deux types de procédés sont utilisés pour dessaler l'eau de mer :

- 1/ Les procédés thermiques de distillation qui se sont fortement développés à partir des années 1940
- 2/ Les procédés membranaires qui ont vu le jour à la fin des années 1960

A l'heure actuelle, 53% des capacités mondiales d'eau produites par dessalement selon le procédé membranaire est l'osmose inverse qui a largement dépassé celui de la distillation depuis 2001. L'osmose inverse présente l'intérêt de pouvoir fonctionner à température ambiante et de produire une eau de bonne qualité et constante quelles que soient les variations de la qualité de l'eau brute. Le taux de rejet de sel peut être **supérieur à 99%**. Toutefois, le principal problème rencontré lors de l'utilisation de l'osmose inverse est le colmatage des membranes. Les membranes d'osmose arrêtent toutes les matières en suspension. Pour conserver l'efficacité de

celles-ci, il est indispensable de rendre l'eau de mer aussi limpide que possible avant leur utilisation. Le pré-traitement constitue un point critique pour ce procédé puisqu'une eau de mauvaise qualité réduit la durée de vie des membranes.

L'objectif du travail que nous avons entrepris consiste à étudier et analyser le procédé d'osmose inverse dans le dessalement des *eaux fortement saumâtres* à l'aide *du pilote TE200* qui est considéré comme une petite station de dessalement par osmose inverse.

Le manuscrit se décompose en deux parties principales *A et B*, qui à leur tour se divisent en plusieurs chapitres. La partie *A* concerne l'étude bibliographique et comporte trois chapitres :

*Chapitre I* : Etude bibliographique sur les différentes propriétés, origines et sources des eaux et les principales caractéristiques des eaux pouvant être dessalées (eaux marines et saumâtres)

*Chapitre II* : Présentation de la connaissance générale sur les techniques de dessalement

*Chapitre III* : Etude théorique sur la filière de dessalement de l'eau de mer par le procédé d'osmose inverse

La partie *B* présente l'étude expérimentale sur le procédé d'osmose inverse dans le dessalement des eaux fortement saumâtres subdivisée en deux chapitres :

*Chapitre IV* : Matériels et méthodes

*Chapitre V* : Résultats et interprétations

# Chapitre I :

# Notion d'Eau

---

---

## **1. Généralités sur l'eau :**

L'eau est une ressource vitale essentielle conditionnant la vie et l'existence des êtres vivants, Sans cet élément la terre ne serait qu'un astre mort, semblable à ce que la lune est demeurée depuis sa formation.

La terre est souvent appelé la planète bleue parce que l'eau recouvre la majorité de la surface de la terre ; environ 71% [1].

### **1.1. Définition de l'eau :**

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur à l'état pur, et est liquide a température ordinaire. Elle est formée de deux volumes hydrogénés et un volume d'oxygène.

Une eau pure est une eau de haute qualité garantissant une bonne santé. La qualité de l'eau doit impérativement être conforme aux normes de potabilité au niveau bactériologiques et physico-chimique [2].

### **1.2. Importance de l'eau :**

L'eau est indispensable à tous les êtres vivants, il est possible de jeuner un mois sans danger considérable, mais on ne peut être privé d'eau plus de 48 heures sans risque.

L'eau nous permet d'éliminer nos déchets par les urines, de lutter contre la chaleur par sudation et la ventilation pulmonaire et de transporter des vitamines hydrosolubles qui seront grâce à l'eau mieux absorbées par les muqueuses intestinales. En revanche une perte d'eau de 12% peut provoquer la mort [3].

Comme toutes les cellules vivantes, les cellules microbiennes ne vivent que dans un milieu répondant à certaines caractéristiques. L'eau compose la plus grande partie de ces caractéristiques.

### **1.3. Les besoins en eau :**

Les besoins en eau des hommes sont de nature variée, physiologiques pour une part, liés à leurs cultures et à leurs industries d'autre part [4].

#### **1.3.1. Besoins physiologiques :**

Premièrement, on distingue les besoins physiologiques qui sont faibles, Il suffit, en climat tempéré, d'un litre et demi de boissons chaque jour. Alors que durant les temps chauds, (l'été) les besoins sont multipliés et dépassent parfois les 5 litres.

#### **1.3.2. Besoins domestiques :**

Les besoins domestiques sont des besoins liés à la culture et à l'industrie. Ces besoins la sont plus divers. Les propriétés calorifiques de l'eau sont utilisées pour la cuisson aussi bien pour les usages industriels, le refroidissement et le chauffage.

A partir de cela, on constate l'utilité et l'importance de l'eau dans la création et le maintien de la vie, dans l'essor techno-industriel devient évident [5].

## **2. Caractéristiques des eaux**

### **2.1. Les eaux marines**

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.L<sup>-1</sup> (27,2 g.L<sup>-1</sup> de NaCl, 3,8 g.L<sup>-1</sup> de MgCl<sub>2</sub>, 1,7 g.L<sup>-1</sup> MgSO<sub>4</sub>, 1,26 g.L<sup>-1</sup> CaSO<sub>4</sub>, 0,86 g.L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées :

mer Méditerranée : 36 à 39 g.L<sup>-1</sup>, mer Rouge : environ 40 g.L<sup>-1</sup>, mer Caspienne : 13 g.L<sup>-1</sup>, mer Morte : 270 g.L<sup>-1</sup>, Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g.L<sup>-1</sup>.

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement basique [6].

## 2.2. Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversé. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le  $\text{CaCO}_3$ , le  $\text{CaSO}_4$ , le  $\text{MgCO}_3$  et le  $\text{NaCl}$ [7].

## 3. Composition de l'eau de mer

Le terme eau de mer regroupe l'eau salée des mers et des océans à la surface de la terre. Elles occupent un volume estimé à 1 340 millions de  $\text{km}^3$ , ce qui représente 97 % de la capacité totale des grands réservoirs d'eau à la surface de la terre. L'existence des sels dans l'eau de mer modifie les caractéristiques de l'eau : par exemple la masse volumique moyenne de l'eau de mer est de  $1,03 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ . Les paragraphes suivants présentent la composition de l'eau de mer : un ensemble complexe d'espèces inorganiques et organiques.

### 3.1. Espèces inorganiques

#### 3.1.1. Constituants majeurs

En 1819, Marcet fait analyser des eaux de mer provenant de diverses parties du domaine océanique et remarque que si les spécimens diffèrent les uns des autres par leur teneur globale en sel, ils contiennent tous les mêmes ingrédients, et dans des proportions identiques les uns par rapport aux autres. Des décennies plus tard, Maury (1855) et Dittmar (1884) affirment comme une règle générale que les constituants de l'eau de mer sont aussi constants que ceux de l'atmosphère, hors éléments polluants apportés par l'activité humaine. Cette propriété est évoquée sous l'appellation de « principe de Marcet », tandis qu'en français l'expression « loi de Dittmar » est plus volontiers utilisée. Plus de 92 éléments naturels ont été analysés et détectés dans l'eau de mer. En pratique, on retient comme constituants principaux ceux qui sont présents en concentration supérieure à  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Ils sont énumérés dans le tableau 01.

**Tableau 1.1. :** Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité  $35 \text{ mg.kg}^{-1}$  [8].

constituant	Concentration ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
$\text{Na}^+$	10 770
$\text{Mg}^{+2}$	1 290
$\text{Ca}^{+2}$	412.1
$\text{K}^+$	399
$\text{Sr}^{+2}$	7.9
$\text{B}_{\text{total}}$	4.5
$\text{Cl}^-$	19 354
$\text{SO}_4^{-2}$	2 712
$\text{HCO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{-2}$	118-146
$\text{B}^+$	67.3
$\text{F}^-$	1.3

3.1.2. Les éléments traces métalliques

Les « éléments traces métalliques » (ETM) sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ une partie par billion ( $10^{-3}$  mg.kg<sup>-1</sup>) en masse, ou moins. Le tableau 2 représente les principaux éléments traces métalliques dans l'eau de mer.

**Tableau 1.2.** Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer.

Constituant	Concentration (*10 <sup>-3</sup> mg kg <sup>-1</sup> )
Titane, Ti	1
Zinc, ZN	0.5
Nickel, Ni	0.48
Aluminium, Al	0.4
Chrome, Cr	0.3
Cadmium, Cd	0.1
Cuivre, Cu	0.1
Fer, Fr	0.055
Manganèse, Mn	0.03
Plombe, Pb	0.002
Mercure, Hg	0.001

3.1.3. Les éléments nutritifs

Le carbone est un élément essentiel à la vie sur terre. Cependant, du fait de la prédominance du dioxyde de carbone parmi les gaz dissous, la disponibilité du carbone dissous n'est généralement pas considérée comme un facteur limite pour l'assimilation biologique, et le carbone n'est donc pas classifié comme un nutriment. Le terme d'« éléments nutritifs » comprend donc principalement le nitrate (NO<sup>3-</sup>) et l'ammoniac (NH<sup>4+</sup>), le phosphore sous forme phosphate (PO<sup>4</sup><sup>3-</sup>) et le silicium tel que la silice (SiO<sub>2</sub>). Les nutriments sont utilisés par les phytoplanctons, cellules végétales de taille d'un à quelques centaines de microns qui dérivent à la surface des océans et photosynthétisent des hydrates de carbone, de l'oxyde de carbone et de l'eau. Le tableau 03 présente les teneurs moyennes en éléments nutritifs dans l'eau de mer.

**Tableau 1.3.** Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer [9].

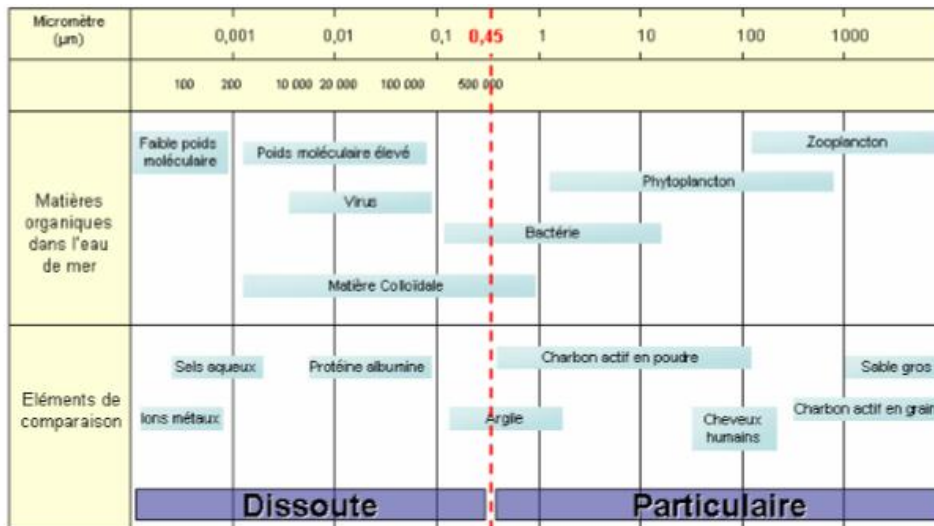
Élément nutritifs	Espèces dissoutes possibles	Concentration (mg kg <sup>-1</sup> )
Azote	N <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>	11.5
Silicium	Si(OH) <sub>4</sub>	2
Phosphore	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.06

3.2. Matières organiques

L'océan est le réservoir principal du carbone organique sur terre, qui contient environ 1018 g de carbone [10]. La plupart du carbone organique dans l'océan est sous la forme de matière organique dissoute et principalement de molécules à faible poids moléculaire. Seulement 1% du carbone organique est de la matière organique particulaire [11]. Environ 75 % du carbone organique dissous est de la matière organique



dissoute de faible poids moléculaire. Une procédure largement utilisée pour séparer les matières organiques dissoutes des fractions particulières est une filtration à travers une membrane ayant des pores de 0,2 à 1,0 µm. Le plus souvent, une membrane avec des pores de 0,45 µm est utilisée [9,12]. La figure 1 donne une représentation très schématique et simplifiée de la gamme de taille et des types de matières organiques dans l'eau de mer. La concentration des matières organiques dissoutes et particulières dépend de la profondeur de l'océan : l'eau de mer surfacique a une concentration plus élevée que l'eau en profondeur [11,13].



**Figure I.1 :** Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer

### 3.2.1. Matières organiques dissoutes

La matière organique dissoute (MOD) est un mélange complexe de molécules d'origines diverses trouvées dans l'eau de mer. La concentration de chaque molécule est très faible, mais on peut trouver dix milliers de molécules différentes dans l'eau de mer. Grâce au grand volume des océans, ceux-ci sont considérés comme un réservoir majeur des matières organiques non vivantes. La quantité de matière organique dissoute dans l'océan est de  $685 \times 10^{15}$  g de C [14]. Le carbone organique dissous est un facteur important dans le cycle du carbone et la chaîne alimentaire marine. Il influence la pénétration de la lumière, l'échange de gaz à la surface de l'océan, la disponibilité des métaux traces et les nutriments pour les organismes. Le phytoplancton est une source primaire de la MOD.

### 3.2.2. Matières organiques particulières

Les matières particulières dans l'eau de mer peuvent être classifiées selon leur taille. Dans l'eau de mer surfacique, la plupart d'entre elles sont d'origine biologique. Les plus petites particules (moins de 1 µm jusqu'à quelques dizaines de µm) se composent de bactéries et de cellules algales, d'autres débris organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que  $Fe(OH)_3$ . La gamme de taille allant de quelques dizaines à quelques centaines de µm comporte des grands débris et des agglomérats fécaux, produits de l'agrégation biologique.

## **4. Répartition de l'eau douce sur la planète**

L'eau douce ne représente que 2,5 % du volume total d'eau sur la planète.

**Le tableau 1.4.** La répartition de l'eau douce et salée sur la planète.

Répartition de l'eau douce et salée sur la planète	Km <sup>3</sup>	%
Eau douce	36 000 000	2.5
Dont Glaciers et couverture neigeuse permanente	24 000 000	68.9
Eau souterraine	8 000 000	30.8
Lacs et réservoirs	105 000	0.3
Eau salée	1 365 000 000	97.5
Volume total d'eau	1 400 000 000	100

L'eau douce est très inégalement distribuée. Certaines régions bénéficient d'excédents considérables, c'est le cas par exemple du Canada, du Chili, de la Nouvelle-Zélande ou de la Norvège où les disponibilités en eau dépassent les 50 000 m<sup>3</sup> par personne et par an. D'autres, au contraire, souffrent de pénuries chaque année plus graves, c'est le cas des pays du Maghreb, du Golfe ou de l'Asie Centrale où les disponibilités en eau sont inférieures à 1 000m<sup>3</sup> par personne et par an.

La consommation en eau par personne dans les pays industrialisés est de 320 litres par jours (données 2001). Dans les pays en voie de développement, l'industrialisation par personne est de 70 litres/jour en moyenne. On dit qu'une région souffre de stress hydrique lorsque ses ressources annuelles en eau sont inférieures à 1700m<sup>3</sup> par an et par personne. On parle de pénurie d'eau lorsque la quantité d'eau prélevée des lacs, des rivières ou du sous-sol constitue des ressources inférieures à 1000m<sup>3</sup> par an et par personne, et ne peuvent plus répondre aux besoins humains ni aux écosystèmes.

Dans le tableau 06 ci-dessous, on constate qu'entre 1990 et 1996, 48% de la population d'Afrique subsaharienne n'avait pas accès à l'eau potable. En Asie de l'Est, ce sont 73% des habitants qui ne profitaient pas, sur la même période, d'un réseau d'assainissement.

**Tableau 1.5.** Pourcentage de la population privée d'accès à l'eau potable et l'assainissement par région.

Région	Eau potable	Assainissement
<i>Afrique subsaharienne</i>	48	55
<i>Pays les moins avancés</i>	43	64
<i>Asie du Sud-Est et pacifique</i>	35	45
<i>Asie de l'Est</i>	32	73
<i>Pays en développement</i>	29	58
<i>Amérique latine et caraïbes</i>	23	29
<i>Etats arabes</i>	21	30
<i>Asie du Sud</i>	18	64
<i>Asie de l'est (hormis la Chine)</i>	13	-

En 2003, 450 millions de personnes étaient exposées à des pénuries ou à des stress hydriques. Le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) prévoit que, vers 2025, 3 milliards d'êtres humains se retrouveront dans cette situation. En 2050, ce chiffre pourrait passer à 4 milliards, soit 40% de la population mondiale projetée à 9,4 milliards (estimation basse des Nations Unies).

Le problème de la ressource en eau douce est donc crucial pour une zone côtière où se concentre une grande partie de la population mondiale (plus de 70% de la population du globe se répartissent sur une bande côtière de 80 km de large).

Le problème étant donc de taille, les états n'ont d'alternative que la solution de désalinisation de l'eau de mer ou l'exploitation de sources sous-marines d'eau douce [15].

## 5. Propriétés de l'eau

L'eau est une molécule remarquable dont les propriétés sont présentées ci-dessous :

- ❖ L'eau a une force de cohésion élevée (difficile à évaporer)
- ❖ (Température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire).
- ❖ Cela permet à une importante phase liquide d'exister aux températures, connues sur terre (phase liquide indispensable à la vie telle que nous la connaissons).
- ❖ Ses propriétés de solvant « doux » (un très grand nombre de réactions biochimiques possible)
- ❖ Le fait que la densité de l'eau soit plus grande à l'état liquide que solide, (conséquence remarquable : la glace flotte sur l'eau liquide)
- ❖ La densité de l'eau douce soit maximale à 4 °C fait que la température au fond d'un lac ne peut pas descendre en dessous de 4 °C (sauf cas extrêmes). Cela permet à la vie aquatique de survivre aux périodes glacées, car l'eau reste liquide sous son manteau de glace isolant.
- ❖ La tension superficielle particulièrement élevée permet le phénomène de capillarité (qui permet, entre autres, à la sève des végétaux de monter) et à de nombreux êtres vivants de se déplacer sur la surface de l'eau [16].
- ❖ L'eau est aussi la seule substance qui existe en trois états : liquide, solide et vapeur.

Toutes les autres substances ne peuvent revêtir que deux états physiques seulement [17].

## 6. Les paramètres de potabilité de l'eau

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques [18]. En ce sens, les normes fixent les concentrations maximales admissibles (CPA), c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie.

### 6.1. Paramètres organoleptiques

#### 6.1.1. La couleur

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV.

Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [19].

#### 6.1.2. Goûts et odeurs

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur agréable. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère [20].

#### 6.1.3. La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce

paramètre dans les superficielles et souterraines selon leur origine [21].

## **6.2. Paramètres physicochimiques**

### **6.2.1. La température**

La température de l'eau, est un facteur qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les micro-organismes.

### **6.2.2. Le pH**

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates [22].

### **6.2.3. Matières en suspension**

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. [23]. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution.

### **6.2.4. La conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparée l'une de l'autre de  $1\text{cm}$ . L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau.

### **6.2.5. La dureté totale**

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins  $Na^+$ ,  $K^+$  et  $H^+$ . Elle est souvent due aux ions  $Ca^{++}$  et

$Mg^{++}$ . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de  $CaCO_3$  par litre [18]. Dans l'eau, sont déterminés :

- \* la dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- \* la dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- \* la dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium ;
- \* la dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

### **6.2.6. Solubilité des gaz dans l'eau**

L'eau contient toujours des gaz dissous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeux avec laquelle elle est en contact. La loi de HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, prévoit que, la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact de l'eau.

### 6.2.7. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure : acides humiques, phosphates, citrates, tartrate. Deux titres qui sont le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC). L'unité utilisée est le degré français ( $1^{\circ}f = 10 \text{ mg. L}^{-1} \text{ de CaCO}_3 = 0,2 \text{ milliéquivalent.L}^{-1}$ ).

### 6.2.8. Cations et anions

Les eaux douces, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus des indications données par les paramètres globaux de type « titre » et « potentiel ». Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau douce est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...) [23].

● **Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )** : L'ion calcium est le composé principal de la dureté de l'eau, il se trouve en général à une concentration de 5-500mg/l exprimé en  $\text{CaCO}_3$  (2-200mg en  $\text{Ca}^{2+}$ ).

● **Le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )** : La dureté magnésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale, les deux tiers restants correspondent à la dureté calcique, sa valeur est de 10 à 50 mg/l (environ 40-200 mg /l en  $\text{CaCO}_3$ ).

**Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )** : L'ion de bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. On le trouve souvent à une concentration de 5-500mg/L exprimée en  $\text{CaCO}_3$ .

● **Le Chlore ( $\text{Cl}^-$ )** : Puisque tous les sels du chlore sont très solubles dans l'eau, le chlore est fréquent dans les réserves d'eau douce à un taux de 10 à 100 mg /l [24].

### 6.2.9. Les nitrates et les nitrites

Ces paramètres sont des indicateurs pertinents de la dégradation des ressources en eau utilisée pour la production d'eau potable. La présence de nitrates dans l'eau d'alimentation peut avoir plusieurs origines :

- une origine liée aux activités humaines (rejets industriels, agricoles et urbains) ;

- une origine naturelle dans la mesure où les nitrates résultent des transformations de l'azote dans les eaux et les sols (cycle de l'azote).

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre 'Nitrosomonas', puis en nitrates par les bactéries du genre 'Nitrobacter'. Les nitrates sont très solubles dans l'eau (INSQ, 2013). Les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques: la méthémoglobinémie et le risque de cancer [25].

### 6.2.10. Pollution des eaux par les métaux lourds

La pollution des eaux se fait par des métaux lourds souvent sous forme de traces, qui peuvent provoquer des intoxications chez l'homme par la consommation de l'eau contaminée en dépassant les limites fixées par la réglementation et l'OMS. Ces métaux lourds sont en particulier : Le cadmium, le fer, le plomb, l'arsenic, le nickel, et le bore. Les principaux effets associés aux éléments ci-dessus sont présentés au tableau 07.

**Tableau 1.6.** Principaux effets associés aux métaux lourds [26].

Elément	Effets
Arsenic(As)	Toxique, possible cancérigène
Cadmium(Cd)	Hypertension, dommage sur le foie, affections respiratoires
Chrome(Cr)	Cancérigène sous forme de Cr(VI), troubles dermatologiques, anémie
Cuivre (Cu)	Peu toxique envers les animaux, toxique envers les plantes et les algues à des niveaux modérés
Mercure(Hg)	Toxique chronique et aigue, troubles du système nerveux (mémoire, fonctions sensorielles de coordination)
Nickel(Ni)	Maladies respiratoires, asthme, malformations congénitales
Plombs(Pb)	Toxique, trouble du système nerveux et cardiovasculaire, fatigue, cancérigène, affection du foie et des reins
Sélénium(Se)	Essentiel à faibles doses, toxique à doses élevées
Zinc(Zn)	Toxique pour les végétaux à de fortes teneurs

**6.3. Paramètres microbiologiques**

Le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau de micro-organismes pathogènes, ou potentiellement pathogènes (opportunistes) et ce en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires. Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné non seulement par les propriétés de l'agent infectieux, mais aussi par la réceptivité de l'hôte. Il convient de préciser que la mise en œuvre de procédés élémentaires de désinfection telle que la chloration de l'eau, permet d'éradiquer totalement les fléaux tels que le choléra, la dysenterie bacillaire ou les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes (Tableau 08 ; [27])

**Tableau 1.7.** Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables [28].

origine	maladies	Agents pathogènes
Parasitaire	Dysenterie amibienne	Entamoeba histolyca
	Gastro-entérites	Giardia lamblia Cryptosporidium parvum
Bactérienne	Fièvres typhoïde paratyphoïde	Salmonella typhi Salmonella paratyphi A et B
	Dysenterie bacillaire	Shigella
	Cholera	Vibrio cholerae
	Gastro-entérites	Escherichia coli enterotoxigène Campylobacter jejuni Yersinia enterocolitica
Virale	Hépatites A et E	Virus hépatite A et E
	Poliomyélite	Virus poliomyélitique
	Gastro-entérites	Rotavirus Enterovirus Calicivirus Adenovirus.....

# **Chapitre II :**

## **Généralités sur le**

### **Dessalement de**

#### **l'Eau de Mer**

---

---

### **1. Définition**

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée. En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, d'extraire de l'eau douce.

Très généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter, que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont inexistantes ou insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

### **2. Histoire du dessalement :**

L'idée de fabriquer de l'eau pure à partir de l'eau de mer tourmente les populations assoiffées depuis des centaines, pour ne pas dire des milliers d'années. La prémisse originale reposait sur l'idée que, par ébullition ou évaporation, l'eau pouvait être séparée du sel. Cette théorie – évaporation ou distillation – constituait le fondement de la technologie des premières installations de dessalement à grande échelle qui apparurent dans les années 50 et 60, principalement au Moyen- Orient. Ces régions, pauvres en eau mais riches en combustible, convertissaient leurs ressources énergétiques en ce qui leur manquait le plus : de l'eau.

### **3. Dessalement en Algérie :**

L'Algérie est un pays qui possède des ressources hydriques limitées pour des raisons climatiques capricieuses, caractérisé par une pluviométrie irrégulière oscillant entre 100 et 600 mm/an et enregistrant un déficit hydrique estimé à 20% durant les cinq dernières années.

L'accroissement de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que besoins incompressibles ont amené les pouvoirs publics à mobiliser de plus en plus de ressources superficielles.

La mobilisation des eaux souterraines au nord du pays a atteint son seuil maximal, d'où la surexploitation des nappes superficielles. Le recours au dessalement d'eau de mer devient alors indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable dans cette région [29].

Dans le cas algérien, le dessalement réduit de manière durable les pénuries d'eau car plus de la moitié de la population réside sur la longue bande littorale de 1600km, théâtre, d'un déficit chronique en eau potable.

En vertu d'une réforme institutionnelle engagée en 2001, l'Algérienne Des Eaux a lancé la réalisation d'une série de 21 petites unités de dessalement de 2500m<sup>3</sup>/j chacune totalisant une production de 57500m<sup>3</sup>/j.

### **4. Conception d'une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse :**

Une usine de dessalement par osmose inverse comprend essentiellement :

- Un système d'alimentation en eau de mer ;
- Un ensemble de prétraitement physicochimique de l'eau de mer ;
- Un dispositif de mise en pression de l'eau prétraitée ;
- Un osmoseur proprement dit ;
- Un système de récupération de l'énergie du concentrât ;
- Un ensemble de post-traitements du perméat ;
- Un poste de nettoyage chimique des membranes [30].



## 5. Etapes de dessalement par osmose inverse :(cas de Souk Tlata dans la wilaya de Tlemcen)

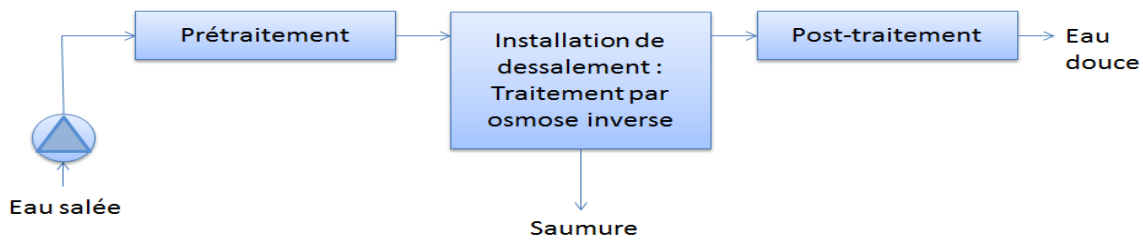


Figure II.1 : Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

### 5.1. Poste de pompage

La première opération s'effectue au niveau de « la tour de captage de l'eau de mer » qui consiste à pomper l'eau de mer par le biais de plusieurs pompes dont une de réserve, par aspiration à vide. Cette tour est dotée d'un système de préfiltration comprenant trois tubes de grilles à gros grains et des tamis autonettoyants. Cette filtration d'eau permet d'assurer une entrée en eau moins chargée en débris marins et homogène.

### 5.2. Poste de prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'OI sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'OI est indispensable pour assurer des performances stables de sur le long terme. Le prétraitement a pour objectif la réduction du colmatage, l'augmentation de la durée de vie des membranes, l'amélioration de la qualité de l'eau produite et la maintenance des performances de l'OI. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : physiques et chimiques. Les prétraitements physiques incluent les préfiltres mécaniques, les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire. Le prétraitement chimique consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de coagulants, de désinfectants et de poly-électrolytes. Actuellement, la plupart des usines d'OI utilisent un procédé de prétraitement conventionnel mais avec la baisse constante du prix des éléments membranaires et la dégradation de la qualité des ressources en eau, le prétraitement par procédé membranaire trouve de plus en plus sa place dans les étapes de prétraitement avant osmose inverse. Nous allons détailler à présent le type de filière de prétraitement à membrane.

#### Prétraitement par les procédés membranaires

En raison des limitations du prétraitement conventionnel qui viennent d'être évoquées, un intérêt croissant s'est porté sur l'utilisation de procédés membranaires basse pression tels que la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF) et la nano-filtration (NF). Les avantages majeurs des procédés membranaires sont [31] :

- Flux de l'osmose inverse significativement élevé
- Plus faible consommation de produit chimique
- Meilleure compacité (-33 %)
- Augmentation de la durée de vie des membranes d'osmose inverse
- Capacité de fonctionnement à une qualité de l'eau d'alimentation variée
- Désinfection et nettoyage de l'osmose inverse moins nécessaire [32].

Parmi les trois procédés UF, MF et NF, l'UF semble le choix le plus courant dans les recherches et les essais à l'échelle pilote. A l'échelle industrielle, nous trouvons des prétraitements par UF ou MF seulement. De

## Chapitre II : Généralités Sur Le Dessalement De L'eau De Mer

nombreux essais pilotes ont été menés avec des membranes d'UF en prétraitement avant osmose inverse et des installations industrielles ont vu le jour depuis quelques années [33-36].

L'ultrafiltration : La force motrice de la séparation est une différence de pression de part et d'autre de la membrane. Les masses des molécules retenues par l'Ultrafiltration sont comprises entre 1000 et 500000 Da selon la membrane choisie. Les constituants arrêtés peuvent être des bactéries, des macromolécules, des agrégats moléculaires ou des particules issus de divers procédés.

Les membranes d'ultrafiltration sont asymétriques, constituées d'une peau mince (couche filtrante) déposée sur un support qui peut être de même nature ou de nature différente.

L'ultrafiltration utilise des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 10 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes). Cette technique est utilisée pour l'élimination de macrosolutés présents dans les effluents ou dans l'eau à usages domestique, industriel, ou médicaux (figures 3 a, b, c).



**Figure II.2** : Photos de trois unités d'UF différentes : (a)- Unité d'UF avec des membranes céramiques, (b)- Unité d'UF avec des membranes spiralées, (c)- Unité d'UF avec des membranes tubulaires.

### 5.3. Poste de dessalement (OI)

#### 5.3.1. Constitution d'un système d'osmose inverse :

Le système d'osmose inverse, est constitué principalement de :

- Une pompe de mise à pression du liquide afin de lui donner la pression efficace de production qui doit être supérieure à la pression osmotique des modules ;
- Un module d'osmose inverse contenant la membrane ;
- Une vanne placée sur la canalisation rejet pour maintenir la pression de rejet à l'intérieur du module qui peut être dans certains cas par une turbine de récupération d'énergie ;
- Une ou plusieurs cuves de stockage ainsi que tous les appareils de mesures nécessaires (pression, débits, température, etc....)

#### 5.3.2. Fonctionnement d'un poste d'osmose inverse :

Le fonctionnement d'une telle installation peut se faire selon divers procédés :

- Procédé discontinu ou batch ;
- Procédé continu à recyclage ;
- Procédé continu ;

Dans le cas du dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres, seul le procédé continu est utilisé [37].

**5.4. Poste de traitement**

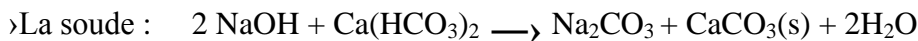
**5.4.1. Les traitements de neutralisation ou de reminéralisation des eaux**

Tous les procédés visant à réduire la concentration en CO<sub>2</sub> sont envisageables pour amener une eau à l'équilibre.

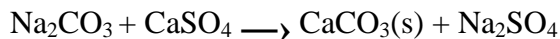
Hélas, un traitement de ce type ne peut avoir que des effets temporaires limités car le CO<sub>2</sub> est particulièrement labile et les variations de pression subies par l'eau lors de son transport dans le réseau peuvent contribuer à sa disparition. En outre, toute élévation de température va raviver le phénomène de précipitation en déplaçant la courbe d'équilibre.

**Décarbonatation**

Il a été observé que des eaux trop dures présentent un pH d'équilibre tellement bas qu'il ne permet pas la formation de carbonate de plomb et qu'il est impossible de garantir le seuil prévu par la limite de qualité de 10 µg/L pour le plomb lorsque le réseau est constitué de tuyauteries et accessoires comportant ce métal !... Il est donc préconisé d'effectuer une décarbonatation. Les réactifs utilisables sont :



Si l'eau a une dureté « permanente » suffisamment importante (liée aux chlorures ou aux sulfates), le carbonate de soude (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) peut être utilisé



Il peut être observé qu'avec la chaux, les baisses de TAC (2HCO<sub>3</sub>) et de TCa (1 Ca<sup>+2</sup>) sont équivalentes. Par contre avec la soude, l'abaissement du TCa est double (1 Ca<sup>2+</sup>) de celui du TAC (1 HCO<sub>3</sub>) mais il est compensé par une augmentation du TNa (remplacement de 1 Ca<sup>2+</sup> par 2 Na<sup>+</sup>). Autrement dit, avec la soude, le calcium est mieux éliminé que les bicarbonates mais l'eau est enrichie en sodium ! Par contre s'il est fait référence à la variation du TCa, il est produit deux fois moins de précipité de carbonate de calcium par addition de soude, mais l'eau est plus « salée ». Avant de choisir un réactif de traitement il conviendra :

- de calculer qu'elle sera la composition de l'eau obtenue,
- de vérifier que les concentrations ioniques ne sont pas modifiées de façon « négative » (indice de Larson).

**5.4.2. La désinfection :**

Bien que le perméat soit d'une qualité bactériologique excellente, il est nécessaire de le désinfecter avant distribution pour protéger l'eau contre toute pollution ultérieure lors de son stockage et de sa distribution.

La désinfection permet également :

- De pallier à toute fuite au niveau des membranes, qui pourrait apporter des éléments indésirables (bactéries, virus) ;
- D'oxyder les polluants pouvant être apportés par l'injection des solutions de produits de post-traitements.

La désinfection est assurée par injection de chlore sous forme d'hypochlorite de sodium ou d'une solution d'hypochlorite de calcium.

### 5.4.3. L'aération :

Le perméat peut présenter un déficit en oxygène, surtout si du bisulfate de sodium est employé. Il est donc nécessaire de l'aérer en ménageant une ou plusieurs chutes d'eau (la hauteur totale de chute pour atteindre la saturation est de 1,2m). Cette chute peut s'effectuer à l'entrée du bassin de stockage de l'eau à distribuer.

- La chloration de l'eau devra s'effectuer en aval de cette chute, afin de ne pas détruire le chlore [38].

## 6. Impacts environnementaux

Ils sont liés aux rejets de saumures concentrées et aux effets de différents additifs nécessaires au traitement. On en a vu quelques aspects plus hauts.

### 6.1. Evacuation de la saumure.

Il faut d'abord rappeler que les rejets sont soumis à la réglementation du protocole dit "Tellurique" de la Convention de Barcelone qui donne des limites des valeurs de nombreux types de rejet.

Bien entendu, l'effet du rejet dépend très largement des conditions physiques, chimiques et biologiques de la zone où les saumures sont évacuées. Par exemple, plusieurs études ont montré que *Posidonia* était très sensible à la salinité.

### 6.2. Rejet des produits de traitement

Il s'agit des résidus de corrosion, des produits d'ajustement du pH de l'eau, des produits anti tartres et des agents anti-salissures, des agents antimousses et des dérivés du chlore.

Leurs taux doivent être inférieurs à la norme. Un aspect à ne pas négliger est l'impact que pourrait avoir des installations pompant des grands débits dans des mers fermées (Mer Rouge, Golfe Persique). Les capacités des grosses usines devront probablement être ajustées en fonction du taux de renouvellement des eaux dans ces espaces marins restreints. [39]

## 7. Coût d'investissement et d'exploitation

Le coût du dessalement a baissé de moitié au cours des dix dernières années, avec cependant une remontée de prix récente, conséquence de la hausse de coût des matières premières, dont l'acier inox. Au plan économique, les coûts d'investissement sont de 1000 à 1200 €/m<sup>3</sup>/j pour la distillation en thermique MED, et de 900 à 1000 €/m<sup>3</sup>/j pour l'Osмосe Inverse. Le coût de l'eau saumâtre dessalée est nettement inférieur à celui de l'eau de mer dessalée. Il ressort, pour de grandes unités, à 0,2 à 0,3€/m<sup>3</sup> en eau saumâtre contre 0,4 à 0,6€/m<sup>3</sup> en eau de mer (Source Constructeurs, coûts vérifiés). L'effet de taille fait baisser le coût de l'eau douce obtenue, d'où l'intérêt de construire des installations de capacité importante, si la demande le justifie et en veillant aux impacts environnementaux. Il est également important de rappeler que le coût de mobilisation d'un mètre cube d'eau conventionnelle est compris entre 0,1 et 0,3 €/m<sup>3</sup> et celui de la réutilisation des eaux usées entre 0,3 et 0,5 €/m<sup>3</sup> 4. L'eau dessalée pour de grandes unités coûte donc environ 2 fois plus que l'eau conventionnelle et 1,5 fois plus que l'eau réutilisée, mais avec des grandes différences selon les situations de terrain. A capacité identique, le recyclage des eaux usées est nettement moins cher que le dessalement d'eau de mer (l'énergie dépensée est réduite au moins de moitié) [40].

# Chapitre III : Séparation Membranaire

---

---

### 1. Historique des membranes

Les XVII et XVIII siècle ont vu les grandes expérimentations prendre place dans les domaines de la chimie, de la physique et de la biologie. Le français L. Pasteur (1822–1895) utilise les membranes dans ses travaux de biologie, tandis que le prix Nobel 1920, W. Nernst (1864–1941) définit en 1890 le système membranaire.

Après la guerre 1939-1945, commence le développement industriel des membranes. Au début des années 1950, C.E Reid étudie l'osmose inverse. Vers la fin de cette décennie, Loeb et Sourirajan fabriquent la première membrane en acétate de cellulose asymétrique [41]. Sourirajan interpréta, pour ce faire, la loi d'excès de soluté de Gibbs. À la fin des années 1960, la recherche s'intensifie du côté des polyamides comme matériaux de remplacement. Aux États-Unis, les modules de type spiralé et de type fibres creuses apparaissent vers les années 1970. À la fin de cette décennie et au début des années 1980, les membranes composites, puis inorganiques, voient le jour. De 1982-1987 les Japonais investissent dans un programme national de recherche sur les membranes [42].

### 2. Généralités sur les procédés membranaires

Les procédés à membrane sont utilisés pour séparer et surtout concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution et/ou pour séparer des particules ou des micro-organismes en suspension dans un liquide ; ces procédés sont basés sur la mise en œuvre des membranes permselectives [43,44].

Les séparations par membranes sont fondées sur le concept de déplacement sélectif de certains composants à travers une membrane, composant sur lequel, il faut appliquer une force [44-46].

La majorité des opérations de séparation et/ou de concentration met en œuvre la filtration

Tangentielle ; ou le fluide traité circule tangentiellement à la membrane (filtre) pour limiter l'accumulation de la matière occasionnée par le flux transversal généré par le gradient de pression [47,44].

Les composants de flux d'alimentation qui passent à travers la membrane sont connus sous le nom de "perméat"; le fluide retenu, appelé "retentât", constitue le flux contenant les composants qui ne peuvent pas traverser la membrane [48].

Le terme technologie membranaire est un terme générique regroupant différents procédés de séparation. Ces procédés sont du même type, car dans chacun d'eux une membrane est utilisée. Les membranes sont de plus en plus utilisées pour des procédés de traitements ; et les raisons de ce formidable succès industriels sont :

- Leur faible consommation énergétique (micro et ultrafiltration tangentielle 1 à 15 KW/h/m<sup>3</sup> de perméat ; nanofiltration 3 à 7 KW/h/m<sup>3</sup> et osmose inverse 940 KW/h/m<sup>3</sup>) [44], et leur relative bonne sélectivité [49], c'est pour cette raison que les secteurs de l'environnement et de traitement de l'eau ont adopté ces dernières années de telles technologies [50].

- La meilleure qualité des produits, la membrane est un filtre physique, elle fonctionne sans ajout de produit chimique et constitue une barrière absolue pour beaucoup des Composés [51].

- La facilité d'intégration industrielle et la fiabilité [44].

- Une technologie propre intervient à titre préventif en amont dès le stade de la production, ce qui la différencie de l'opération classique de dépollution qui intervient en aval de ce processus (traitement des eaux [47], des effluents gazeux, et solides). L'objectif est de réduire les consommations d'eau, de matières premières, et d'énergie, afin de générer le minimum d'effluents et de déchets, donc de faire des économies, ce qui conduit à des temps de retours sur investissements plus court.

- L'innovation en matière de produits et de procédés répondant à une demande de variétés et de spécificité par le consommateur [44].

Enfin, selon Proot et al, 2001, les technologies propres utilisées dans l'industrie permettent de réduire significativement le niveau d'impact sur l'environnement et l'importance des traitements de dépollution. Une technologie propre peut être une optimisation, une modification ou un changement radical de procédé. [52]

### 3. Osmose inverse

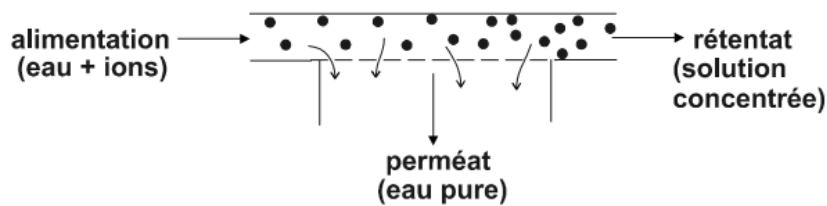
#### 3.1. Définition

Une membrane semi-sélective est une membrane permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres ou plus généralement en favorisant certains par rapport à d'autres.

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression.

L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit  $Q_0$ ) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- une partie (débit  $Q_p$ ) passe à travers la membrane (perméat)
- une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat ou retentat) et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.



La fraction de débit qui traverse la membrane est le taux de conversion  $Y$  défini par :  $Y = Q_p / Q_0$

Le flux de matière intéressant est suivant les cas le perméat (cas de la déminéralisation d'eau) ou le concentrat (concentration de produits alimentaires). Le débit de la solution d'alimentation peut atteindre une valeur 500 fois supérieure à celle du débit de perméat.

Lors d'une filtration classique la suspension à traiter est amenée perpendiculairement au milieu filtrant ; l'accumulation de matières forme une couche qui diminue la porosité et ainsi le débit de filtration.

L'écoulement tangentiel permet au contraire de limiter l'accumulation sur la membrane des diverses espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière.

La sélectivité d'une membrane est définie par le taux de rejet  $R$  (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir :

$$R = \frac{C_0 - C_p}{C_0} = 1 - \frac{C_p}{C_0}$$

Où  $C_0$  est la concentration de l'espèce à retenir dans la solution et  $C_p$  est la concentration de la même espèce dans le perméat.

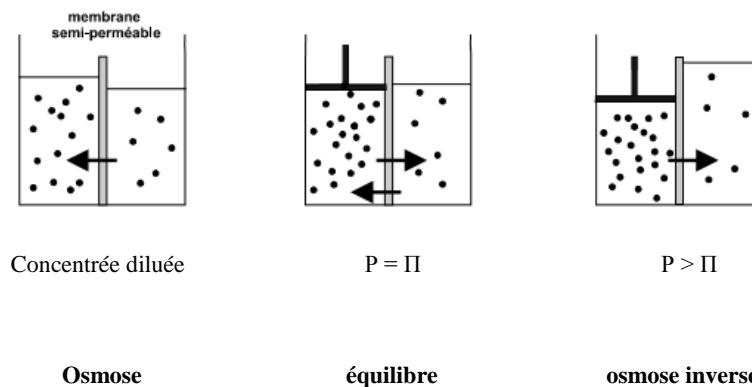
L'osmose inverse utilise des membranes denses sans porosité qui laissent passer le solvant et arrêtent les ions.

3.2.Principes de l'osmose inverse

3.2.1. Pression osmotique:

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler: cette pression est nommée la pression osmotique P (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse.



La pression osmotique des électrolytes est donnée par la relation suivante:  $\Pi = \dot{I}.C.R.T$

Où i est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté, C la concentration molaire du soluté ( $\text{mol.m}^{-3}$ ), T la température (K) et R la constante des gaz parfaits ( $8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ).  $\Pi$  est exprimée en pascals. Cette relation est valable pour des solutions diluées.

Exemple : la pression osmotique de l'eau de mer (3 % en masse de chlorure de sodium) à 25 °C est environ de 25 bars.

3.2.2. Mécanisme diffusionnel :

En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation – diffusion : toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent à travers la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Le transfert ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

Le flux massique  $J_{\text{solvant}}$  ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) de solvant et le débit volumique de solvant ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) traversant la membrane sont donnés par les relations :

$$J_{\text{solvant}}=A*(\Delta P-\Delta \Pi) \text{ et } Q_p=\frac{A*S}{\rho} *(\Delta P-\Delta \Pi)$$

Où A est la perméabilité de la membrane au solvant ( $\text{m}^{-1}.\text{s}$ ), S la surface de la membrane ( $\text{m}^2$ ),  $\rho$  la masse volumique du solvant ( $\text{kg.m}^{-3}$ ),  $\Delta P$  la différence de pression de part et d'autre de la membrane et  $\Delta \Pi$  la



différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.  $\Delta\Pi$  est la pression osmotique du flux d'alimentation si le perméat est une solution très diluée. Les pressions sont exprimées en pascals.

Le flux massique  $J_{\text{soluté}}$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de soluté traversant la membrane est donné par la relation :

$$J_{\text{soluté}} = B \cdot (C_0 - C_p)$$

Où  $B$  est la perméabilité moyenne de la membrane au soluté ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $C_0$  et  $C_p$  sont respectivement la concentration en soluté de l'alimentation et du perméat de part et d'autre de la membrane ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

On montre donc que le flux de solvant est proportionnel à la pression efficace  $\Delta P - \Delta\Pi$  tandis que le flux de soluté en est indépendant. On montre également que le taux de rejet d'une membrane augmente lorsque la pression efficace augmente.

La sélectivité des membranes d'osmose inverse pour les différentes espèces chimiques dépend de leur possibilité de solvatation par l'eau. Les espèces les plus fortement solvatées ont un taux de rejet toujours plus important. On peut en tirer les indications suivantes :

- les ions sont mieux retenus que les molécules.
- les protéines ont une rétention plus faible pour des pH proches du point isoélectrique.
- pour les acides faibles, le taux de rejet est élevé lorsque le pH est supérieur au pK.
- pour des ions de valence différente, le taux de rejet croît avec la valence des ions.
- pour des ions de même valence, le taux de rejet diminue si leur masse molaire augmente.

### 3.3. Condition de fonctionnement

Au niveau industriel, les modules employés sont majoritairement spiralés de taille 4040 ou 8040 et présentent des surfaces membranaires allant de 7 à 3150  $\text{m}^2$ . Le critère d'efficacité majoritairement étudié est la rétention des sels (Total Dissolved Solids TDS, conductivité) avec de très bons taux de rétention (98 à 99,6%). L'abattement de la DCO ou du carbone organique total (COT) fait aussi partie des finalités de l'osmose inverse, mais dans une moindre mesure au niveau industriel. Ici encore les taux de rétention sont bons (98,9100%). La gamme de pression utilisée est très large, de 9 à 60 bars, car elle dépend énormément de la pression osmotique de l'alimentation. Du fait de la sensibilité des membranes à la chaleur, la gamme de température est-elle assez restreinte (15 à 35°C). Le pH est parfois ajusté de manière à obtenir de meilleures performances. Le taux de conversion est très variable, de 10 à 94% et dépend beaucoup de la composition de l'alimentation. Le débit d'alimentation, lui, dépend de l'application et de la surface membranaire mise en jeu. Il varie donc dans une large gamme, de 10 à 44  $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Les densités de flux de perméat ont des valeurs classiques, dépendant de la pression transmembranaire, comprises entre 13 et 27  $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2$ .

Au niveau prospectif, les pilotes employés vont du petit pilote de laboratoire à membranes planes (de 20 à 360  $\text{cm}^2$ ) au pilote à module(s) spiralé(s) de taille variable. Majoritairement, ce type d'études est réalisé avec des pilotes munis d'un module 2540 (2,3  $\text{m}^2$  en moyenne) mais on trouve également des études avec un ou plusieurs modules 4040 (7  $\text{m}^2$  environ). Dans ces cas, l'abattement de la DCO devient un enjeu important, ce qui montre l'intérêt de plus en plus élevé qui est porté à ce type de séparation (molécules organiques). Les taux de rétention obtenus sont parfois moins bons qu'au stade industriel : de 90 à 99,8% en moyenne pour la DCO avec ponctuellement des valeurs assez mauvaises (50%) et 72 à 99,5% pour les sels avec également des valeurs à 50%. Les taux de conversion, eux, sont assez élevés, de 60 à 95%. Comme au niveau industriel, les pressions varient de 15 à 70 bars et les températures de 15 à 40°C. On trouve quelques essais

d'osmose inverse basse pression ( $P < 10$  bar), mais ces exemples sont encore assez rares. Les débits d'alimentation varient de  $0,1$  à  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Les flux obtenus sont très variables également puisque parfois des problèmes inattendus de colmatage peuvent survenir. Ils varient entre  $5$  et  $50 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  avec des valeurs exceptionnelles inférieures à  $1 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  [53].

### 3.4. Modèle phénoménologique de transfert de matière

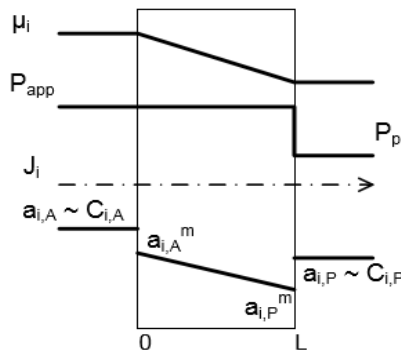
#### 3.4.1. Grandeurs de transfert caractéristiques

Le transport d'un solvant et d'un soluté sous l'action d'un gradient de pression à travers une membrane dense peut être décrit par le modèle de transfert par solubilisation-diffusion [54]. Dans ce cas, le transfert résulte de la combinaison d'un partage interfacial entre une solution et la couche active de la membrane suivi de la diffusion à travers cette couche (Figure 05).

Ce modèle phénoménologique est commodément appliqué pour décrire le transfert d'eau et de solutés à travers une membrane OI dense, partiellement chargée [55]. Il établit des grandeurs de transfert caractéristiques descriptives des réelles performances de sélectivité de ces membranes, dépendant d'interactions physico-chimiques et de propriétés en solution et au sein de la membrane.

A l'état stationnaire, le flux de matière perméant par solubilisation-diffusion peut être exprimé par la 1ère forme de la loi de Fick, en suivant la théorie de la thermodynamique irréversible (équation III.1). Comme exprimée dans la bibliographie, la contribution de la convection au transfert est négligeable [55,56].

Les équations de transfert sont, dans un cadre simplifié, proposées dans le cas d'une solution binaire composée d'un soluté, référé par l'indice  $s$  et d'un solvant, l'eau



**Figure III.1 :** Profils du potentiel chimique, de la pression et de l'activité (Concentration molaire) d'une espèce perméant par diffusion sous l'action d'un gradient de pression.

$$J_{i,x} = - \frac{D_i^m C_{i,0}^m}{RT} \frac{\partial \mu_{i,x}^m}{\partial x} \quad (\text{III.1})$$

Où  $J_{i,x}$  est le flux transféré de l'espèce  $i$ , eau ou soluté dans cet exemple,  $\mu'_{i,x}^m$  (dérivée partielle en  $x$ ) est le gradient de potentiel chimique à travers la membrane ( $m$ ),  $D_i^m$  est le coefficient de diffusion moyen à travers la membrane,  $C_{i,0}^m$  est la concentration molaire de l'espèce  $i$  en entrée de la membrane,  $R$  est la constante des gaz parfaits et  $T$  est la température absolue.

En thermodynamique chimique, le potentiel chimique est exprimé par l'équation III.2 :

$$\mu_i^M = (T, P, C_i^m) = \mu_i^0(T, P^0) + RT \ln(a_i^m) + \bar{V}_i^m(P - P^0) \quad (III.2)$$

Où :

$\mu^0$  est le potentiel chimique de l'espèce  $i$  à la pression de référence  $P^0$ ,  $a_i^m$  est l'activité de l'espèce  $i$  au sein de la membrane et  $\bar{V}_i^m$  est le volume molaire de l'espèce  $i$  au sein de la membrane, indépendant de la pression

A ce stade, certaines hypothèses, simplificatrices et expérimentalement vérifiées, sont émises. En supposant que les milieux, au cœur de la solution et au sein de la membrane, sont à l'équilibre côté alimentation et perméat, il y a donc pour chaque espèce  $i$  égalité des potentiels chimique, tel que :  $\mu_{i,A} = \mu_{i,A}^m$ , côté alimentation et  $\mu_{i,p} = \mu_{i,p}^m$ , côté perméat.

Par ailleurs, le modèle de solubilisation-diffusion suppose que la pression est constante à travers la membrane et égale à la pression appliquée en solution  $P_{app}$ . Le volume molaire de l'espèce  $i$  au sein de la membrane est considéré égal au volume molaire de cette espèce en solution,  $\bar{V}$  est de ce fait constant au sein de la membrane. En remplaçant l'activité de l'eau en solution  $a_{i,A}$  et  $a_{i,p}$  par son expression en fonction de la pression osmotique,  $a_{i,A}^m$ , et  $a_{i,p}^m$  sont reliés par l'équation III.3 :

$$\frac{a_{i,p}^m}{a_{i,A}^m} = \exp \left[ -\frac{\bar{V}}{RT} (P_{app} - \Delta\pi) \right] = \exp \left[ -\frac{\bar{V}}{RT} (\Delta P) \right] \quad (III.3)$$

Où la pression motrice  $\Delta P$ , force agissante pour le transfert d'eau qui correspond à la différence entre la pression appliquée moyenne  $P_{app}$  et la pression osmotique transmembranaire  $\Delta\pi$ .

De ces hypothèses, il est également possible d'approximer le gradient du potentiel chimique de l'espèce  $i$  au sein de la membrane par le gradient de  $(RT \ln a_{i,x}^m)$ . En combinant les équations III.1, III.2 et III.3, le flux transféré sur l'épaisseur de la membrane, de 0 à  $L$ , peut être réécrit par l'équation suivante :

$$J_{i,m} = \frac{D_i^m C_i^m}{L} \ln \left[ \exp \left[ -\frac{\bar{V}}{RT} (\Delta P) \right] \right] \quad (III.4)$$

Cette expression devient, ainsi :

$$J_{i,m} = \frac{D_i^m C_i^m}{L} * \frac{\bar{V}}{RT} * \Delta P \quad (III.5)$$

La concentration de l'espèce  $i$  au sein de la membrane est liée à la concentration de cette espèce en solution, en surface de la membrane par le coefficient de partage  $K_i$ .

Dans le cas d'eau ultrapure (eau UP),  $C_{eau}$  est considérée égale à la masse volumique de l'eau. Le transfert d'eau par diffusion sous l'action d'un gradient de pression s'écrit alors sous la forme plus connue (III.6) [55]:

$$J_{pem,s} = \frac{P_{eau}}{L} * \frac{\rho_{eau} \bar{V}}{RT} * \Delta P = A_s (P_{app} - \Delta\pi) \quad (III.6)$$

Dans cette équation le flux de perméation  $J_{perm,s}$  ( $m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) mesuré durant l'osmose inverse d'une solution aqueuse est lié à  $P_{eau}$  ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ), la perméabilité à l'eau, propriété intrinsèque de la couche active de la membrane, fonction du coefficient de partage  $K_{eau}$  ( $g_{eau} \cdot cm^{-3}$  de polymère hydraté /  $g_{eau} \cdot cm^{-3}$  en solution) et

## Chapitre III : Séparation Membranaire

du coefficient de diffusion moyen de l'eau à travers la membrane  $D_{\text{eau}}^m$ . La perméabilité à l'eau de la membrane  $A_s$  ( $\text{m.s}^{-1}.\text{bar}^{-1}$ ), pendant l'osmose inverse d'un soluté, est une grandeur de perméabilité couramment communiquée par les fabricants de membrane. Elle dépend notamment de l'épaisseur de la couche active  $L$  (m) et du soluté perméant. Le produit de la masse volumique  $\rho_{\text{eau}}$  et du volume molaire de l'eau à 20 °C  $V$  ( $0,018 \text{ L.mol}^{-1}$ ) correspond à la masse molaire de l'eau  $M_{\text{eau}}$  ( $\text{kg.mol}^{-1}$ ).

Le transfert d'un soluté est régi principalement par le gradient de concentration. En supposant que l'activité de l'eau puisse être exprimée par la concentration molaire, dans les plages de concentration considérées en dessalement, et en combinant les équations III.1 et III.2, le flux de soluté est exprimé par la relation suivante, la forme 1<sup>ère</sup> de la loi de Fick :

$$J_s = \frac{P_s}{L} \Delta C_s = B_{\text{app}} (C_m - C_p) \quad (\text{III.7})$$

Le flux transféré de soluté  $J_s$  ( $\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ) est lié à  $P_s$  la perméabilité intrinsèque du soluté ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ), dépendant de façon analogue du coefficient de diffusion moyen du soluté  $D_s^m$  et du coefficient de partage  $K_s$ , et de  $\Delta C_s$  ( $\text{mol.L}^{-1}$ ), le gradient de concentration transmembranaire du soluté, force motrice pour le transfert de soluté, correspondant à la différence entre la concentration de soluté en surface de la membrane  $C_m$  et la concentration de soluté dans le perméat  $C_p$ . Le flux de soluté peut être dans une première approximation lié à la perméabilité apparente de soluté  $B_{\text{app}}$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ). Cette grandeur dépend comme  $A_s$  de l'épaisseur de la couche active de la membrane  $L$  (m) et des conditions opératoires de filtration, le flux de perméation  $J_{\text{perm},s}$  et la rétention à la membrane du soluté  $R_m$  (équation III.9).

$$R_m = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (\text{III.8})$$

$R_m$  traduit donc la capacité de réjection apparente d'une membrane, propriété dépendant de la nature du soluté et des conditions de perméation, influençant notamment le phénomène de polarisation de concentration.

La perméabilité au soluté apparente  $B_{\text{app}}$  peut être exprimée en fonction de  $J_{\text{perm},s}$  et de  $R_m$  selon l'équation suivante, en appliquant le principe de conservation de la masse :

$$B_{\text{app}} = J_{\text{perm},s} \frac{1-R_m}{R_m} \quad (\text{III.9})$$

Cette équation reflète le transfert moyen d'un soluté à travers une membrane par osmose inverse. Il apparait de cette équation, que le passage en sel diminue, ou la concentration finale dans le perméat diminue, lorsque  $P_{\text{app}}$  augmente [57].

### 3.4.2. Polarisation de concentration

La polarisation de concentration est un phénomène inhérent au sein de membranes sélectives. Il correspond à l'accumulation progressive de matière ou concentration en surface de matières retenues. Elle engendre généralement une augmentation de la pression osmotique et donc une diminution du flux de perméation lorsque la pression appliquée moyenne est constante et une diminution de la rétention observée [58].

La rétention observée est la grandeur de rétention déterminée directement par la mesure de la concentration au sein du retentât,  $C_R$ , et du perméat :

$$R_{obs} = 1 - \frac{C_p}{C_R} \quad (III.10)$$

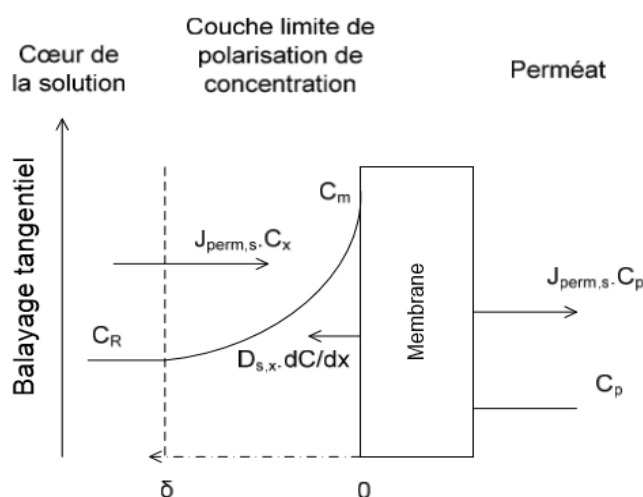
La rétention est corrigée pour obtenir  $R_m$  en tenant compte de la polarisation de concentration.

Le profil de concentration du soluté à travers la couche limite présente à la surface de la membrane (définissant la polarisation de concentration) peut être décrit par le modèle du film. Dans ce modèle, le coefficient de transfert de matière ( $k$ ) est relié au flux de perméation  $J_{perm,s}$  et aux concentrations  $C_m$ ,  $C_p$  et  $C_0$  selon l'équation III.11.

$$FC = \frac{C_m - C_p}{C_R - C_p} = e^{\frac{J_{perm,s}}{k}} \quad (III.11)$$

Le coefficient de transfert de matière au sein de la couche limite de polarisation de concentration dépend, selon le modèle du film, du coefficient de diffusion du soluté et de l'épaisseur de la couche limite ( $\delta$ ).

Le module de polarisation de concentration (FC) définit le taux de concentration du soluté en surface de la membrane. Comme pour  $k$ , FC dépend de conditions hydrodynamiques en surface de la membrane, conditionnées principalement par la vitesse de balayage tangentiel, des caractéristiques géométriques de l'enceinte au sein de laquelle l'écoulement est réalisé, mais également du flux de perméation. Un flux de perméation plus important modifie l'équilibre de flux de transfert à travers la couche limite de polarisation de concentration et induit une accumulation plus importante en surface de la membrane (figure 06).



**Figure III.2 :** Représentation schématique du profil de concentration d'un soluté et de son accumulation en surface d'une membrane sélective au sein de la couche limite de polarisation de concentration.

Le coefficient de transfert est de manière générale déterminé à partir de relations empiriques reliant les nombres adimensionnels de Sherwood ( $Sh$ ), Reynolds ( $Re$ ) et le nombre de Schmidt ( $Sc$ ) sous la forme suivante :

$$Sh = \frac{k d_h}{D_s} = \alpha_1 Re^{\alpha_2} Sc^{\alpha_3} \quad (III.12)$$

Dans cette équation  $d_h$  est le diamètre hydraulique et  $D_s$  est le coefficient de diffusion de Stokes du soluté dans une solution aqueuse et  $\alpha_1$  est une constante dépendant de paramètres hydrodynamiques et géométriques spécifiques.

## Chapitre III : Séparation Membranaire

Ces relations sont généralement établies pour des régimes hydrodynamiques et des géométries spécifiques. Le comportement hydrodynamique présent dans des modules industriels de filtration a été étudié afin d'établir en particulier une relation liant le diamètre hydraulique aux caractéristiques géométriques des espaceurs placés en surface de la membrane [59]. Plusieurs corrélations (du nombre de Sherwood) ont été proposées dans la bibliographie. Les principales sont répertoriées dans le tableau suivant :

Tableau 3.1. Principales – Coefficients  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  (équation III.12)

Régime	$\alpha_1$		$\alpha_2$	$\alpha_3$	conditions	Références
	Constante	$(d_H/L)^x$				
Laminaire	0.664	0.33	0.5	0.33	$L < 0.029 d_H Re$	Grober
Laminaire	1.86	0.33	0.33	0.33	$L > 0.029 d_H Re$	Graetz- Lévêque
Turbulent	0.023	-	0.875	0.25	$1 < Sc < 1000$	Deissler
Turbulent	0.0096	-	0.91	0.35	$Sc > 1000$	Harriot-Hamilton
Avec espaceur	0.065	-	0.875	0.25	$Sc < 1000$ $100 < Re < 1000$ $2 * 10^{-3} < d_H/L < 4 * 10^{-3}$	Schock-Miquel

Sutzkover et al, 2000 proposent une approche afin de déterminer la concentration de soluté à la membrane. Dans leur étude portant sur les effets de la polarisation de concentration durant l'osmose inverse de chlorure de sodium, les auteurs ont défini une relation liant le facteur de polarisation de concentration au flux de perméation et aux pressions osmotiques en supposant que la perméabilité à l'eau (A), une propriété du polyamide aromatique déterminée par l'équation III.13, n'est pas affectée par la présence de ce sel, notamment par adsorption ou gonflement de la structure. Ceci est acceptable pour des membranes sélectives au sein desquelles la viscosité de la solution aqueuse peut être prise comme égale à celle de l'eau UP

$$J_{perm,eau} = \Delta P - \frac{1}{R_{hyd} \mu_{eau}} = \Delta P - A \quad (III.13)$$

Le flux de perméation  $J_{perm,eau} (m.s^{-1})$  est mesuré durant la filtration d'eau ultra pure. La pression motrice  $\Delta P$  est égale dans ce cas à la pression appliquée moyenne  $P_{app}$ . A est liée à la résistance hydraulique  $R_{hyd} (m^{-1})$ , propriété de la couche active, et à  $\mu_{eau}$  la viscosité dynamique de l'eau (Pa.s).

La pression osmotique en surface de la membrane  $\Pi_m$  peut donc être déterminée en combinant les équations III.6 et III.13 :

$$\pi_m = \pi_p + P_{app} \left( 1 - \frac{J_{perm.s}}{J_{perm,eau}} \right) \quad (III.14)$$

La concentration du soluté à la membrane peut être déduite de la pression osmotique  $\Pi_m$  à partir de la relation de Van't Hoff.

### 3.4.3. Prédiction de la sélectivité à partir de grandeurs phénoménologiques

Les grandeurs phénoménologiques,  $R_m$  et le nombre adimensionnel de Péclet au sein de la couche limite de polarisation de concentration et au sein de la membrane, peuvent être utilisées pour prédire le taux de rétention à partir des conditions de transfert au sein de la couche limite de polarisation de concentration et de la membrane. Le nombre adimensionnel Péclet, pour la couche limite, est écrit sous la forme suivante :

$$Pe_{cl} = \frac{J_{perm,s} \delta}{D_{cl}} = \frac{J_{perm,s}}{k} \quad (III.15)$$

Le Pe au sein de la membrane est écrit selon l'équation I.17bis

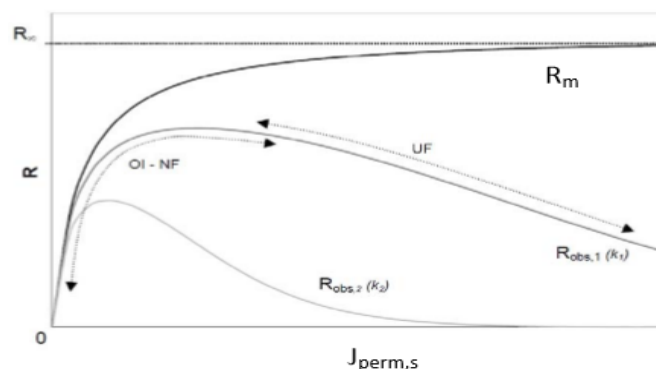
$$Pe_{mem} = \frac{J_{perm,s} L}{D_{mem}} \quad (III.15bis)$$

La rétention observée peut être réécrite en fonction de ces trois grandeurs, exprimant l'équilibre entre le transfert de soluté convectif et diffusif sur la rétention observée :

$$R_{obs} = 1 - \frac{C_p}{C_R} = \frac{1}{1 + \frac{1-R_m}{R_m} \frac{e^{Pe_{cl}}}{1 - e^{-Pe_{mem}}}} \quad (III.16)$$

A de faibles flux de perméation, le nombre de Péclet est  $\ll 1$ . Le transfert est essentiellement diffusif au sein de la membrane et de la couche limite de polarisation de concentration. Dans ces conditions, la rétention observée est faible, essentiellement en raison du flux diffusif au sein de la membrane, et tend vers 0 pour un flux de perméation nul. Lorsque le flux de perméation augmente la rétention observée augmente de façon monotone continue (Figure 07). Au-delà d'une certaine valeur du Pe, la variation de  $R_{obs}$  est inversée avec l'augmentation de  $J_{perm,s}$ , en raison de l'augmentation de la concentration de  $C_m$  et de  $C_p$ , induisant ainsi une diminution de  $R_{obs}$ . La figure 07 montre par ailleurs, que l'effet de la polarisation de concentration influe d'autant plus que le coefficient de transfert  $k$  est faible ou que  $Pe_{cl}$  est élevé.

La figure 07 montre que  $R_m$  tend vers une asymptote, correspondant à une rétention absolue  $R_\infty$ , lorsque le flux de perméation est très important, résultat du modèle de solubilisation diffusion.

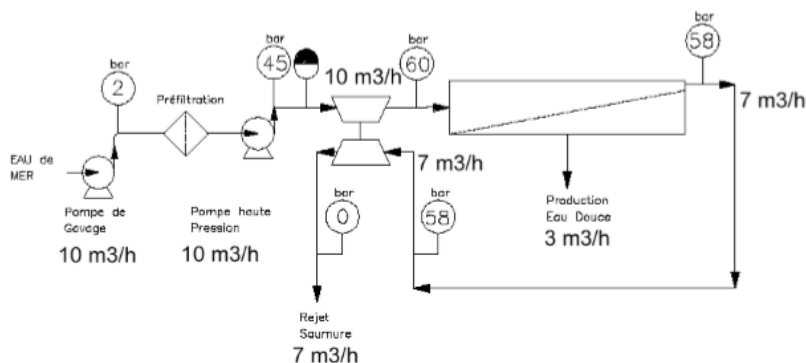


**Figure III.3 :** Rétention intrinsèque et observée en fonction du flux de perméation.

### 3.5. Récupération d'énergie

#### 3.5.1. Installation avec récupération sur un turbo compresseur

Les grosses installations (Unités au-delà de 150 à 200 tonnes/jour) utilisent des systèmes à turbines qui remplace la vanne de régulation et permettent de récupérer 30% à 35% de l'énergie perdue au rejet. Ces unités fonctionnent sur le schéma de principe suivant :



**Figure III.4 :** Installation avec turbocompresseur

Le rejet de saumure ( $7 \text{ m}^3/\text{h}$  à 58 bars) est envoyé sur la turbine réceptrice d'un turbocompresseur fonctionnant à l'eau de mer. Cette turbine joue le rôle de la vanne de pression en créant une perte de charge sur le rejet de saumure, l'énergie ainsi récupérée permettant d'élever la pression de l'eau de mer au refoulement de la pompe HP, de 15 bar environ sur un débit de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ . (Le rendement du turbo est donc d'environ 35%: transformation de  $7 \text{ m}^3/\text{h}$  à 58 bar vers  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  à 15 bar). Dans ce cas, la pompe haute pression ne doit plus délivrer que  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  sous 45 bars soit une économie énergétique de 25%

Dans ces nouvelles conditions, le bilan énergétique de l'installation devient:

Pompe de Gavage :  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  à 2 bar = 2 kW

Pompe Haute pression :  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  à 45 bar = 15 kW

Soit 17 kW pour une production de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  et donc un ratio de 5,66 kWh/m<sup>3</sup>

Compte tenu du coût élevé des turbo compresseur compatibles eaux de mer, ce type d'équipement n'est rentable que sur des installations de capacité plus élevée, au moins  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ .



**Figure III.5 :** Turbo sur une unité SH62-918 pour

un débit eau de mer de  $18 \text{ m}^3/\text{h}$ .



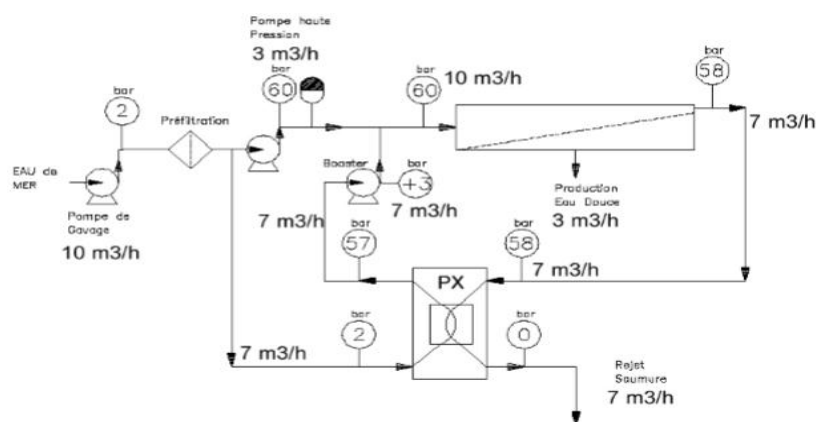


**Figure III.6 :** Osmoseur.SSH62-928 équipé d'un turbo

### 3.5.2. Installation avec échangeur de pression (PX)

Depuis deux ans, un nouveau concept de récupération fait ses preuves sur les installations de dessalement par osmose inverse et permet de récupérer 95% de l'énergie du rejet de saumure, c'est le système d'échangeur de pression PX (Pressure Exchanger) de la compagnie américaine ERI. Le schéma de l'installation est fortement modifié par rapport à un système standard, le principe de base est de transmettre la pression de la saumure à la même quantité d'eau de mer nouvelle entrant dans le circuit et ainsi de réduire la taille de la pompe haute pression à un débit correspondant non plus au débit d'eau de mer (10 m<sup>3</sup>/h dans notre exemple) nécessaire au bon fonctionnement des membranes, mais seulement au débit de perméat (Volume d'eau douce produite; 3 m<sup>3</sup>/h dans l'exemple.) entraînant ainsi un gain important de puissance.

Le système fonctionne suivant le nouveau schéma:



**Figure III.7 :** Installation avec échangeur de pression PX

La pompe de gavage fournit à l'installation la même quantité d'eau de mer (10 m<sup>3</sup>/h) à 2 bar, mais cette fois, seulement 3 m<sup>3</sup>/h sont dirigés vers une pompe HP trois fois plus petite. Le complément de 7 m<sup>3</sup>/h est envoyé vers l'échangeur de pression PX qui transmet la pression de 58 bars des 7 m<sup>3</sup>/h de saumure à cette nouvelle eau de mer. L'eau de mer montée à 57 bar sort de l'échangeur, récupère sur un booster en ligne les 3 bars qui lui manque pour rejoindre l'eau de mer sortant de la pompe haute pression et c'est bien un débit de 10 m<sup>3</sup>/h à 60 bar qui entre dans le module d'osmose inverse, donc dans les mêmes conditions que le schéma standard. La production est donc identique à savoir 3 m<sup>3</sup>/h d'eau douce. La différence de 7 m<sup>3</sup>/h se retrouve à la sortie saumure sous 58 bar et revient vers l'échangeur pour fournir l'énergie à l'eau de mer. La saumure, après avoir cédé sa pression sort de l'échangeur vers le rejet à pression atmosphérique.

Le nouveau bilan énergétique de l'installation devient:

Pompe de Gavage :  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  à 2 bar = 2 kW

Pompe Haute pression :  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  à 60 bar = 6 kW

Booster:  $7 \text{ m}^3/\text{h}$  à 3 bar = 1,5 kW

Soit 9,5 kW pour une production de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  et donc un ratio de  $3,2 \text{ kWh}/\text{m}^3$  [60].



**Figure III.8 :** Echangeur type PX 180 sur l'une des unités SLCE de 500 m<sup>3</sup>/jour de l'installation d'Anaux sur l'île de Bora-Bora

### 3.6. Configuration des modules

#### 3.6.1. Module plan ou filtre-presse

Cette configuration dérivée des filtres-presses est constituée d'un empilement de membranes sous forme de feuilles. Les membranes sont disposées parallèlement les unes aux autres et sont séparées par des grilles ou support.

#### 3.6.2. Modules spirales (SW)

C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du retentât.

#### 3.6.3. Modules tubulaires

Ils sont constitués d'une ou plusieurs membranes inorganiques ou organiques de forme tubulaire, ayant des diamètres internes entre 4 et 25 MM. Plusieurs tubes individuels peuvent être placés dans un module. Le module multicanaux (monolithes) fait d'assemblage de tubes parallèles dans une même matrice représente la forme optimisée actuelle.

#### 3.6.4. Modules fibres creuses

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres dont le diamètre est de l'ordre de 1 MM. Les faisceaux ainsi obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) et l'alimentation. L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne-externe) ou à l'extérieur (externe-interne) des fibres creuses, selon que la peau active est à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse. [61]

### 3.7. Avantage

Les techniques membranaires présentent de nombreux avantages par rapport aux autres procédés de traitement des eaux salines, en particulier la distillation par bouilleur, l'électrodialyse ou l'échange d'ions.

### 3.7.1. Avantages des techniques membranaires

- Simplicité d'exploitation de l'unité de traitement (technique "presse-bouton")
- Peu ou pas de produits chimiques, d'où absence de sous-produits engendrés par le traitement
- Meilleure qualité de l'eau traitée. (Turbidité de l'eau produite toujours inférieure à 0,1 NTU)
- Stérilisation totale d'où une simple désinfection de sécurité après filtration

### 3.7.2. Avantages en exploitation

Le matériel est compact léger et simple d'installation : seuls sont nécessaires les raccordements sur canalisations d'alimentation et de rejet, ainsi que l'alimentation électrique. Le concept modulaire offre très facilement la possibilité d'une extension ultérieure en cas d'augmentation du besoin en eau à traiter. Les manœuvres sont quasi inexistantes, toutes les commandes de l'osmoseur sont accessibles par pression sur un bouton situé sur le tableau de commande. Une grande souplesse est apportée par le temps de réponse très bref d'un osmoseur : moins de 3 minutes sont nécessaires après un démarrage pour obtenir de l'eau potable.

### 3.8. Comparaison avec d'autres procédés

Le principe de l'osmose inverse est d'ordre mécanique de conception « tout ou rien » : la membrane produit de l'eau de parfaite qualité ou ne produit pas. Contrairement aux autres procédés de distillation et surtout à l'électrodialyse ou l'échange d'ions l'osmose inverse permet d'obtenir des eaux de qualité constante, très pures et très sûres, même en cas de fluctuations sur la qualité de l'eau brute.

Comparativement au bouilleur il ne nécessite pas de changement d'état, et donc pas d'échauffement : La seule source d'énergie nécessaire est l'électricité, utilisée pour entraîner les pompes. La consommation électrique est faible. Seul le circuit haut pression doit résister à une pression de 70 bars. Les matériaux composites permettent d'y parvenir sans alourdir le système. L'utilisation de matériaux synthétiques permet de garantir la tenue parfaite à la corrosion. Seules les pièces de structure et les raccords sont en inox 316L ou 316 Ti. L'appareil est compact et léger. Les membranes d'osmose inverse éliminent parfaitement tous types de particules, colloïdes, bactéries, virus et macromolécules. L'eau produite par osmose inverse est donc potable et ne nécessite pas de post traitement complexe [60].

## 4. Membrane

### 4.1. Définition

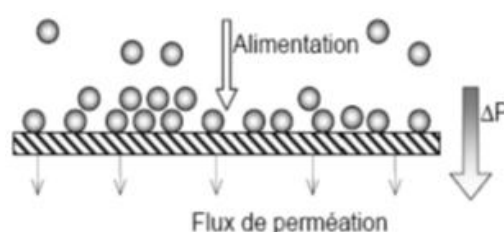
Une membrane [62] peut être définie comme étant une barrière de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, sélective, qui sous l'effet d'une force de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare. La force de transfert recouvre le gradient de pression, de concentration, d'activité, de potentiel électrique ou encore de température. De ce fait, les membranes incluent une grande variété de matériaux et de structures qui forment autant de possibilités de configuration et de classification

### 4.2. Modes de fonctionnement

Les membranes peuvent être utilisées en filtration selon deux fonctionnements principaux. La filtration frontale (dead-end) ou la filtration tangentielle (cross-flow). Ces deux modes sont très importants et correspondent à deux technologies et deux approches complètement différentes de la filtration.

### 4.2.1. Filtration frontale

La plus simple à mettre en œuvre et la moins onéreuse est la filtration frontale dont le principe est de filtrer la solution perpendiculairement à la surface de la membrane (Figure 13). Toute la matière retenue s'accumule sur la membrane. Ce type de procédé n'atteint jamais un état stationnaire. La filtration frontale est une technique qui nécessite un faible investissement, et des coûts énergétiques de fonctionnement qui sont faibles par rapport à la filtration tangentielle. Par contre, ce type de fonctionnement permet essentiellement de filtrer des suspensions qui sont considérées comme faiblement colmatantes dans un secteur d'activité donné. En effet si la solution est fortement colmatante le dépôt devient tel que les flux deviennent trop faibles pour que l'opération puisse fonctionner avec des débits raisonnables. Cette technique est utilisée en traitement de l'eau pour sa potabilisation, mais aussi dans le secteur médical pour enlever toute trace de virus ou de bactérie d'une eau de type « eau du réseau » qui est faiblement colmatante. Dans ce dernier domaine la filtration frontale est aussi appréciée du fait que cette technologie est compacte et donc plus facilement stérilisable qu'un circuit qui fait intervenir plusieurs pompes.

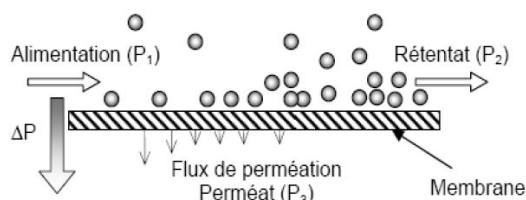


**Figure III.9 :** Présentation du fonctionnement de la filtration frontale

### 4.2.2. Filtration tangentielle

En filtration tangentielle, le fluide circule parallèlement à la surface de la membrane avec une vitesse moyenne  $U_z$ , imposant ainsi un gradient de cisaillement à la surface de la membrane qui limite ainsi l'accumulation de matière. En filtration tangentielle lors d'un changement de pression, les espèces arrivant près de la membrane ainsi que le dépôt (dans le cas où il y en a un) mettent un certain temps à se construire, durant cette phase, le flux décroît (Figure 14). Ensuite, un équilibre peut être atteint et le flux peut se stabiliser dans un état stationnaire.

La filtration tangentielle est souvent utilisée en industrie car elle permet de travailler – une fois que le régime est établi (entre quelques minutes et quelques heures) – avec un flux de perméat à peu près constant.



**Figure III.10 :** Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle.

Dans le cas de la filtration tangentielle, la pression transmembranaire est calculée de la façon suivante:

$$\Delta P = \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) - P_3 = PTM$$

Avec :

$\Delta P$  : la pression transmembranaire

$P_1$  : la pression en entrée de module s'appliquant sur la membrane

$P_2$  : la pression en sortie de module (reliée à  $P_1$  par la perte de charge dans le module)

$P_3$  : la pression dans le compartiment retentât souvent égale à la pression atmosphérique.

Il est possible avec ce type de fonctionnement, lorsque l'opération fonctionne à des faibles pressions d'éviter l'apparition d'un dépôt à la surface de la membrane cela correspond à des conditions de fonctionnement en dessous du flux critique. En biotechnologie, dans le cas de la filtration de moûts de fermentation, ne pas former un dépôt de surface permet d'éviter l'éclatement par compression dans le dépôt des cellules vivantes. Les points faibles de ce type de fonctionnement sont le prix de l'investissement et de l'énergie consommée par les pompes de circulation [63].

### **4.3.Types de membrane**

#### **4.3.1. De par leur nature**

Les membranes sont fabriquées à partir de différents matériaux, de type organique ou minéral. Les membranes minérales ou céramiques sont de type composite (zircone  $ZrO_2$  sur support carbone macroporeux ou sur alumine  $Al_2O_3$ , ou oxyde de titane  $TiO_2$  sur alumine ou encore totalement en carbone ou en alumine). Elles sont largement répandues car elles sont très sélectives, très perméables et peuvent être soumises plus facilement à des procédés de nettoyage assez agressifs sans trop être altérées. Elles ont une excellente résistance chimique, mécanique et surtout thermique.

Les membranes organiques sont fabriquées à partir de polymères. Les dérivés cellulosiques restent encore très utilisés, ainsi que les polyamides (en OI et NF). D'autres polymères, tels les polyacrylonitriles (PAN), les polysulfones (PS) et les polyfluorures de vinylidène (PVDF) sont de plus en plus répandus car ils résistent mieux à l'oxydation, au pH ou à la température.

#### **4.3.2. De par leur porosité**

##### **4.3.2.1.Membranes poreuses**

Ce type de membrane est similaire par sa structure au filtre conventionnel (de diamètre de pore supérieur au micron), mais elle diffère par la taille de ses pores 0,01 à 1 micron. Les particules plus grosses que les pores sont tous retenus, celle de taille comprise entre les plus gros pores et les plus petits sont partiellement retenus, et les particules de plus petites tailles passent en totalité. La séparation de soluté par des membranes poreuses est donc principalement une fonction de taille moléculaire et de distribution de taille de pores. En général, seulement les molécules qui diffèrent largement de taille peuvent être séparées par des membranes poreuses, par exemple en microfiltration ou ultrafiltration.

Généralement, en vue d'une meilleure sélectivité, une membrane poreuse est confectionnée de façon à comporter une distribution des diamètres des pores centrée autour d'une seule valeur :

- soit un diamètre inférieur à 2 nm environ dans le cas de micropores ;
- soit un diamètre compris entre 2 et 50 nm dans le cas des méso pores ;
- soit une taille supérieure à 50 nm dans le cas des macros pores.

Le mécanisme de transfert de matière sous l'effet de la pression est exclusivement convectif pour le solvant, celui n'entraîne avec lui que les espèces dont la taille est plus petite que celle des pores (effet tamis).

### 4.3.2.2. Membranes denses

Cette membrane consiste en un film dense à travers lequel le perméat est transporté par diffusion sous l'effet d'une force de pression, de concentration ou de gradient de potentiel électrique. La séparation des composés d'un mélange est directement reliée à leur diffusivité et leur solubilité à travers la membrane. Ainsi, une membrane dense peut séparer des composés de taille voisine si leur solubilité diffère.

Dans une membrane dense, lorsque les pores se réduisent aux espaces libres situés entre les chaînes de polymères, leur taille est voisine de celles des molécules organiques simples ou des ions hydratés. L'effet tamis devient donc négligeable.

### 4.3.3. De par leur fabrication

Pour obtenir une perméabilité sélective élevée, compatible avec un usage industriel, il est nécessaire que la barrière soit la plus mince possible. Il en résulte une certaine fragilité qui a été palliée par la consolidation de la barrière mince par différents moyens que ce soit, un support à pores de même nature ou de nature différente, un support tissé.

#### 4.3.3.1. Membranes anisotropes (ou asymétriques)

Ces membranes sont formées d'une couche de surface très fine déposée sur un support poreux plus épais. Les propriétés de séparation et de perméabilité sont assurées par la fine couche extérieure, alors que la structure interne assure le support mécanique. Les bénéfices résultant en gain de flux sont tels que la plupart des procédés de séparation commerciaux utilisent des membranes anisotropes. Le flux à travers une membrane est inversement proportionnel à son épaisseur. Des flux élevés sont recherchés pour des raisons économiques, donc les membranes devraient être aussi fines que possible. Les technologies de fabrication conventionnelles de membranes permettent de fabriquer des membranes suffisamment résistantes et sans défaut, d'épaisseur minimale de 20  $\mu\text{m}$ .

Les membranes organiques de microfiltration à nanofiltration ont une matrice organique de 100 à 200  $\mu\text{m}$  qui sert de support à la membrane filtrante ou peau dont l'épaisseur se situe entre 0,1 et 1  $\mu\text{m}$ .

Les membranes minérales, aussi asymétriques, sont composées d'une matrice à base d'alumine ou de carbone sur laquelle sont appliquées une ou plusieurs couches d'oxydes minéraux. La dernière couche est appliquée par frittage. Ainsi, la taille des pores est déterminée par granulométrie de la poudre initiale.

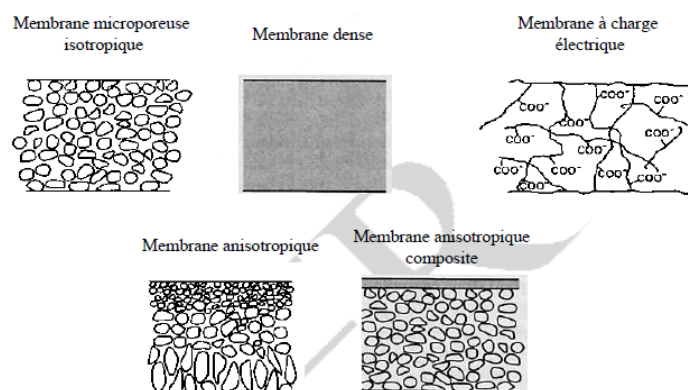
La peau peut être dense ou poreuse selon l'application envisagée et la tenue mécanique peut encore être améliorée par l'incorporation d'un support textile.

#### 4.3.3.2. Membranes composites

Ces membranes sont de type organique et anisotrope. Cependant les deux couches la composant sont formées de polymères différents. Les membranes composites de nanofiltration et d'osmose inverse sont formées d'une matrice de 200  $\mu\text{m}$  au centre, sur laquelle est appliquée une couche anisotrope de 40  $\mu\text{m}$  de polymère poreux qui supporte une fine couche de 0,3 à 3  $\mu\text{m}$  de polymère ajouté conférant à la membrane ses propriétés de rétention et de flux.

### 4.3.3.3. Membranes à charge électrique

Ces membranes peuvent être denses ou poreuses. Les parois des pores sont chargées d'ions positifs ou négatifs. Les membranes chargées positivement favorisent le passage de cations, celles chargées négativement favorisent le passage d'anions. Donc la séparation avec des membranes chargées est basée principalement sur la répulsion d'ions de même charge, mais aussi par la taille des pores. La séparation est contrôlée par la charge et la concentration des ions. Par exemple, les ions monovalents sont plus difficilement retenus que les ions bivalents et, dans les solutions à force ioniques élevées, la sélectivité diminue. On rencontre ce type de membranes principalement en électrodialyse, mais aussi en osmose inverse. Les différents types de membranes décrits ci-dessus sont présentés à la Figure 15.



**Figure III.11** : Description des différents types de membrane [64].

### 4.4. Structure des matériaux membranaires

La structure des matériaux permet de distinguer trois types de membranes : les membranes isotropes, (elles ont des propriétés structurales constantes sur toute leur épaisseur) ; les membranes anisotropes (leur microstructure varie de la surface de la membrane vers l'intérieur). Nous ferons également une distinction de structure entre les différentes membranes, organiques, minérales, composites, liquides, textiles et échangeuses d'ions. Il est évident qu'une membrane donnée peut appartenir à plus d'une famille de cette classification. Par exemple, une membrane peut être échangeuse d'ions organique ou minérale, liquide ou solide...

#### 4.4.1. Les membranes organiques

Les matériaux organiques les plus courants sont synthétisés à base de polymères standards semi-cristallins comme le polyéthylène, le polypropylène, les polyamides, le Téflon®, les polyfluorures, PVDF, la cellulose ou de polymères amorphes à l'état vitreux tels que les esters cellulosiques, le PVC et les polysulfones. D'autres polymères plus spéciaux sont utilisés comme les polyimides, les polyuréthanes, les polymères perfluorés, les polyamides au rapport hydrophilie/hydrophobie contrôlé par réaction interfaciale ...

Les qualités (flexibilité, résistance mécanique, résistance chimique...), les propriétés chimiques (réactivité...) et physico-chimiques (sélectivité, perméabilité...) confèrent à ces membranes une grande adaptabilité aux différentes applications. Les espèces chimiques utilisent les espaces entre les chaînes macromoléculaires du polymère pour se déplacer d'une face de la membrane à l'autre. Ces espaces, nommés interstices, peuvent être de très petites tailles (de l'ordre du nm), donnant à la membrane un aspect continu et

homogène, comme ils peuvent être de grandes tailles (de l'ordre du  $\mu\text{m}$ ) allant rendre la membrane hétérogène, voire microporeuse.

### 4.4.2. Les membranes minérales ou inorganiques

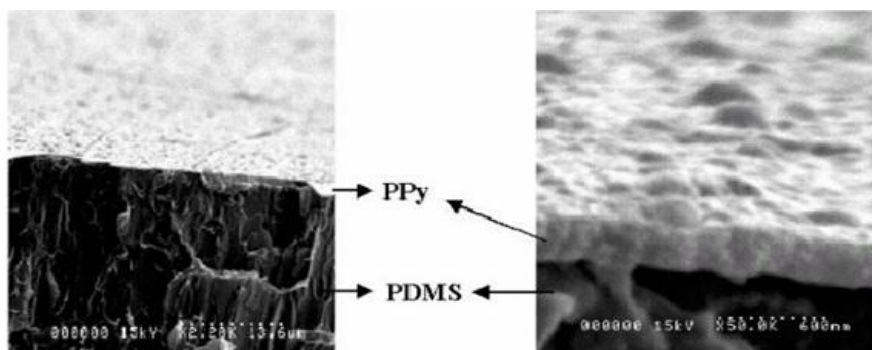
De commercialisation plus tardive que les membranes organiques, ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement de céramiques, de métaux frittés ou de verres inorganiques.

Les membranes inorganiques possèdent plusieurs propriétés :

- Une stabilité mécanique élevée ce qui n'entraîne pas de déformation même pour des gradients de pressions élevés.
- Elles résistent à de fortes températures (par exemple pour la filtration d'huiles ou de pétrole)
- Une stabilité chimique dans des solutions acides et basiques même si elle dépend tout de même du matériau. Cela est vrai par exemple pour les membranes en zircon mais la stabilité est limitée pour les membranes en alumine gamma.
- Une durée de vie élevée : en effet, le CEA utilise des membranes en céramique pour la séparation de l'uranium, en place depuis 40 ans [65].

L'arrivée de ces membranes inorganiques a ouvert de nouvelles voies pour les applications industrielles. De même que pour les membranes organiques, la taille des interstices fixe la nature homogène ou poreuse de la membrane [66].

### 4.4.3. Les membranes composites



**Figure III.12 :** Image prise par MEB d'une membrane composite de polypyrrole (polymérisation interfaciale)

Apparues depuis plus de dix ans [67], elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la « peau » est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une éventuelle superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique (figure 16). Elles peuvent être purement organiques (superposition de différents films de polymères organiques), organo-minérales dites aussi hybrides [68] (association de polymères avec des métaux comme du Zr, du Ti, du Pt... ou d'oxydes de métaux (alumine, silice...) ou purement minérales (superposition de plusieurs couches inorganiques de propriétés chimiques et mécaniques différentes).

### 4.4.4. Les membranes liquides

Découvertes en 1968 par LI [69], et connaissant un certain développement ces dernières années, ces membranes sont obtenues soit par émulsion d'un tensioactif dans un mélange de liquides non miscibles, soit



## Chapitre III : Séparation Membranaire

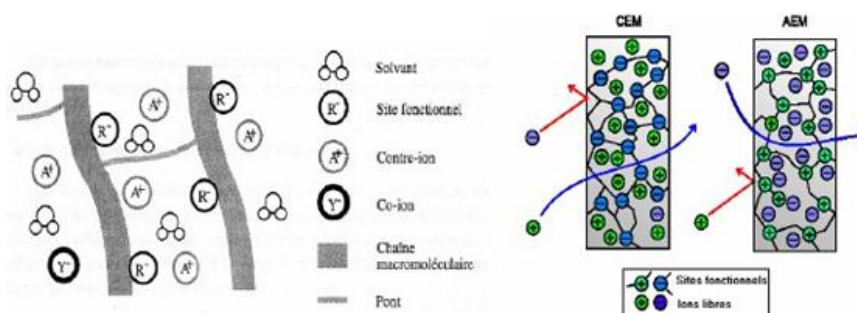
par imprégnation d'un support poreux inerte par un liquide non miscible aux solutions externes. Ces membranes offrent une grande surface de contact facilitant l'échange ou le transfert de matière, et de très grandes mobilités pour les ions ou les molécules, mêmes les plus lourds et les plus encombrants stériquement [70-76].

### 4.4.5. Les membranes échangeuses d'ions (MEI)

Introduites en 1950 [77], elles fonctionnent sur le principe du rejet d'ions en fonction de leur charge et cela grâce à la présence de sites fonctionnels dissociables et fixes. Ces membranes peuvent être hétérogènes (distinction possible, à une échelle macroscopique, de différentes parties de la membrane : trame, grains, défauts de structure, pores... avec une répartition non uniforme de sites fonctionnels) ou homogènes (une seule phase avec une répartition uniforme des sites fonctionnels dans toute la membrane).

Une membrane échangeuse d'ions constitue une phase insoluble capable d'échanger les ions qu'il contient avec ceux d'une solution d'électrolyte. Les ions échangés peuvent être des anions ou des cations.

Chacune de ces membranes peut porter des sites fonctionnels tous de même signe pour donner des membranes dites homopolaires (membranes échangeuses de cations (MEC) si les sites sont chargés négativement et membranes échangeuses d'anions (MEA) dans le cas contraire), ou les deux types de sites pour les membranes dites bipolaires [78] (collage de deux membranes homopolaires différentes MEA et MEC) ou mosaïques [79-84] (alternance des deux types de sites fonctionnels fixés sur une même matrice).



**Figure III.13 :** Représentation schématique d'une membrane échangeuse de cations.

Ces sites ioniques ont tendance à se solvater, et pour empêcher la dispersion des chaînes en milieu aqueux, elles sont souvent pontées. Un réseau tridimensionnel rigide est alors obtenu formant un polyanion.

Pour assurer l'électroneutralité du matériau il faut que la structure contienne un nombre équivalent d'ions mobiles de charge contraire à celle des sites fonctionnels, appelés contre-ions. Ces derniers sont donc très abondants au sein de la matrice polymérique. L'électrolyte et le solvant pénètrent dans cette structure et tous les ions de même signe que les sites fixes, dits co-ions accompagnant l'électrolyte ont tendance à être exclus de la membrane. Il s'agit de l'effet d'exclusion de DONNAN. Nous pouvons d'ailleurs représenter schématiquement un échangeur de cations par la figure 17.

Par conséquent, lors d'une opération de transfert ou d'échange de matière entre une membrane échangeuse d'ions et le milieu extérieur, presque exclusivement les contre-ions peuvent se déplacer dans la phase membranaire et s'échanger avec d'autres contre-ions. Nous disons alors que la membrane est sélective (quand il s'agit d'échange) ou permsélective (quand il s'agit de transfert) au contre-ions. Lorsque la concentration de l'électrolyte externe augmente, l'exclusion des co-ions s'affaiblit et la membrane perd sa

sélectivité. De plus, dans un milieu très polaire (aqueux ou/et organique), les sites fonctionnels fixés sur les chaînes macromoléculaires ont tendance à se solvater et à se disperser à cause du gonflement.

### 4.4.6. Les sites fonctionnels utilisés

Dans le cas d'un échangeur de cations, le réseau macromoléculaire est constitué de charges négatives et forme un polyanion (sulfonique  $\text{SO}_3^-$ , phosphorique  $\text{PO}_3^{2-}$  pour les membranes à groupe acides fort ; carboxylique  $\text{COO}$ , arsonique  $2\text{AsO}_3^-$  pour celles à groupes acides faibles).

Pour un échangeur d'anions, les sites fixes ont une charge positive et forment un polycation

### 4.4.7. Les textiles échangeurs d'ions

Lors de ces dernières années, nous notons l'apparition d'un nouveau matériau échangeur d'ions dit « textile échangeur d'ions : TEI » [85]. Les textiles échangeurs d'ions sont nés des recherches effectuées pendant plus de 20 ans par l'Institut Textile de France et résultent de l'association par machines textiles de fibres à fonction échangeur d'ions. Ils peuvent être constitués de fibres naturelles, artificielles ou synthétiques sur lesquels ont été fixés des sites fonctionnels échangeurs d'ions et se présentent sous la forme d'un média tissé, non-tissé, tricoté, sous forme de papier ou de poudre suivant le domaine d'application et les conditions d'utilisation envisagée [86]. La fonction d'échange d'ions est conférée au matériau textile par une copolymérisation de monomères ioniques spécifiques initiée par voie radio chimique, soit sous un rayonnement Gamma, soit sous un faisceau d'électrons accélérés [87]. Les textiles échangeurs d'ions sont des matériaux macroporeux régénérables, non-réticulés, qui possèdent de par leur structure et la mobilité des greffons échangeurs d'ions, une haute cinétique d'échange, supérieure à celle des résines échangeuses d'ions. En traitement d'effluents, ces TEI permettent notamment de traiter d'importants volumes sans perte de charge notable. Ces matériaux sont utilisés en traitement d'effluent liquides et gazeux, en traitement des boues et en protection des sols [88], en catalyse, en production d'eau ultrapure [89] et comme moyen de destruction de l'algue *Caulerpa Taxifolia* [90] qui s'étend en Méditerranée. Ils ne sont pas utilisés en tant que séparateurs mais permettent d'optimiser certains procédés électro membranaires en augmentant la conductivité électrique des solutions diluées en conséquence celle de tout le module.

L'équipe de BERDOUS [80] a mis au point un procédé utilisant des membranes échangeuses d'ions pour la récupération de métaux tels que le cuivre et l'argent, par dialyse de DONNAN. Toutefois, le phénomène d'osmose réduit l'efficacité de l'opération. Les auteurs ont alors combiné MEI et TEI, ce qui a permis d'améliorer le rendement car les propriétés hydrophiles du textile permettent de diminuer le flux d'eau et donc favorisent le transfert d'ions.

## 4.5. Caractéristiques des membranes

### 4.5.1. Sélectivité d'une membrane

Une membrane retient des solutés selon :

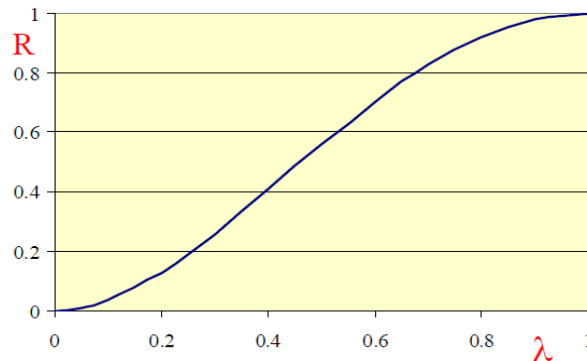
- leur taille : c'est l'effet stérique qui résulte de la structure « tamis » du matériau.
- leur charge : une membrane peut être chargée générant ainsi des interactions électrostatiques avec des composés chargés.
- leur hydratation : dans le cas de petit soluté le cortège d'eau d'hydratation qui l'entoure peut participer à la rétention.

### Chapitre III : Séparation Membranaire

Dans le cas d'une rétention stérique, il est possible d'estimer à partir de considérations basées sur l'écoulement du solvant et du soluté dans un pore de rayon,  $r_s$ , de définir le taux de rejet par la loi de Ferry :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_m} = (1 - (1 - \lambda)^2)^2$$

Où  $\lambda = \frac{r_s}{r_p}$  : est le rapport du rayon du soluté sur le rayon du pore. L'évolution du taux de rejet en fonction de  $\lambda$  selon cette relation est représentée sur la figure III.14.



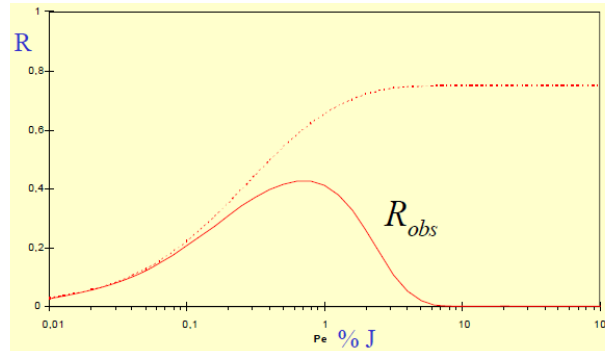
**Figure III.14 :** Evolution du taux de rejet en fonction du ratio rayon de soluté/ rayon du pore.

Une membrane n'est donc pas un séparateur séparant « parfaitement » les espèces par taille : le transfert d'un soluté deux fois plus petit que le pore est réduit de 40 %. Il faut, pour en rajouter encore sur « l'imperfection » des membranes, garder à l'esprit qu'une membrane possède une distribution de taille de pore !

Les conditions opératoires, et plus particulièrement le flux, ont un effet important sur le taux de rejet. En effet, le taux de rejet observé expérimentalement est défini par rapport à la concentration en solution,  $c_0$  (et non la concentration à la membrane) :

$$R_{abs} = 1 - \frac{C_p}{C_0}$$

Le taux de rejet observé est alors dépendant du flux (ou du nombre de Péclet,  $Pe$ ) qui conditionne la concentration à la membrane. De façon générale (fig 18), pour des flux faibles -dans le cas de l'osmose inverse- le taux de rejet croît avec le flux (à cause d'une moindre importance de la diffusion qui favorise le transfert des solutés à travers les pores) alors qu'au contraire pour des flux plus importants -ultrafiltration ou microfiltration- le flux décroît avec le flux (à cause d'une concentration de polarisation plus élevée due à la moindre importance de la diffusion qui limite l'accumulation). Dans le cas intermédiaire de la nanofiltration, il est souvent observé des taux de rejet quasi-constant correspondant au maximum sur la figure III.15.



**Figure III.15 :** Evolution du taux de rejet observé avec le flux (ou le nombre de Péclet)[91].

#### 4.5.2. Perméabilité d'une membrane

La perméabilité ( $A$ ) d'une membrane est une caractéristique intrinsèque de la membrane qui dépend de sa structure. De façon pratique, la perméabilité peut être définie comme étant le rapport entre le flux de perméat ( $U_p$ ) et la pression transmembranaire effective ( $\Delta P$ ) :

$$A = \frac{U_p}{\Delta P} \quad (\text{III.17})$$

Le flux de perméat (appelée aussi vitesse de perméat) est un débit de perméat unitaire, c'est-à-dire, le rapport entre le débit volumétrique de perméat ( $Q_p$ ) et la surface effective de la membrane ( $S$ ) :

$$U_p = \frac{Q_p}{S} \quad (\text{III.18})$$

En remplaçant le flux de perméat  $U_p$  défini par l'équation (III.18), dans l'équation (III.17), on obtient :

$$A = \frac{Q_p}{S * \Delta P}$$

En pratique, la perméabilité d'une membrane, est déterminée comme la pente de la droite  $U_p$  en fonction de  $\Delta P$ .

Il faut mentionner qu'il existe des différences significatives de perméabilité entre divers coupons d'une même feuille de membrane à cause des irrégularités de fabrication. Pour cette raison, c'est la perméabilité moyenne qui est utilisée pour caractériser une membrane [92].

#### 4.5.3. Résistance d'une membrane

La résistance hydraulique ( $R_m$ ) d'une membrane peut être définie comme étant sa résistance à l'écoulement du fluide à filtrer à travers cette membrane. La résistance d'une membrane est l'inverse de sa perméabilité :

$$R_m = \frac{1}{A} = \frac{S * \Delta P}{Q_p}$$

Cette relation nous permet de calculer de façon pratique la résistance d'une membrane à partir des mesures de flux de perméat et de la pression transmembranaire.

## Chapitre III : Séparation Membranaire

En supposant que les pores d'une membrane soient cylindriques et rectilignes, la loi de Poiseuille permet d'exprimer la résistance d'une membrane comme :

$$R_m = \frac{8e_m}{n_p * \pi * r_p^4}$$

Avec :

$e_m$  : l'épaisseur de la couche active de la membrane

$n_p$ : le nombre de pores par unité de surface

$r_p$ : le rayon des pores

Cette équation montre que la résistance de la membrane augmente avec l'augmentation de l'épaisseur de la membrane et diminue avec sa porosité [93].

### 4.6. Vie utile des membranes

Théoriquement, une membrane utilisée dans d'excellentes conditions, c'est-à-dire avec une solution ne contenant pas d'impuretés, qui ne permet pas la multiplication d'une flore bactérienne, qui est maintenue à une température de 22 °C et à une pression à la pompe n'excédant pas 3 400 kPa, aurait une durée de vie pratiquement illimitée (figure 20).

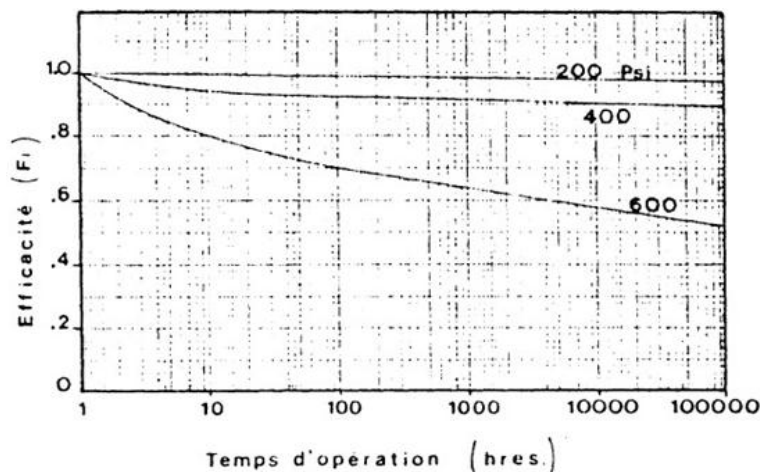


Figure III.16 : Vie utile théorique d'une membrane exprimée en perte d'efficacité en fonction du temps.

La sève d'érable ne peut cependant pas être considérée comme une solution idéale. Si toutes les précautions ne sont pas prises, les membranes peuvent être mises hors d'usage après seulement quelques centaines d'heures d'opération, ce qui pénalise lourdement l'économie d'opération que l'osmose inversée permet par rapport au système conventionnel d'évaporation.

### 4.7. Les ennemis de la membrane

Les principaux agents responsables de la dépréciation accélérée d'une membrane sont de deux natures: ceux qui résultent d'une mauvaise opération du concentrateur telle que la pression et la température, et ceux qui tiennent à la nature même de la sève.

4.7.1. Pression d'opération

Pour certains appareils, la pression à la sortie de la pompe est fixée alors que pour d'autres, on peut la modifier en changeant le taux de recirculation du concentré à travers la membrane. Fonctionner de façon permanente près de la limite supérieure prévue par le manufacturier, et à plus forte raison, la dépasser, va provoquer un foulage ou une compaction des différents éléments de la membrane les uns sur les autres.

Au début, la concentration moyenne que l'on peut obtenir sera élevée

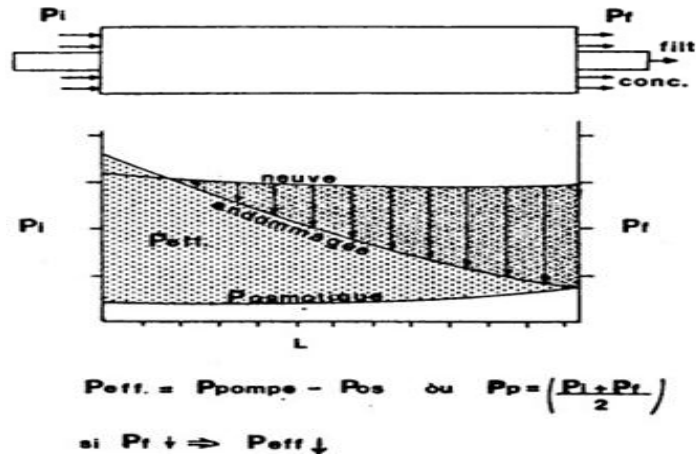


Figure III.17 : Courbes schématiques illustrant les causes d'une perte d'efficacité d'une membrane O.I.

Cependant, sous l'effet de cette compaction, l'espace destiné à la circulation du concentré entre deux épaisseurs successives de membrane va se rétrécir. Une plus grande partie de l'énergie fournie par la pompe sera utilisée pour forcer la solution dans cet espace, provoquant une chute de pression entre l'entrée et la sortie du module. La pression moyenne s'exerçant sur la membrane va donc être diminuée causant ainsi une baisse de la pression efficace et, par conséquent, diminuer le taux de passage de l'eau à travers la membrane.

Ce phénomène est illustré à la figure 21. La zone pointillée représente la pression efficace ou utile. Dans le cas de la membrane endommagée, la pression finale est égale à la pression osmotique à l'extrémité du module. La perte de rendement de la membrane est représentée par la zone hachurée. Il faut noter que ce type de dommage est irréparable et, dans une telle situation, on devra changer le module.

4.7.2. Température

Étant donné que les composantes de la membrane sont faites de matière plastique, une température plus élevée que celle recommandée risque de diminuer leur résistance mécanique. Même si le concentrateur opère à l'intérieur des limites de pression prévues, le phénomène de foulage décrit plus haut va se produire avec les mêmes résultats. Il s'agit également d'un dommage permanent. Le préchauffage de la sève avec la vapeur produite par l'évaporateur présente donc un danger considérable, à moins de se conserver une marge de sécurité substantielle.

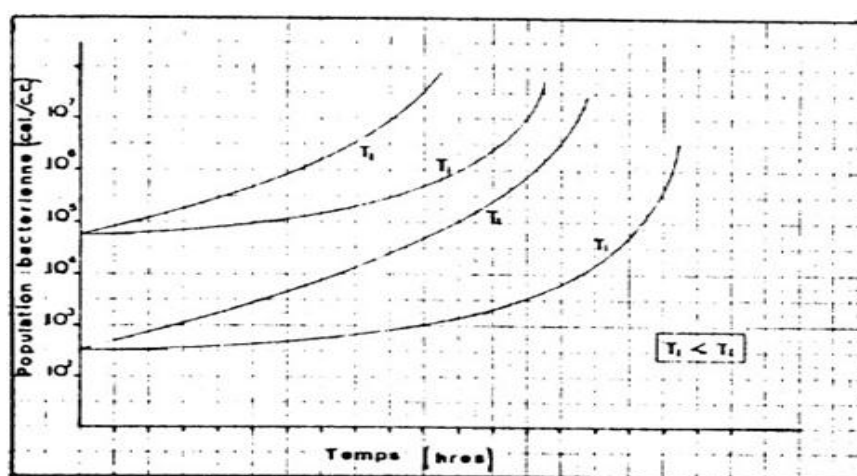
4.7.3. Une sève mal filtrée

L'utilisation d'un pré-filtre en mauvaise condition ou qui ne répond pas aux spécifications du manufacturier peut permettre le passage de particules qui vont obstruer l'espace prévu pour la circulation du concentré. Il en résulte un phénomène similaire à celui déjà décrit, soit, une diminution de la pression finale et une perte

de rendement. Si le problème est corrigé assez tôt, il est théoriquement possible de restaurer la membrane par un lavage avec un produit acide. Il faut alors s'en référer au manufacturier.

### 4.7.4. Le développement bactérien

Dès que l'eau d'érable vient en contact avec l'air et avec les équipements de collecte, elle est colonisée par une flore composée de bactéries, de levures, et de moisissures qui vont se développer dans le temps suivant une progression géométrique; une température plus élevée accélère ce développement. Les producteurs connaissent bien le résultat de ce phénomène. En début de saison, la sève est translucide et le sirop qui résulte de son évaporation est de couleur pâle. Plus la saison progresse, la contamination des équipements augmente et la multiplication des bactéries est accélérée par une température moyenne plus élevée. Le sirop qui en résulte est généralement plus foncé et de saveur plus âcre. Les paramètres qui influencent le développement bactérien dans l'eau d'érable sont illustrés à la figure 22



**Figure III.18 :** Courbes théoriques illustrant les causes et le taux de développement des populations bactériennes dans la sève.

Les bactéries représentent donc un danger permanent pour les membranes. Le diamètre d'une cellule, étant trop petite pour être filtrée, elles sont entraînées avec le concentré et introduites dans le corps de la membrane. Elles peuvent donc se fixer sur les surfaces et se multiplier suivant les courbes montrées à la figure 22. Après un certain temps, leur nombre peut devenir tel que les colonies prennent l'apparence d'un gel (gélatine) qui obstrue presque complètement le passage du concentré. Même pour une concentration très faible, la pression efficace tend vers zéro et la membrane n'est plus opérationnelle.

Il est virtuellement impossible d'éviter tout développement bactérien dans la membrane. Il existe cependant des moyens préventifs et probablement correctifs dont l'efficacité reste cependant à démontrer pour assurer une durée de vie des membranes se rapprochant de celle illustrée à la figure 20. Les principaux moyens préventifs sont les suivants:

- assurer la propreté des équipements de collecte et d'entreposage de la sève;
- traiter la sève le plus rapidement possible après la collecte ou, à défaut, l'entreposer dans des réservoirs refroidis par une circulation d'eau froide;
- pasteuriser la sève, juste avant son admission dans le concentrateur à l'aide d'appareils utilisés dans le traitement des eaux domestiques. Pour être efficace, ces appareils doivent pouvoir détruire 99,99% des bactéries présentes initialement dans la sève. D'autres développements et améliorations devront

cependant être apportés aux pasteurisateurs expérimentés avant que l'on puisse parler d'une technique vraiment opérationnelle.

### **4.8.L'entretien des membranes**

Essentiellement, l'entretien des membranes vise à limiter le développement bactérien et à débarrasser périodiquement les espaces destinés à la circulation du concentré des colonies qui s'y seraient développées. Un rinçage fréquent au filtrat complété, pour certains types d'appareils, par un lavage au moyen d'un produit acide, peut s'avérer adéquat. Il est cependant difficile de prévoir la fréquence de ces "lavages" en terme de temps ou de volume de sève traitée, puisque la sève varie énormément en contenu bactérien d'un jour à l'autre.

Des développements devront sans doute améliorer cet aspect du fonctionnement des concentrateurs par osmose inversée. Entre-temps, l'acheteur éventuel devra obtenir par écrit de son vendeur une cédula précise d'entretien indiquant le type et la quantité de produit à utiliser, la fréquence des opérations d'entretien (rinçage et/ou lavage, ainsi qu'une garantie explicite concernant la performance des membranes). Il est très important que cette garantie précise la façon dont sera évaluée la membrane dans le cas d'un mauvais fonctionnement.

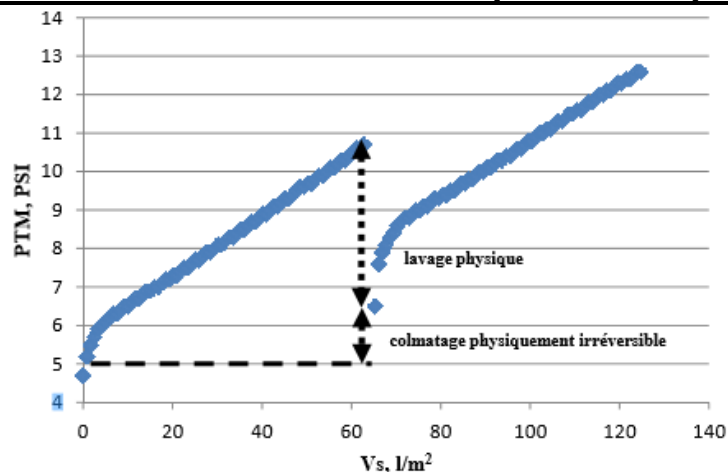
Le producteur devrait également éviter toute expérimentation qui pourrait lui être suggérée, à moins que la suggestion provienne de son vendeur et qu'un document signé par une personne autorisée assure la validation de la garantie [94].

## **5. Colmatage**

### **5.1.Concepts liés au colmatage**

Durant la filtration membranaire, les solides s'accumulant sur la paroi membranaire causent une perte de charge qui entraîne une augmentation de la pression à appliquer afin de maintenir le débit de perméat constant. La différence de pression entre l'amont (alimentation) et l'aval (perméat) de la membrane est appelée la pression transmembranaire (PTM). La PTM est l'indicateur du colmatage d'une membrane lorsque cette dernière est opérée à flux de perméat constant. Les MBP peuvent aussi être opérées à PTM constante et débit variable, mais cela est plus courant dans les laboratoires que dans les usines qui ont des besoins de production à respecter [95]. La figure 23 est un exemple de cycle de filtration frontale d'une membrane UF (carbure de silicium, diamètre nominal des pores : 0,005  $\mu\text{m}$ ) opérée à un flux spécifique de 100 l/mh. La PTM augmente linéairement en fonction du temps, et double après seulement 60  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  de perméat produit par surface de membrane. Un lavage physique a été effectué afin de diminuer la PTM. Un lavage physique est typiquement constitué d'un lavage à contre-courant (ou rétrolavage) à débit plus élevé qui peut être couplé ou non avec un lavage à air sous pression. On peut voir que le deuxième cycle de filtration ne commence pas à la même PTM que le premier : l'augmentation de la PTM est causée par l'adsorption de particules sur la membrane et dans ses pores et qui ne peuvent être enlevées par des opérations de lavage physique [96]. Ce colmatage est dit physiquement irréversible. Des lavages à base de produits chimiques permettent en général de diminuer ce colmatage.





**Figure III.19 :** Filtration d'eau de surface par une membrane UF (Carbure de silicium,  $D_{\text{pores}} = 0,005 \mu\text{m}$ , 100 lmh)

La perméabilité membranaire ( $L_p$ ) correspond au flux de perméat ( $J$ ) à 20°C divisé par la pression transmembranaire (PTM). C'est le paramètre le plus utilisé pour suivre le colmatage. La perméabilité permet de prendre en compte la viscosité de l'eau en corrigeant avec la température. La perméabilité est exprimée généralement en  $\text{lmhbar}$  ( $\text{L m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{bar}^{-1}$ ).

$$L_p(\text{lmh bar}) = \frac{J^{20c}(\text{lmh})}{PTM(\text{bar})} \quad \text{Eq III.19}$$

Le flux spécifique de perméat ( $J^{20c}$ ) est dérivé de l'équation d'Arrhenius, qui, exprimée sous la forme d'un développement limité, à la forme suivante [97]:

$$J^{20c} = J^T * \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = J^T * (1.784 - 0.0575 * T + 0.0011 * T^2 - 10^{-5} * T^3) \quad \text{Eq III.20}$$

Avec

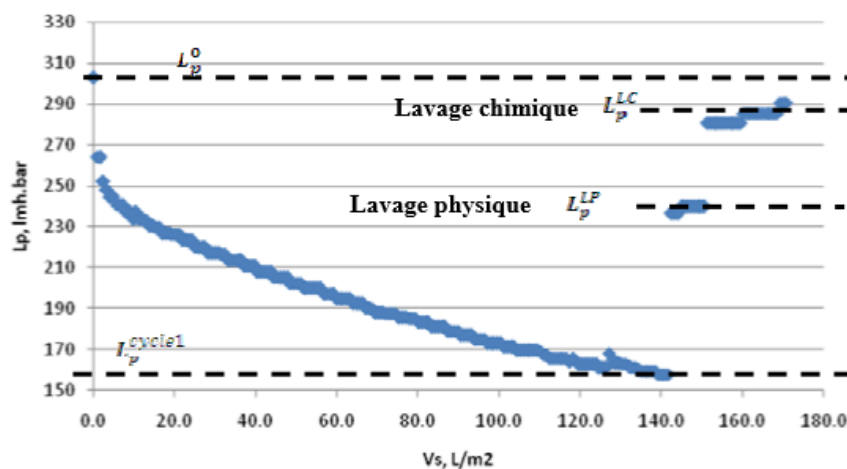
$J^T$  : flux de perméat à T Celsius

$\mu_T$  : viscosité de l'eau à T Celsius

### 5.2. Colmatage d'une membrane

Le colmatage membranaire est reconnu comme étant la barrière principale au développement de la filtration membranaire dans l'industrie du traitement de l'eau [98,99]. Le colmatage d'une membrane correspond à une diminution de la perméabilité de la membrane due au dépôt de matières lors de la filtration. Les coûts énergétiques afin de maintenir un flux ou une pression constante peuvent alors devenir conséquents. Le colmatage a été classifié par Kimura et al. (2004) comme étant soit physiquement réversible ou irréversible suivant sa capacité à récupérer la perméabilité initiale par des opérations de nettoyage physique. Cependant, le colmatage physiquement irréversible peut être aussi fractionné en une partie réversible ou non par des opérations de nettoyage chimique. Pour plus de clarté, les différents colmatages qui seront abordés dans ce mémoire sont résumés par la figure 24, qui présente le colmatage d'une membrane céramique UF par une eau de surface (Rivière L'Assomption, Québec) suivi d'un lavage physique puis chimique. On y distingue trois types de colmatage :

- le colmatage total correspond à la perte de perméabilité après un cycle de filtration ( $L_p^0 - L_p^{\text{cycle1}}$ ) ;
- le colmatage physiquement irréversible est la différence entre la perméabilité initiale et celle récupérée après un lavage physique ( $L_p^0 - L_p^{LP}$ ), typiquement un rétrolavage à l'eau propre avec ou sans injection d'air;



**Figure III.20 :** Cycle de filtration d'eau de rivière par une membrane céramique UF (Carbure de silicium,  $D_{\text{pores}} = 0.005 \mu\text{m}$ , 100 lmh)

- le colmatage chimiquement irréversible correspond à une perte irrémédiable de la perméabilité observée après un lavage chimique ( $L_p^{LP} - L_p^{LC}$ ). Il est à noter que les définitions de colmatage réversible et irréversible ne sont pas des valeurs absolues. En effet, l'appréciation de ces colmatages est intimement liée à la nature des procédures de lavage mises en œuvre. Par exemple, un lavage chimique plus intensif pourrait permettre une meilleure récupération de la perméabilité et, ainsi, diminuer la valeur du colmatage irréversible.

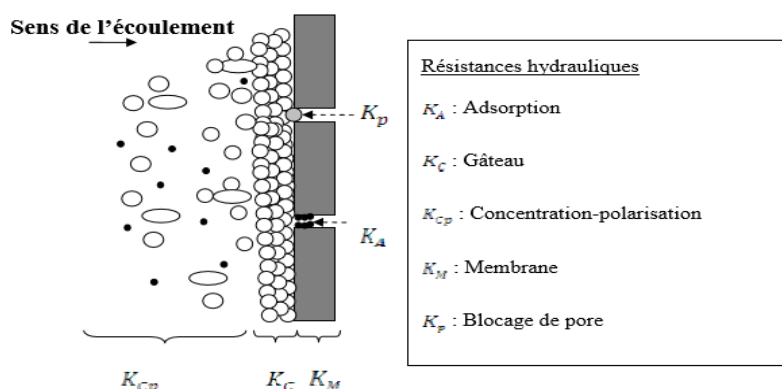
### 5.3. Facteurs influençant le colmatage

La matière organique naturelle (MON), omniprésente dans les eaux de surface, est reconnue comme l'un des acteurs les plus importants du colmatage [100]. La nature de la MON (allotigène, autochtone ou microbienne) joue un rôle sur son potentiel colmatant [101-104], mais aucune généralisation ne peut être obtenue, tant le colmatage est spécifique au couple eau-membrane. De nombreuses études pointent les substances humiques [105], les polysaccharides et les protéines [101] et la matière colloïdale organique [106,103] comme étant les agents les plus importants du colmatage. Il n'existe pas de corrélation entre le colmatage et les paramètres physico-chimiques de l'eau utilisée [107,104]. Dans le cas des substances humiques, trois paramètres ont été identifiés comme étant importants [105]: le pH, la force ionique et la présence d'ions divalents. Un pH faible peut aggraver le colmatage des substances humiques en améliorant leur adsorption par attraction hydrophobique [108]. Une force ionique élevée entraîne quant à elle une coagulation de la matière colloïdale et ainsi augmente le phénomène de gâteau se formant le long de la membrane [109]. La présence d'ions divalents comme le calcium augmente le colmatage des substances humiques en formant des complexes précipitant avec la MON [110]. La propriété de la membrane va influencer sa réactivité avec la MON et donc son colmatage. L'hydrophobicité [111], le diamètre des pores [112] et la charge (potentiel Zeta) [113] de la membrane vont influencer l'adsorption et la formation de gâteaux plus ou moins réversibles.

Le mode d'opération de la membrane affecte aussi son colmatage, comme le montre l'existence d'un flux critique en dessous duquel aucun colmatage significatif n'est observé [114]. Le flux d'opération a été relié à la compressibilité du gâteau se formant lors de la filtration [115].

### 5.4. Modèle des résistances en série

Une manière de décrire le colmatage est de considérer que chaque substance colmatante contribue à augmenter la résistance hydraulique qui s'oppose au flux de la membrane. Durant la filtration d'eau naturelle, un gâteau se forme composé des substances retenues par la membrane. Ce gâteau agit comme un filtre dynamique qui permet de retenir des particules de tailles inférieures au seuil de coupure initial de la membrane. Il agit ainsi comme une résistance hydraulique additionnelle à la membrane et nécessite d'être contrôlé par des opérations de lavages physiques. La formation d'un gâteau est un mécanisme universel de colmatage car il ne dépend pas d'attractions favorables existant entre les substances colmatantes et la membrane [116]. Cependant, d'autres mécanismes sont à l'œuvre durant le colmatage, comme le montre la figure 25. On peut les regrouper sous forme de résistance réversible ou irréversible suivant qu'elles puissent être diminuées par des opérations de lavages ou non



**Figure III.21 :** Différentes résistances hydrauliques s'appliquant lors du colmatage d'une membrane

Le modèle de résistance en série est décrit par la loi de Darcy qui peut s'écrire sous la forme suivante :

$$J = \frac{PTM}{\nu(K_m + \sum_i K_i)} \quad \text{Eq III.21}$$

Où  $J$  est le flux de perméat ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $PTM$  la pression transmembranaire (Pa), la viscosité de l'eau (Pa.s), la résistance hydraulique initiale de la membrane ( $\text{m}^{-1}$ ) et la somme des résistances hydrauliques qui s'appliquent lors du colmatage.





### 5.5. Lois du colmatage

En 1982, Hermia [117] a proposé un modèle basé sur quatre mécanismes idéaux afin de décrire le colmatage d'une membrane. Ces mécanismes sont décrits au tableau n°12. Le modèle d'Hermia, valide dans les cas de filtration frontale et à pression constante, est de la forme suivante :

$$\frac{dt^2}{d^2V} = k * \left(\frac{dt}{dV}\right)^n \quad \text{Eq III.22}$$

Où «  $t$  » est le temps de filtration (s) et  $V$  le volume cumulé d'eau produite ( $\text{m}^3$ ). «  $k$  » et «  $n$  » sont deux constantes dont la valeur et l'unité varient selon le modèle utilisé.

Tableau 3.2 : Lois du colmatage selon le modèle d'Hermia (1982)

Mécanismes	Concepts	Description
<b>Cake layer formation (filtration sur gâteau)</b>		Les particules s'accumulent le long de la paroi, constituant une résistance supplémentaire
<b>Pore sealing surimposed (blocage intermédiaire)</b>		Seule les particules à la surface de la membrane contribuent au blocage des pores
<b>Pore restriction (blocage standard)</b>		Les particules se déposent à l'intérieur des pores, diminuant leur diamètre effectif
<b>Pore sealing (blocage complet)</b>		Toutes les particules à la surface de la membrane contribuent au colmatage

Le modèle d'Hermia a permis de mettre en place des indices de colmatage comme le Silt Density Index (SDI) et le Modified Fouling Index (MFI) en suivant expérimentalement le temps de filtration et le volume de filtrat produit. La principale critique de ces indices est qu'ils ne permettent pas d'utiliser la membrane d'intérêt (cas du SDI utilisé pour la NF/OI : filtration sur une membrane Millipore 0,45µm à 2 bar) ou la configuration d'intérêt (cas du MFI : filtration à pression constante au lieu d'une filtration à flux constant, plus classique dans l'industrie). L'Unified Membrane Fouling Index (UMFI) a été développé en 2008 par Huang et al. (2008) dans le but de standardiser les tests de colmatage de MBP. L'UMFI est une singularisation du modèle d'Hermia pour les MBP opérées à flux ou à pression constante. Cet indice de colmatage est fondé sur le modèle de colmatage par cake-layer, qui est considéré dans la littérature comme étant le principal mécanisme de colmatage des MBP par des eaux naturelles. L'UMFI est calculé selon l'équation suivante :

$$\frac{1}{J'_s} = 1 + UMFI * V_s \quad \text{Eq III.23}$$

Où :

$J_s$  : flux spécifique de perméat, équivalent à la perméabilité  $L_p$  (Imhbar)

$J'_s = J_s / J_{s,0}$  ; flux spécifique normalisé par le flux spécifique initial  $J_{s,0}$  sans unité

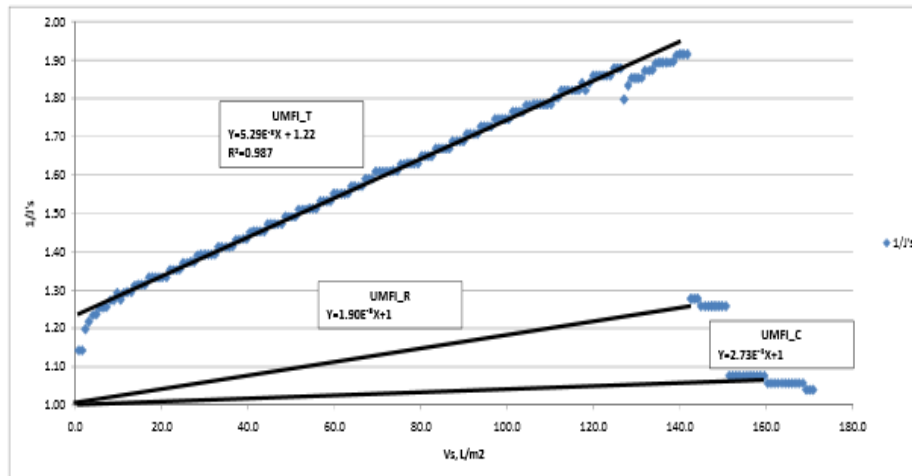
$V_s$  ; volume spécifique  $L m^{-2}$  ou  $m^3 m^{-2}$

UMFI : indice de colmatage de l'eau,  $m^2 L^{-1}$  ou  $m^2 m^{-3}$

L'UMFI possède l'avantage de pouvoir être évalué directement sur la membrane d'intérêt et dans le mode d'opération voulu (pression ou flux constants, filtration tangentielle ou frontale). L'UMFI permet notamment de distinguer le colmatage total du colmatage physiquement et chimiquement irréversible [104]:

- $UMFI_T$  correspond à l'indice du colmatage de la membrane durant le cycle de filtration, soit le colmatage total ;
- $UMFI_R$  correspond à l'indice du colmatage qui ne peut être enlevé physiquement (par rétrolavage), soit le colmatage physiquement irréversible ;

•  $UMFI_C$  correspond à l'indice du colmatage qui reste malgré un lavage chimique, soit le colmatage chimiquement irréversible. La figure 26 est un exemple de calcul des UMFI pour l'essai réalisé avec une membrane céramique UF (carbure de silicium,  $D_{pores}=0.005 \mu m$ , opérée à 100 l/h).



**Figure III.22 :** Calcul des UMFI, cas de l'ultrafiltration d'une eau de surface (Carbure de silicium,  $D_{pores} = 0.005 \mu m$ , 100 l/h)

L' $UMFI_T$  est calculé par une régression linéaire non forcée sur le cycle de filtration. L' $UMFI_R$  et l' $UMFI_C$  sont généralement calculés de la manière suivante :

$$UMFI_{R,C} = \frac{\frac{1}{J'_s} - 1}{V_s} \quad \text{Eq III.24}$$

Les UMFI peuvent être évalués sur un seul cycle de filtration ou sur plusieurs [107]. Dans ce dernier cas, deux autres UMFI sont alors définis :  $UMFI_{LI}$  et  $UMFI_{150}$ .  $UMFI_{LI}$  correspond à l' $UMFI_T$  évalué pour le premier cycle de filtration.  $UMFI_{150}$  correspond quant à lui au colmatage physiquement irréversible. C'est une moyenne statistique des  $UMFI_R$  de chaque cycle calculés après environ  $150 L \cdot m^{-2}$  de filtration. Ces deux UMFI peuvent être utilisés sur des pilotes à échelle réelle afin de caractériser le colmatage membranaire en continu. Une des limites du modèle UMFI pointée par Nguyen et al. (2011) est qu'il est basé sur le modèle d'Hermia et suppose que seul le mécanisme de cake layer cause le colmatage. Durant l'opération d'une membrane à l'échelle réelle, il est probable que plusieurs mécanismes de colmatage sont à l'œuvre simultanément. En repartant des équations du modèle des résistances en série, les auteurs ont réussi à obtenir une équation mathématiquement identique à l' $UMFI$ , qui possède cependant l'avantage de ne plus se baser sur le modèle d'Hermia. Ainsi, seule la vérification d'une augmentation linéaire de  $1/J'_s$  (soit, pour le cas d'une filtration à flux constant d'une augmentation linéaire de la pression transmembranaire en fonction du volume d'eau filtrée) en fonction du volume spécifique  $V_s$  permet d'appliquer l'équation pour déterminer les UMFI, sans plus se soucier du type de colmatage. Le tableau 13 récapitule les différences entre les UMFI en fonction des modèles utilisés et de leur utilité.

**Tableau 3.3 : Les différents UMFI dans la littérature**

<b>Modèles de référence</b>	<b>Modèle d’Herminia</b>		<b>Modèle résistance en série</b>
<b>Référence</b>	Huang et al.(2007)	Huang et al.(2009)	Nguyen et al.(2011)
<b>Type de cycle</b>	Unique	multiple	Multiple
<b>Colmatage total</b>	UMFI <sub>T</sub>	UMFI <sub>i</sub>	TFI
<b>Physiquement irréversible</b>	UMFI <sub>R</sub>	UMFI <sub>150</sub>	HIFI
<b>Chimiquement irréversible</b>	UMFI <sub>C</sub>	N/A	CIFI

La connaissance des UMFI pour un type d’eau permettrait d’optimiser les cycles de filtration et de lavage chimique en fonction du pouvoir colmatant de l’eau. En effet, si l’on reprend l’équation III.23 pour le cas d’une filtration à flux constant, on peut exprimer la variation de la pression transmembranaire en fonction de la pression transmembranaire initiale, Vs et l’UMFI:

$$\frac{1}{J_s} = \frac{J_{so}}{J_s} = \frac{\Delta P}{\Delta P_0} = 1 + UMFI * V_s \Leftrightarrow \Delta P = \Delta P_0 * (1 + UMFI)V_s \quad \text{Eq III.25}$$

L’équation 7 peut être utilisée pour optimiser les différents cycles de lavage en fixant une pression transmembranaire maximum à atteindre. Cela est particulièrement intéressant si UMFI<sub>R</sub> et UMFI<sub>C</sub> sont connus, permettant ainsi d’optimiser les rétro-lavages et les lavages chimiques.

**5.6.Impact des prétraitements sur le colmatage membranaire**

Les prétraitements visent à diminuer le pouvoir colmatant d’une eau en altérant ses caractéristiques physico-chimiques. Nous aborderons dans cette partie deux prétraitements qui ont prouvé leur efficacité pour diminuer le colmatage membranaire : l’ozonation et la filtration sur CAB

**5.6.1. Ozonation**

L’ozone est un oxydant puissant qui, en solution aqueuse, réagit avec les liaisons insaturées et les sites de fortes densités électroniques tels les liens doubles et triples. La majorité du temps, l’ozone se décompose aussi en partie en radicaux libres qui permettent une oxydation moins sélective [118] et plus puissante. L’ozone a tendance à briser les macromolécules et les substances aromatiques pour former des substances de masse moléculaire plus faible [119]. L’ozone semble donc bien adapté comme prétraitement pour la filtration membranaire, puisque les substances colmatantes identifiées précédemment sont des biopolymères et des substances humiques possédant des cycles aromatiques et de longues chaînes carbonées. Des doses d’ozone comprises entre 2 et 3 mg O<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> ont permis d’améliorer de quatre à cinq fois la perméabilité de membranes MF en polyfluorure de vinylidène (PVDF) [120-121]. Le maintien d’un résiduel le long des fibres de la membrane semble être cependant essentiel afin de maintenir une perméabilité stable et élevée [122]. Le maintien d’un résiduel d’ozone à la surface de la membrane possède cependant l’inconvénient de

ne pouvoir être appliqué que sur des membranes résistantes à l'ozone, ce qui n'est pas le cas de la majorité des membranes en polymère [123]. Cela explique notamment pourquoi les études sur l'effet de la pré-ozonation sur le colmatage des membranes se sont concentrées principalement sur des membranes en céramique ou en PVDF. Deux inconvénients à l'ozonation doivent cependant être soulevés : l'ozonation d'une eau contenant des ions bromures entraîne la production de bromates, composés sujets à une réglementation [124]. De plus, la diminution de la masse moléculaire de la MON et l'augmentation de groupes oxygénés conduits à la formation de composés facilement biodégradables. Ces composés, généralement trop petits pour être enlevés par de la MF ou de la UF, sont notamment des précurseurs de sous-produits de désinfection (SPD) qui sont eux aussi sujets à une réglementation par le Ministère du Développement Durable. L'ozonation peut donc nécessiter la mise en place d'autres traitements pour rencontrer les exigences en matière de qualité d'eau produite

#### **5.6.2. Filtration sur charbon actif biologique**

La filtration sur CAB consiste en un filtre dont les capacités d'adsorption sont épuisées. L'enlèvement de la matière organique et autres polluants s'effectue par la biomasse qui s'est développée sur le matériau filtrant. La biofiltration peut être utilisée seule ou en combinaison avec des prétraitements comme la coagulation ou l'ozonation. La combinaison de l'ozonation et de la biofiltration permet d'améliorer la biodégradabilité de la MON, ce qui améliore globalement son enlèvement par rapport à la biofiltration seule [125]. La combinaison ozonation /biofiltration/filtration membranaire (UF-PVDF,  $D_{\text{pores}}$ : 0.04 $\mu\text{m}$ ) a déjà été testée sur une eau synthétique [126] et a permis de réduire en moyenne 63% de son absorbance  $UV_{254\text{nm}}$ , 79% de sa couleur apparente et 28% de son COD. Plus récemment, les travaux de Hallé et al. (2009) ont mis en évidence l'efficacité des biofiltres seuls pour réduire le colmatage de membranes d'ultrafiltration, ainsi que l'importance du temps de contact en fût vide comme paramètre de conception.

# **Chapitre IV :**

# **Matériels et**

# **Méthodes**

---

---



### 1. Introduction :

L'osmose inverse est une technique de séparation par membrane dense dont la force motrice est un gradient de pression. Ce procédé peut être défini comme un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane semi-perméable.

L'intérêt de cette technique réside dans le fait qu'elle permet d'arrêter des molécules ou des ions et laisse passer les molécules d'eau.

Le pilote TE 200 utilisé pour cette étude expérimentale est un appareil qui consiste en un bac d'alimentation doté de membrane semi-perméable et en un système de pompe destiné à assurer la pression requise. Les essais ont été réalisés au laboratoire de TTE du

Département d'Hydraulique à l'université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen sur des échantillons d'eaux saumâtres préparés par la dissolution de sel avec l'eau de robinet.

### 2. Objectif :

Les objectifs principaux des expériences que nous avons menées se résument par les points suivants:

-Etude des caractéristiques de la membrane :

- ❖ Recherche de la pression osmotique à l'eau.

-Etude du procédé d'osmose inverse pour une solution de sels :

- ❖ Recherche de l'évolution de la rétention globale du module en fonction de la pression de filtration et de la concentration initiale de la solution saline.
- ❖ Evolution du taux de conversion de la membrane.
- ❖ Choix de la déférence de pression de part et d'autre de la membrane et de pression d'alimentation.

### 3. Le pilote TE200 :



**Figure IV.1 :** photo de pilot TE 200 (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

### 4. Description du pilote:

#### 4.1. Construction:

L'appareil consiste essentiellement en une cartouche contenant la membrane filtrante, montée sur un panneau lui-même supporté par une charpente, ainsi que ses organes de stockage de contrôle et de mesure.

**1** : Cuve d'alimentation de la solution, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 60 l, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 15.

**2** : Canalisation d'alimentation de la solution dans la cartouche d'osmose inverse en PVC, DN 10, PN 16.

**3** : Cartouche d'osmose inverse, de type enroulée en spirale; membrane en film mince; pression maximum d'utilisation 21 B; débit d'alimentation maximum 660 l/h; diamètre 50 mm, longueur 1000 mm.

**4** : Cuve de réception du perméat, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 40 l, avec vanne de vidange de type trois voies (prélèvement ou recyclage) à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 15.

**5** : Echangeur de chaleur sur le circuit du concentrât, de type LIEBIG (monotubulaire), en acier inoxydable 316, surface totale d'échange 0,03 m<sup>2</sup>.

**6** : Cuve de réception du concentrât, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 60 l, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 15.

**7** : Charpente de supportage en tube carrés en acier inoxydable 304 L; L\*P\*H: 1100\*600\*1500.

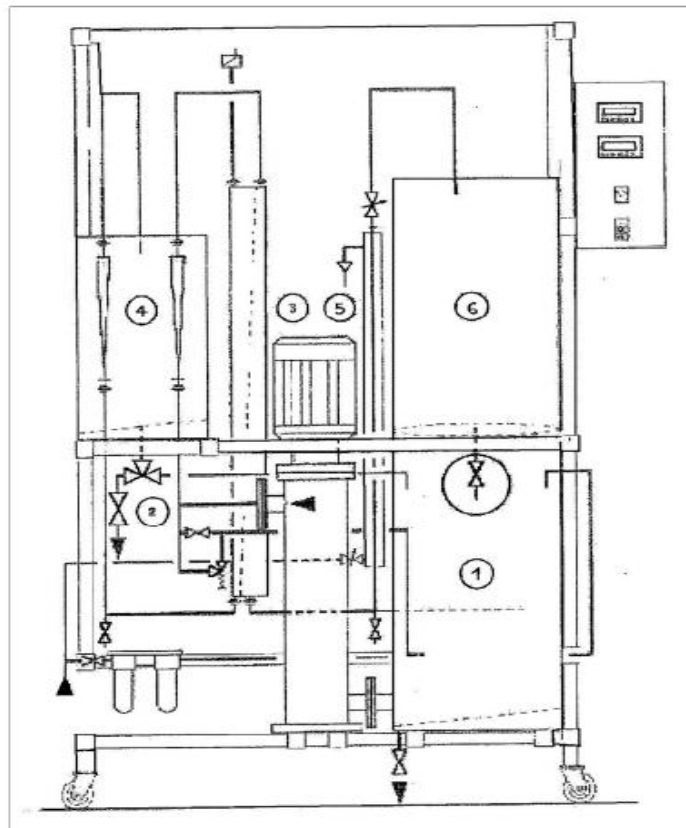


Figure VI. 2 : Construction de pilot TE 200.

#### 4.2. Instrumentation:

- Débitmètre à flotteur du circuit de sortie du perméat, en PVC transparent, DN 15; échelle (20-160 l/h) ; précision +/- 5 %.

- Débitmètre à flotteur du circuit d'alimentation de la solution, en PVC transparent, DN 20; échelle (100 - 1000 l/h); précision +/- 5 %.
- Sonde de mesure de conductivité en plastique; électrodes de mesure en graphite spécial; gamme de service (0 - 100 °C); sonde de correction de température incluse.
- Transmetteurs de conductivité; gamme de mesure (0 - 200  $\mu\text{s/cm}$ ) et (0 - 200  $\text{ms/cm}$ ) ; fréquence de mesure 3 KHz; écart de mesure +/- 2 %; correction automatique de la température de mesure; sortie analogique 4 - 20 mA.
- Pompe centrifuge d'alimentation d type multi étagée, corps et aubages en acier inoxydable 316 ; moteur électrique monophasé, 220 v, 50 Hz, 2,2 KW.
- Détecteur de niveau de sécurité de la cuve d'alimentation, de type à flotteur magnétique en plastique.
- Afficheur digital multivoies de la conductivité du perméat et du concentrât; entrée (4- 20 mA); alimentation électrique monophasé, 220 v, 50 Hz.
- Armoire de contrôle et de commande située sur la charpente comprenant:
  - ❖ Arrêt/Marché général;
  - ❖ Fusibles de protection de tour les appareils électriques;
  - ❖ Arrêt/Marche de la pompe d'alimentation avec protection par thermique de sécurité;
  - ❖ Alimentations stabilisées 220V, 50Hz / 5V DC des transmetteurs de conductivité ;
  - ❖ Alimentation stabilisée 220V 50Hz /24V DC des transmetteurs de conductivité, Transmetteurs de conductivité 200  $\text{ms/cm}$  et 200 $\mu\text{s/cm}$  ;
  - ❖ Afficheur digital de conductivité.
- Deux manomètres l'un pour mesurer la pression à l'entrée du module (16 bars max) et l'autre pour mesurer la pression à la sortie du concentrât.

### 4.3. Liste des vannes :

- Vanne manuelle d'arrêt alimentation eau naturelle.
- Vanne manuelle d'arrêt échangeur concentrât.
- Vanne manuelle d'arrêt sortie perméat.
- Vanne manuelle sortie cuve alimentation.
- Vanne manuelle sortie cuve perméat.
- Vanne manuelle sortie cuve concentrât.
- Vanne manuelle vidange canalisation concentrât.
- Vanne manuelle vidange canalisation perméat.
- Vanne manuelle de réglage by-pass pompe alimentation.
- Vanne manuelle de réglage sortie concentrât.

### 5. Expériences :

#### 5.1. Préliminaires :

Bien lire le protocole pour éviter de détruire le module

- ❖ La pompe ne doit jamais fonctionner sans eau à l'intérieur.
- ❖ La pression à l'entrée du module ne doit pas excéder 15 bars.
- ❖ Dans la suite des explications le terme « eau » sans précision particulière signifie toujours de l'eau brute.
- ❖ On signale que la différence de pression  $\Delta P$  est définie comme étant la différence de pression entre l'amont et l'aval de la membrane.  $\Delta P$  est finalement égale à la valeur de la pression relative lue sur le manomètre en amont de la membrane car la pression en aval est égale à la pression atmosphérique aux pertes de charge près. Cette approximation n'est pas gênante pour un essai comparatif entre différentes conditions opératoires.
- ❖ On définit la pression efficace  $P_e$  par la relation :  $P_e = \Delta P - \Delta\pi$   
 $\Delta\pi$  est la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane ; dans le cas d'un perméat très dilué (c'est le cas dans notre travail)  $\Delta\pi$  devient la pression osmotique du flux d'alimentation (eau salée).
- ❖ Le passage d'eau et de soluté à travers la membrane entraîne de fort dégagement de chaleur. Ce dégagement de chaleur est transmis à la solution (perméat et concentrât) et au module. La température du bac d'alimentation augmente jusqu'à parvenir à une température de stabilisation qui est de l'ordre de 30 °C (en 1h30 - 2h environ).

#### 5.2. Procédure de démarrage du pilote:

- Raccorder le câble d'alimentation électrique général sur une prise de courant électrique 220 V, monophasé, 50 Hz, 10 A,
- Raccorder un tuyau souple à la vidange de la cuve d'alimentation vers une évacuation de laboratoire pourvue de traitements d'effluents ;
- Raccorder un tuyau souple d'évacuation de l'échangeur du concentrât a une évacuation de laboratoire;
- Raccorder un tuyau souple à la sortie de la soupape de sécurité située sur le circuit de recyclage de la cuve d'alimentation vers une évacuation de laboratoire pourvue de traitements d'effluents ;
- Raccorder un tuyau souple d'alimentation d'eau brute du réseau sur le pilote ;
- Raccorder un tuyau souple à la vidange de la cuve de réception du perméat ;
- Mettre sous tension le pilote par le contacteur général sur la position "MARCHE" ;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation VS1 ;
- Fermer la vanne de remplissage d'eau brute de la cuve d'alimentation VA1 ;
- Ouvrir la vanne de vidange de la cuve de réception, du concentrât VS3 ;
- Ouvrir vanne d'alimentation générale d'eau brute,
- Ouvrir en plein la vanne de réglage de débit de recyclage de l'alimentation VR1 ;
- Ouvrir à moitié la vanne de réglage de débit de sortie du concentrât VR2,
- Positionner la vanne trois voies de sortie de la cuve de réception du perméat VS2 de manière à recycler celui-ci vers la cuve d'alimentation (L orienté à droite) ;
- Ouvrir la vanne d'alimentation de l'eau de refroidissement de l'échangeur du circuit concentrât VA2 ;
- Le pilote est prêt pour une manipulation.

### 5.3. Production d'eau osmosée:

- Mettre en marche le pilote ;
- Positionner le tuyau de sortie de la cuve de réception du perméat dans un bidon de stockage d'eau osmosée ;
- Ouvrir VA1 faiblement de manière à faire passer l'eau brute d'alimentation à travers le filtre lentement ;
- Lorsque la cuve d'alimentation est pleine fermer VA1 ;
- Mettre en marche la pompe d'alimentation ;
- Régler la pression d'alimentation de la cartouche à 8 bars en fermant VA1 ;
- Régler le débit d'alimentation à 500 l/h avec VR2 ;
- Ajuster à nouveau la pression d'alimentation avec VR1 à 10 bars ;
- Ajuster à nouveau le débit d'alimentation avec VR2 à 500 l/h ;
- Procéder par étapes successives avec les vannes de réglage VR1 et VR2 pour obtenir les paramètres de fonctionnement correctes ;
- Le perméat et le concentrât sont recyclés pendant cette période de réglage ;
- Lorsque la conductivité du perméat ( $CI2 < 10 \mu\text{s/cm}$ ), il convient de le prélever ;
- Positionner VS2 de manière à prélever l'eau osmosée ;
- Lorsque la conductivité du perméat remonte ( $CI2 > 10 \mu\text{s/cm}$ ), il convient de le recycler ;
- Positionner VS2 de manière à recycler l'eau osmosée vers la cuve d'alimentation ;
- Ouvrir au maximum VRI et VR2 ;
- Arrêter la pompe d'alimentation ;
- Vidanger la cuve d'alimentation par VS1 ;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation VS1 ;
- Si la quantité d'eau osmosée produite n'est pas suffisante, il convient de recharger la cuve d'alimentation en eau brute ;
- Remplir à nouveau la cuve d'alimentation d'eau brute par VA1 ;
- Lorsque la cuve d'alimentation est pleine, fermer VA1 ;
- Recommencer les opérations décrites ci-dessus jusqu'à obtention de la quantité d'eau osmosée nécessaire ;
- Lorsque la quantité d'eau osmosée nécessaire est obtenue, il convient d'arrêter le pilote.

### 5.4. Procédure générale d'arrêt:

- Ouvrir au maximum VR1 et VR2 ;
- Arrêter la pompe d'alimentation ;
- Fermer la vanne d'alimentation d'eau de refroidissement VA2 ;
- Fermer VA1 ;
- Vidanger la cuve d'alimentation par VS1 ;
- Vidanger si nécessaire la cuve de réception du concentrât par VS3 dans la cuve d'alimentation ;
- Vidanger si nécessaire la cuve de réception du perméat par VS2 (L orienté à gauche) - Positionner le tuyau d'évacuation de la sortie de la cuve de réception du perméat vers l'égout du laboratoire ;
- Nettoyer les cuves d'alimentation et de réception ;
- Rincer les cuves avec de l'eau déminéralisée ;
- Fermer les vannes VS1, VS3 et VA1 et à trois voies (L orienté à droite) ;
- Arrêter le coffret général électrique « ARRET » ;
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau ;
- Le pilote est prêt pour une autre manipulation [84].

### 5.5. Détermination de la perméabilité de la membrane :

**But:** Détermination de la perméabilité de la membrane.

**Mode opératoire:**

Le perméat et le concentrât sont recyclés dans le bac d'alimentation afin de travailler sur une quantité d'eau raisonnable (50 l).

- ❖ Remplir le bac d'alimentation avec une solution de 2 g/l de sels.
- ❖ Régler la pression à l'entrée du module d'osmose à une pression fixe de 5 bars. Noter les débits d'entrée et de perméat.
- ❖ Renouveler l'opération pour des pressions de 7, 9 et 11 bars.
- ❖ Tracer la courbe  $Q_p=f(\Delta p)$ .

$\Delta p$  est la différence de pression de part et d'autre de la membrane, donner, en faisant un bilan sur les débits, l'équation de la courbe.

Nous rappelons que le flux massique de solvant est:

$$J_m = A * \Delta p$$

$$[J_m]: \text{Kg. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

Ou dans notre cas:

$$J_m = A * S * \Delta p$$

$$[J_m]: \text{Kg. s}^{-1}; [S]: \text{m}^2; [\Delta p]: \text{Pa}; [A]: \text{s.m}^{-1}.$$

A partir de la courbe nous déduirons la valeur du produit  $A*S$  en (m. s).

### 5.6. Manipulation (Rétention globale du module):

**But:** Déterminer dans quel sens les paramètres principaux (pression appliqué en amont, différence de pression de part et d'autre de la membrane, concentration en sels de la solution d'alimentation et taux de conversion) doivent évoluer pour parvenir à obtenir un taux de rejet élever tout en gardant un débit de perméat important.

**Mode opératoire:**

- ❖ Préparer une solution par dilution de l'eau de mer concentrée à 2 g/l de sels.
- ❖ Remplir le bac d'alimentation avec 50 l de cette solution.
- ❖ Mesurer la conductivité de la solution.
- ❖ On utilisant un thermomètre pour lire la température de la solution.
- ❖ Démarrer l'installation en laissant la recirculation et se placer à une pression d'alimentation de 5 bars et une différence de pression de part et d'autre de la membrane  $\Delta p = 0$  (pression de sortie est 5bars).
- ❖ Noter alors les débits de perméat  $Q_p$  et d'alimentation  $Q_a$ , les conductivités de perméat et de concentrât et puis pour la même pression d'alimentation faire varier  $\Delta p$  (0.5 ; 1 ; 1.5).

❖ Pour chaque couple de valeurs calculer:

- Y
- Sp
- Cp
- Rm

❖ Faire de même pour des concentrations de 2.5 ; 3 g/l de sels.

❖ Ensuite, recommencer les étapes décrites ci-dessus pour une pression d'alimentation de 7 bars avec les concentrations de 3; 3.5 et 4 g/l de sels, une pression d'alimentation de 9 bars avec les concentrations de 4; 4.5 ; 5 et 5.5 g/l de sels, et une pression d'alimentation de 11 bars avec les concentrations de 3; 3.5; 4 ; 4.5 ; 5 ; 5.5 ; 6 ; 6.5 et 7 g/l de sels.

Pour les résultats obtenus tracer les courbes :

- ❖ Conductivité du perméat en fonction de temps de différente pression de sortie pour une concentration donnée.
- ❖ Conductivité du concentrât en fonction de temps de différente pression de sortie pour une concentration donnée.
- ❖ Pour chaque concentration en sels,  $R_m = f(t)$  pour des différentes de pression de part et d'autre de la membrane.
- ❖  $R_m = f(C_p)$  de chaque concentration en sels de la solution d'alimentation pour différentes pressions de sortie.

### 6. Description des appareillages de mesure :

- **Le conductimètre :**



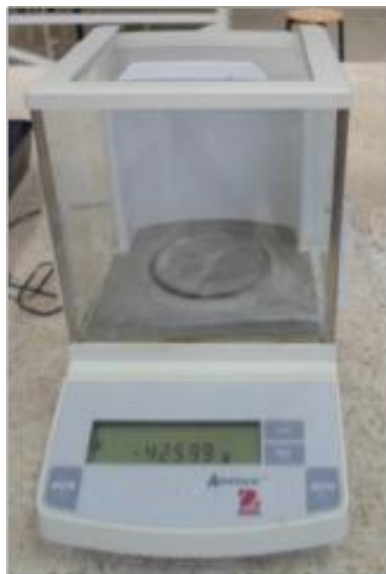
**Figure IV. 5:** Photo de conductimètre (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

- Agitateur :



**Figure IV.6 :** Photo de l'agitateur (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

- La balance électronique :



**Figure IV.7:** Photo de balance électronique (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen)



# Chapitre V : Résultats et Interprétations

---

---

### 1. Perméabilité de la membrane au solvant :

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 5.1.** Résultats des débits de perméat en fonction de pression

Pression (bar)	Débit d'alimentation (l/h)	Volume De perméat (ml)	Débit de perméat (l/h)	Pression d'alimentation *10 <sup>6</sup> (pascal)	Débit de perméat *10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s
5	733	190	11.4	0.5	0.306
7	359	270	16.2	0.7	0.444
9	339	248	14.9	0.9	0.389
11	307	270	16.2	1.1	0.444

La courbe tracée (Figure V.1) montre la variation du flux de solvant en fonction de la pression appliquée de part et d'autre de la membrane.

$$Q_p \text{ (m}^3\text{/s)} = J_{v1} \text{ (flux volumique de solvant).}$$

On ne connaît pas la surface de la membrane :

$$J_{v1} = J_{m1}/\rho = (A*S)/\rho * (\Delta P - \Delta \pi)$$

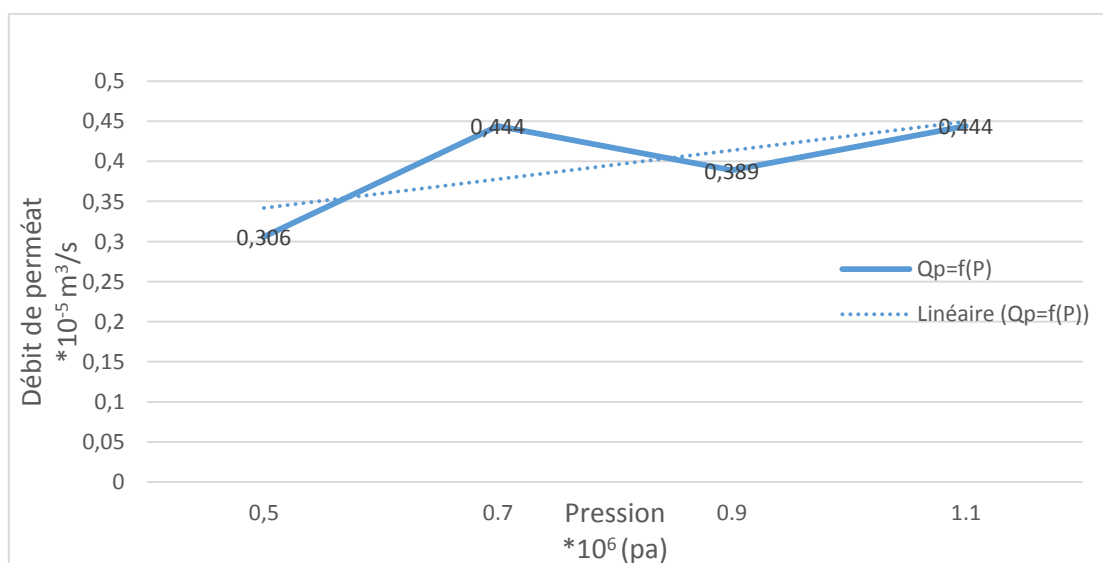
$\Delta \pi = 0$  car l'eau utilisée est considérée comme pure (5µs/cm).

$\Delta P = P$  en sortie du concentrât – P en sortie du perméat.

P en sortie du perméat = 0 car la pression de sortie de la membrane est à l'atmosphère et les manomètres indiquent des pressions relatives. Donc  $\Delta P = P$  en sortie du concentrât.

L'équation de la droite donne :

$$A*S = 1,163*10^{-8} \text{ m*s.}$$



**Figure V.1 :** Perméabilité de la membrane au solvant.

**Partie I : Une pression de 5 bars**

**2. Etude de la rétention globale du module.**

Pour cette étude nous utiliserons des concentrations de sels de 2 g/l jusqu'à 7 g/l. On fait changer la différence de pression de part et d'autre de la membrane ΔP.

Le perméat et le concentrât sont recyclés dans le bac d'alimentation afin de maintenir une concentration constante de sels.

La durée de chaque manipulation est de 23 minutes.

**2.1. Pour une concentration de 2 g/l :**

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 3600 (μs/cm)

Température avant 22 °C                      Température après 30 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 2 \text{ g/l} = 34.19 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 34.19 * 8,316 * (22 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 1.68 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 1 dans l'annexe :

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 2 dans l'annexe :

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 3 dans l'annexe :

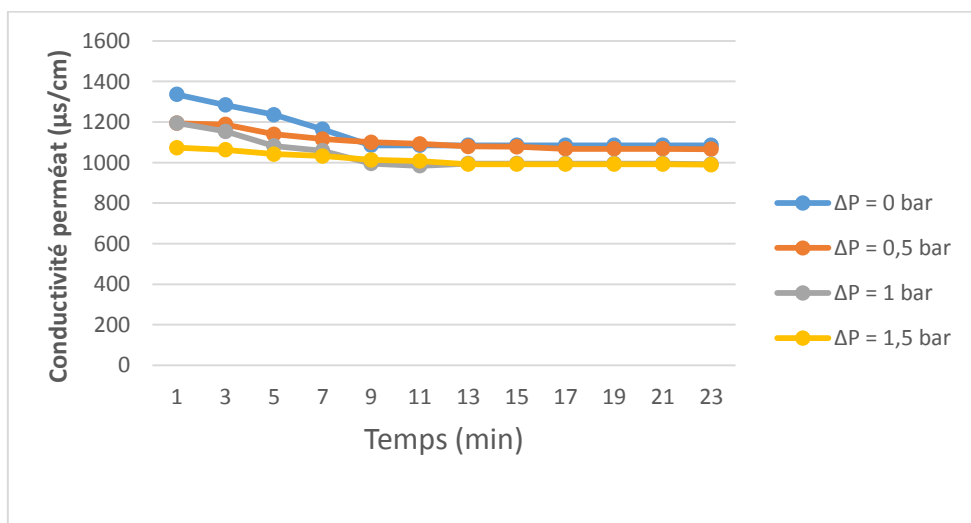
Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 4 dans l'annexe :

**2.1.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.**

**\* La variation de la conductivité du perméat.**



**Figure V.2:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

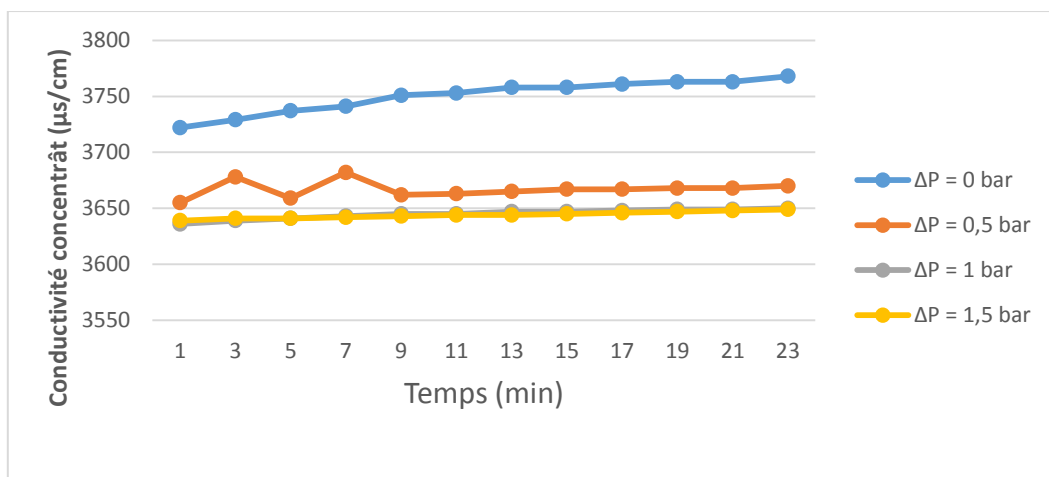


Figure V.3: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2g/l).

2.1.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

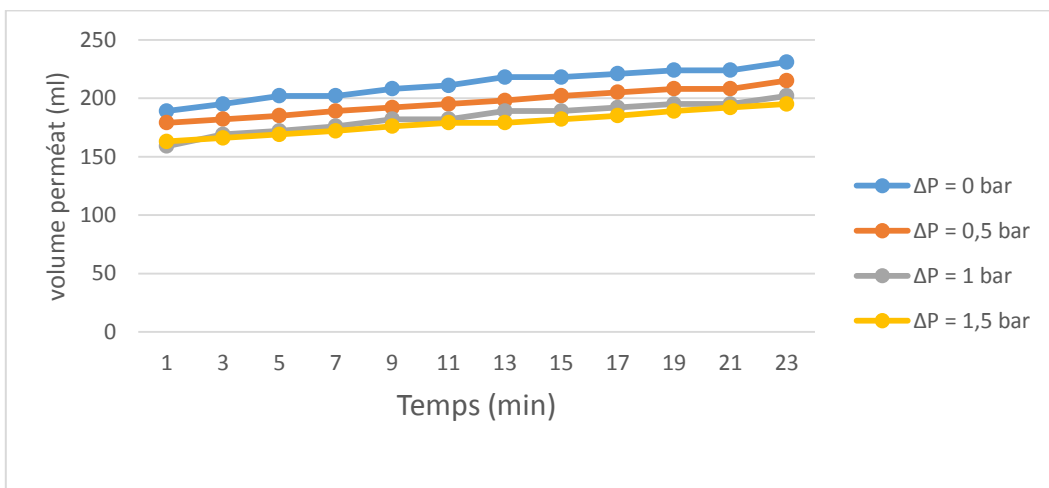


Figure V.4: La variation de volume de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2 g/l).

2.1.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Remarque :

Du fait de la faible concentration en sels dans le perméat on peut calculer la conductivité par la formule suivante :

$$\text{Conductivité} = (C_{\text{Na}^+} * Z_{\text{Na}^+} * \lambda_{0\text{Na}^+}) + (C_{\text{Cl}^-} * Z_{\text{Cl}^-} * \lambda_{0\text{Cl}^-})$$

$$Z_{\text{Na}^+} = Z_{\text{Cl}^-} = 1$$

$$C_{\text{Na}^+} = C_{\text{Cl}^-} = C_{\text{NaCl}}$$

Donc :

$$\text{Conductivité} = C_{\text{NaCl}} * (\lambda_{0\text{Na}^+} + \lambda_{0\text{Cl}^-})$$

$$\lambda_{0\text{Na}^+} + \lambda_{0\text{Cl}^-} = 126$$

### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.2 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 2 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	10,6032	0,3101	0,6899
3	10,1905	0,2981	0,7019
5	9,8095	0,2869	0,7131
7	9,2381	0,2702	0,7298
9	8,6111	0,2519	0,7481
11	8,6111	0,2519	0,7481
13	8,6111	0,2519	0,7481
15	8,6111	0,2519	0,7481
17	8,6111	0,2519	0,7481
19	8,6111	0,2519	0,7481
21	8,6111	0,2519	0,7481
23	8,6111	0,2519	0,7481

### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.3 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 2 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	9,4762	0,2772	0,7228
3	9,4286	0,2758	0,7242
5	9,0476	0,2646	0,7354
7	8,8571	0,2591	0,7409
9	8,7302	0,2554	0,7446
11	8,6667	0,2535	0,7465
13	8,5714	0,2507	0,7493
15	8,5556	0,2503	0,7498
17	8,4762	0,2479	0,7521
19	8,4762	0,2479	0,7521
21	8,4762	0,2479	0,7521
23	8,4603	0,2475	0,7525

### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.4 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 2 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	9,4841	0,2774	0,7226
3	9,1587	0,2679	0,7321
5	8,5873	0,2512	0,7488
7	8,3968	0,2456	0,7544
9	7,8968	0,2310	0,7690
11	7,8095	0,2284	0,7716
13	7,8968	0,2310	0,7690
15	7,8968	0,2310	0,7690
17	7,8968	0,2310	0,7690
19	7,8968	0,2310	0,7690
21	7,8968	0,2310	0,7690
23	7,8730	0,2303	0,7697

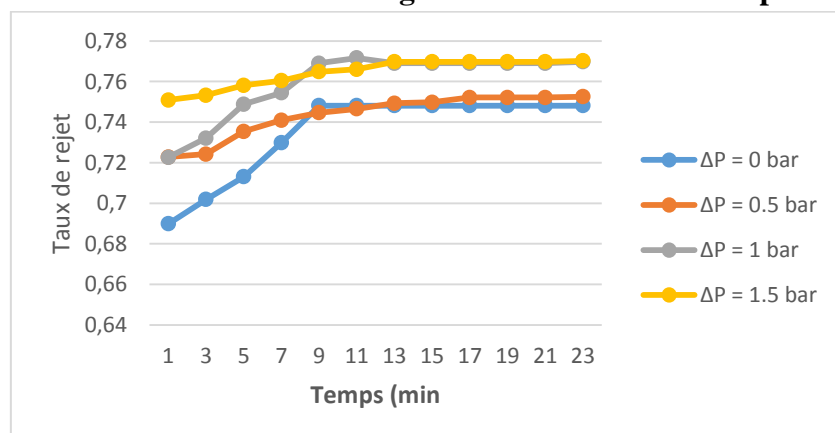
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.5 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 2 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	8,5159	0,2491	0,7509
3	8,4365	0,2468	0,7532
5	8,2698	0,2419	0,7581
7	8,1905	0,2396	0,7604
9	8,0397	0,2352	0,7648
11	8,0000	0,2340	0,7660
13	7,8730	0,2303	0,7697
15	7,8730	0,2303	0,7697
17	7,8730	0,2303	0,7697
19	7,8730	0,2303	0,7697
21	7,8730	0,2303	0,7697
23	7,8571	0,2298	0,7702

### 2.1.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.5:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C = 2 \text{ g/l}$ ).

2.1.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

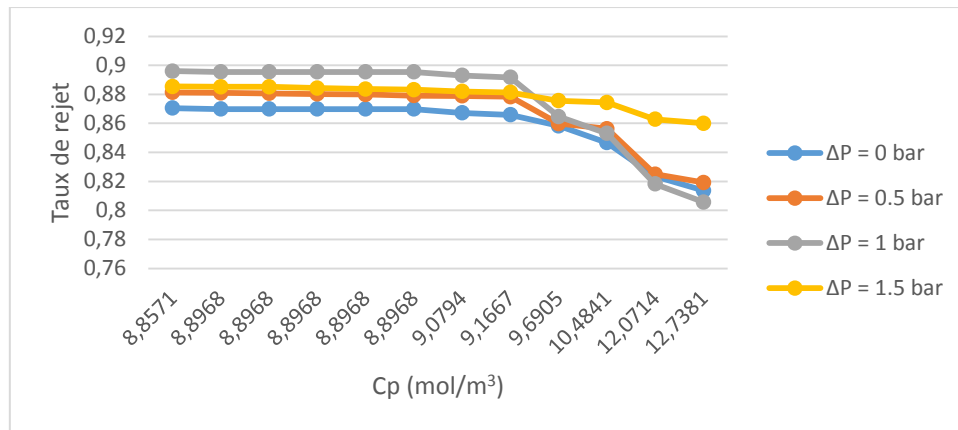


Figure V.6: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2 g/l).

2.2. Pour une concentration de 2,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 4000 (μs/cm)

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique :  $\pi = i * C * R * T$

$$C = 2,5 \text{ g/l} = 42,74 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 42,74 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 2.1 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 5 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 6 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 7 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 21 °C                      Température après 30 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 8 dans l'annexe.

2.2.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

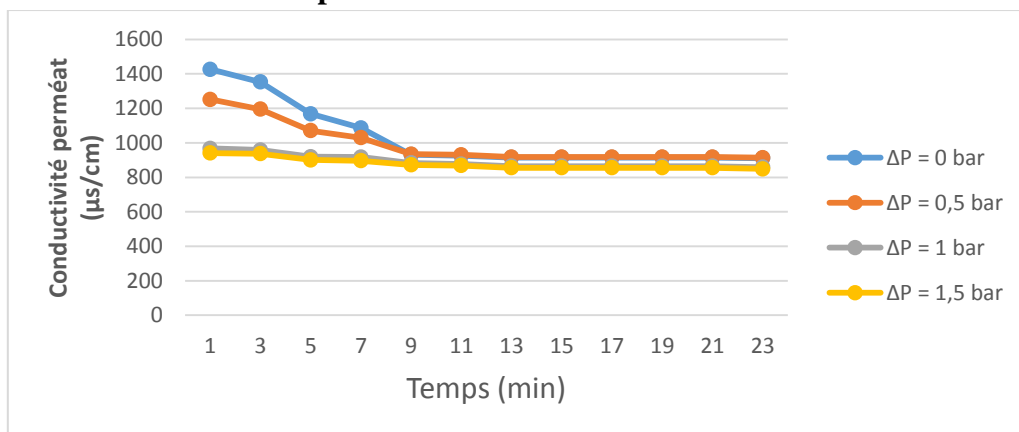


Figure V.7: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2.5g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

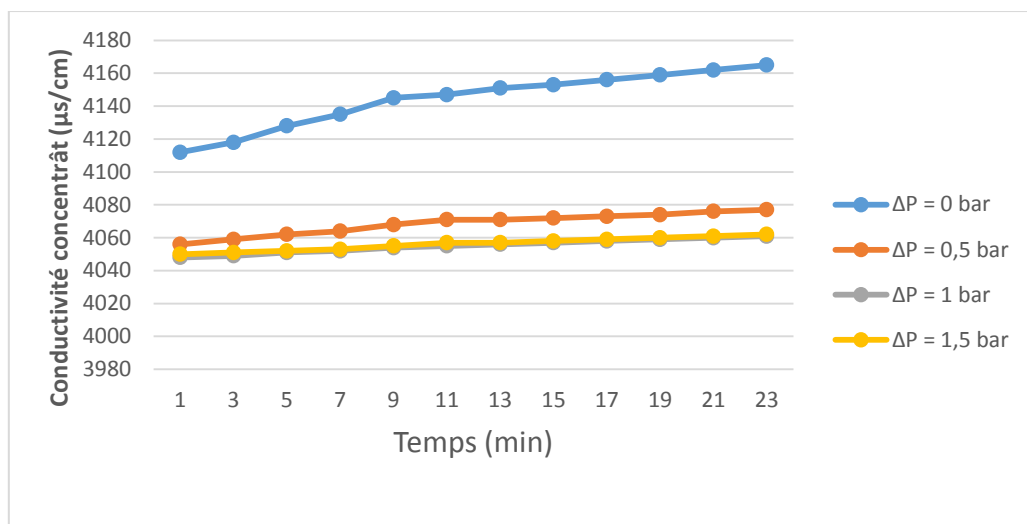


Figure V.8: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2.5$ g/l).

2.2.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

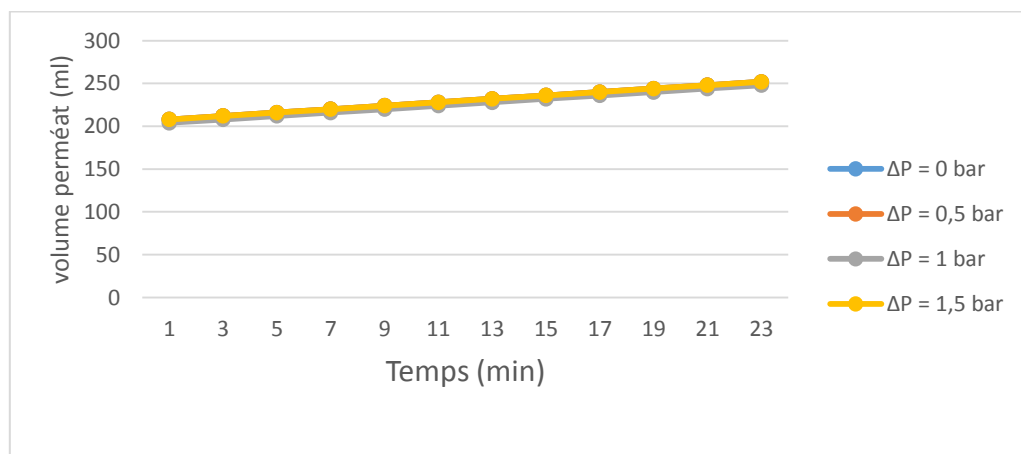


Figure V.9: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=2.5$  g/l).

2.2.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.



**Tableau 5.6 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 2,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,3175	0,2648	0,7352
3	10,7381	0,2513	0,7487
5	9,2698	0,2169	0,7831
7	8,6190	0,2017	0,7983
9	7,3889	0,1729	0,8271
11	7,3492	0,1720	0,8280
13	7,2619	0,1699	0,8301
15	7,2619	0,1699	0,8301
17	7,2619	0,1699	0,8301
19	7,2619	0,1699	0,8301
21	7,2619	0,1699	0,8301
23	7,2302	0,1692	0,8308

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.7 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 2,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,9365	0,2325	0,7675
3	9,4841	0,2219	0,7781
5	8,5000	0,1989	0,8011
7	8,1746	0,1913	0,8087
9	7,4127	0,1735	0,8265
11	7,3810	0,1727	0,8273
13	7,2778	0,1703	0,8297
15	7,2778	0,1703	0,8297
17	7,2778	0,1703	0,8297
19	7,2778	0,1703	0,8297
21	7,2778	0,1703	0,8297
23	7,2540	0,1697	0,8303

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.8 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 2,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	7,6825	0,1798	0,8202
3	7,6032	0,1779	0,8221
5	7,2937	0,1707	0,8293
7	7,2778	0,1703	0,8297
9	7,0079	0,1640	0,8360
11	6,9603	0,1629	0,8371
13	6,8651	0,1606	0,8394
15	6,8651	0,1606	0,8394
17	6,8651	0,1606	0,8394
19	6,8651	0,1606	0,8394
21	6,8651	0,1606	0,8394
23	6,8175	0,1595	0,8405

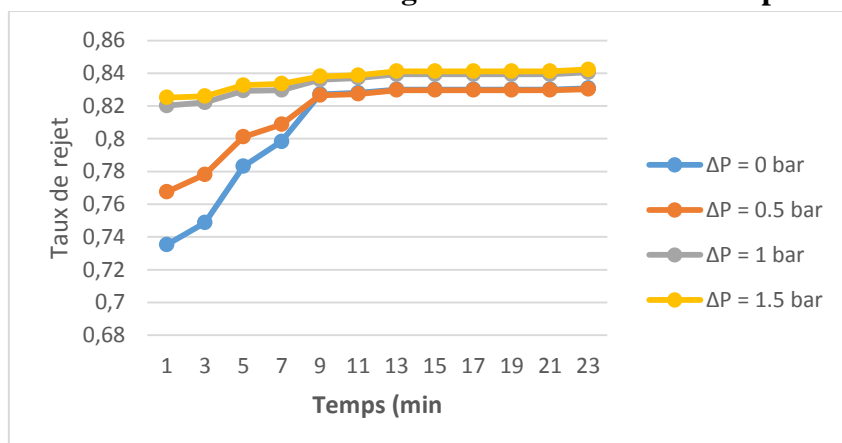
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.9 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 2,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	7,4683	0,1748	0,8252
3	7,4365	0,1740	0,8260
5	7,1508	0,1673	0,8327
7	7,1111	0,1664	0,8336
9	6,9206	0,1619	0,8381
11	6,8889	0,1612	0,8388
13	6,7857	0,1588	0,8412
15	6,7857	0,1588	0,8412
17	6,7857	0,1588	0,8412
19	6,7857	0,1588	0,8412
21	6,7857	0,1588	0,8412
23	6,7381	0,1577	0,8423

### 2.2.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.10:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=2,5 \text{ g/l}$ ).

2.2.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

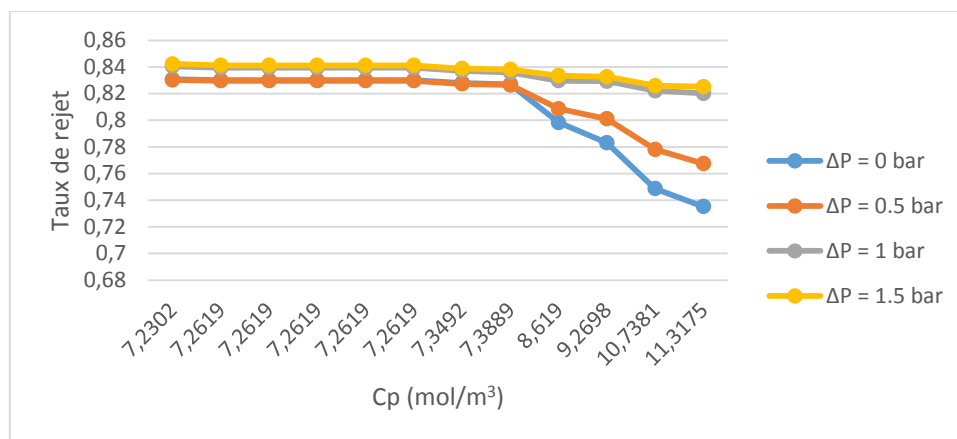


Figure V.11: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2.5 g/l).

2.3. Pour une concentration de 3 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 4850 (μs/cm)

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 3 \text{ g/l} = 51.28 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 51.28 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 2.52 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 9 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 10 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 19 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 11 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 12 dans l'annexe.

2.3.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

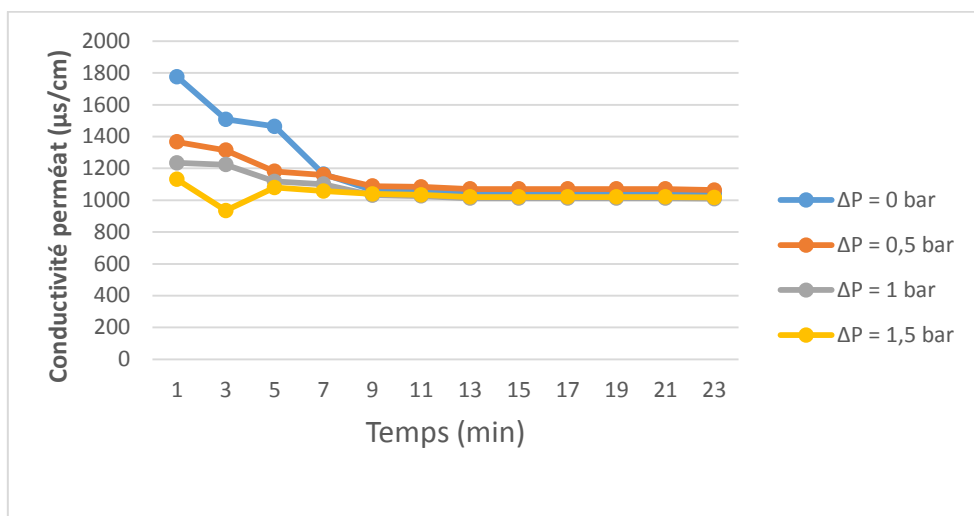


Figure V.12 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3\text{g/l}$ ).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

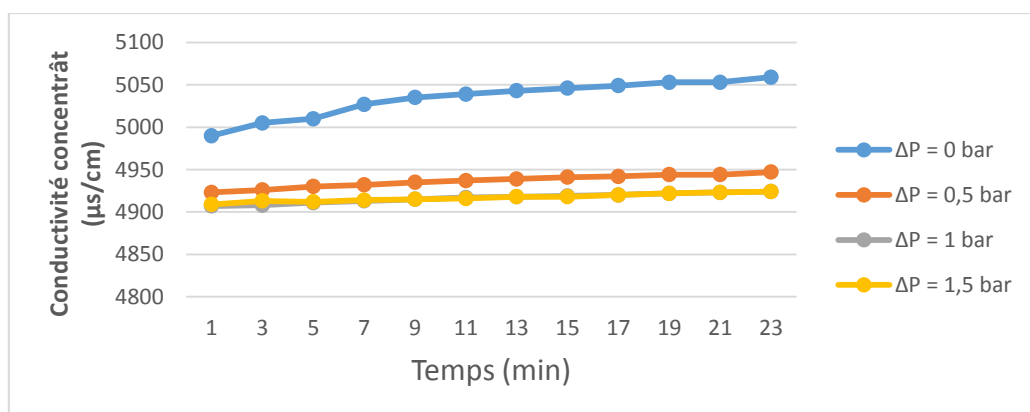


Figure V.13: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3\text{g/l}$ ).

2.3.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

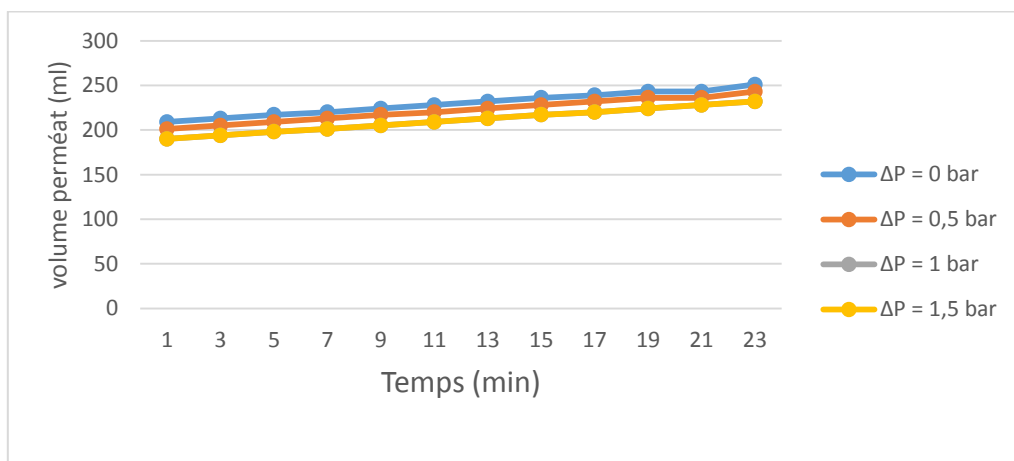


Figure V.14: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).

### 2.3.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.10 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 10$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C = 3$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	14,0952	0,2749	0,7251
3	11,9683	0,2334	0,7666
5	11,6190	0,2266	0,7734
7	9,2381	0,1801	0,8199
9	8,4444	0,1647	0,8353
11	8,4048	0,1639	0,8361
13	8,3095	0,1620	0,8380
15	8,3095	0,1620	0,8380
17	8,3095	0,1620	0,8380
19	8,3095	0,1620	0,8380
21	8,3095	0,1620	0,8380
23	8,2698	0,1613	0,8387

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.11 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 10$  bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ;  $C = 3$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	10,8413	0,2114	0,7886
3	10,4286	0,2034	0,7966
5	9,3730	0,1828	0,8172
7	9,1984	0,1794	0,8206
9	8,6429	0,1685	0,8315
11	8,5952	0,1676	0,8324
13	8,4921	0,1656	0,8344
15	8,4921	0,1656	0,8344
17	8,4921	0,1656	0,8344
19	8,4921	0,1656	0,8344
21	8,4921	0,1656	0,8344
23	8,4365	0,1645	0,8355

#### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.12 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,7937	0,1910	0,8090
3	9,7063	0,1893	0,8107
5	8,8730	0,1730	0,8270
7	8,7381	0,1704	0,8296
9	8,1825	0,1596	0,8404
11	8,1429	0,1588	0,8412
13	8,0317	0,1566	0,8434
15	8,0317	0,1566	0,8434
17	8,0317	0,1566	0,8434
19	8,0317	0,1566	0,8434
21	8,0317	0,1566	0,8434
23	8,0079	0,1562	0,8438

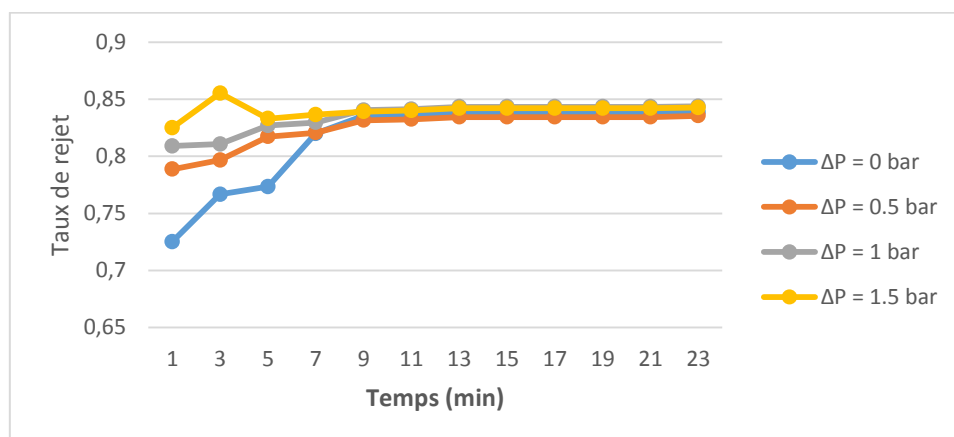
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.13 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	8,9762	0,1750	0,8250
3	7,4206	0,1447	0,8553
5	8,5635	0,1670	0,8330
7	8,3889	0,1636	0,8364
9	8,2460	0,1608	0,8392
11	8,1984	0,1599	0,8401
13	8,0952	0,1579	0,8421
15	8,0952	0,1579	0,8421
17	8,0952	0,1579	0,8421
19	8,0952	0,1579	0,8421
21	8,0952	0,1579	0,8421
23	8,0714	0,1574	0,8426

### 2.3.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.15:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5; 1; 1,5$  ;  $C=3 \text{ g/l}$ ).

2.3.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

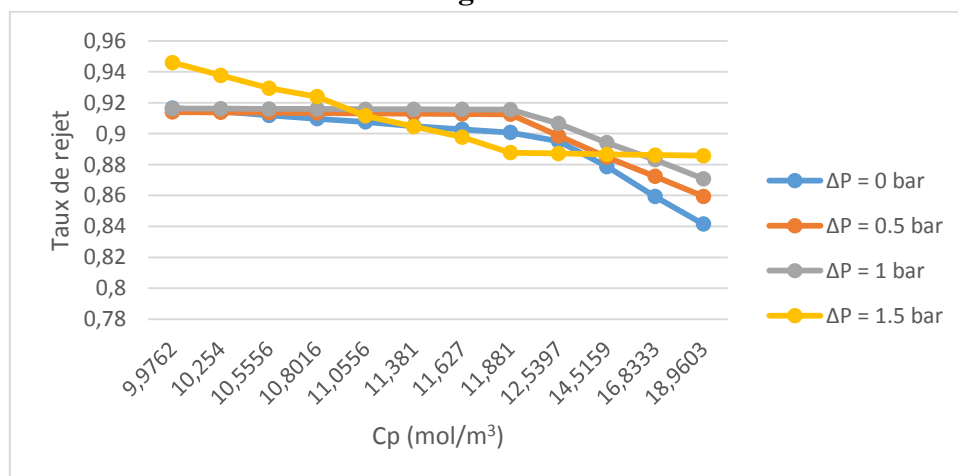


Figure V.16: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3 g/l).

**Partie II : Une pression de 7 bars**

2.4. Pour une concentration de 3 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 4850 (μs/cm)

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 13 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 14 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 15 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 16 dans l'annexe.

2.4.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

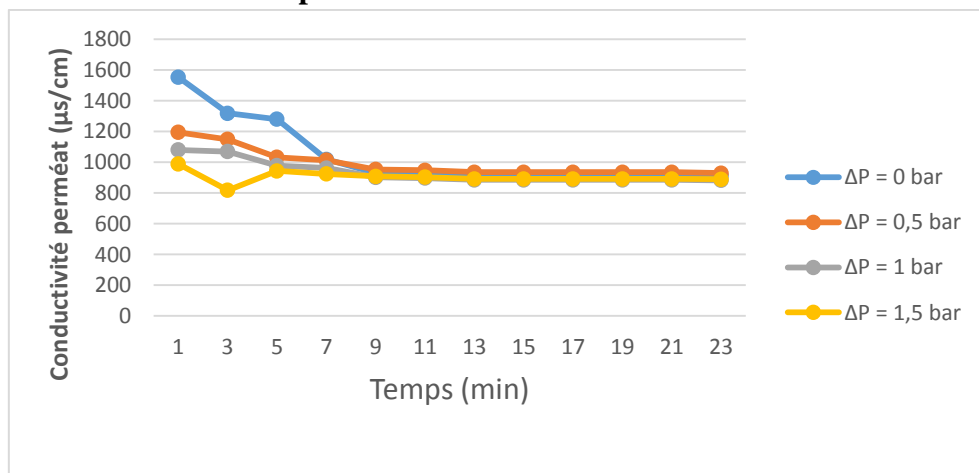


Figure V.17: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

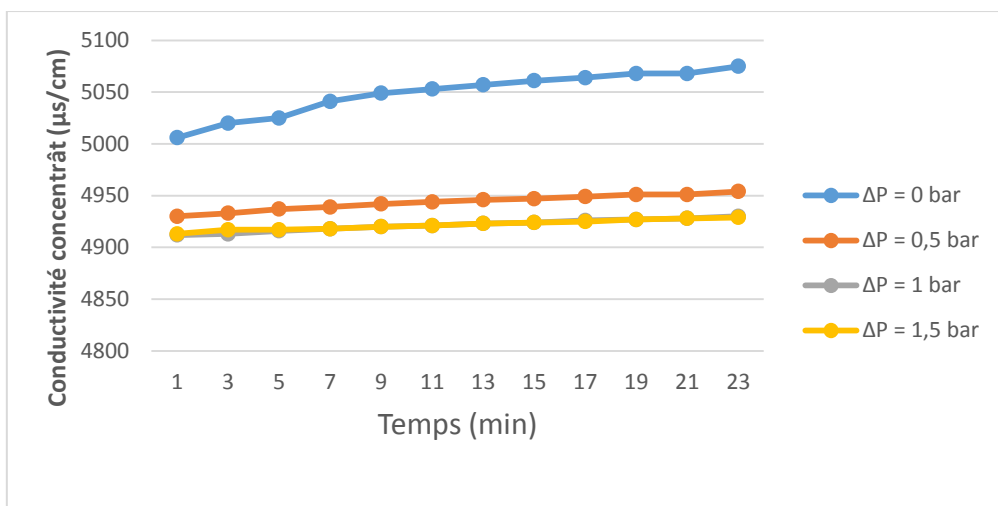


Figure V.18: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=3\text{g/l}$ ).

2.4.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

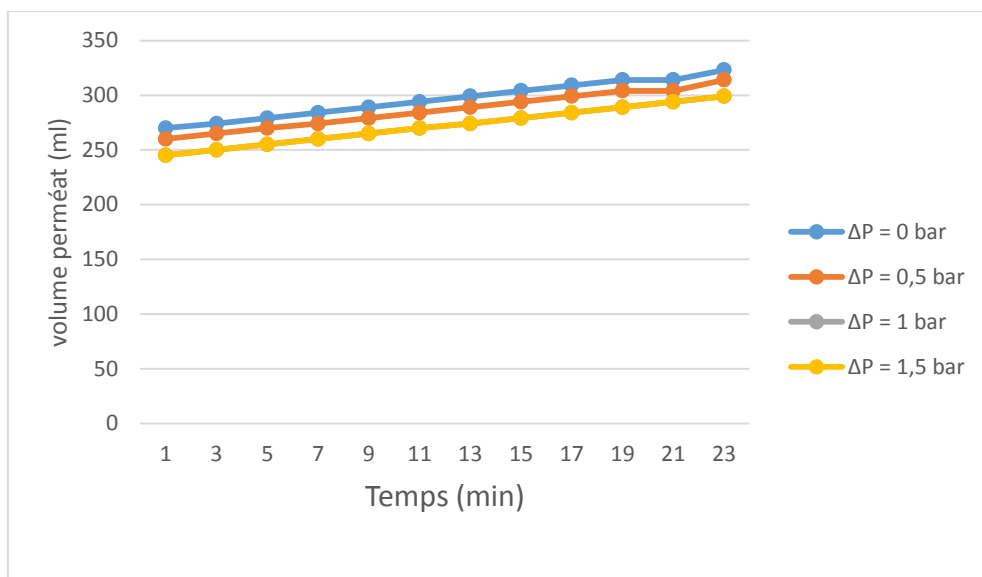


Figure V.19: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=3$  g/l).

2.4.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.



## Chapitre V : Résultats et interprétations

**Tableau 5.14 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,3175	0,2402	0,7598
3	10,4603	0,2040	0,7960
5	10,1508	0,1979	0,8021
7	8,0794	0,1575	0,8425
9	7,3810	0,1439	0,8561
11	7,3413	0,1432	0,8568
13	7,2619	0,1416	0,8584
15	7,2619	0,1416	0,8584
17	7,2619	0,1416	0,8584
19	7,2619	0,1416	0,8584
21	7,2619	0,1416	0,8584
23	7,2302	0,1410	0,8590

**Manipulation n°02 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.15 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,4762	0,1848	0,8152
3	9,1111	0,1777	0,8223
5	8,1905	0,1597	0,8403
7	8,0397	0,1568	0,8432
9	7,5556	0,1473	0,8527
11	7,5159	0,1466	0,8534
13	7,4206	0,1447	0,8553
15	7,4206	0,1447	0,8553
17	7,4206	0,1447	0,8553
19	7,4206	0,1447	0,8553
21	7,4206	0,1447	0,8553
23	7,3730	0,1438	0,8562

**Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.16 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	8,5635	0,1670	0,8330
3	8,4841	0,1654	0,8346
5	7,7540	0,1512	0,8488
7	7,6349	0,1489	0,8511
9	7,1508	0,1394	0,8606
11	7,1111	0,1387	0,8613
13	7,0238	0,1370	0,8630
15	7,0238	0,1370	0,8630
17	7,0238	0,1370	0,8630
19	7,0238	0,1370	0,8630
21	7,0238	0,1370	0,8630
23	7,0000	0,1365	0,8635

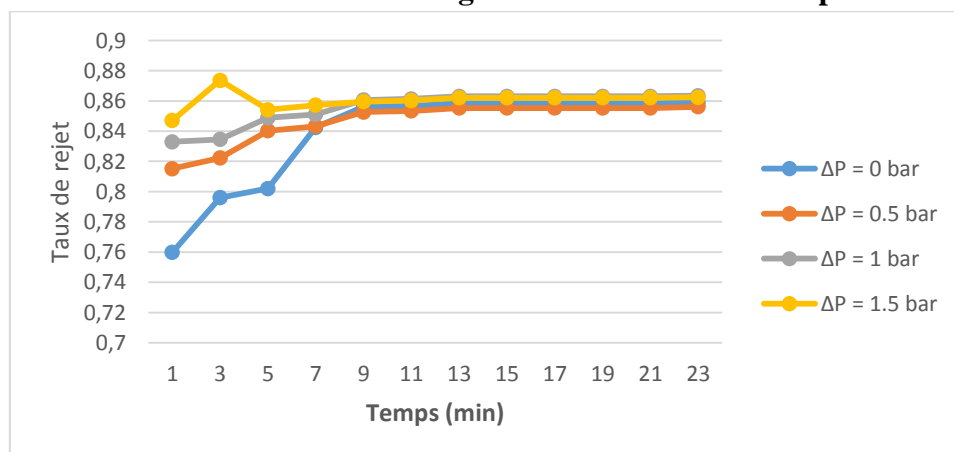
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.17 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	7,8413	0,1529	0,8471
3	6,4841	0,1264	0,8736
5	7,4841	0,1459	0,8541
7	7,3254	0,1428	0,8572
9	7,2063	0,1405	0,8595
11	7,1667	0,1398	0,8603
13	7,0714	0,1379	0,8621
15	7,0714	0,1379	0,8621
17	7,0714	0,1379	0,8621
19	7,0714	0,1379	0,8621
21	7,0714	0,1379	0,8621
23	7,0556	0,1376	0,8624

### 2.4.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.20:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3 \text{ g/l}$ ).

2.4.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

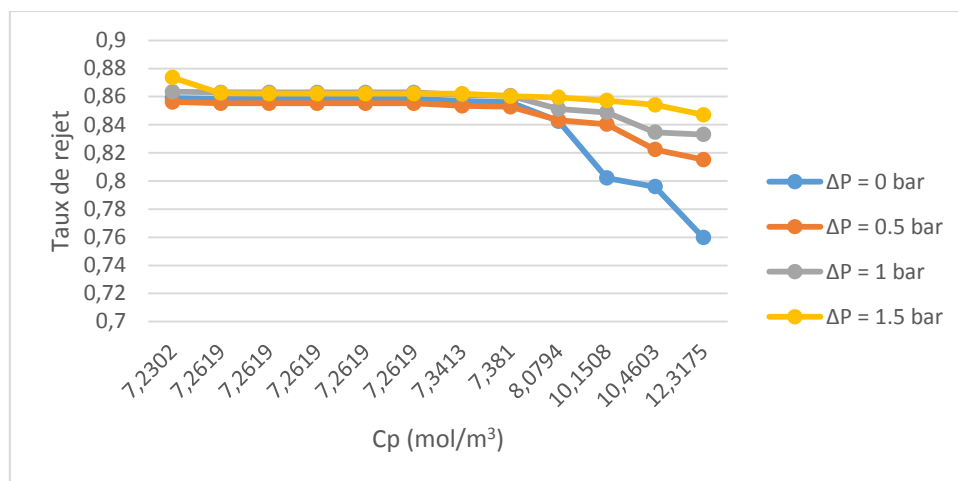


Figure V.21: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3 g/l).

2.5. pour une concentration de 3,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 5450 (μs/cm)

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 3,5 \text{ g/l} = 59.83 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 59.83 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 2.94 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 17 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 18 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 18 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 17 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 19 dans l'annexe.

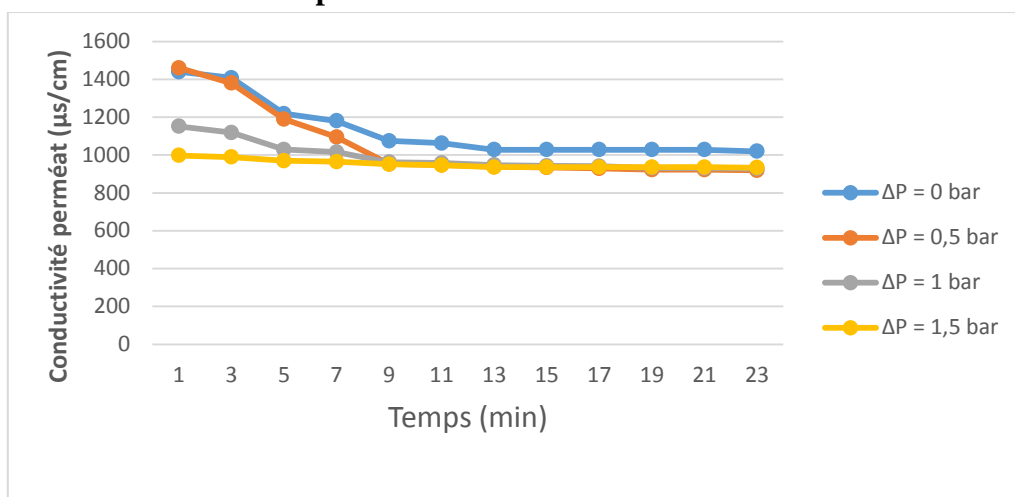
Manipulation n°04 :

Température avant 17 °C                      Température après 25 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 20 dans l'annexe.

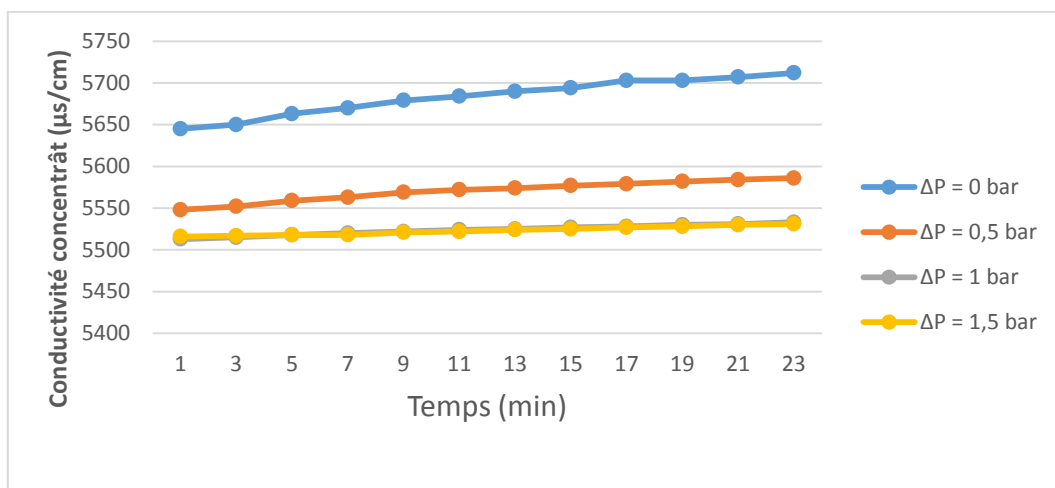
### 2.5.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

#### \* La variation de la conductivité du perméat.



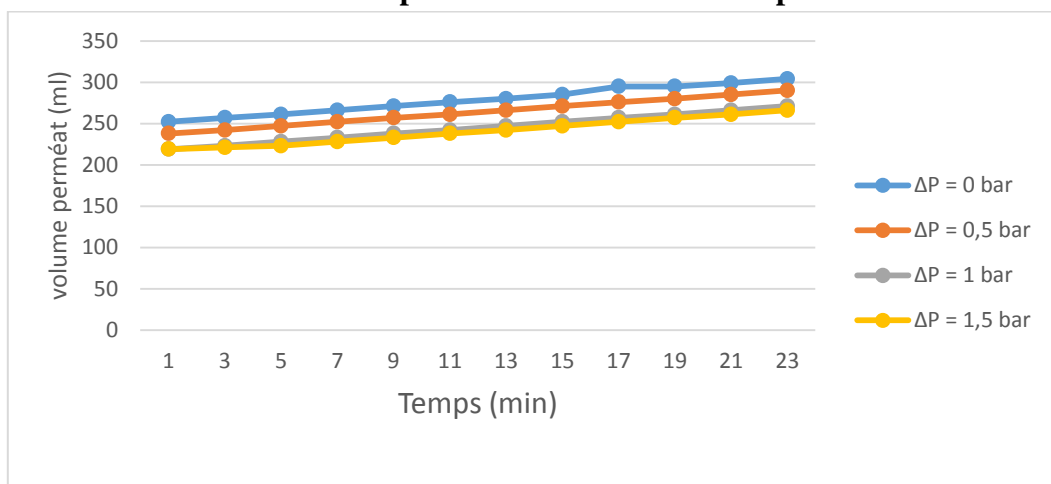
**Figure V.22 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5\text{g/l}$ ).

#### \* La variation de la conductivité du concentrât.



**Figure V.23:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5\text{g/l}$ ).

### 2.5.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.



**Figure V.24:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$  g/l).

### 2.5.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.18 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 3,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,4286	0,1910	0,8090
3	11,1746	0,1868	0,8132
5	9,6667	0,1616	0,8384
7	9,3651	0,1565	0,8435
9	8,5317	0,1426	0,8574
11	8,4365	0,1410	0,8590
13	8,1587	0,1364	0,8636
15	8,1587	0,1364	0,8636
17	8,1587	0,1364	0,8636
19	8,1587	0,1364	0,8636
21	8,1587	0,1364	0,8636
23	8,0952	0,1353	0,8647

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.19 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 3,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,5873	0,1937	0,8063
3	10,9524	0,1831	0,8169
5	9,4444	0,1579	0,8421
7	8,6905	0,1453	0,8547
9	7,5635	0,1264	0,8736
11	7,5238	0,1258	0,8742
13	7,4444	0,1244	0,8756
15	7,4127	0,1239	0,8761
17	7,3730	0,1232	0,8768
19	7,3175	0,1223	0,8777
21	7,3175	0,1223	0,8777
23	7,2937	0,1219	0,8781

#### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.20 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 3,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	9,1429	0,1528	0,8472
3	8,8810	0,1484	0,8516
5	8,1667	0,1365	0,8635
7	8,0556	0,1346	0,8654
9	7,6349	0,1276	0,8724
11	7,6032	0,1271	0,8729
13	7,5159	0,1256	0,8744
15	7,4841	0,1251	0,8749
17	7,4683	0,1248	0,8752
19	7,3968	0,1236	0,8764
21	7,3889	0,1235	0,8765
23	7,3651	0,1231	0,8769

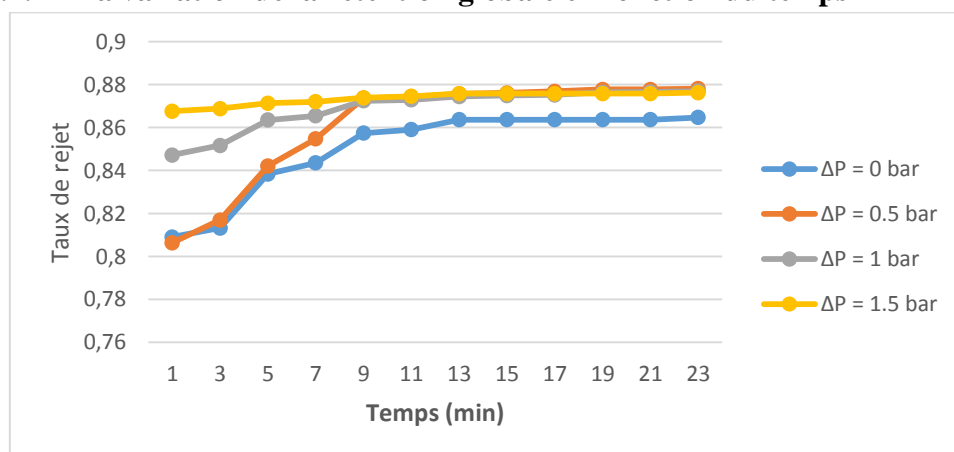
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.21 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 3,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	7,9206	0,1324	0,8676
3	7,8492	0,1312	0,8688
5	7,6984	0,1287	0,8713
7	7,6587	0,1280	0,8720
9	7,5476	0,1262	0,8738
11	7,5079	0,1255	0,8745
13	7,4286	0,1242	0,8758
15	7,4286	0,1242	0,8758
17	7,4286	0,1242	0,8758
19	7,4286	0,1242	0,8758
21	7,4286	0,1242	0,8758
23	7,4048	0,1238	0,8762

### 2.5.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.25:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C = 3.5 \text{ g/l}$ ).

2.5.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

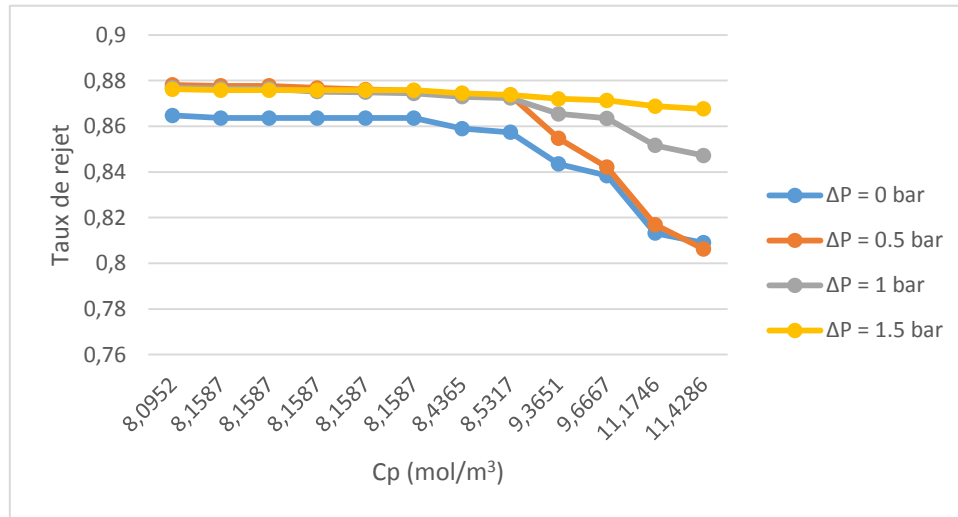


Figure V.26: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3.5 g/l).

2.6. Pour une concentration de 4 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 6420 (μs/cm)

Température avant 20 °C                      Température après 28 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 4 \text{ g/l} = 68.38 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 68.38 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 3.33 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 21 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 22 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C                      Température après 25 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 23 dans l'annexe.

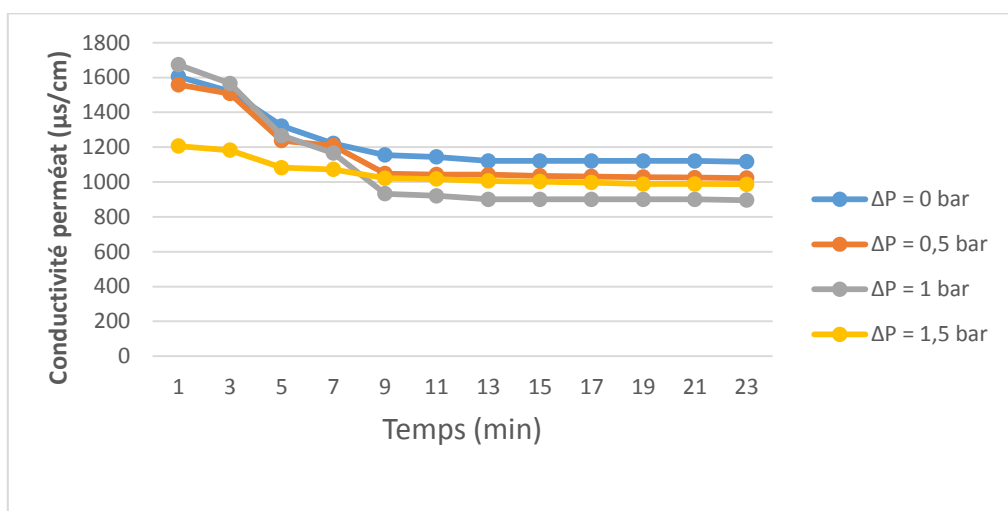
Manipulation n°04 :

Température avant 18 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 24 dans l'annexe.

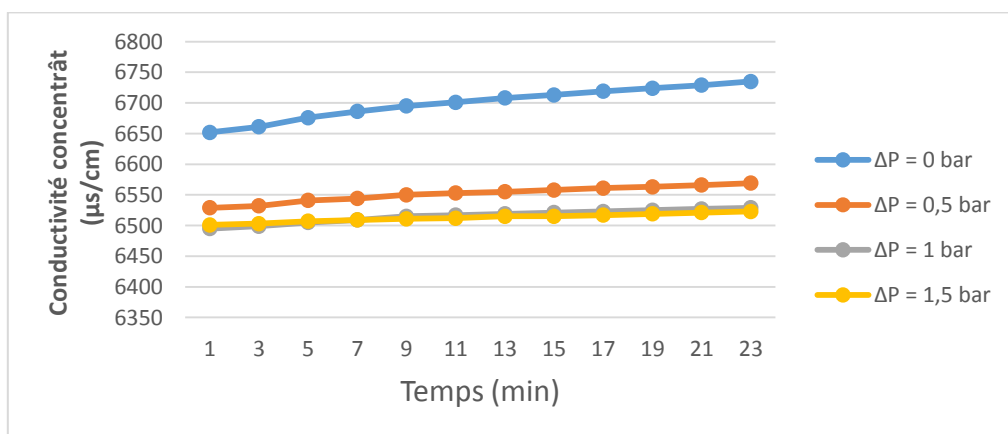
### 2.6.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

#### \* La variation de la conductivité du perméat.



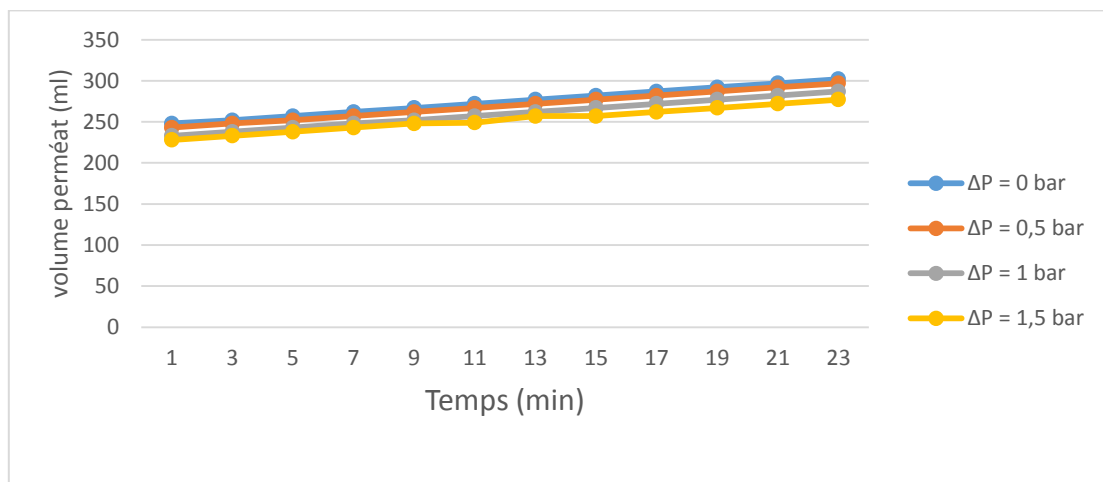
**Figure V.27:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4g/l$ ).

#### \* La variation de la conductivité du concentrât.



**Figure V.28:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4g/l$ ).

### 2.6.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.



**Figure V.29:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4 g/l$ ).



### 2.6.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.22 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,7381	0,1863	0,8137
3	12,0714	0,1765	0,8235
5	10,4841	0,1533	0,8467
7	9,6905	0,1417	0,8583
9	9,1667	0,1341	0,8659
11	9,0794	0,1328	0,8672
13	8,8968	0,1301	0,8699
15	8,8968	0,1301	0,8699
17	8,8968	0,1301	0,8699
19	8,8968	0,1301	0,8699
21	8,8968	0,1301	0,8699
23	8,8571	0,1295	0,8705

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.23 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,3651	0,1808	0,8192
3	11,9683	0,1750	0,8250
5	9,8254	0,1437	0,8563
7	9,5873	0,1402	0,8598
9	8,3175	0,1216	0,8784
11	8,2778	0,1211	0,8789
13	8,2698	0,1209	0,8791
15	8,2143	0,1201	0,8799
17	8,1905	0,1198	0,8802
19	8,1587	0,1193	0,8807
21	8,1349	0,1190	0,8810
23	8,1190	0,1187	0,8813

#### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.24 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	13,2778	0,1942	0,8058
3	12,4286	0,1818	0,8182
5	10,0476	0,1469	0,8531
7	9,2540	0,1353	0,8647
9	7,4048	0,1083	0,8917
11	7,3095	0,1069	0,8931
13	7,1429	0,1045	0,8955
15	7,1429	0,1045	0,8955
17	7,1429	0,1045	0,8955
19	7,1429	0,1045	0,8955
21	7,1429	0,1045	0,8955
23	7,1111	0,1040	0,8960

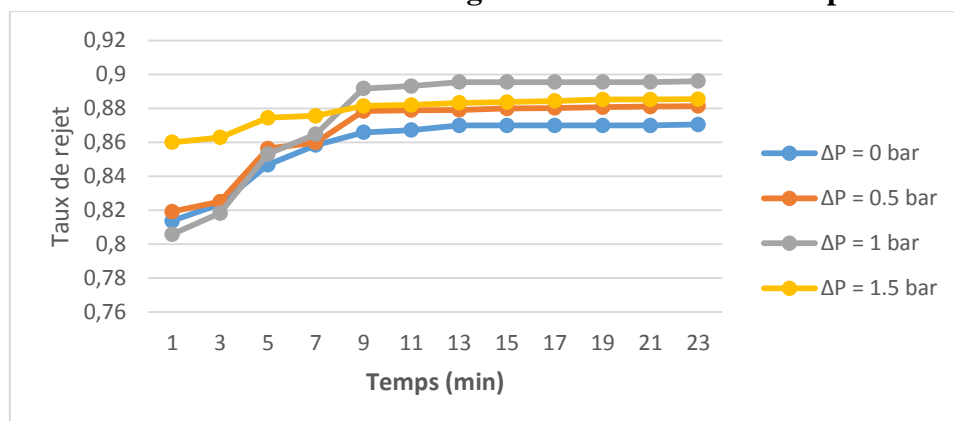
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.25 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,5714	0,1400	0,8600
3	9,3810	0,1372	0,8628
5	8,5873	0,1256	0,8744
7	8,5079	0,1244	0,8756
9	8,1111	0,1186	0,8814
11	8,0714	0,1180	0,8820
13	7,9841	0,1168	0,8832
15	7,9524	0,1163	0,8837
17	7,9127	0,1157	0,8843
19	7,8492	0,1148	0,8852
21	7,8492	0,1148	0,8852
23	7,8333	0,1146	0,8854

### 2.6.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.30:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=4 \text{ g/l}$ ).

2.6.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat

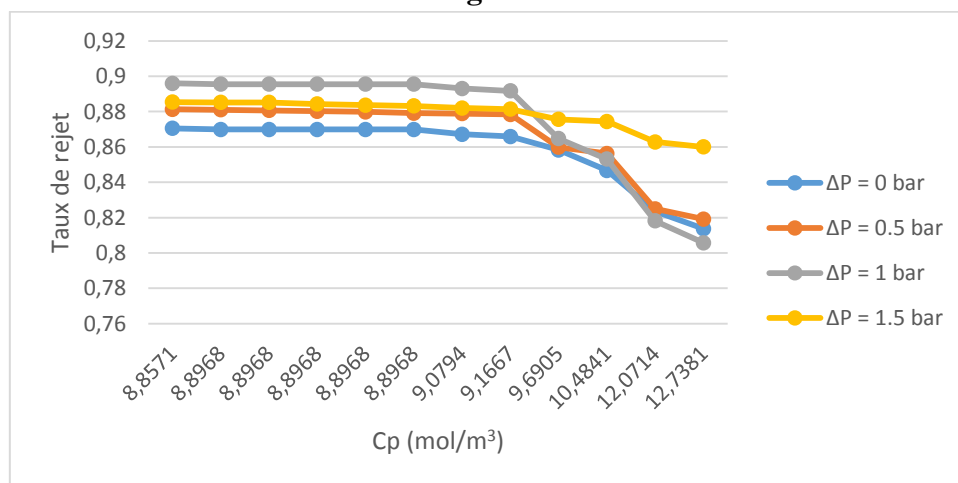


Figure V.31: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4 g/l).

**Partie III : Une pression de 7 bars**

2.7. Pour une concentration de 4 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 6420 (μs/cm)

Température avant 20 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 25 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 26 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 27 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 28 dans l'annexe.

2.7.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

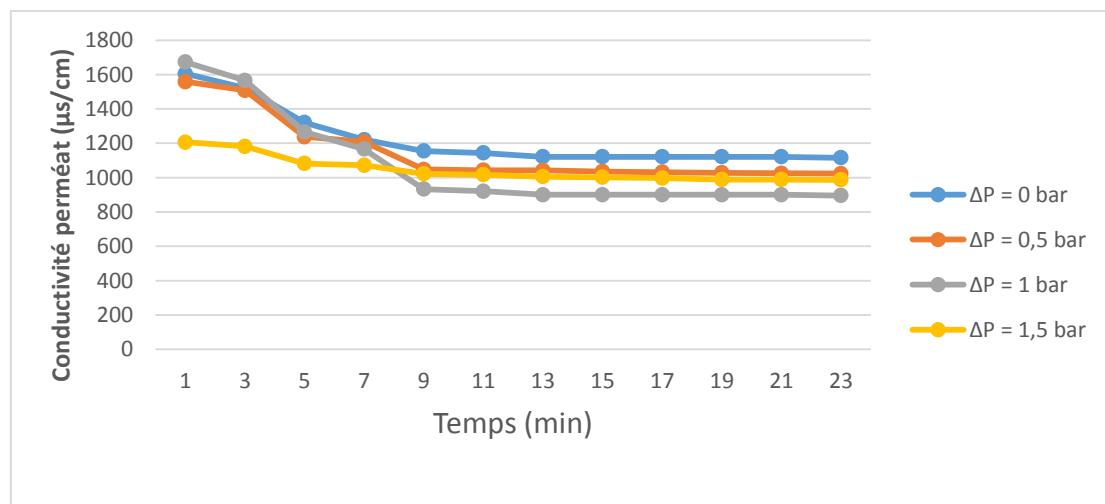


Figure V.32: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP=0; 0.5;1; 1.5 ; C=4g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

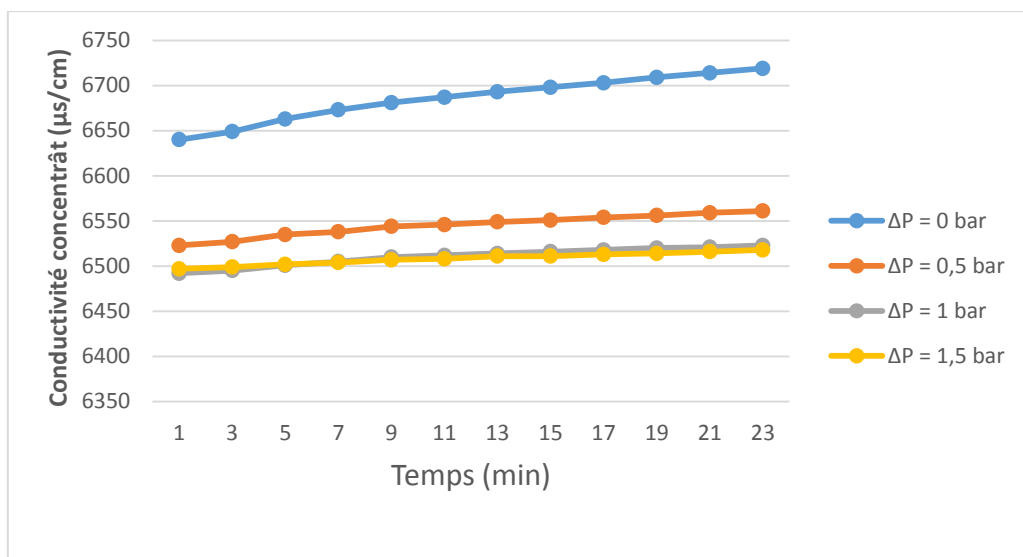


Figure V.33: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4\text{g/l}$ )

2.7.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

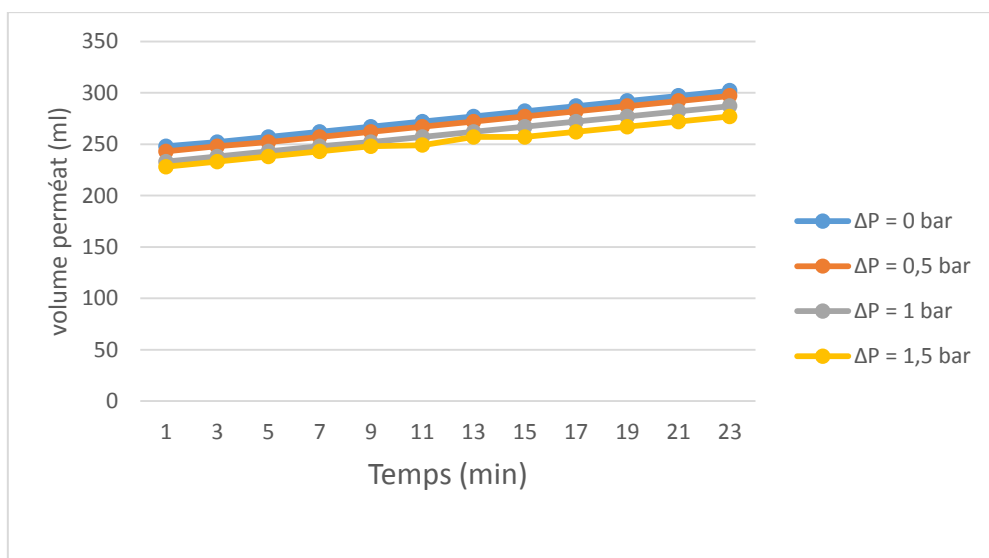


Figure V.34: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).

2.7.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

## Chapitre V : Résultats et interprétations

**Tableau 5.26 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,7381	0,1863	0,8137
3	12,0714	0,1765	0,8235
5	10,4841	0,1533	0,8467
7	9,6905	0,1417	0,8583
9	9,1667	0,1341	0,8659
11	9,0794	0,1328	0,8672
13	8,8968	0,1301	0,8699
15	8,8968	0,1301	0,8699
17	8,8968	0,1301	0,8699
19	8,8968	0,1301	0,8699
21	8,8968	0,1301	0,8699
23	8,8571	0,1295	0,8705

### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.27 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,3651	0,1808	0,8192
3	11,9683	0,1750	0,8250
5	9,8254	0,1437	0,8563
7	9,5873	0,1402	0,8598
9	8,3175	0,1216	0,8784
11	8,2778	0,1211	0,8789
13	8,2698	0,1209	0,8791
15	8,2143	0,1201	0,8799
17	8,1905	0,1198	0,8802
19	8,1587	0,1193	0,8807
21	8,1349	0,1190	0,8810
23	8,1190	0,1187	0,8813

### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.28 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	13,2778	0,1942	0,8058
3	12,4286	0,1818	0,8182
5	10,0476	0,1469	0,8531
7	9,2540	0,1353	0,8647
9	7,4048	0,1083	0,8917
11	7,3095	0,1069	0,8931
13	7,1429	0,1045	0,8955
15	7,1429	0,1045	0,8955
17	7,1429	0,1045	0,8955
19	7,1429	0,1045	0,8955
21	7,1429	0,1045	0,8955
23	7,1111	0,1040	0,8960

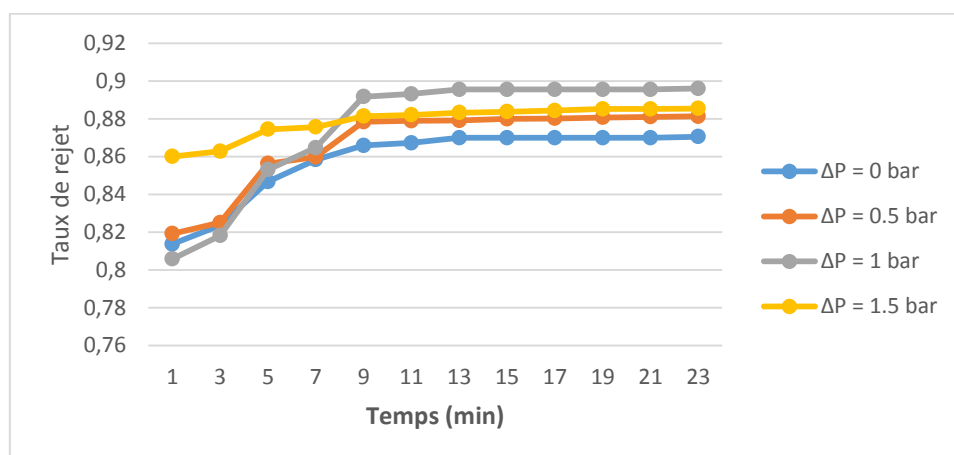
**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.29 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,5714	0,1400	0,8600
3	9,3810	0,1372	0,8628
5	8,5873	0,1256	0,8744
7	8,5079	0,1244	0,8756
9	8,1111	0,1186	0,8814
11	8,0714	0,1180	0,8820
13	7,9841	0,1168	0,8832
15	7,9524	0,1163	0,8837
17	7,9127	0,1157	0,8843
19	7,8492	0,1148	0,8852
21	7,8492	0,1148	0,8852
23	7,8333	0,1146	0,8854

### 2.7.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.35:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=4 \text{ g/l}$ ).

2.7.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

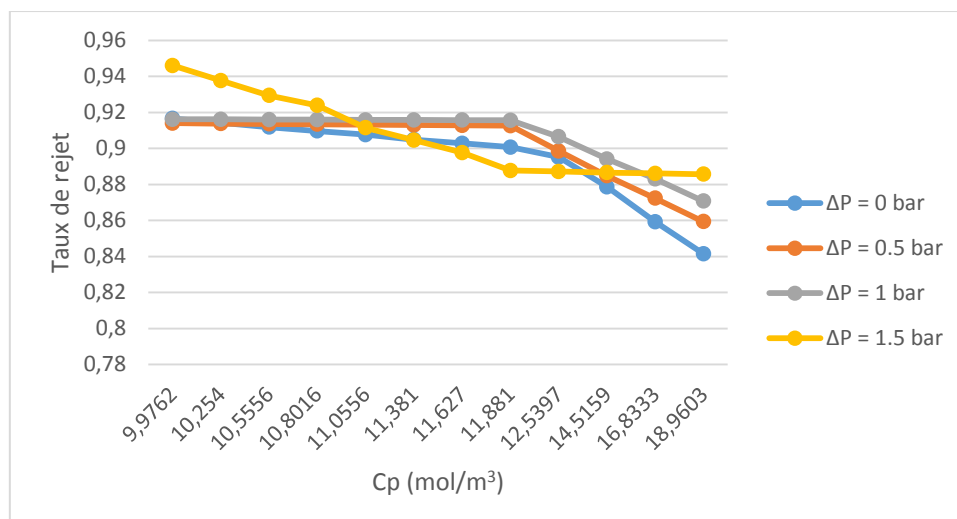


Figure V.36: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4 g/l).

2.8. Pour une concentration de 4,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 6780 (μs/cm)

Température avant 18 °C                      Température après 26 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 4,5 \text{ g/l} = 76.92 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 76.92 * 8,316 * (18 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 3.74 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 29 dans l'annexe :

Manipulation n°02 :

Température avant 18 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 30 dans l'annexe :

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 31 dans l'annexe :

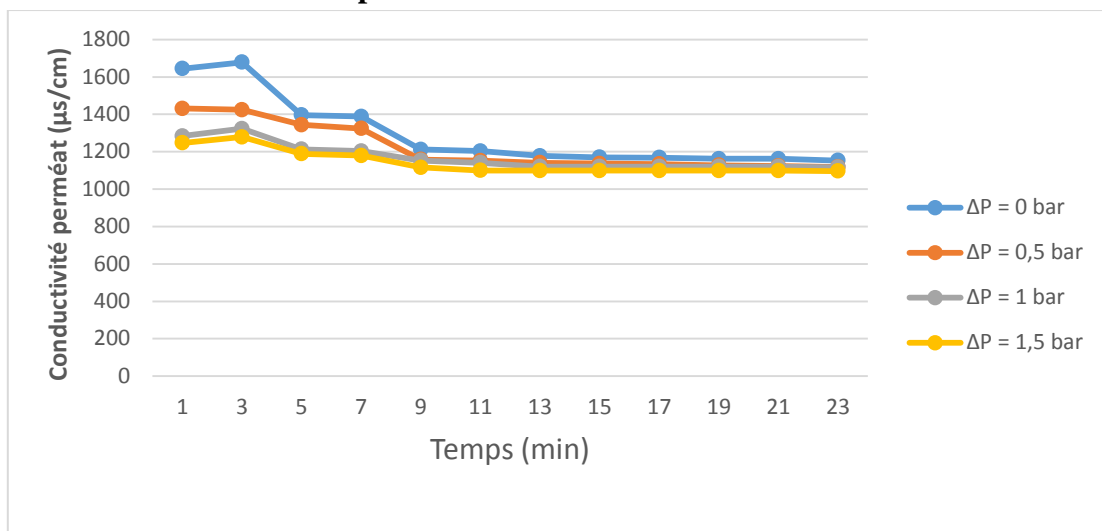
Manipulation n°04 :

Température avant 20 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 32 dans l'annexe :

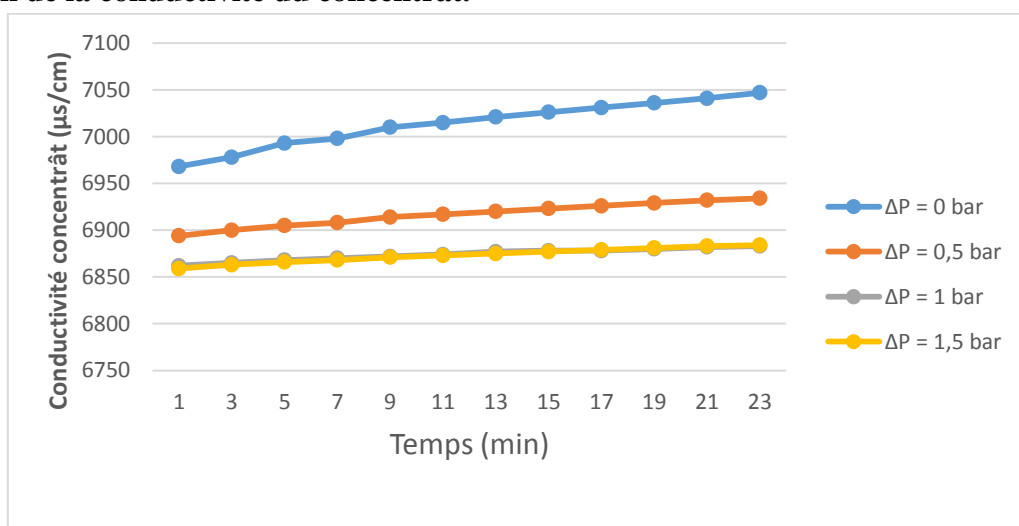
### 2.8.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

#### \* La variation de la conductivité du perméat.



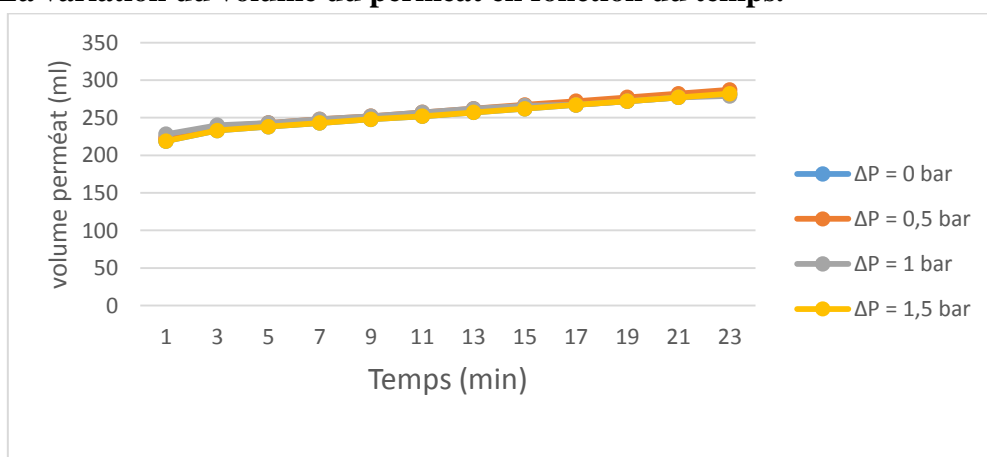
**Figure V.37:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 9$  bars ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C = 4.5$  g/l).

#### \* La variation de la conductivité du concentrât.



**Figure V.38:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 9$  bars ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C = 4.5$  g/l)

### 2.8.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.



**Figure V.39:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 9$  bars ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C = 4.5$  g/l).



### 2.8.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.30 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 4,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	13,0476	0,1696	0,8304
3	13,3175	0,1731	0,8269
5	11,0794	0,1440	0,8560
7	11,0159	0,1432	0,8568
9	9,6190	0,1250	0,8750
11	9,5476	0,1241	0,8759
13	9,3492	0,1215	0,8785
15	9,2857	0,1207	0,8793
17	9,2698	0,1205	0,8795
19	9,2222	0,1199	0,8801
21	9,2222	0,1199	0,8801
23	9,1508	0,1190	0,8810

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.31 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	11,3571	0,1476	0,8524
3	11,3016	0,1469	0,8531
5	10,6667	0,1387	0,8613
7	10,5079	0,1366	0,8634
9	9,1905	0,1195	0,8805
11	9,1429	0,1189	0,8811
13	9,0556	0,1177	0,8823
15	9,0238	0,1173	0,8827
17	9,0000	0,1170	0,8830
19	8,9444	0,1163	0,8837
21	8,9206	0,1160	0,8840
23	8,8810	0,1155	0,8845

#### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.32 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 4,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	10,1905	0,1325	0,8675
3	10,5000	0,1365	0,8635
5	9,6270	0,1252	0,8748
7	9,5476	0,1241	0,8759
9	9,1508	0,1190	0,8810
11	9,0556	0,1177	0,8823
13	8,8889	0,1156	0,8844
15	8,8889	0,1156	0,8844
17	8,8889	0,1156	0,8844
19	8,8889	0,1156	0,8844
21	8,8889	0,1156	0,8844
23	8,8651	0,1152	0,8848

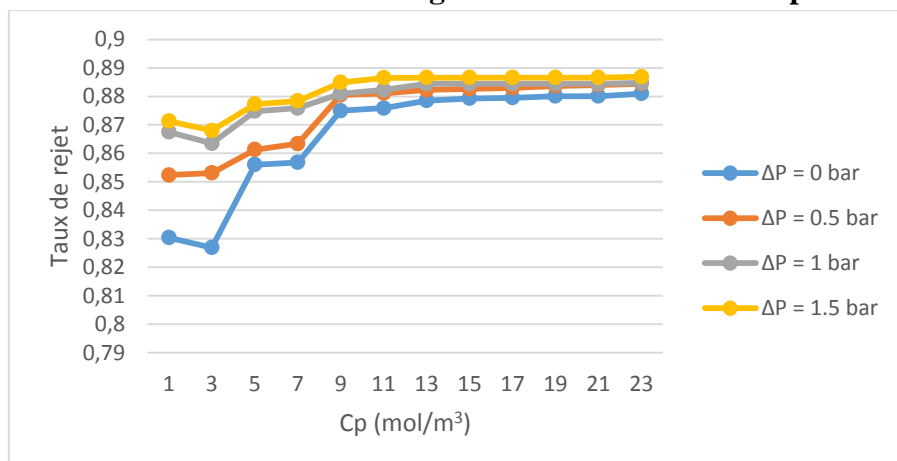
**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.33 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,8968	0,1287	0,8713
3	10,1508	0,1320	0,8680
5	9,4365	0,1227	0,8773
7	9,3571	0,1216	0,8784
9	8,8571	0,1151	0,8849
11	8,7302	0,1135	0,8865
13	8,7222	0,1134	0,8866
15	8,7222	0,1134	0,8866
17	8,7222	0,1134	0,8866
19	8,7222	0,1134	0,8866
21	8,7222	0,1134	0,8866
23	8,6984	0,1131	0,8869

### 2.8.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.40:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5; 1; 1,5$  ;  $C=4,5 \text{ g/l}$ ).

2.8.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

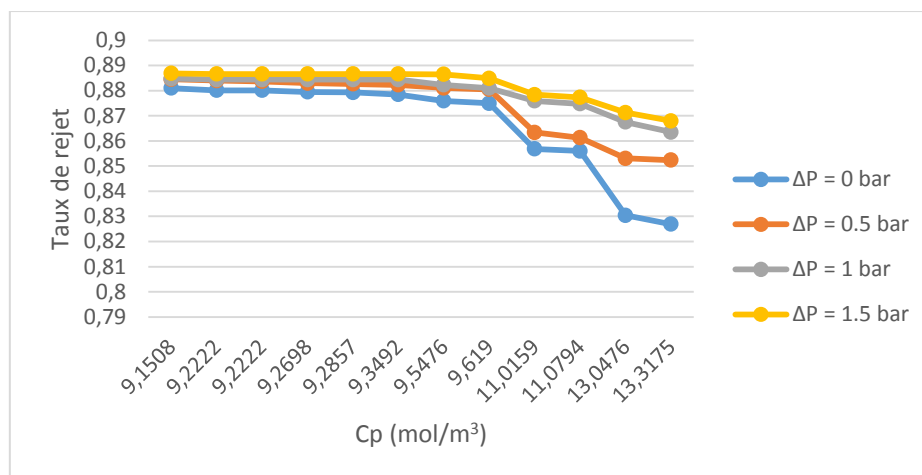


Figure V.41: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4.5 g/l).

2.9. Pour une concentration de 5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 7460 (μs/cm)

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 5 \text{ g/l} = 85.47 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 85.47 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 4.16 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 33 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 34 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 20 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 35 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 18 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 36 dans l'annexe.

2.9.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

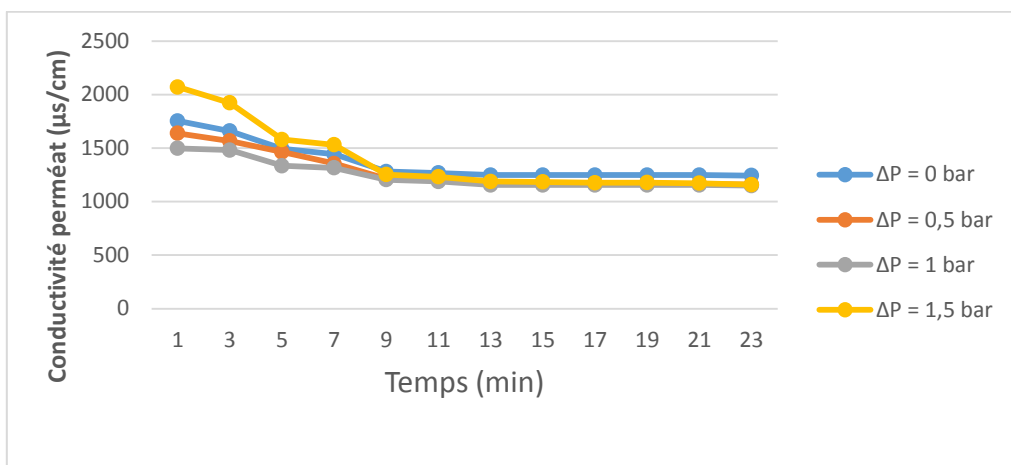


Figure V.42: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=5\text{g/l}$ ).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

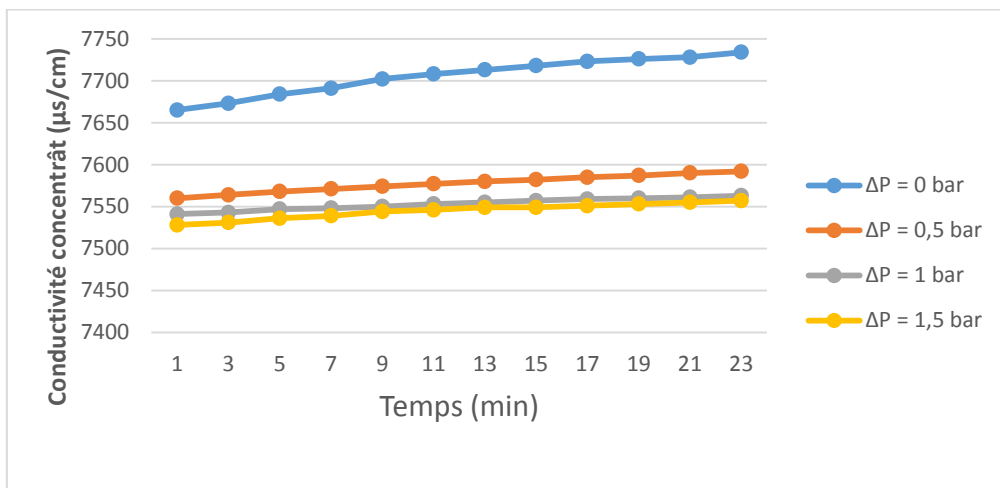


Figure V.43: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=5\text{g/l}$ ).

2.9.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

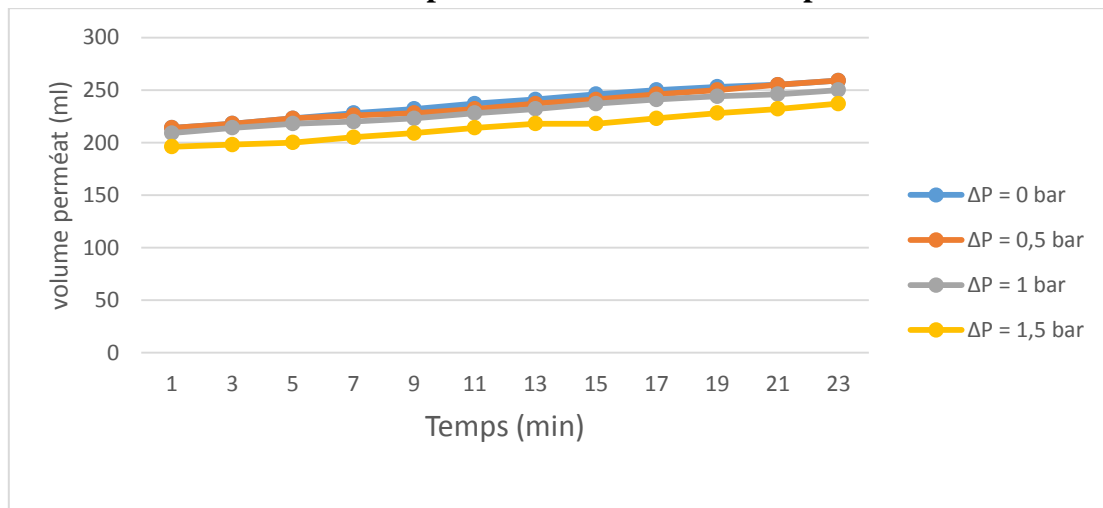


Figure V.44: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=5$  g/l).

### 2.9.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.34 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	13,9206	0,1629	0,8371
3	13,1667	0,1541	0,8460
5	11,8492	0,1386	0,8614
7	11,4603	0,1341	0,8659
9	10,1667	0,1190	0,8811
11	10,0556	0,1177	0,8824
13	9,9048	0,1159	0,8841
15	9,9048	0,1159	0,8841
17	9,9048	0,1159	0,8841
19	9,9048	0,1159	0,8841
21	9,9048	0,1159	0,8841
23	9,8651	0,1154	0,8846

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.35 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	13,0079	0,1522	0,8478
3	12,4286	0,1454	0,8546
5	11,6111	0,1359	0,8642
7	10,7540	0,1258	0,8742
9	9,6270	0,1126	0,8874
11	9,5476	0,1117	0,8883
13	9,3730	0,1097	0,8903
15	9,3175	0,1090	0,8910
17	9,2381	0,1081	0,8919
19	9,2381	0,1081	0,8919
21	9,2381	0,1081	0,8919
23	9,1905	0,1075	0,8925

#### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.36 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,8889	0,1391	0,8609
3	11,7619	0,1376	0,8624
5	10,5952	0,1240	0,8760
7	10,4365	0,1221	0,8779
9	9,5556	0,1118	0,8882
11	9,4286	0,1103	0,8897
13	9,1667	0,1073	0,8928
15	9,1667	0,1073	0,8928
17	9,1667	0,1073	0,8928
19	9,1667	0,1073	0,8928
21	9,1667	0,1073	0,8928
23	9,1190	0,1067	0,8933

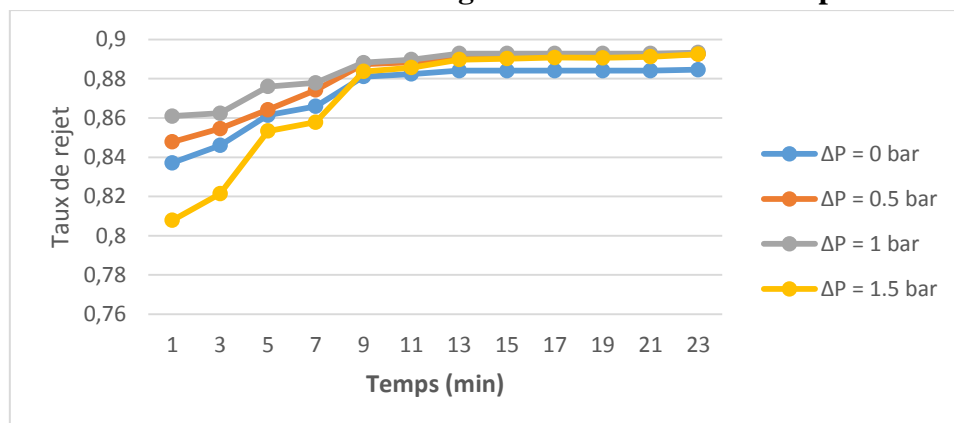
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.37 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=CP/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	16,4286	0,1922	0,8078
3	15,2619	0,1786	0,8214
5	12,5397	0,1467	0,8533
7	12,1508	0,1422	0,8578
9	9,9444	0,1164	0,8837
11	9,7778	0,1144	0,8856
13	9,4286	0,1103	0,8897
15	9,3889	0,1099	0,8902
17	9,3333	0,1092	0,8908
19	9,3492	0,1094	0,8906
21	9,3016	0,1088	0,8912
23	9,1905	0,1075	0,8925

### 2.9.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.45:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5; 1; 1,5$  ;  $C=5 \text{ g/l}$ ).

2.9.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

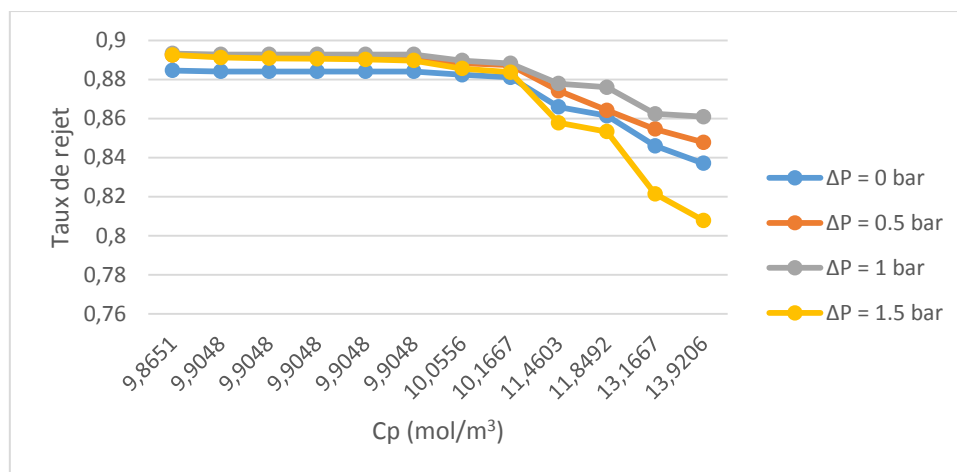


Figure V.46: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=5 g/l).

2.10. Pour une concentration de 5,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 7920 (μs/cm)

Température avant 18 °C                      Température après 28 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 5,5 \text{ g/l} = 94.02 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 94.02 * 8,316 * (18 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 4.57 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 37 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 17 °C                      Température après 25 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 38 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 39 dans l'annexe.

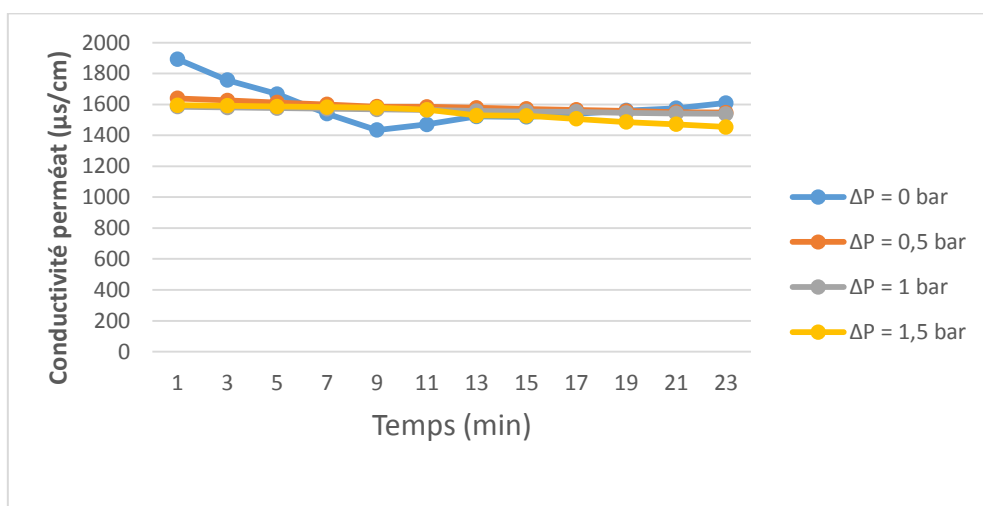
Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 40 dans l'annexe.

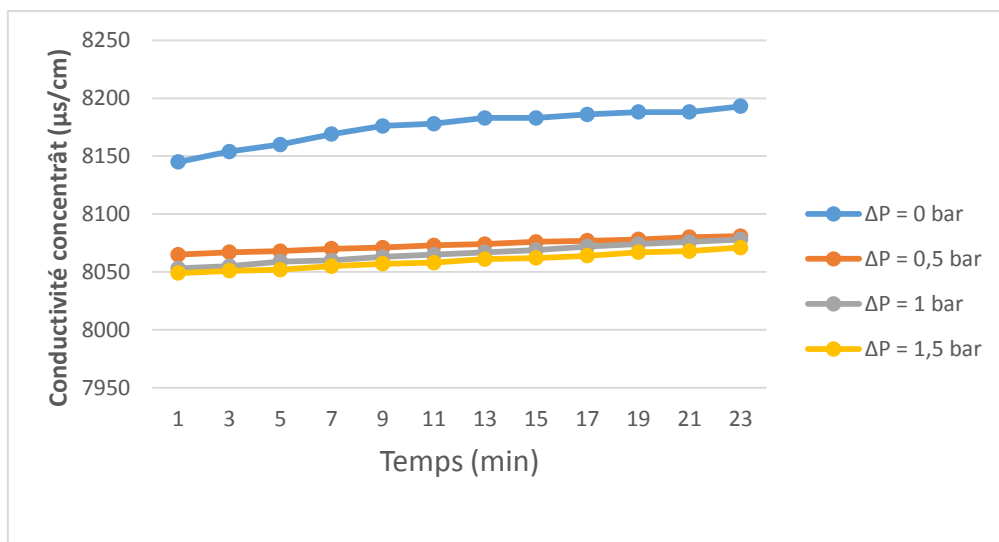
### 2.10.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

#### \* La variation de la conductivité du perméat.



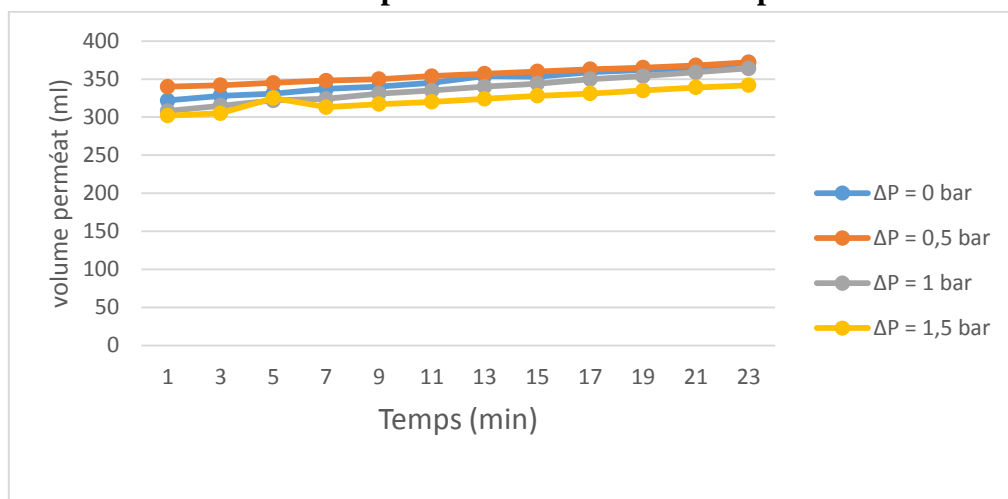
**Figure V.47 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=5,5\text{g/l}$ ).

#### \* La variation de la conductivité du concentrât.



**Figure V.48:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=5,5\text{g/l}$ )

### 2.10.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.



**Figure V.49:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=5,5$  g/l).



### 2.10.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.38** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C = 5,5$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	15,0238	0,1598	0,8402
3	13,9444	0,1483	0,8517
5	13,2302	0,1407	0,8593
7	12,2222	0,1300	0,8700
9	11,3810	0,1211	0,8789
11	11,6746	0,1242	0,8758
13	12,0794	0,1285	0,8715
15	12,0556	0,1282	0,8718
17	12,2222	0,1300	0,8700
19	12,3889	0,1318	0,8682
21	12,5000	0,1330	0,8670
23	12,7698	0,1358	0,8642

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.39 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9$  bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ;  $C = 5,5$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	13,0079	0,1384	0,8616
3	12,9048	0,1373	0,8627
5	12,7937	0,1361	0,8639
7	12,6984	0,1351	0,8649
9	12,5873	0,1339	0,8661
11	12,5714	0,1337	0,8663
13	12,5238	0,1332	0,8668
15	12,4683	0,1326	0,8674
17	12,4206	0,1321	0,8679
19	12,3651	0,1315	0,8685
21	12,3016	0,1308	0,8692
23	12,2778	0,1306	0,8694

#### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.40 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 5,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,5794	0,1338	0,8662
3	12,5397	0,1334	0,8666
5	12,5079	0,1330	0,8670
7	12,4762	0,1327	0,8673
9	12,4444	0,1324	0,8676
11	12,4127	0,1320	0,8680
13	12,3651	0,1315	0,8685
15	12,3333	0,1312	0,8688
17	12,3175	0,1310	0,8690
19	12,2619	0,1304	0,8696
21	12,2381	0,1302	0,8698
23	12,2143	0,1299	0,8701

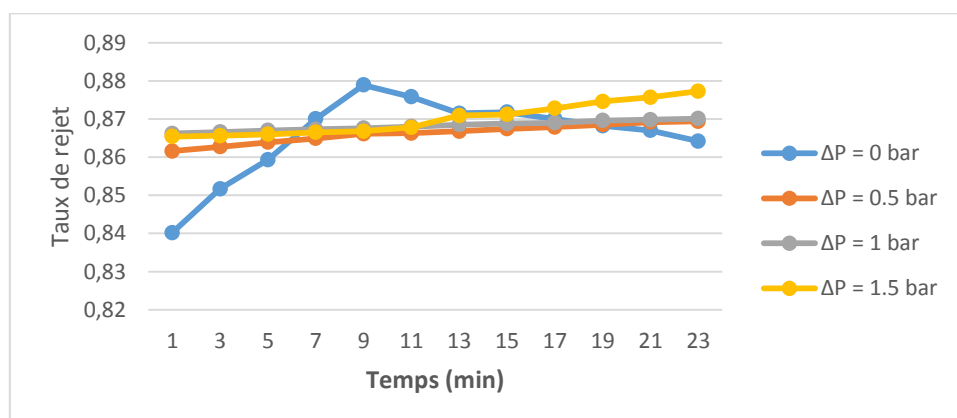
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.41 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 5,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,6587	0,1346	0,8654
3	12,6349	0,1344	0,8656
5	12,5952	0,1340	0,8660
7	12,5556	0,1335	0,8665
9	12,5238	0,1332	0,8668
11	12,4286	0,1322	0,8678
13	12,1349	0,1291	0,8709
15	12,1111	0,1288	0,8712
17	11,9603	0,1272	0,8728
19	11,7937	0,1254	0,8746
21	11,6825	0,1243	0,8757
23	11,5397	0,1227	0,8773

### 2.10.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.50:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=5.5 \text{ g/l}$ ).

2.10.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

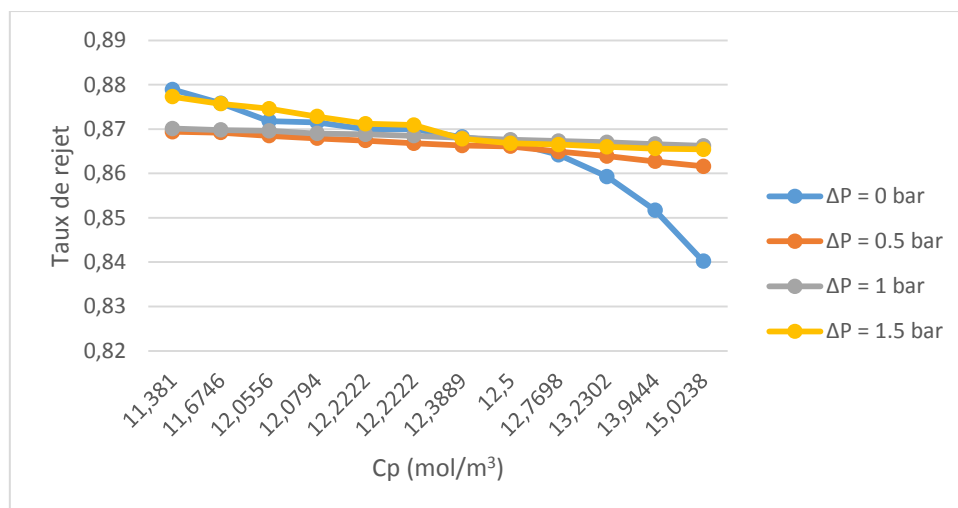


Figure V.51: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=5.5$  g/l).

**Partie IV : Une pression de 11 bars**

2.11. Pour une concentration de 3 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 4850 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 41 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 42 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 43 dans l'annexe.

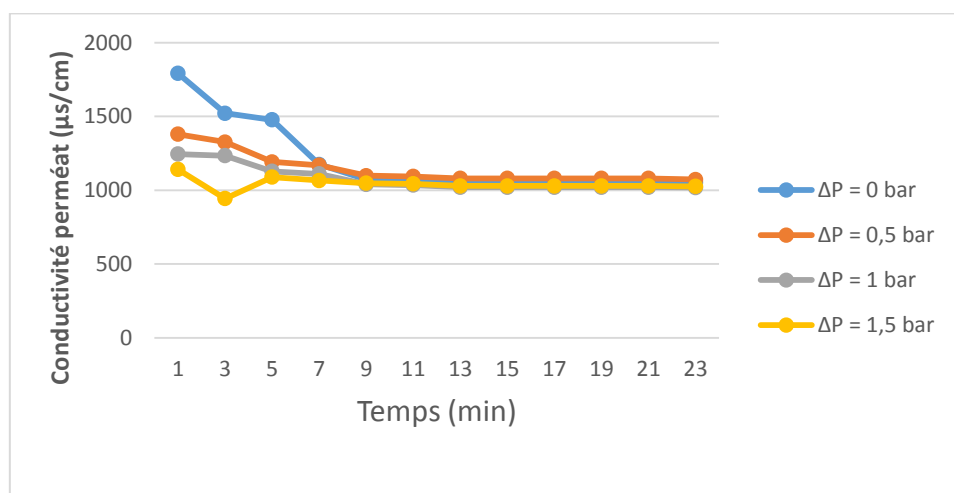
Manipulation n°04 :

Température avant 20 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 44 dans l'annexe.

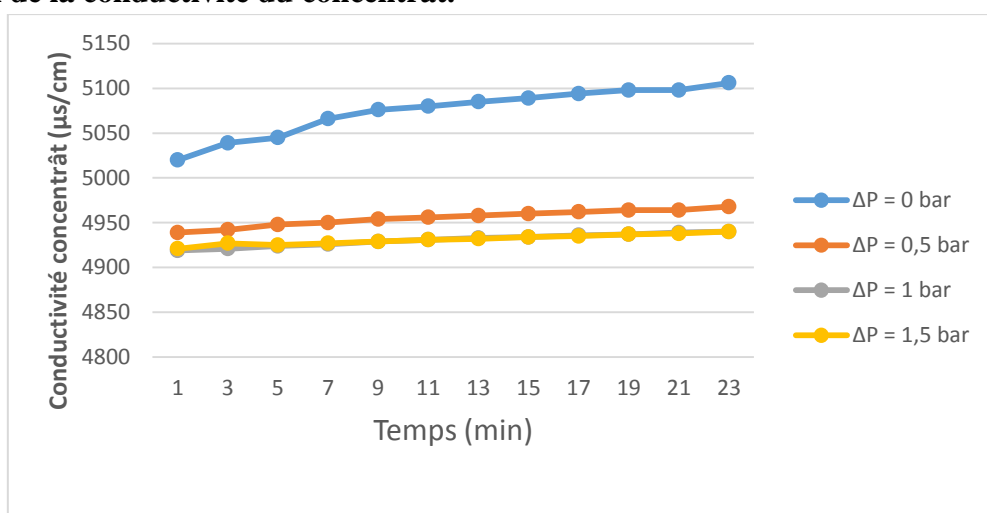
### 2.11.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

#### \* La variation de la conductivité du perméat.



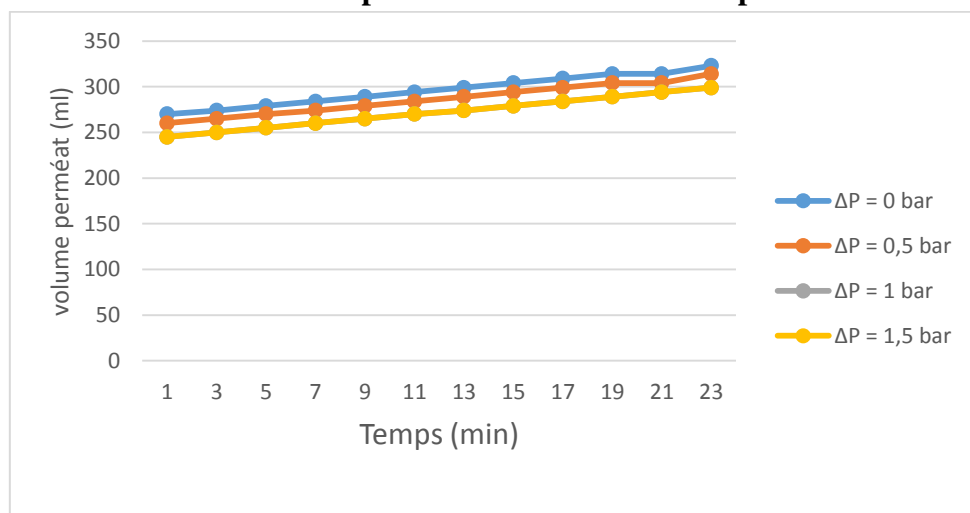
**Figure V.52:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=3\text{g/l}$ ).

#### \* La variation de la conductivité du concentrât.



**Figure V.53:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=3\text{g/l}$ )

### 2.11.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.



**Figure V.54:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=3$  g/l).

### 2.11.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.42** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C = 3$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	14,2222	0,2773	0,7227
3	12,0794	0,2355	0,7645
5	11,7222	0,2286	0,7714
7	9,3254	0,1818	0,8182
9	8,5238	0,1662	0,8338
11	8,4762	0,1653	0,8347
13	8,3810	0,1634	0,8366
15	8,3810	0,1634	0,8366
17	8,3810	0,1634	0,8366
19	8,3810	0,1634	0,8366
21	8,3810	0,1634	0,8366
23	8,3492	0,1628	0,8372

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.43** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ;  $C = 3$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	10,9444	0,2134	0,7866
3	10,5238	0,2052	0,7948
5	9,4603	0,1845	0,8155
7	9,2778	0,1809	0,8191
9	8,7222	0,1701	0,8299
11	8,6746	0,1692	0,8308
13	8,5714	0,1671	0,8329
15	8,5714	0,1671	0,8329
17	8,5714	0,1671	0,8329
19	8,5714	0,1671	0,8329
21	8,5714	0,1671	0,8329
23	8,5159	0,1661	0,8339

#### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.44 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=CP/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,8810	0,1927	0,8073
3	9,7937	0,1910	0,8090
5	8,9524	0,1746	0,8254
7	8,8175	0,1719	0,8281
9	8,2540	0,1610	0,8390
11	8,2143	0,1602	0,8398
13	8,1032	0,1580	0,8420
15	8,1032	0,1580	0,8420
17	8,1032	0,1580	0,8420
19	8,1032	0,1580	0,8420
21	8,1032	0,1580	0,8420
23	8,0794	0,1575	0,8425

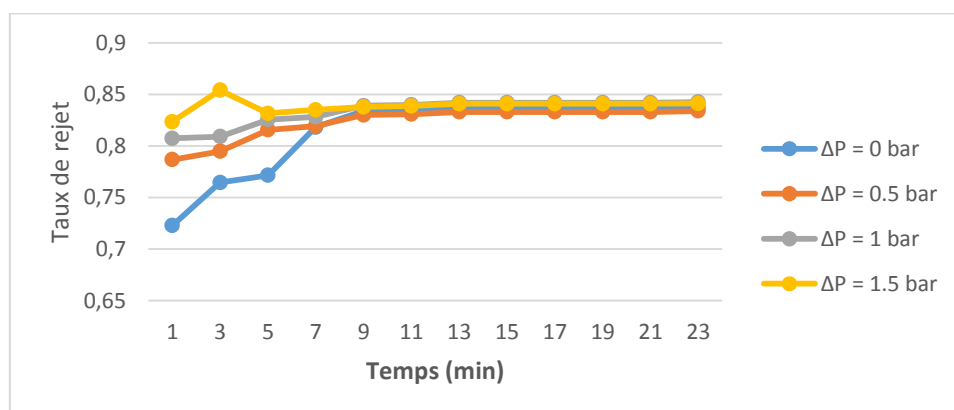
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.45 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=CP/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,0556	0,1766	0,8234
3	7,4841	0,1459	0,8541
5	8,6429	0,1685	0,8315
7	8,4603	0,1650	0,8350
9	8,3175	0,1622	0,8378
11	8,2778	0,1614	0,8386
13	8,1667	0,1593	0,8408
15	8,1667	0,1593	0,8408
17	8,1667	0,1593	0,8408
19	8,1667	0,1593	0,8408
21	8,1667	0,1593	0,8408
23	8,1429	0,1588	0,8412

### 2.11.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.55:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5; 1; 1,5$  ;  $C=3 \text{ g/l}$ ).

2.11.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat

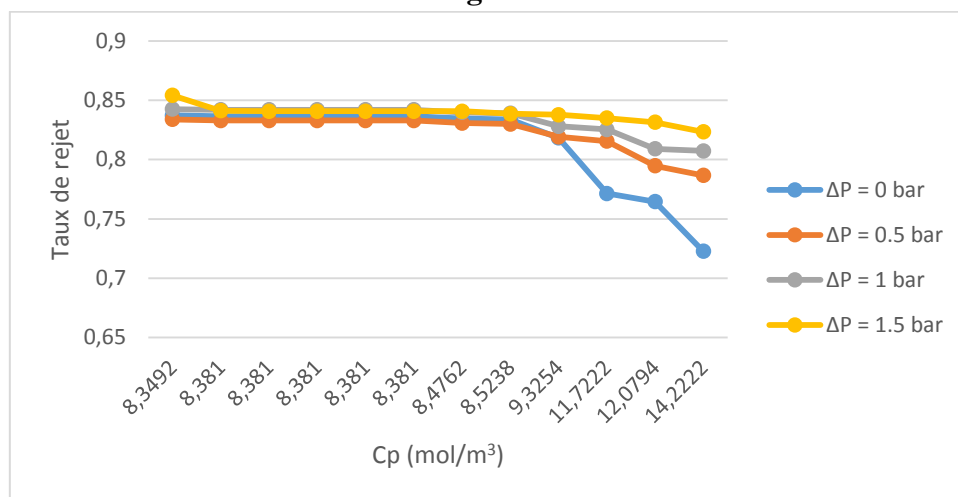


Figure V.56: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3 g/l).

2.12. Pour une concentration de 3,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 18 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 45 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 46 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 47 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 48 dans l'annexe.

2.12.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

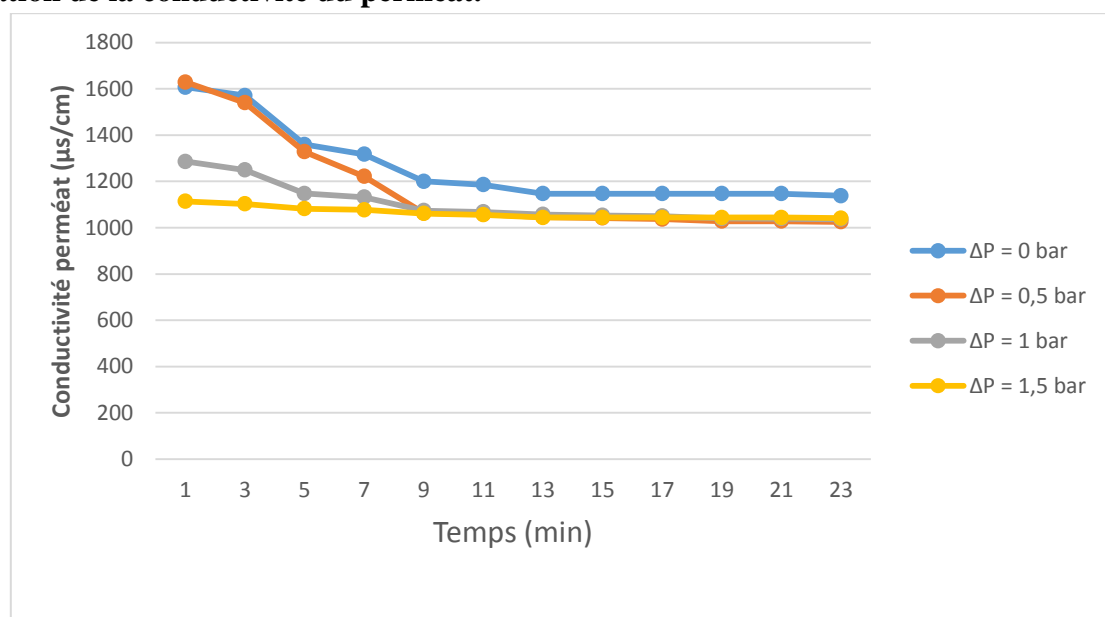


Figure V.57: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3.5g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

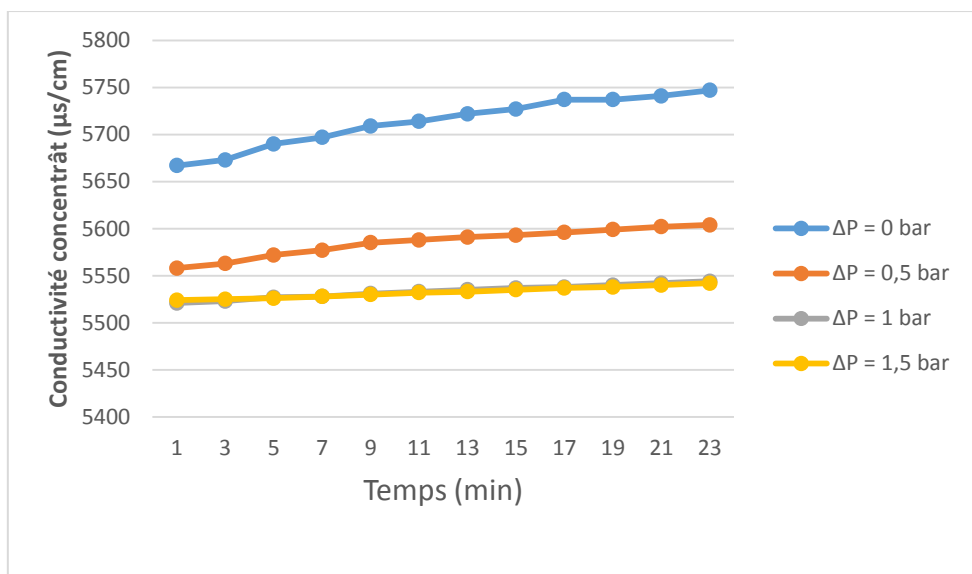


Figure V.58: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$ g/l)

2.12.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

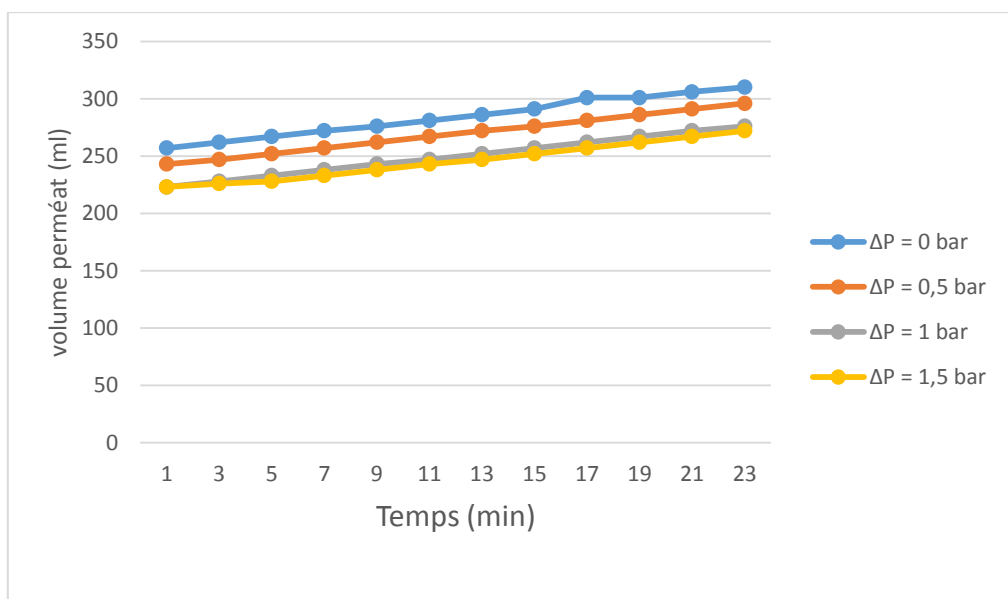


Figure V.59: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3.5$  g/l).

2.12.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.



## Chapitre V : Résultats et interprétations

**Tableau 5.46 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 3,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,7540	0,2132	0,7868
3	12,4683	0,2084	0,7916
5	10,7857	0,1803	0,8197
7	10,4524	0,1747	0,8253
9	9,5238	0,1592	0,8408
11	9,4127	0,1573	0,8427
13	9,1032	0,1522	0,8478
15	9,1032	0,1522	0,8478
17	9,1032	0,1522	0,8478
19	9,1032	0,1522	0,8478
21	9,1032	0,1522	0,8478
23	9,0317	0,1510	0,8490

### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.47 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 3,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,9286	0,2161	0,7839
3	12,2222	0,2043	0,7957
5	10,5397	0,1762	0,8238
7	9,6984	0,1621	0,8379
9	8,4365	0,1410	0,8590
11	8,3968	0,1403	0,8597
13	8,3016	0,1388	0,8612
15	8,2698	0,1382	0,8618
17	8,2302	0,1376	0,8624
19	8,1587	0,1364	0,8636
21	8,1587	0,1364	0,8636
23	8,1349	0,1360	0,8640

### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.48 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 3,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	10,2063	0,1706	0,8294
3	9,9127	0,1657	0,8343
5	9,1111	0,1523	0,8477
7	8,9841	0,1502	0,8498
9	8,5238	0,1425	0,8575
11	8,4762	0,1417	0,8583
13	8,3889	0,1402	0,8598
15	8,3571	0,1397	0,8603
17	8,3333	0,1393	0,8607
19	8,2540	0,1380	0,8620
21	8,2460	0,1378	0,8622
23	8,2222	0,1374	0,8626

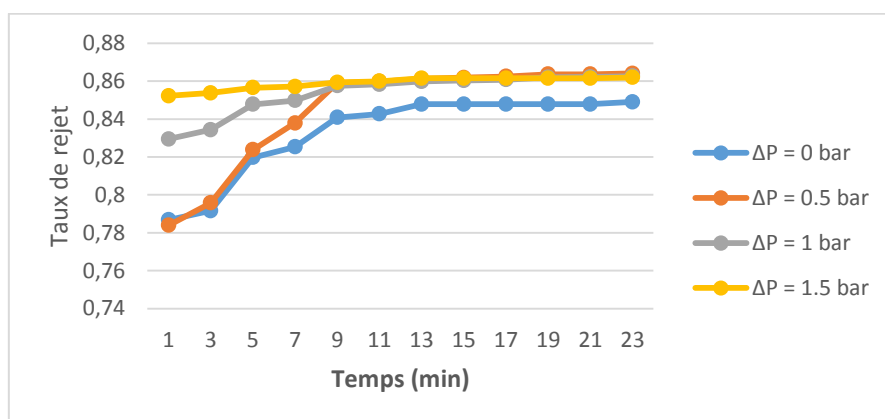
**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.49 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 3,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	8,8413	0,1478	0,8522
3	8,7540	0,1463	0,8537
5	8,5873	0,1435	0,8565
7	8,5476	0,1429	0,8571
9	8,4206	0,1407	0,8593
11	8,3810	0,1401	0,8599
13	8,2857	0,1385	0,8615
15	8,2857	0,1385	0,8615
17	8,2857	0,1385	0,8615
19	8,2857	0,1385	0,8615
21	8,2857	0,1385	0,8615
23	8,2619	0,1381	0,8619

### 2.12.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.60:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C = 3.5 \text{ g/l}$ ).

2.12.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

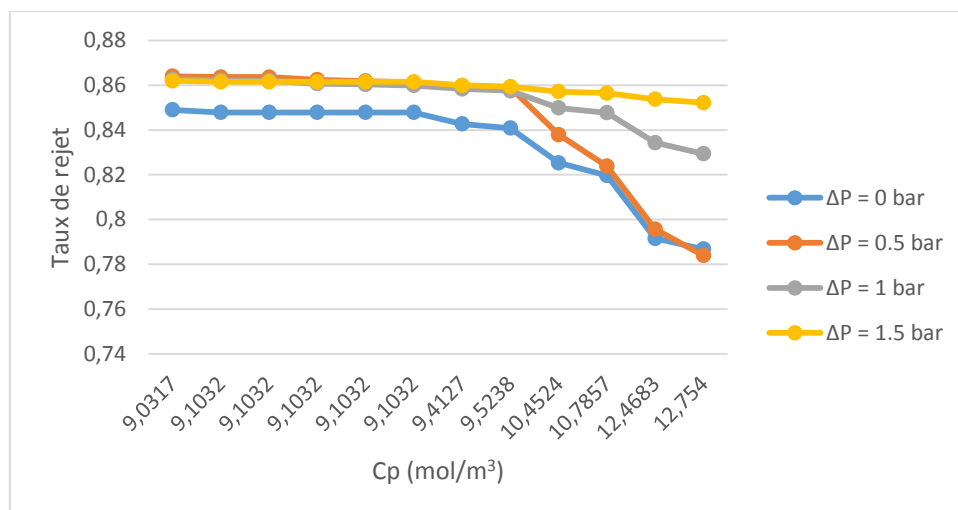


Figure V.61: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3.5 g/l).

2.13. Pour une concentration de 4 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 18 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 49 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 50 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 51 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 20 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 52 dans l'annexe.

2.13.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

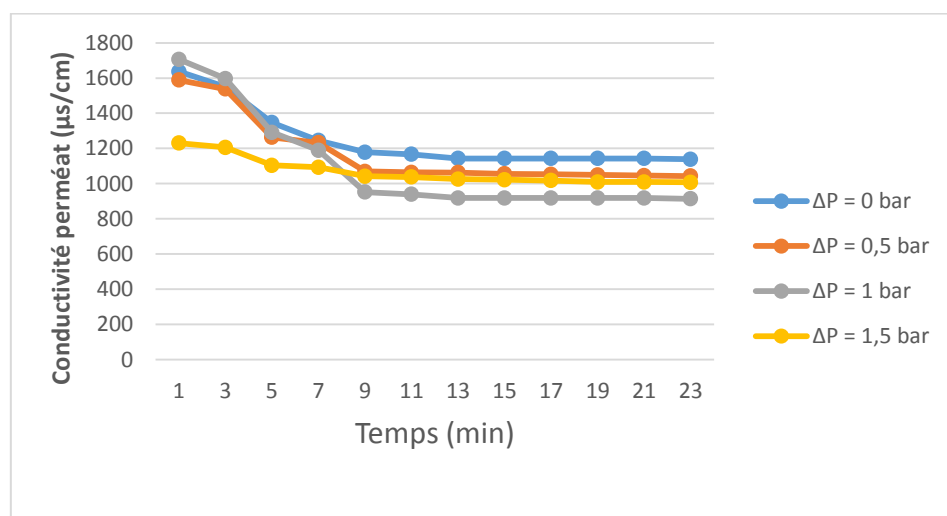


Figure V.62: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

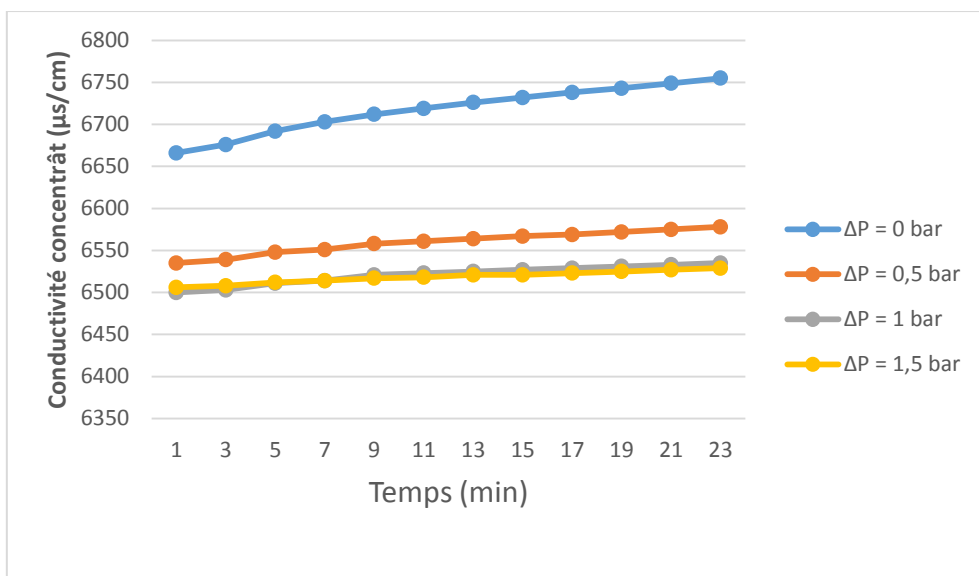


Figure V.63: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4$ g/l)

2.13.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

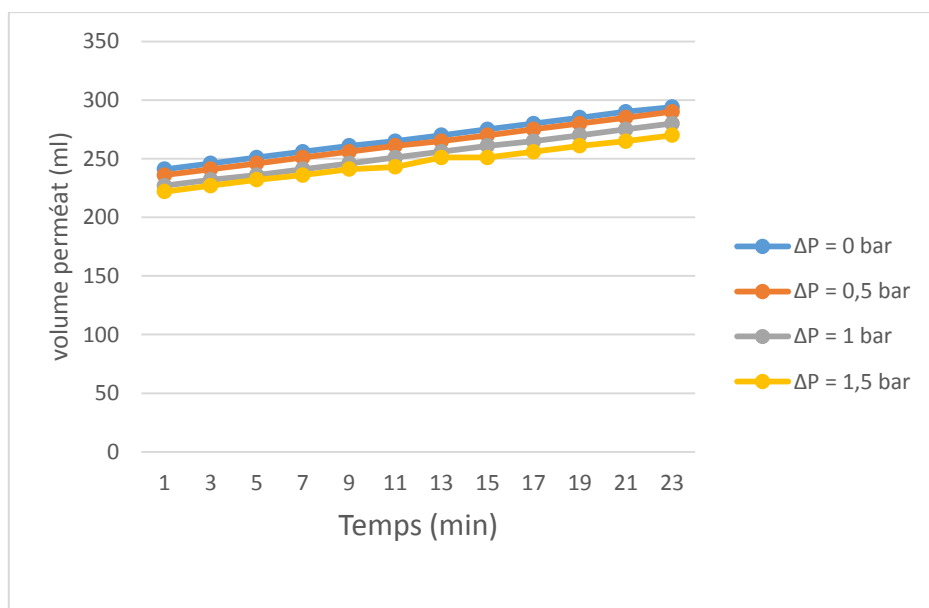


Figure V.64: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).

2.13.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.50 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.

(Pentrée = 11 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C = 4 g/l)

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	12,9921	0,1900	0,8100
3	12,3095	0,1800	0,8200
5	10,6905	0,1563	0,8437
7	9,8810	0,1445	0,8555
9	9,3492	0,1367	0,8633
11	9,2619	0,1355	0,8645
13	9,0714	0,1327	0,8673
15	9,0714	0,1327	0,8673
17	9,0714	0,1327	0,8673
19	9,0714	0,1327	0,8673
21	9,0714	0,1327	0,8673
23	9,0317	0,1321	0,8679

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.51 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. (Pentrée = 11 bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ; C = 4 g/l)

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	12,6111	0,1844	0,8156
3	12,2063	0,1785	0,8215
5	10,0238	0,1466	0,8534
7	9,7778	0,1430	0,8570
9	8,4841	0,1241	0,8759
11	8,4444	0,1235	0,8765
13	8,4365	0,1234	0,8766
15	8,3810	0,1226	0,8774
17	8,3571	0,1222	0,8778
19	8,3254	0,1218	0,8782
21	8,3016	0,1214	0,8786
23	8,2778	0,1211	0,8789

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.52 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	13,5397	0,1980	0,8020
3	12,6746	0,1854	0,8146
5	10,2460	0,1498	0,8502
7	9,4365	0,1380	0,8620
9	7,5556	0,1105	0,8895
11	7,4524	0,1090	0,8910
13	7,2857	0,1066	0,8934
15	7,2857	0,1066	0,8934
17	7,2857	0,1066	0,8934
19	7,2857	0,1066	0,8934
21	7,2857	0,1066	0,8934
23	7,2540	0,1061	0,8939

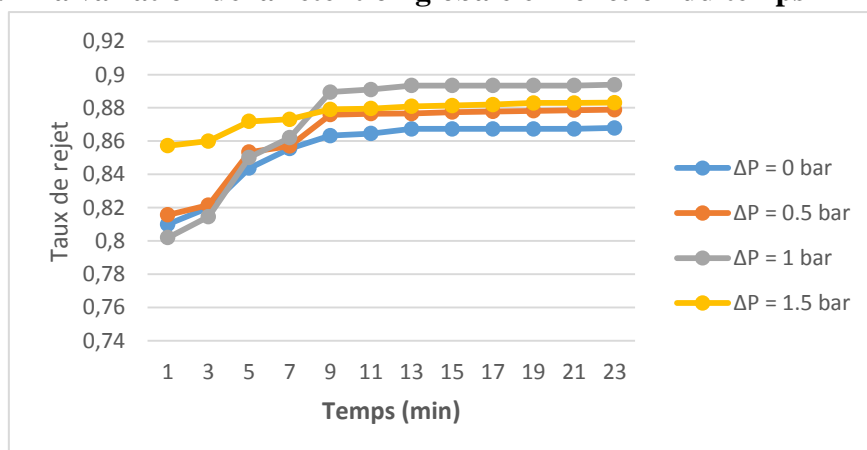
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.53 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	9,7619	0,1428	0,8572
3	9,5714	0,1400	0,8600
5	8,7619	0,1281	0,8719
7	8,6746	0,1269	0,8731
9	8,2698	0,1209	0,8791
11	8,2302	0,1204	0,8796
13	8,1429	0,1191	0,8809
15	8,1111	0,1186	0,8814
17	8,0714	0,1180	0,8820
19	8,0079	0,1171	0,8829
21	8,0079	0,1171	0,8829
23	7,9921	0,1169	0,8831

### 2.13.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.65:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0; 0,5; 1; 1,5$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ ).

2.13.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

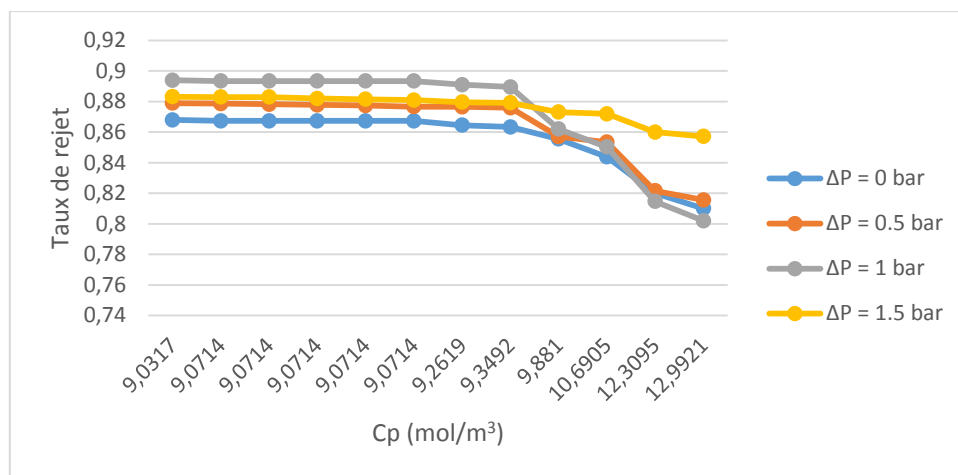


Figure V.66: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4$  g/l).

2.14. Pour une concentration de 4,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 19 °C

Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 53 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C

Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 54 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C

Température après 25 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 55 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C

Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 56 dans l'annexe.

2.14.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

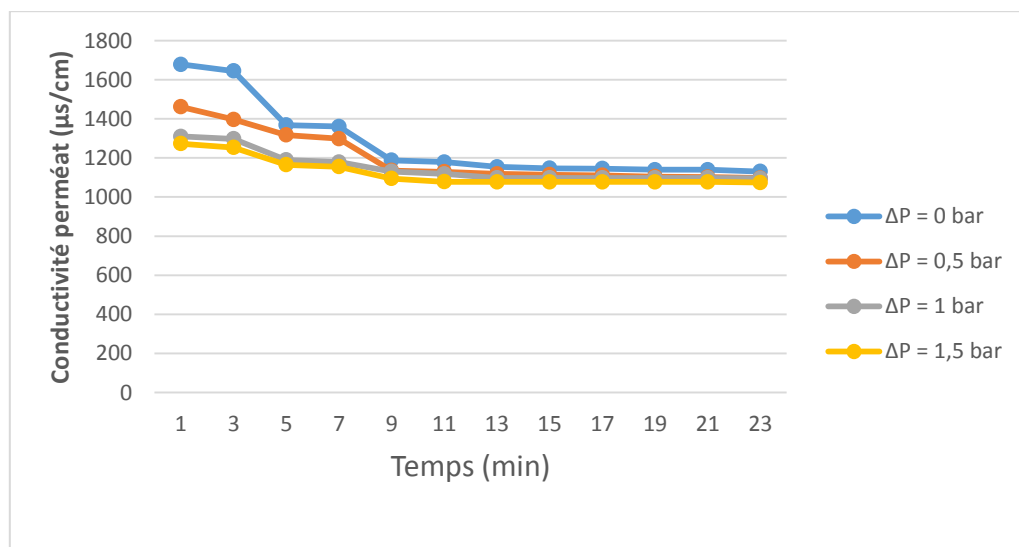


Figure V.67: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4.5$ g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

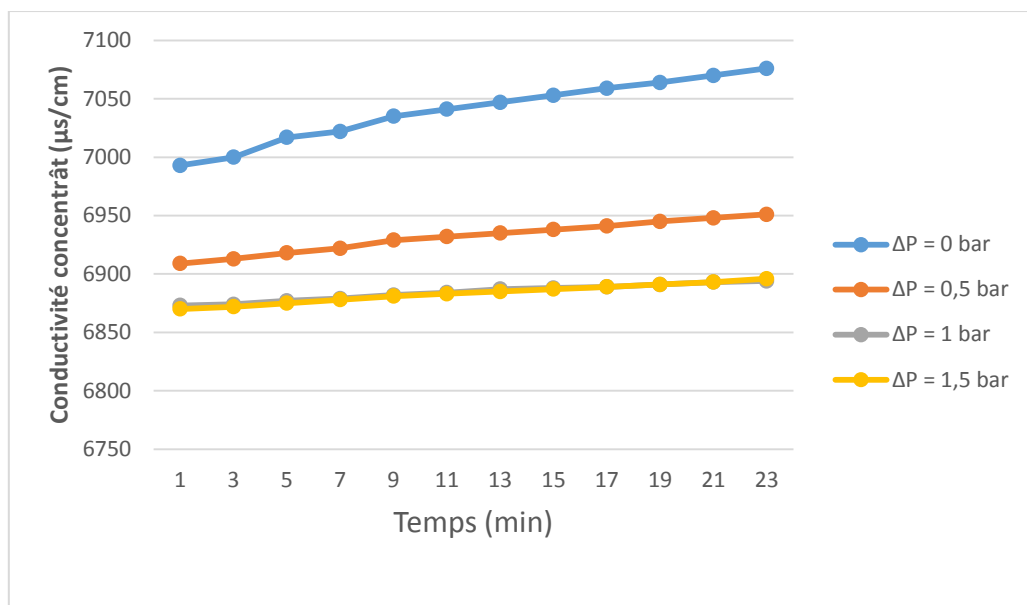


Figure V.68: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4.5$ g/l)

2.14.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

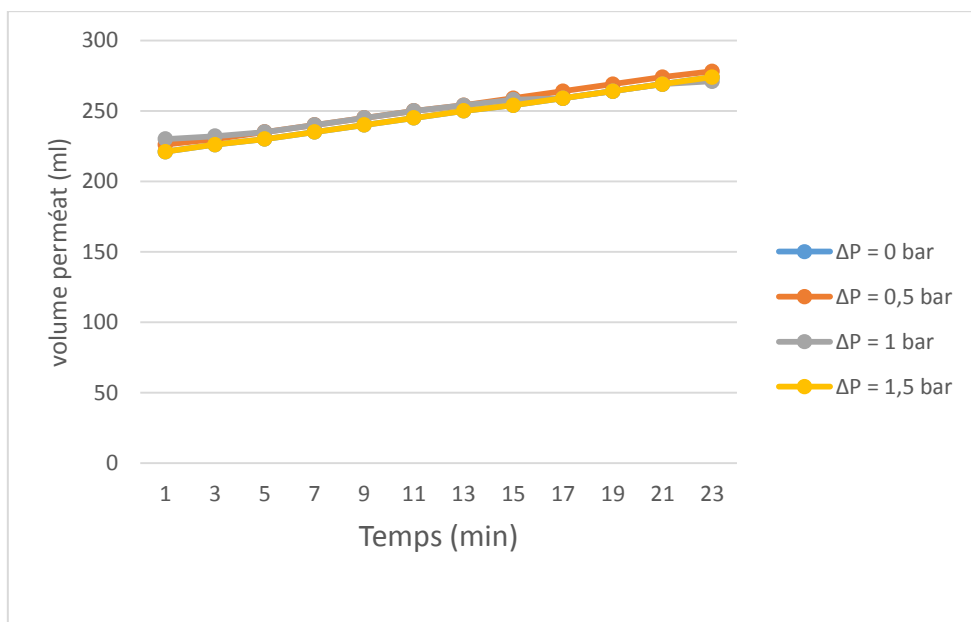


Figure V.69: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=4.5$  g/l).

2.14.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.



## Chapitre V : Résultats et interprétations

**Tableau 5.54** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ;  $C = 4,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	13,3175	0,1731	0,8269
3	13,0476	0,1696	0,8304
5	10,8571	0,1411	0,8589
7	10,7937	0,1403	0,8597
9	9,4286	0,1226	0,8774
11	9,3571	0,1216	0,8784
13	9,1587	0,1191	0,8809
15	9,1032	0,1183	0,8817
17	9,0873	0,1181	0,8819
19	9,0397	0,1175	0,8825
21	9,0397	0,1175	0,8825
23	8,9683	0,1166	0,8834

### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.55** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=CP/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,5952	0,1507	0,8493
3	11,0794	0,1440	0,8560
5	10,4524	0,1359	0,8641
7	10,3016	0,1339	0,8661
9	9,0079	0,1171	0,8829
11	8,9603	0,1165	0,8835
13	8,8730	0,1153	0,8847
15	8,8413	0,1149	0,8851
17	8,8175	0,1146	0,8854
19	8,7619	0,1139	0,8861
21	8,7460	0,1137	0,8863
23	8,7063	0,1132	0,8868

### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.56 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 4,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	10,3968	0,1352	0,8648
3	10,2937	0,1338	0,8662
5	9,4365	0,1227	0,8773
7	9,3571	0,1216	0,8784
9	8,9683	0,1166	0,8834
11	8,8730	0,1153	0,8847
13	8,7143	0,1133	0,8867
15	8,7143	0,1133	0,8867
17	8,7143	0,1133	0,8867
19	8,7143	0,1133	0,8867
21	8,7143	0,1133	0,8867
23	8,6905	0,1130	0,8870

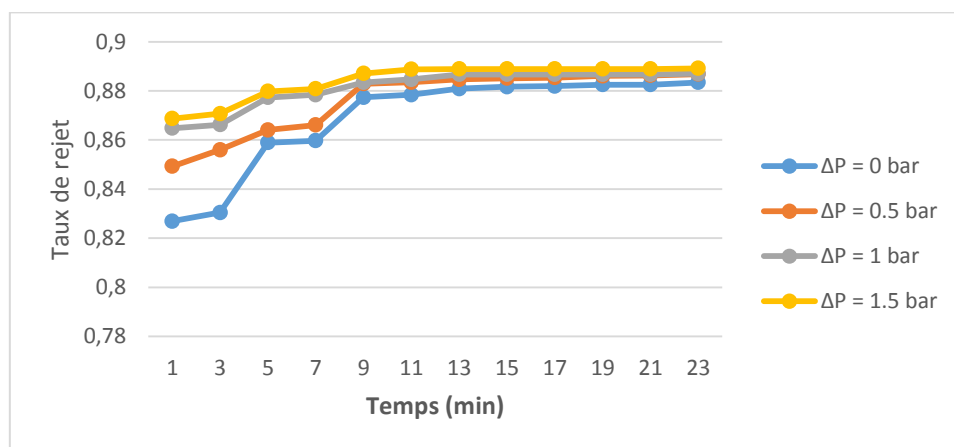
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.57 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 4,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	10,1032	0,1313	0,8687
3	9,9444	0,1293	0,8707
5	9,2460	0,1202	0,8798
7	9,1667	0,1192	0,8808
9	8,6825	0,1129	0,8871
11	8,5556	0,1112	0,8888
13	8,5476	0,1111	0,8889
15	8,5476	0,1111	0,8889
17	8,5476	0,1111	0,8889
19	8,5476	0,1111	0,8889
21	8,5476	0,1111	0,8889
23	8,5238	0,1108	0,8892

### 2.14.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.70:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C = 4.5 \text{ g/l}$ ).

2.14.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

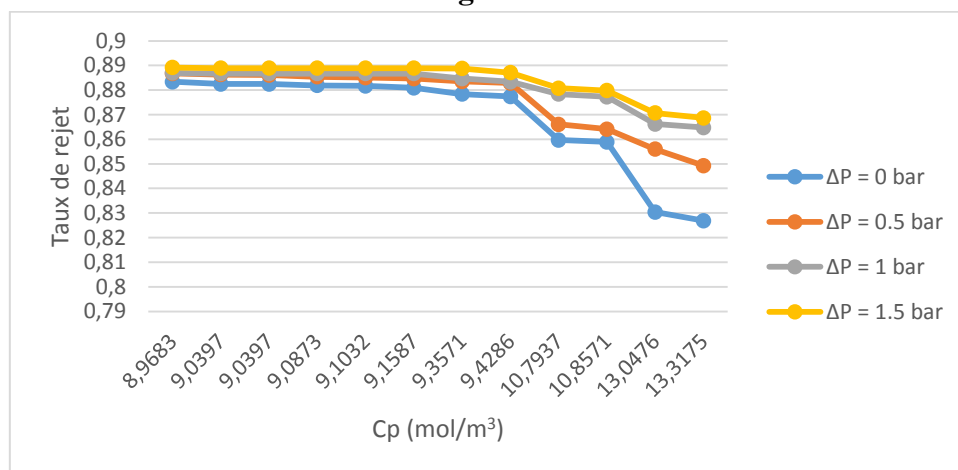


Figure V.71: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4.5 g/l).

2.15. Pour une concentration de 5 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 18 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 57 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 58 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 59 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 60 dans l'annexe.

2.15.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

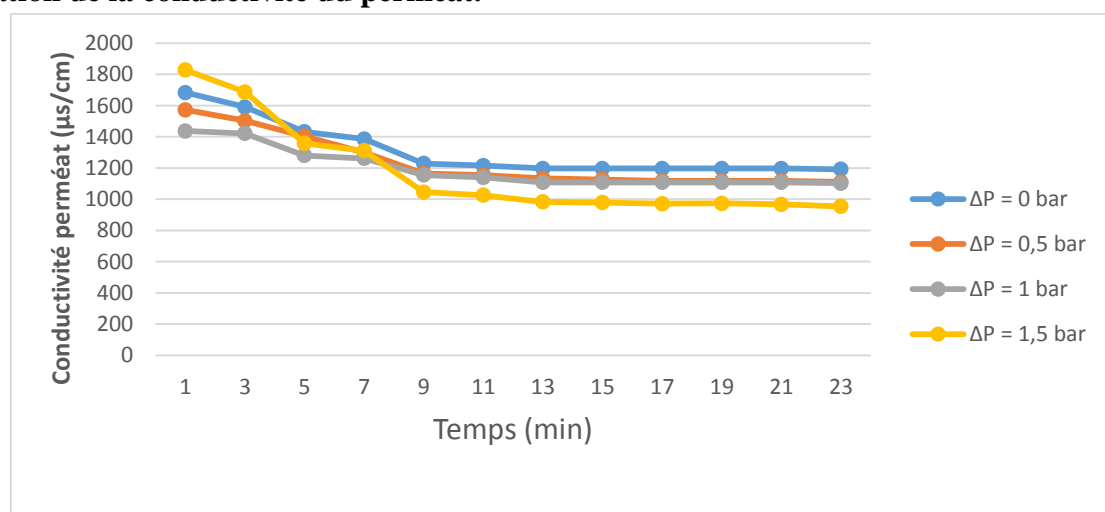


Figure V.72: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=5g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

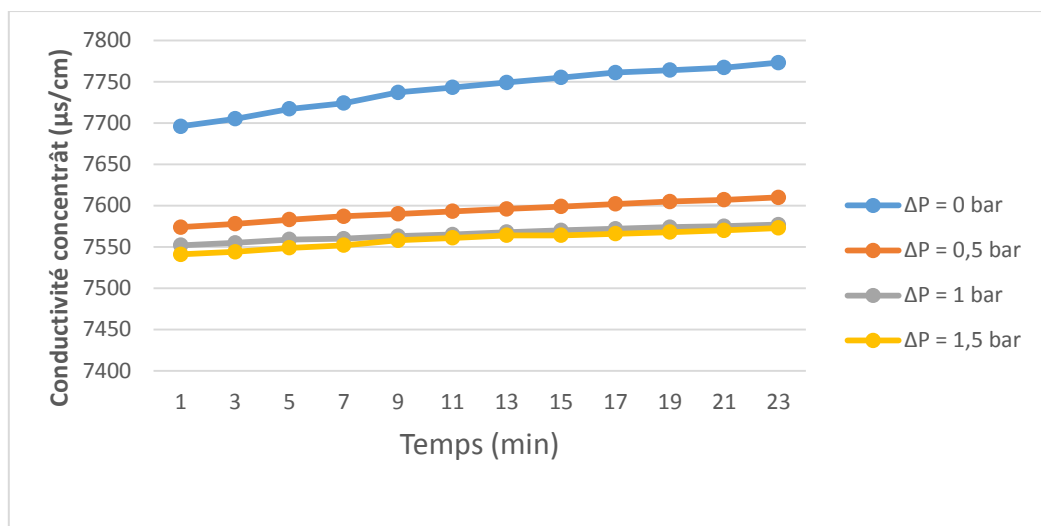


Figure V.73: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5$ g/l)

2.15.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

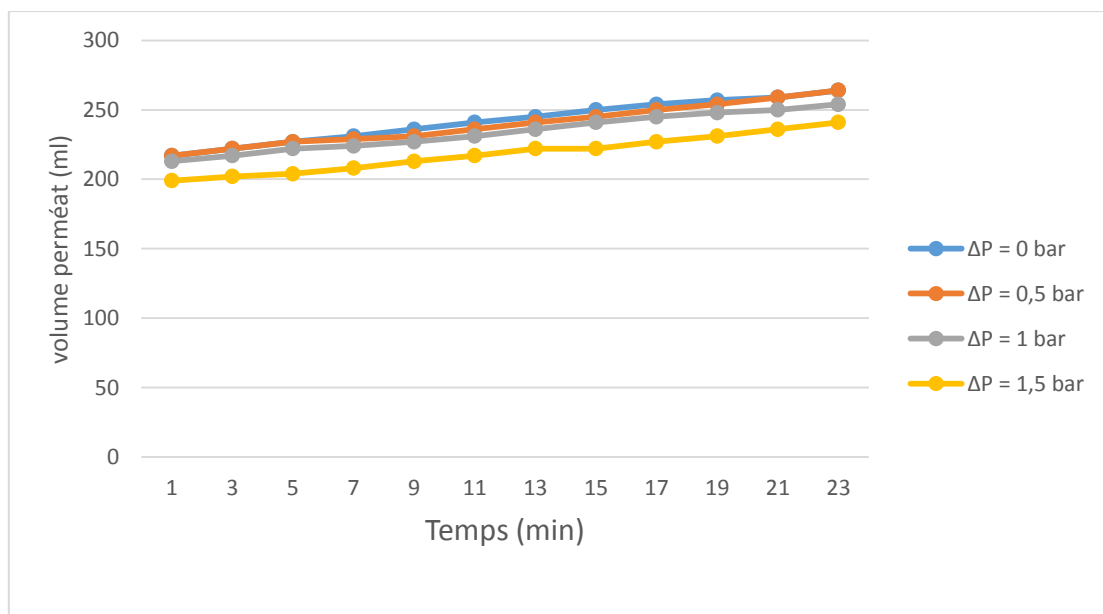


Figure V.74: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5$  g/l).

2.15.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.58** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C = 5$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	13,3571	0,1563	0,8437
3	12,6270	0,1477	0,8523
5	11,3651	0,1330	0,8670
7	10,9921	0,1286	0,8714
9	9,7540	0,1141	0,8859
11	9,6429	0,1128	0,8872
13	9,5000	0,1112	0,8889
15	9,5000	0,1112	0,8889
17	9,5000	0,1112	0,8889
19	9,5000	0,1112	0,8889
21	9,5000	0,1112	0,8889
23	9,4603	0,1107	0,8893

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.59** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ;  $C = 5$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=CP/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,4762	0,1460	0,8540
3	11,9206	0,1395	0,8605
5	11,1349	0,1303	0,8697
7	10,3175	0,1207	0,8793
9	9,2381	0,1081	0,8919
11	9,1587	0,1072	0,8928
13	8,9921	0,1052	0,8948
15	8,9365	0,1046	0,8954
17	8,8651	0,1037	0,8963
19	8,8651	0,1037	0,8963
21	8,8651	0,1037	0,8963
23	8,8175	0,1032	0,8968

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.60 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,4048	0,1334	0,8666
3	11,2778	0,1320	0,8681
5	10,1587	0,1189	0,8811
7	10,0079	0,1171	0,8829
9	9,1667	0,1073	0,8928
11	9,0397	0,1058	0,8942
13	8,7937	0,1029	0,8971
15	8,7937	0,1029	0,8971
17	8,7937	0,1029	0,8971
19	8,7937	0,1029	0,8971
21	8,7937	0,1029	0,8971
23	8,7460	0,1023	0,8977

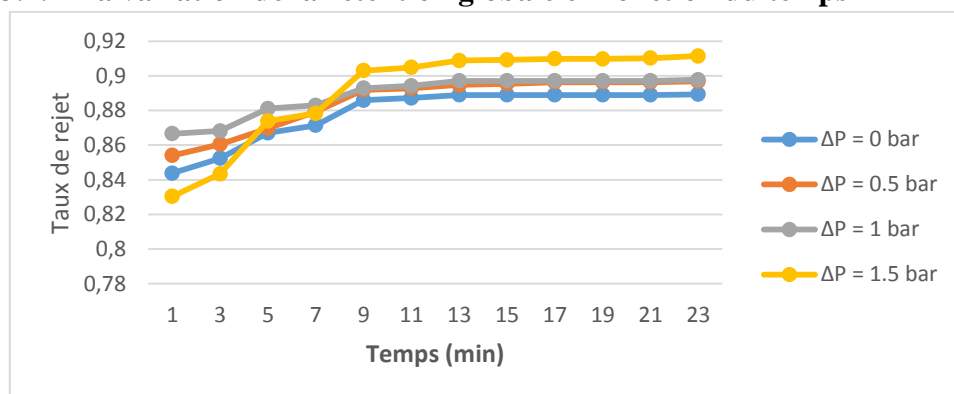
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau V.61 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	14,5079	0,1697	0,8303
3	13,3889	0,1567	0,8434
5	10,7778	0,1261	0,8739
7	10,4048	0,1217	0,8783
9	8,2937	0,0970	0,9030
11	8,1349	0,0952	0,9048
13	7,7937	0,0912	0,9088
15	7,7619	0,0908	0,9092
17	7,7063	0,0902	0,9098
19	7,7222	0,0904	0,9097
21	7,6746	0,0898	0,9102
23	7,5714	0,0886	0,9114

### 2.15.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.75:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=5 \text{ g/l}$ ).

2.15.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

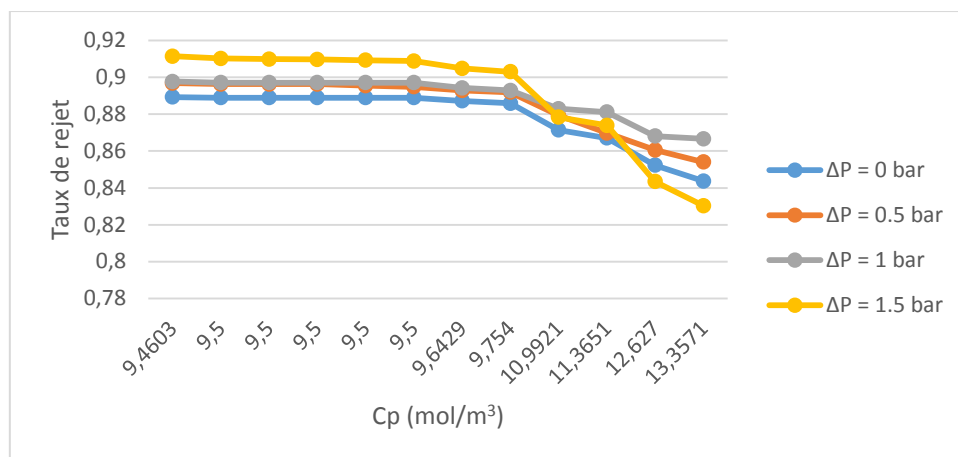


Figure V.76: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=5 g/l).

2.16. Pour une concentration de 5,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 19 °C                      Température après 17 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 61 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 20 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 62 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 63 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 64 dans l'annexe.

2.16.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

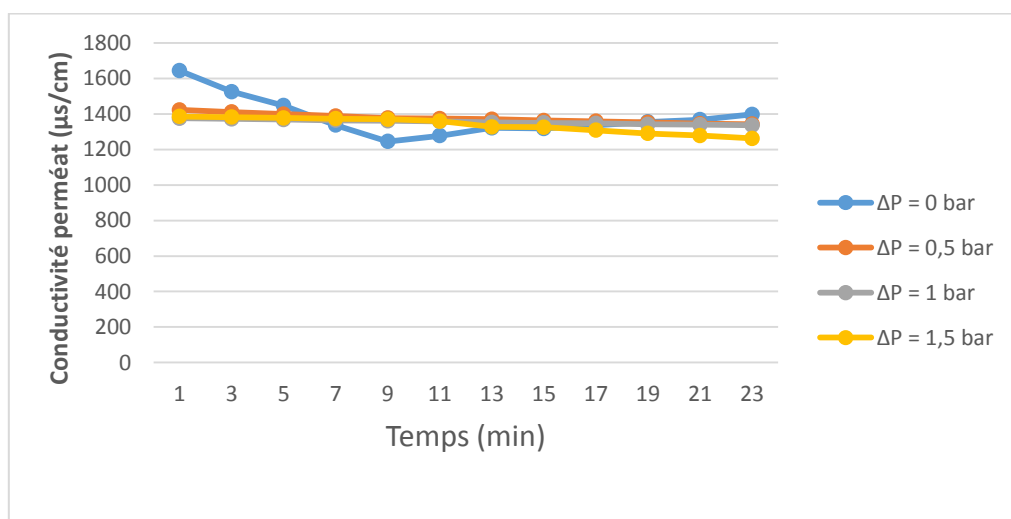


Figure V.77: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=5.5g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

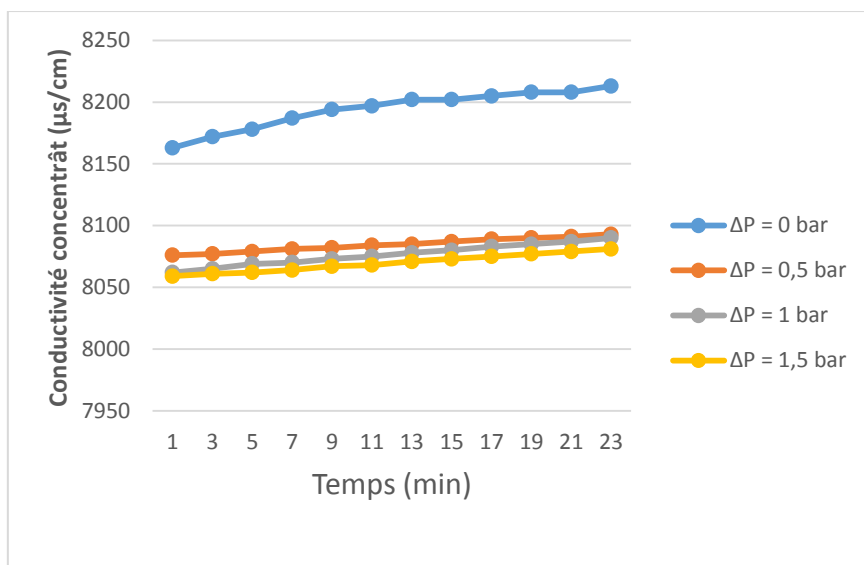


Figure V.78: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5.5$ g/l)

2.16.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

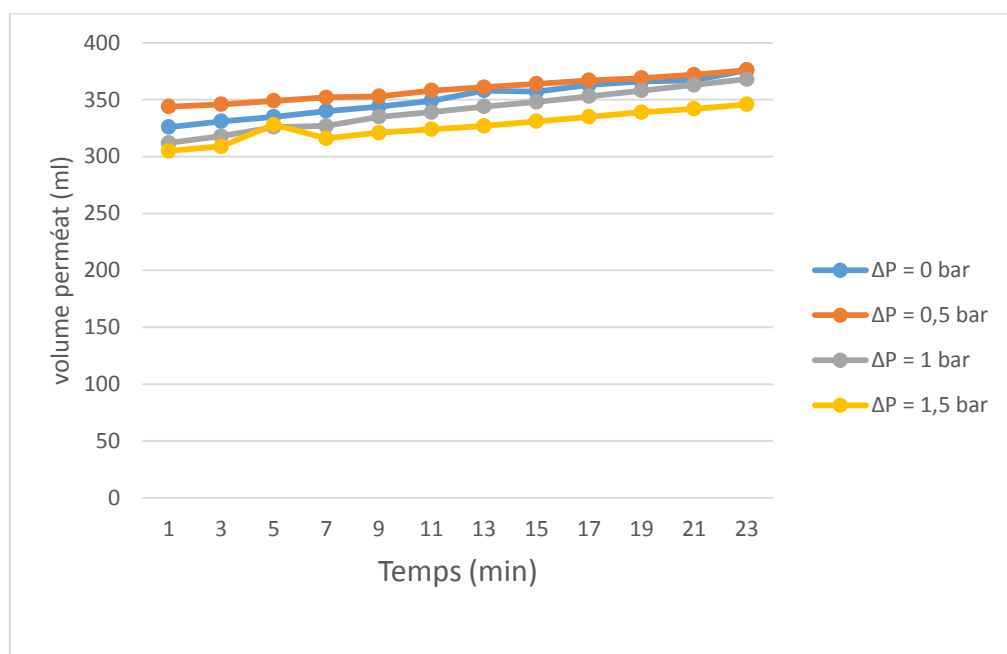


Figure V.79: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=5.5$  g/l).

2.16.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.



**Tableau 5.62 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C = 5,5$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	13,0397	0,1387	0,8613
3	12,1032	0,1287	0,8713
5	11,4841	0,1221	0,8779
7	10,6111	0,1129	0,8871
9	9,8810	0,1051	0,8949
11	10,1349	0,1078	0,8922
13	10,4841	0,1115	0,8885
15	10,4603	0,1113	0,8887
17	10,6111	0,1129	0,8871
19	10,7540	0,1144	0,8856
21	10,8492	0,1154	0,8846
23	11,0873	0,1179	0,8821

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.63 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ;  $C = 5,5$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,2857	0,1200	0,8800
3	11,1984	0,1191	0,8809
5	11,1032	0,1181	0,8819
7	11,0159	0,1172	0,8828
9	10,9206	0,1162	0,8838
11	10,9048	0,1160	0,8840
13	10,8730	0,1156	0,8844
15	10,8175	0,1151	0,8849
17	10,7778	0,1146	0,8854
19	10,7302	0,1141	0,8859
21	10,6746	0,1135	0,8865
23	10,6508	0,1133	0,8867

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.64 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 5,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	10,9127	0,1161	0,8839
3	10,8889	0,1158	0,8842
5	10,8571	0,1155	0,8845
7	10,8254	0,1151	0,8849
9	10,8016	0,1149	0,8851
11	10,7698	0,1146	0,8854
13	10,7302	0,1141	0,8859
15	10,7063	0,1139	0,8861
17	10,6905	0,1137	0,8863
19	10,6429	0,1132	0,8868
21	10,6270	0,1130	0,8870
23	10,6032	0,1128	0,8872

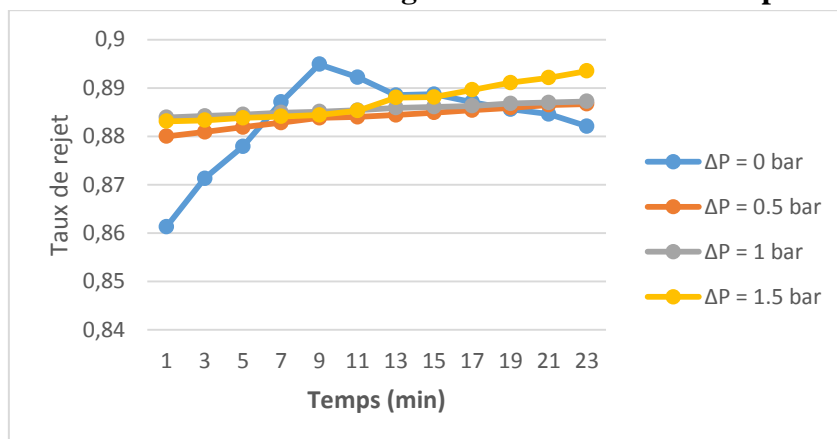
**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.65 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 5,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	10,9921	0,1169	0,8831
3	10,9683	0,1167	0,8833
5	10,9286	0,1162	0,8838
7	10,8968	0,1159	0,8841
9	10,8730	0,1156	0,8844
11	10,7857	0,1147	0,8853
13	10,5317	0,1120	0,8880
15	10,5159	0,1119	0,8881
17	10,3810	0,1104	0,8896
19	10,2381	0,1089	0,8911
21	10,1429	0,1079	0,8921
23	10,0159	0,1065	0,8935

### 2.16.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.80:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0; 0,5; 1; 1,5$  ;  $C = 5,5 \text{ g/l}$ ).

2.16.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

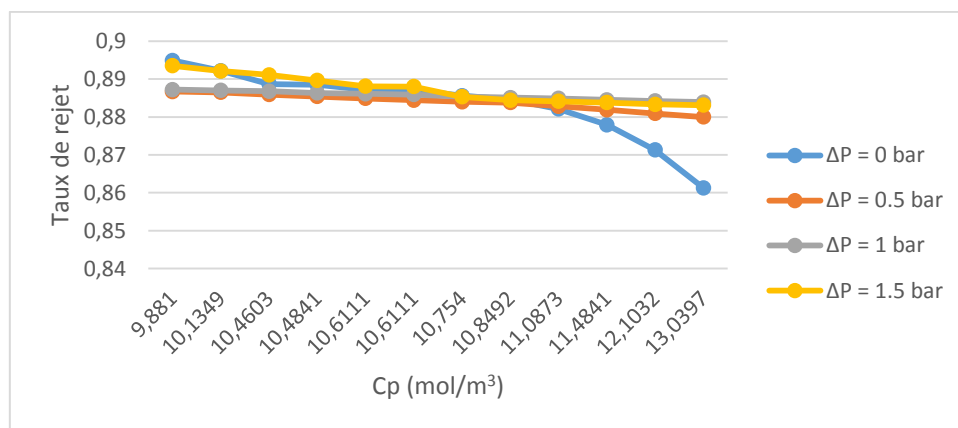


Figure V.81: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=5.5 g/l).

2.17. Pour une concentration de 6 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 8810 (μs/cm)

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 6 \text{ g/l} = 102.56 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 102.56 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 4.99 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 65 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 18 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 66 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 67 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 18 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 68 dans l'annexe.

2.17.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

\* La variation de la conductivité du perméat.

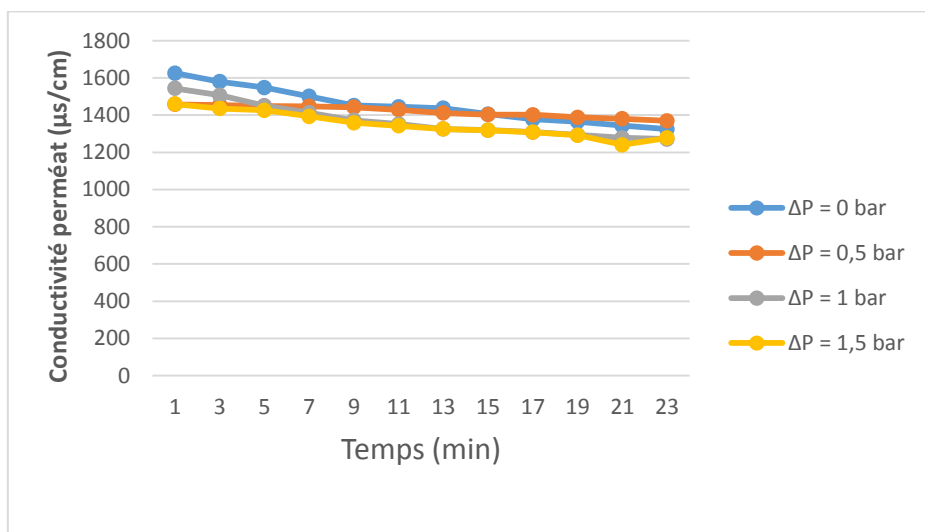


Figure V.82: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=6$ g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât

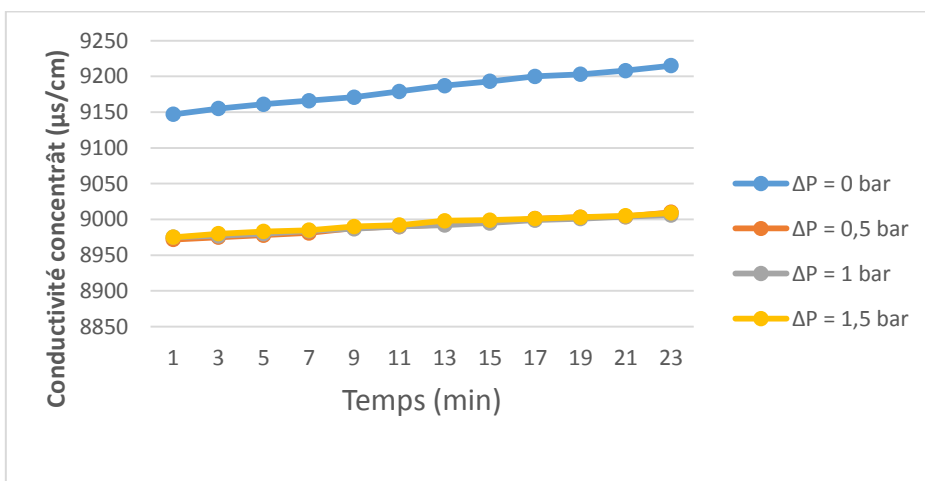


Figure V.83: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=6$ g/l)

2.17.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

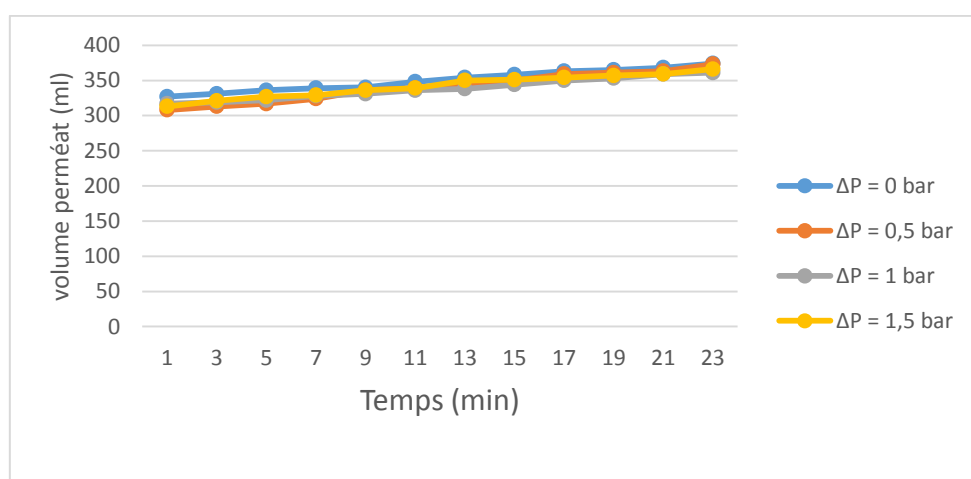


Figure V.84: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=6$  g/l).

**2.17.3. La variation du volume de la rétention globale du module.**

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.66 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C = 6$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,8968	0,1257	0,8743
3	12,5397	0,1223	0,8777
5	12,2857	0,1198	0,8802
7	11,9127	0,1161	0,8839
9	11,5238	0,1124	0,8876
11	11,4683	0,1118	0,8882
13	11,4048	0,1112	0,8888
15	11,1508	0,1087	0,8913
17	10,9365	0,1066	0,8934
19	10,8333	0,1056	0,8944
21	10,6587	0,1039	0,8961
23	10,5079	0,1025	0,8975

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.67 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ;  $C = 6$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,5714	0,1128	0,8872
3	11,5397	0,1125	0,8875
5	11,5000	0,1121	0,8879
7	11,4841	0,1120	0,8880
9	11,4444	0,1116	0,8884
11	11,3333	0,1105	0,8895
13	11,1984	0,1092	0,8908
15	11,1349	0,1086	0,8914
17	11,1270	0,1085	0,8915
19	11,0159	0,1074	0,8926
21	10,9524	0,1068	0,8932
23	10,8651	0,1059	0,8941

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.68 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 6 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,2540	0,1195	0,8805
3	11,9603	0,1166	0,8834
5	11,5079	0,1122	0,8878
7	11,2143	0,1093	0,8907
9	10,8889	0,1062	0,8938
11	10,7302	0,1046	0,8954
13	10,5159	0,1025	0,8975
15	10,4683	0,1021	0,8979
17	10,3889	0,1013	0,8987
19	10,2619	0,1001	0,8999
21	10,1429	0,0989	0,9011
23	10,0873	0,0984	0,9016

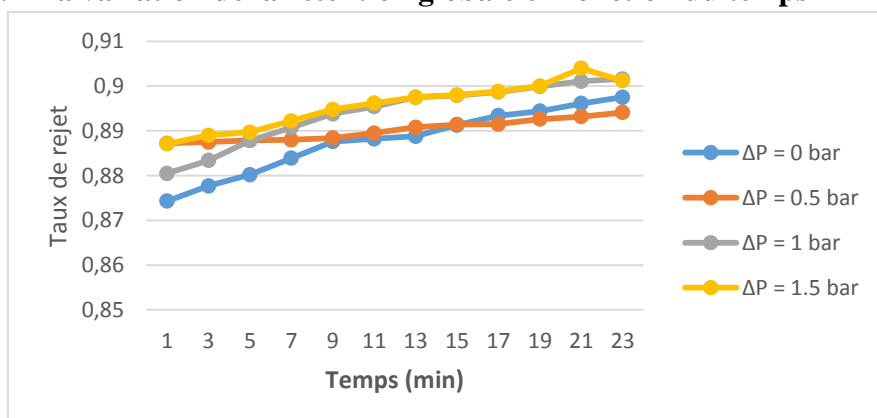
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.69 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 6 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	11,5794	0,1129	0,8871
3	11,3889	0,1110	0,8890
5	11,3175	0,1103	0,8897
7	11,0556	0,1078	0,8922
9	10,7857	0,1052	0,8948
11	10,6508	0,1038	0,8962
13	10,5159	0,1025	0,8975
15	10,4603	0,1020	0,8980
17	10,3810	0,1012	0,8988
19	10,2540	0,1000	0,9000
21	9,8413	0,0960	0,9040
23	10,1349	0,0988	0,9012

### 2.17.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.85:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P=0$ ; 0,5;1; 1,5 ;  $C=6 \text{ g/l}$ ).

2.17.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

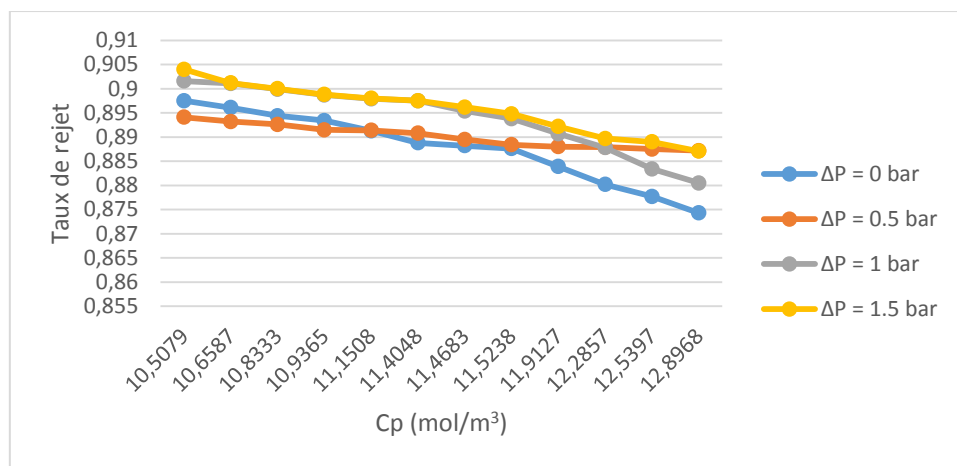


Figure V.86: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0,5;1; 1,5 ; C=6 g/l).

2.18. Pour une concentration de 6,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 9340 (μs/cm)

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 6,5 \text{ g/l} = 111,11 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 111,11 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 5,41 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 69 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 70 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 71 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C                      Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 72 dans l'annexe.

2.18.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

\* La variation de la conductivité du perméat

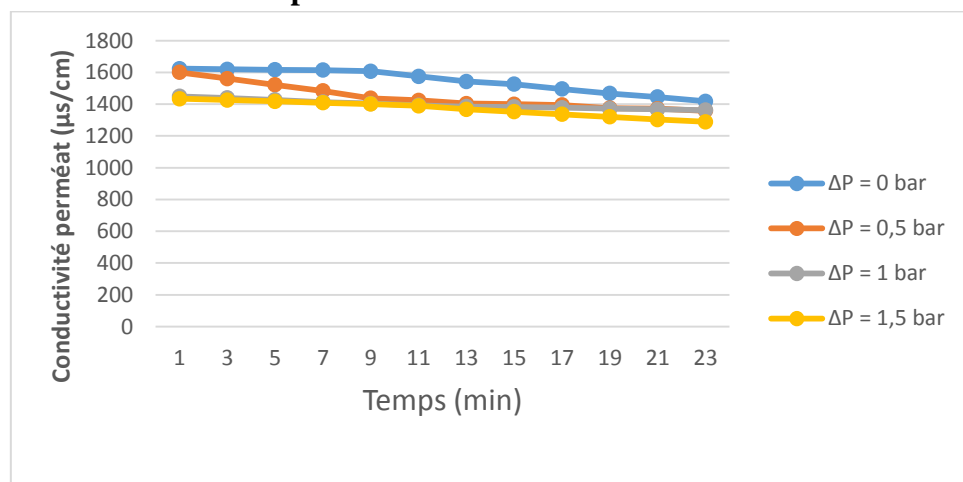


Figure V.87: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=6.5\text{g/l}$ ).

\* La variation de la conductivité du concentrât

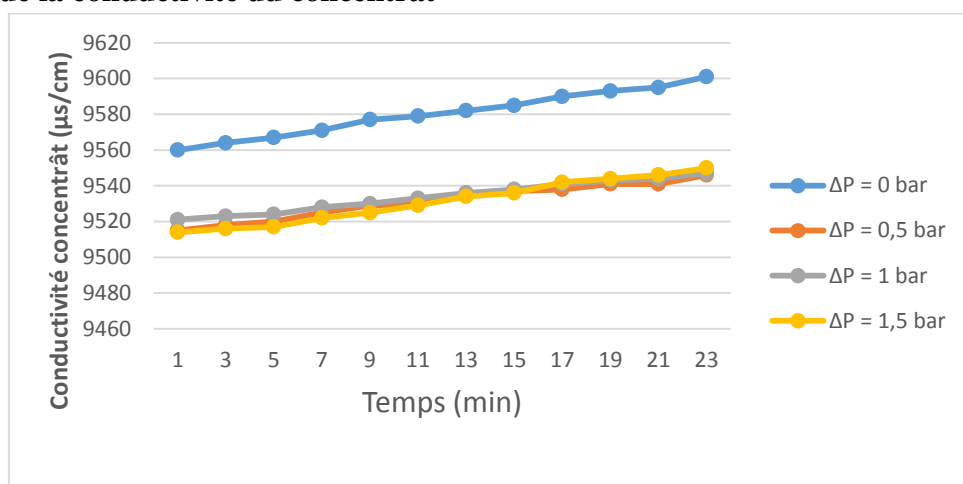


Figure V.88: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=6.5\text{g/l}$ ).

2.18.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

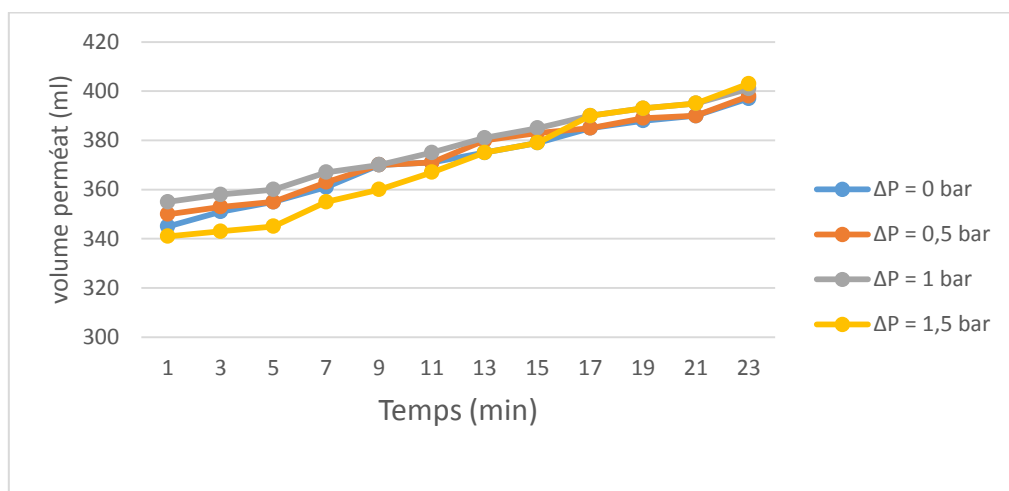


Figure V.89: La variation de volume de perméat en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=6.5$  g/l).



**2.18.3. La variation du volume de la rétention globale du module.**

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.70 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C = 6,5$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,8889	0,1160	0,8840
3	12,8571	0,1157	0,8843
5	12,8254	0,1154	0,8846
7	12,8095	0,1153	0,8847
9	12,7540	0,1148	0,8852
11	12,5000	0,1125	0,8875
13	12,2460	0,1102	0,8898
15	12,1111	0,1090	0,8910
17	11,8730	0,1069	0,8931
19	11,6429	0,1048	0,8952
21	11,4683	0,1032	0,8968
23	11,2540	0,1013	0,8987

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.71 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ;  $C = 6,5$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,6984	0,1143	0,8857
3	12,3889	0,1115	0,8885
5	12,0794	0,1087	0,8913
7	11,7698	0,1059	0,8941
9	11,4048	0,1026	0,8974
11	11,3016	0,1017	0,8983
13	11,1429	0,1003	0,8997
15	11,1111	0,1000	0,9000
17	11,0714	0,0996	0,9004
19	10,9127	0,0982	0,9018
21	10,8889	0,0980	0,9020
23	10,7857	0,0971	0,9029

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.72 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 6,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	11,5000	0,1035	0,8965
3	11,4206	0,1028	0,8972
5	11,3254	0,1019	0,8981
7	11,2143	0,1009	0,8991
9	11,1429	0,1003	0,8997
11	11,0556	0,0995	0,9005
13	10,9921	0,0989	0,9011
15	10,9762	0,0988	0,9012
17	10,9365	0,0984	0,9016
19	10,8889	0,0980	0,9020
21	10,8571	0,0977	0,9023
23	10,8175	0,0974	0,9026

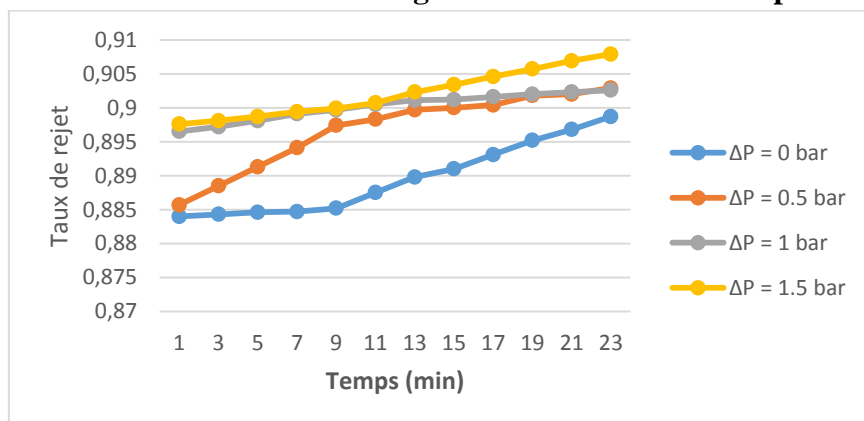
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.73 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 6,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p / C_0$	$R_m = 1 - S_p$
1	11,3810	0,1024	0,8976
3	11,3175	0,1019	0,8981
5	11,2540	0,1013	0,8987
7	11,1825	0,1006	0,8994
9	11,1190	0,1001	0,8999
11	11,0317	0,0993	0,9007
13	10,8571	0,0977	0,9023
15	10,7381	0,0966	0,9034
17	10,6032	0,0954	0,9046
19	10,4762	0,0943	0,9057
21	10,3413	0,0931	0,9069
23	10,2302	0,0921	0,9079

### 2.18.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.90:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 0; 0,5; 1; 1,5$  ;  $C = 6,5 \text{ g/l}$ ).

2.18.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

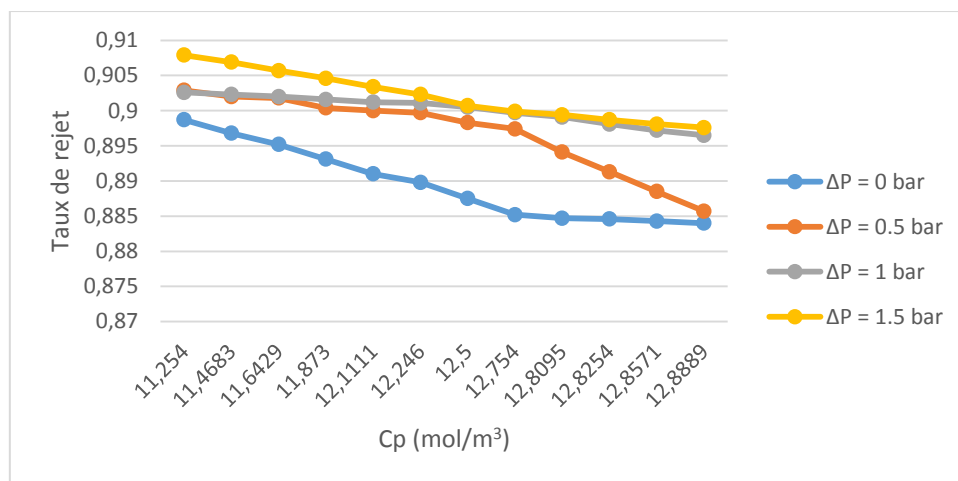


Figure V.91: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5 g/l).

2.19. Pour une concentration de 7 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 1010 (μs/cm)

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique       $\pi = i * C * R * T$

$$C = 7 \text{ g/l} = 119.66 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 1119.66 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 5.82 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 73 dans l'annexe :

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C                      Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 74 dans l'annexe :

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 75 dans l'annexe :

Manipulation n°04 :

Température avant 20 °C                      Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 76 dans l'annexe :

2.19.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

\* La variation de la conductivité du perméat.

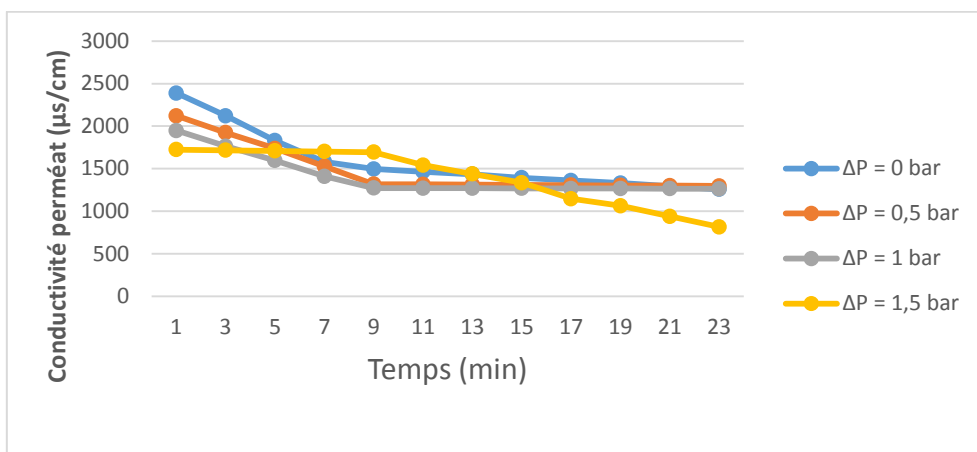


Figure V.92: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=7g/l).

\* La variation de la conductivité du concentrât.

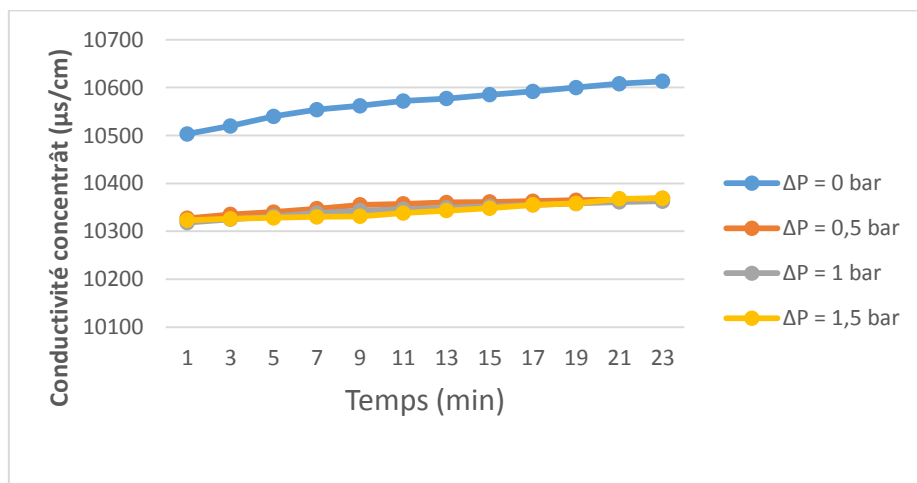


Figure V.93: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=7g/l)

2.19.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

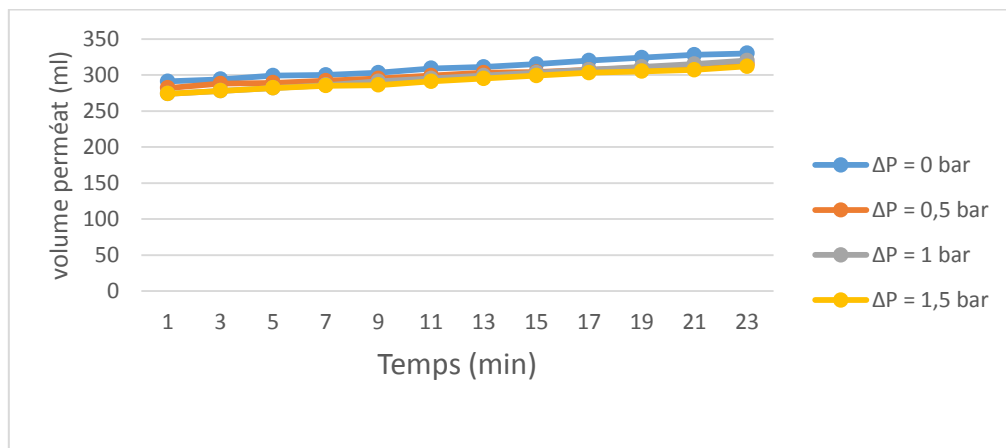


Figure V.94: La variation de volume de perméat en fonction du temps (P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=7 g/l).

### 2.19.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.74 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C = 7$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	18,9603	0,1585	0,8415
3	16,8333	0,1407	0,8593
5	14,5159	0,1213	0,8787
7	12,5397	0,1048	0,8952
9	11,8810	0,0993	0,9007
11	11,6270	0,0972	0,9028
13	11,3810	0,0951	0,9049
15	11,0556	0,0924	0,9076
17	10,8016	0,0903	0,9097
19	10,5556	0,0882	0,9118
21	10,2540	0,0857	0,9143
23	9,9762	0,0834	0,9166

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.75 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11$  bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ;  $C = 7$  g/l)

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	16,8254	0,1406	0,8594
3	15,2698	0,1276	0,8724
5	13,7857	0,1152	0,8848
7	12,1349	0,1014	0,8986
9	10,4603	0,0874	0,9126
11	10,4365	0,0872	0,9128
13	10,4048	0,0870	0,9130
15	10,3810	0,0868	0,9132
17	10,3651	0,0866	0,9134
19	10,3413	0,0864	0,9136
21	10,3175	0,0862	0,9138
23	10,2937	0,0860	0,9140

#### Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.76 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 7 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	15,4603	0,1292	0,8708
3	13,9921	0,1169	0,8831
5	12,6667	0,1059	0,8941
7	11,1825	0,0935	0,9065
9	10,0952	0,0844	0,9156
11	10,0873	0,0843	0,9157
13	10,0794	0,0842	0,9158
15	10,0714	0,0842	0,9158
17	10,0556	0,0840	0,9160
19	10,0476	0,0840	0,9160
21	10,0317	0,0838	0,9162
23	10,0238	0,0838	0,9162

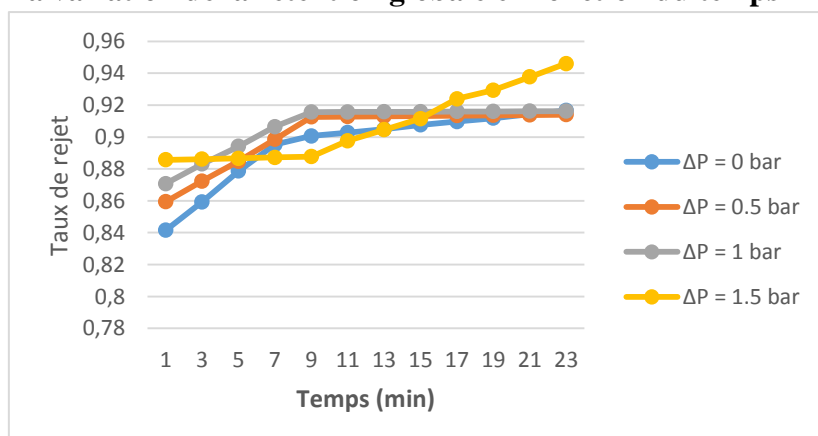
### Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5.77 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$  ;  $C = 7 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	13,6825	0,1143	0,8857
3	13,6270	0,1139	0,8861
5	13,5635	0,1134	0,8866
7	13,5000	0,1128	0,8872
9	13,4365	0,1123	0,8877
11	12,2381	0,1023	0,8977
13	11,4127	0,0954	0,9046
15	10,5873	0,0885	0,9115
17	9,1032	0,0761	0,9239
19	8,4444	0,0706	0,9294
21	7,4524	0,0623	0,9377
23	6,4603	0,0540	0,9460

### 2.19.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps



**Figure V.95:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P= 0; 0,5;1; 1,5$  ;  $C=7 \text{ g/l}$ ).

2.19.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

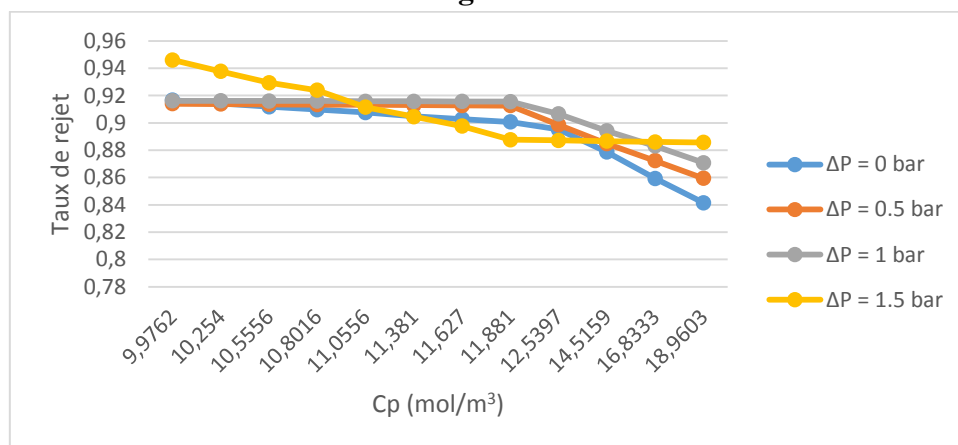


Figure V.96: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=7$  g/l).

3. Etudes concernant la pression d'alimentation :

3.1. Pour une concentration de 3 g/l :

3.1.1. Pression 5 bar

Tableau 5.78 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 5$  bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C = 3$  g/l)

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
1	9,7937	0,1910	0,8090
3	9,7063	0,1893	0,8107
5	8,8730	0,1730	0,8270
7	8,7381	0,1704	0,8296
9	8,1825	0,1596	0,8404
11	8,1429	0,1588	0,8412
13	8,0317	0,1566	0,8434
15	8,0317	0,1566	0,8434
17	8,0317	0,1566	0,8434
19	8,0317	0,1566	0,8434
21	8,0317	0,1566	0,8434
23	8,0079	0,1562	0,8438

3.1.2. Pression 7 bar

Tableau 5.79 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7$  bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C = 3$  g/l)

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
1	8,5635	0,1670	0,8330
3	8,4841	0,1654	0,8346
5	7,7540	0,1512	0,8488
7	7,6349	0,1489	0,8511
9	7,1508	0,1394	0,8606
11	7,1111	0,1387	0,8613
13	7,0238	0,1370	0,8630
15	7,0238	0,1370	0,8630
17	7,0238	0,1370	0,8630
19	7,0238	0,1370	0,8630
21	7,0238	0,1370	0,8630
23	7,0000	0,1365	0,8635

3.1.3. Pression 11 bar

Tableau 5.80 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 3 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	9,8810	0,1927	0,8073
3	9,7937	0,1910	0,8090
5	8,9524	0,1746	0,8254
7	8,8175	0,1719	0,8281
9	8,2540	0,1610	0,8390
11	8,2143	0,1602	0,8398
13	8,1032	0,1580	0,8420
15	8,1032	0,1580	0,8420
17	8,1032	0,1580	0,8420
19	8,1032	0,1580	0,8420
21	8,1032	0,1580	0,8420
23	8,0794	0,1575	0,8425

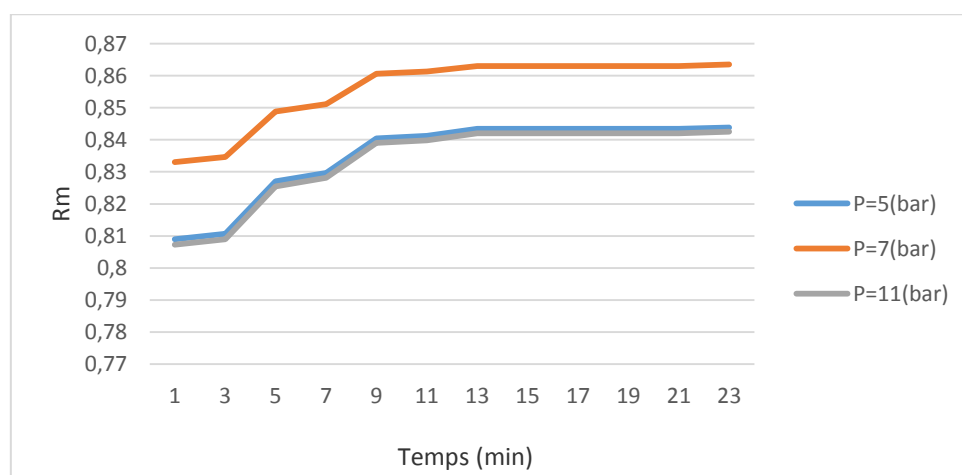


Figure V.97: La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=5 ; 7 ; 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P=1$  ;  $C=3 \text{ g/l}$ ).

3.2. Pour concentration =4g/l

3.2.1. Pression 7 bar

Tableau 5.81 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	13,2778	0,1942	0,8058
3	12,4286	0,1818	0,8182
5	10,0476	0,1469	0,8531
7	9,2540	0,1353	0,8647
9	7,4048	0,1083	0,8917
11	7,3095	0,1069	0,8931
13	7,1429	0,1045	0,8955
15	7,1429	0,1045	0,8955
17	7,1429	0,1045	0,8955
19	7,1429	0,1045	0,8955
21	7,1429	0,1045	0,8955
23	7,1111	0,1040	0,8960



3.2.2. Pression 9 bar

Tableau V.82 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	13,2778	0,1942	0,8058
3	12,4286	0,1818	0,8182
5	10,0476	0,1469	0,8531
7	9,2540	0,1353	0,8647
9	7,4048	0,1083	0,8917
11	7,3095	0,1069	0,8931
13	7,1429	0,1045	0,8955
15	7,1429	0,1045	0,8955
17	7,1429	0,1045	0,8955
19	7,1429	0,1045	0,8955
21	7,1429	0,1045	0,8955
23	7,1111	0,1040	0,8960

3.2.3. Pression 11 bar

Tableau 5.83 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 4 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	13,5397	0,1980	0,8020
3	12,6746	0,1854	0,8146
5	10,2460	0,1498	0,8502
7	9,4365	0,1380	0,8620
9	7,5556	0,1105	0,8895
11	7,4524	0,1090	0,8910
13	7,2857	0,1066	0,8934
15	7,2857	0,1066	0,8934
17	7,2857	0,1066	0,8934
19	7,2857	0,1066	0,8934
21	7,2857	0,1066	0,8934
23	7,2540	0,1061	0,8939

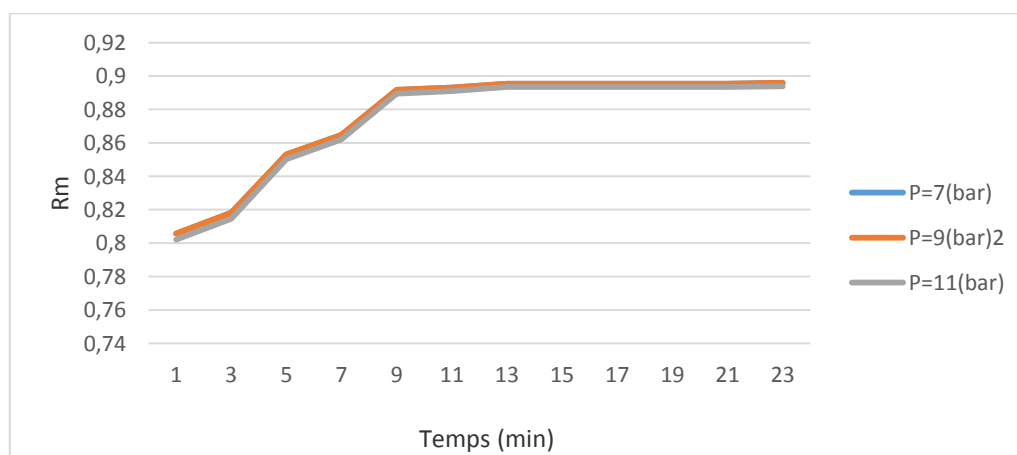


Figure V.98: La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}}=7 ; 9 ; 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P=1$  ;  $C=4 \text{ g/l}$ ).

3.3. Pour une concentration de 5.5 g/l :

3.3.1. pression 9bar

Tableau 5.84 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 5,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	12,5794	0,1338	0,8662
3	12,5397	0,1334	0,8666
5	12,5079	0,1330	0,8670
7	12,4762	0,1327	0,8673
9	12,4444	0,1324	0,8676
11	12,4127	0,1320	0,8680
13	12,3651	0,1315	0,8685
15	12,3333	0,1312	0,8688
17	12,3175	0,1310	0,8690
19	12,2619	0,1304	0,8696
21	12,2381	0,1302	0,8698
23	12,2143	0,1299	0,8701

3.3.2. Pression 11 bar

Tableau 5.85 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ( $P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1 \text{ bar}$  ;  $C = 5,5 \text{ g/l}$ )

Temps (min)	$C_p$ =conductivité de perméat /126 ( $\text{mol/m}^3$ )	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
1	10,9127	0,1161	0,8839
3	10,8889	0,1158	0,8842
5	10,8571	0,1155	0,8845
7	10,8254	0,1151	0,8849
9	10,8016	0,1149	0,8851
11	10,7698	0,1146	0,8854
13	10,7302	0,1141	0,8859
15	10,7063	0,1139	0,8861
17	10,6905	0,1137	0,8863
19	10,6429	0,1132	0,8868
21	10,6270	0,1130	0,8870
23	10,6032	0,1128	0,8872

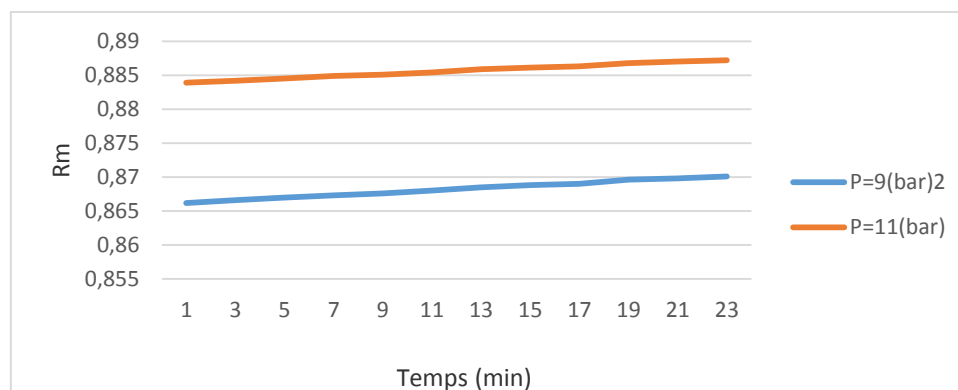


Figure V.99: La variation de taux de rejet en fonction du temps ( $P_{\text{entrée}} = 9 ; 11 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 1$  ;  $C = 5,5 \text{ g/l}$ ).

### 4. INTERPRÉTATIONS DES RESULTATS :

#### 4.1. Pour une pression de 5 bars

Pour  $C = 2 \text{ g/l}$  :

La conductivité varie inconstamment entre 0 et 9 minutes, plus le temps augmente plus la conductivité du perméat diminue. Après 9 minutes nous constatons une certaine stabilité de la conductivité du perméat. Par contre plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus la conductivité du perméat diminue comme le montre la figure V. 2.

La figure V. 3 montre que la variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps est mieux ordonnée que celle du perméat donné dans la figure précédente sauf pour  $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$ . Néanmoins le sens de variation ne change pas c'est-à-dire plus le temps augmente plus la conductivité du concentrât augmente. La conductivité du concentrât diminue quand la différence de pression de part et d'autre de la membrane diminue.

La variation du volume du perméat en fonction du temps est représentée dans la figure V. 4. Cette figure montre bien que plus le temps augmente plus le volume du perméat augmente de manière plus ou moins constante. Ainsi plus la différence de pression augmente plus le volume du perméat diminue.

La variation du taux de rejet en fonction du temps représenté sur la figure V.5 présente une forte croissance entre 0 mn et 9 minutes schématisée par des courbes dont les pentes sont assez importantes sauf pour  $\Delta P = 1.5 \text{ bar}$  où on constate une faible et constante croissance, puis une certaine stabilité des courbes jusqu'à la fin de la manipulation pour toutes les  $\Delta P$ . Nous remarquons aussi que la variation du taux de rejet est proportionnelle par rapport à la différence de pression de part et d'autre de la membrane, c'est-à-dire plus cette dernière augmente plus le taux de rejet augmente.

La fonction de la variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat est réversible par rapport à la fonction de la variation du taux de rejet en fonction du temps comme le représente la figure V.6, où on remarque une certaine stabilité des courbes jusqu'à une concentration  $C_p = 9,1667$ , ensuite une forte décroissance schématisée par des courbes dont les pentes sont assez importantes sauf pour  $\Delta P = 1.5 \text{ bar}$  où on constate une faible et constante décroissance. Donc plus la concentration du perméat augmente plus le taux de rejet diminue.

Nous constatons aussi que le taux de rejet en fonction du temps varie en sens inverse que la conductivité du perméat en fonction du temps. Plus le temps augmente plus la conductivité du perméat augmente et plus le taux de rejet diminue.

Pour les autres concentrations nous n'avons pas trouvé beaucoup de différences dans les allures des courbes, néanmoins nous constatons que la conductivité du perméat diminue en fonction du temps et augmente grâce à l'augmentation de la concentration des sels. Elle arrive jusqu'à environ de  $1085 \text{ } (\mu\text{s/cm})$  au lieu de  $1336 \text{ } (\mu\text{s/cm})$  pour la première solution et la différence de conductivité varie avec un intervalle de  $90$  à  $310 \text{ } (\mu\text{s/cm})$  pour une concentration de  $2 \text{ g/l}$  de sels; par contre en ce qui concerne la variation de la conductivité du concentrât on constate que la conductivité du concentrât augmente en fonction du temps et la différence de conductivité reste pratiquement constante aux environs de  $30 \text{ } (\mu\text{s/cm})$  ; nous notons aussi que pour toutes ces solutions plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus la conductivité du concentrât diminue.

## Chapitre V : Résultats et interprétations

En ce qui concerne la variation du volume de perméat en fonction du temps nous remarquons que plus le temps augmente plus le volume de perméat augmente jusqu'à ce qu'il atteigne un équilibre. Ainsi plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le volume du perméat diminue. A partir de la solution 2.5 g /l; nous constatons un certain entassement dans les courbes et la variation du volume du perméat diminue. Nous remarquons aussi que plus la concentration en sel augmente plus le débit du perméat diminue.

Plus la concentration du perméat augmente plus le taux de rejet diminue et varie de 0.81 à 0.89 pour la 3ème solution c'est-à-dire 3 g/l.

### 4.2. Pour les pressions de 7, 9 et 11 bars :

Pour ces pressions nous n'avons pas trouvé de différences dans le principe des variations, ni des paramètres d'études (volume du perméat, concentration du perméat ou du concentrât, et taux de rejet), ni des courbes, sauf pour le degré de variation où plus la pression d'alimentation augmente plus la variation est forte.

Les figures V.17 et V.19 représentent respectivement la variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps et la variation du volume du perméat en fonction du temps pour une concentration de 3 g/l et une pression d'alimentation de 7 bars. Nous remarquons la même chose pour les concentrations 2 ; 2,5 et 3 g/l et une pression de 5 bars. Donc la conductivité du perméat diminue en fonction du temps, alors que la conductivité du concentrât et le volume du perméat augmentent en fonction du temps. Sauf que les valeurs ne sont pas les mêmes. Les figures V.14 et V.19 représentent respectivement la variation du volume en fonction du temps pour une concentration de 3 g/l et une différence de pression de part et d'autre de la membrane  $\Delta P = 0$  pour une pression de 5 et 7 bars. Nous remarquons que le volume pour une pression de 5 bars à 23 minutes est de 251 ml, et pour une pression de 7 bars à 23 minutes est de 323 ml.

Les figures V.12 et V.17 représentent respectivement la variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour une concentration de 3 g/l et une différence de pression de part et d'autre de la membrane  $\Delta P = 0$  pour une pression de 5 et 7 bars. Nous remarquons que la conductivité du perméat pour une pression de 5 bars à 23 minutes est de 1042  $\mu\text{s/cm}$ , et pour une pression de 7 bars à 23 minutes est de 911  $\mu\text{s/cm}$ .

Donc nous concluons que plus la pression d'alimentation augmente plus le volume du perméat augmente et plus la conductivité du perméat diminue.

### 4.3. Etudes concernant la différence de pression de part et d'autre de la membrane ( $\Delta P$ ) :

La figure V.4 représente la variation du volume du perméat en fonction du temps pour une concentration de sels de 2 g/l et une pression d'alimentation de 5 bars, et montre que plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le volume du perméat diminue. Donc plus la différence de pression augmente plus on perd en quantité de production.

La figure V.5 représente la variation du taux de rejet en fonction du temps pour une concentration de sels de 2 g/l et une pression d'alimentation de 5 bars, et montre que plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le taux de rejet augmente. Donc plus la différence de pression augmente plus on gagne en qualité de production.

Depuis cette analyse nous constatons que le choix de la différence de pression est très important, et pour cela nous devons étudier le rapport quantité – qualité.

## **Chapitre V : Résultats et interprétations**

Les figures V.44 et V.45 représentent respectivement la variation du volume du perméat et la variation du taux de rejet en fonction du temps pour une même concentration de sels et une même pression d'alimentation. D'après ces figures nous constatons que pour un  $\Delta P = 1$  bar, le volume du perméat est presque maximum, et le taux de rejet est maximum avec celui d'un  $\Delta P = 1,5$ .

Donc pour une différence de pression de part et d'autre de la membrane  $\Delta P = 1$  bar, nous obtenons les meilleurs résultats de production en termes de quantité et qualité

### **4.4. Etudes concernant la pression d'alimentation :**

Les figures V.97, V.98 et V.99 représentent la variation des taux de rejet en fonction du temps pour de différentes pressions d'alimentation, l'objectif de cette analyse est de pouvoir choisir la pression idéale pour chaque concentration.

La figure V.97 représente la variation du taux de rejet en fonction du temps pour des pressions d'alimentation de 5, 7 et 11 et pour une concentration de 3 g/l. D'après cette figure on constate que la pression d'alimentation de 7 bars donne le meilleur résultat pour une concentration de 3 g/l, sachant que la pression osmotique  $\Pi = 2,52$ . Donc  $P = 7$  est légèrement supérieure à  $2 \Pi$ .

Malgré que  $p = 11$  est supérieure à  $2 \Pi$  les résultats ne sont pas aussi bons que lorsque  $P = 7$ .

La figure V.98 représente la variation du taux de rejet en fonction du temps pour des pressions d'alimentation de 7, 9 et 11 et pour une concentration de 4 g/l. D'après cette figure nous constatons que toutes les pressions d'alimentation donnent pratiquement un bon résultat pour une concentration de 4 g/l, et la pression de 7 bars est la plus petite, sachant que la pression osmotique  $\Pi = 3,33$ . Donc  $P = 7 > 2 \Pi$ .

La figure V.99 représente la variation du taux de rejet en fonction du temps pour des pressions d'alimentation de 9 et 11 et pour une concentration de 5,5 g/l. D'après figure on constate que la pression d'alimentation de 11 bars donne le meilleur résultat pour une concentration de 5,5 g/l, sachant que la pression osmotique  $\Pi = 4,57$ . Donc  $P = 11 > 2 \Pi$ .

Donc nous concluons que la pression d'alimentation idéale doit être légèrement supérieure à 2 fois la pression osmotique.

# Conclusion Générale

---

### Conclusion générale :

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est un processus faisant partie intégrante d'une gamme de produits technologiques récents et performants permettant la résolution de problèmes sociaux, environnementaux, économiques et politiques de nombreux pays confrontés aux pénuries d'eau potable.

Comparativement aux procédés thermiques de dessalement, le coût énergétique permet à cette nouvelle technologie d'être compétitive et performante. Il est vrai que cette technique prometteuse est en passe de devenir une méthode prépondérante pour la production d'eau douce à l'adresse des consommateurs et utilisateurs, une solution séduisante donc pour les décideurs des pays confrontés aux pénuries d'eau : aléas climatiques dont la désertification et la faible pluviométrie sont des contraintes majeures de développement.

Cependant, ce processus technologique connaît certaines limites dont la plus importante est celle relative à la pression qui doit être appliquée pour dépasser la pression osmotique. Cette pression osmotique est d'autant plus importante que la concentration en sels augmente. Parmi les autres limites de l'osmose inverse il y a lieu de noter le phénomène de colmatage qui rend le procédé très sensible à la qualité des prétraitements.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le processus de dessalement des eaux faiblement saumâtres en utilisant le pilote TE200 du laboratoire TEE du département d'hydraulique.

Selon les résultats trouvés dans notre étude expérimentale et après plusieurs manipulations, nous concluons ce qui suit :

- La conductivité dans le perméat augmente avec le temps quelque soit la pression d'entrée, de sortie ou de la concentration en sel dans l'eau d'alimentation
- Pour une concentration en sel donnée, la conductivité du perméat et du concentrât varie avec la variation de la pression de sortie de la membrane

- Plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane est grande plus la conductivité est meilleure , et plus le taux de rejet est faible
- Plus la différence de part et d'autre de la membrane augmente, plus le volume du perméat diminue
- Plus le temps augmente plus la conductivité du concentrât augmente et diminue quand la différence de pression de part et d'autre de la membrane diminue
- Plus le temps augmente plus le volume du perméat augmente jusqu'à ce qu'il atteigne l'équilibre



# Annexe

---

**Annexe****Tableau 1 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C=2$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	5	221	11,3	3722	1336	189
3	5	5	221	11,7	3729	1284	195
5	5	5	221	12,1	3737	1236	202
7	5	5	221	12,1	3741	1164	202
9	5	5	221	12,5	3751	1085	208
11	5	5	221	12,7	3753	1085	211
13	5	5	221	13,1	3758	1085	218
15	5	5	221	13,1	3758	1085	218
17	5	5	221	13,3	3761	1085	221
19	5	5	221	13,5	3763	1085	224
21	5	5	221	13,5	3763	1085	224
23	5	5	221	13,8	3768	1085	231

**Tableau 2 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ;  $C=2$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	4,5	476	10,7	3655	1194	179
3	5	4,5	476	14,8	3678	1188	182
5	5	4,5	476	11,1	3659	1140	185
7	5	4,5	476	15,2	3682	1116	189
9	5	4,5	476	11,5	3662	1100	192
11	5	4,5	476	11,7	3663	1092	195
13	5	4,5	476	11,9	3665	1080	198
15	5	4,5	476	12,3	3667	1078	202
17	5	4,5	476	12,3	3667	1068	205
19	5	4,5	476	12,4	3668	1068	208
21	5	4,5	476	12,5	3668	1068	208
23	5	4,5	476	12,9	3670	1066	215

**Tableau 3 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C=2$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	4	639	9,6	3636	1195	159
3	5	4	639	10,1	3639	1154	169
5	5	4	639	10,3	3641	1082	172
7	5	4	639	10,5	3643	1058	176
9	5	4	639	10,9	3645	995	182
11	5	4	639	10,9	3645	984	182
13	5	4	639	11,3	3647	995	189
15	5	4	639	11,3	3647	995	189
17	5	4	639	11,5	3648	995	192
19	5	4	639	11,7	3649	995	195
21	5	4	639	11,7	3649	995	195
23	5	4	639	12,1	3650	992	202

**Tableau 4 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=2g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	3,5	639	9,8	3639	1073	163
3	5	3,5	639	10,1	3641	1063	166
5	5	3,5	639	10,1	3641	1042	169
7	5	3,5	639	10,3	3642	1032	172
9	5	3,5	639	10,5	3643	1013	176
11	5	3,5	639	10,7	3644	1008	179
13	5	3,5	639	10,7	3644	992	179
15	5	3,5	639	10,9	3645	992	182
17	5	3,5	639	11,1	3646	992	185
19	5	3,5	639	11,3	3647	992	189
21	5	3,5	639	11,5	3648	992	192
23	5	3,5	639	11,7	3649	990	195

**Tableau 5 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=2.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	5	299	12,5	4112	1426	208
3	5	5	299	12,7	4118	1353	212
5	5	5	299	13,0	4128	1168	216
7	5	5	299	13,2	4135	1086	220
9	5	5	299	13,4	4145	931	224
11	5	5	299	13,7	4147	926	228
13	5	5	299	13,9	4151	915	232
15	5	5	299	14,2	4153	915	236
17	5	5	299	14,4	4156	915	240
19	5	5	299	14,6	4159	915	244
21	5	5	299	14,9	4162	915	248
23	5	5	299	15,1	4165	911	252

**Tableau 6 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=2.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	4,5	623	12,5	4056	1252	208
3	5	4,5	623	12,7	4059	1195	212
5	5	4,5	623	13,0	4062	1071	216
7	5	4,5	623	13,2	4064	1030	220
9	5	4,5	623	13,4	4068	934	224
11	5	4,5	623	14,2	4071	930	228
13	5	4,5	623	13,9	4071	917	232
15	5	4,5	623	14,2	4072	917	236
17	5	4,5	623	14,4	4073	917	240
19	5	4,5	623	14,6	4074	917	244
21	5	4,5	623	14,9	4076	917	248
23	5	4,5	623	15,1	4077	914	252

**Tableau 7 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C=2.5$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	4	780	12,2	4048	968	204
3	5	4	780	12,5	4049	958	208
5	5	4	780	12,7	4051	919	212
7	5	4	780	13,0	4052	917	216
9	5	4	780	13,2	4054	883	220
11	5	4	780	13,4	4055	877	224
13	5	4	780	13,7	4056	865	228
15	5	4	780	13,9	4057	865	232
17	5	4	780	14,2	4058	865	236
19	5	4	780	14,4	4059	865	240
21	5	4	780	14,6	4060	865	244
23	5	4	780	14,9	4061	859	248

**Tableau 8 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ;  $C=2.5$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	3,5	780	12,5	4050	941	208
3	5	3,5	780	12,7	4051	937	212
5	5	3,5	780	13,0	4052	901	216
7	5	3,5	780	13,2	4053	896	220
9	5	3,5	780	13,4	4055	872	224
11	5	3,5	780	13,9	4057	868	228
13	5	3,5	780	13,9	4057	855	232
15	5	3,5	780	14,2	4058	855	236
17	5	3,5	780	14,4	4059	855	240
19	5	3,5	780	14,6	4060	855	244
21	5	3,5	780	14,9	4061	855	248
23	5	3,5	780	15,1	4062	849	252

**Tableau 9 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=5$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C=3$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	5	5	289	12,5	4990	1776	209
3	5	5	289	12,8	5005	1508	213
5	5	5	289	13,0	5010	1464	217
7	5	5	289	13,2	5027	1164	220
9	5	5	289	13,5	5035	1064	224
11	5	5	289	13,7	5039	1059	228
13	5	5	289	13,9	5043	1047	232
15	5	5	289	14,1	5046	1047	236
17	5	5	289	14,4	5049	1047	239
19	5	5	289	14,6	5053	1047	243
21	5	5	289	14,6	5053	1047	243
23	5	5	289	15,0	5059	1042	251

**Tableau 10** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>= 5bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	5	4,5	585	12,1	4923	1366	201
3	5	4,5	585	12,3	4926	1314	205
5	5	4,5	585	12,5	4930	1181	209
7	5	4,5	585	12,8	4932	1159	213
9	5	4,5	585	13,0	4935	1089	217
11	5	4,5	585	13,2	4937	1083	220
13	5	4,5	585	13,5	4939	1070	224
15	5	4,5	585	13,7	4941	1070	228
17	5	4,5	585	13,9	4942	1070	232
19	5	4,5	585	14,1	4944	1070	236
21	5	4,5	585	14,1	4944	1070	236
23	5	4,5	585	14,6	4947	1063	243

**Tableau 11** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	5	4	733	11,4	4907	1234	190
3	5	4	733	11,6	4908	1223	194
5	5	4	733	11,9	4911	1118	198
7	5	4	733	12,1	4913	1101	201
9	5	4	733	12,3	4915	1031	205
11	5	4	733	12,5	4917	1026	209
13	5	4	733	12,8	4918	1012	213
15	5	4	733	13,0	4919	1012	217
17	5	4	733	13,2	4920	1012	220
19	5	4	733	13,5	4922	1012	224
21	5	4	733	13,7	4923	1012	228
23	5	4	733	13,9	4924	1009	232

**Tableau 12** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=5 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	5	3,5	733	11,4	4909	1131	190
3	5	3,5	733	11,6	4913	935	194
5	5	3,5	733	11,9	4912	1079	198
7	5	3,5	733	12,1	4914	1057	201
9	5	3,5	733	12,3	4915	1039	205
11	5	3,5	733	12,5	4916	1033	209
13	5	3,5	733	12,8	4918	1020	213
15	5	3,5	733	12,8	4918	1020	217
17	5	3,5	733	13,2	4920	1020	220
19	5	3,5	733	13,5	4922	1020	224
21	5	3,5	733	13,7	4923	1020	228
23	5	3,5	733	13,9	4924	1017	232

**Tableau 13** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP = 0 bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	7	359	16,2	5006	1552	270
3	7	7	359	16,5	5020	1318	274
5	7	7	359	16,8	5025	1279	279
7	7	7	359	17,1	5041	1018	284
9	7	7	359	17,3	5049	930	289
11	7	7	359	17,6	5053	925	294
13	7	7	359	17,9	5057	915	299
15	7	7	359	18,2	5061	915	304
17	7	7	359	18,5	5064	915	309
19	7	7	359	18,8	5068	915	314
21	7	7	359	18,8	5068	915	314
23	7	7	359	19,4	5075	911	323

**Tableau 14** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	6,5	728	15,6	4930	1194	260
3	7	6,5	728	15,9	4933	1148	265
5	7	6,5	728	16,2	4937	1032	270
7	7	6,5	728	16,5	4939	1013	274
9	7	6,5	728	16,8	4942	952	279
11	7	6,5	728	17,1	4944	947	284
13	7	6,5	728	17,3	4946	935	289
15	7	6,5	728	17,6	4947	935	294
17	7	6,5	728	17,9	4949	935	299
19	7	6,5	728	18,2	4951	935	304
21	7	6,5	728	18,2	4951	935	304
23	7	6,5	728	18,8	4954	929	314

**Tableau 15** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	6	912	14,7	4912	1079	245
3	7	6	912	15,0	4913	1069	250
5	7	6	912	15,3	4916	977	255
7	7	6	912	15,6	4918	962	260
9	7	6	912	15,9	4920	901	265
11	7	6	912	16,2	4921	896	270
13	7	6	912	16,5	4923	885	274
15	7	6	912	16,8	4924	885	279
17	7	6	912	17,1	4926	885	284
19	7	6	912	17,3	4927	885	289
21	7	6	912	17,6	4928	885	294
23	7	6	912	17,9	4930	882	299

**Tableau 16 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ;  $C=3\text{g/l}$ ).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	7	5,5	912	14,7	4913	988	245
3	7	5,5	912	15,0	4917	817	250
5	7	5,5	912	15,3	4917	943	255
7	7	5,5	912	15,6	4918	923	260
9	7	5,5	912	15,9	4920	908	265
11	7	5,5	912	16,2	4921	903	270
13	7	5,5	912	16,5	4923	891	274
15	7	5,5	912	16,8	4924	891	279
17	7	5,5	912	17,1	4925	891	284
19	7	5,5	912	17,3	4927	891	289
21	7	5,5	912	17,6	4928	891	294
23	7	5,5	912	17,9	4929	889	299

**Tableau 17 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C=3.5\text{g/l}$ ).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	7	7	326	15,1	5645	1440	252
3	7	7	326	15,4	5650	1408	257
5	7	7	326	15,7	5663	1218	261
7	7	7	326	16,0	5670	1180	266
9	7	7	326	16,2	5679	1075	271
11	7	7	326	16,5	5684	1063	276
13	7	7	326	16,8	5690	1028	280
15	7	7	326	17,1	5694	1028	285
17	7	7	326	17,7	5703	1028	295
19	7	7	326	17,7	5703	1028	295
21	7	7	326	18,0	5707	1028	299
23	7	7	326	18,2	5712	1020	304

**Tableau 18 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=7$  bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ;  $C=3.5\text{g/l}$ ).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	7	6,5	595	14,3	5548	1460	238
3	7	6,5	595	14,5	5552	1380	242
5	7	6,5	595	14,8	5559	1190	247
7	7	6,5	595	15,1	5563	1095	252
9	7	6,5	595	15,4	5569	953	257
11	7	6,5	595	15,7	5572	948	261
13	7	6,5	595	16,0	5574	938	266
15	7	6,5	595	16,2	5577	934	271
17	7	6,5	595	16,5	5579	929	276
19	7	6,5	595	16,8	5582	922	280
21	7	6,5	595	17,1	5584	922	285
23	7	6,5	595	17,4	5586	919	290

**Tableau 19** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	6	902	13,1	5513	1152	219
3	7	6	902	13,4	5515	1119	223
5	7	6	902	13,7	5518	1029	228
7	7	6	902	14,0	5520	1015	233
9	7	6	902	14,3	5522	962	238
11	7	6	902	14,5	5524	958	242
13	7	6	902	14,8	5525	947	247
15	7	6	902	15,1	5527	943	252
17	7	6	902	15,4	5528	941	257
19	7	6	902	15,7	5530	932	261
21	7	6	902	16,0	5531	931	266
23	7	6	902	16,2	5533	928	271

**Tableau 20** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	5,5	902	13,1	5516	998	219
3	7	5,5	902	13,3	5517	989	221
5	7	5,5	902	13,4	5518	970	223
7	7	5,5	902	13,4	5518	965	228
9	7	5,5	902	14,0	5521	951	233
11	7	5,5	902	14,3	5522	946	238
13	7	5,5	902	14,5	5524	936	242
15	7	5,5	902	14,8	5525	936	247
17	7	5,5	902	15,1	5527	936	252
19	7	5,5	902	15,4	5528	936	257
21	7	5,5	902	15,7	5530	936	261
23	7	5,5	902	16,0	5531	933	266

**Tableau 21** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	7	323	14,9	6652	1605	248
3	7	7	323	15,1	6661	1521	252
5	7	7	323	15,4	6676	1321	257
7	7	7	323	15,7	6686	1221	262
9	7	7	323	16,0	6695	1155	267
11	7	7	323	16,3	6701	1144	272
13	7	7	323	16,6	6708	1121	277
15	7	7	323	16,9	6713	1121	282
17	7	7	323	17,2	6719	1121	287
19	7	7	323	17,5	6724	1121	292
21	7	7	323	17,8	6729	1121	297
23	7	7	323	18,1	6735	1116	302



**Tableau 22** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	6,5	665	14,6	6529	1558	243
3	7	6,5	665	14,9	6532	1508	248
5	7	6,5	665	15,1	6541	1238	252
7	7	6,5	665	15,4	6544	1208	257
9	7	6,5	665	15,7	6550	1048	262
11	7	6,5	665	16,0	6553	1043	267
13	7	6,5	665	16,3	6555	1042	272
15	7	6,5	665	16,6	6558	1035	277
17	7	6,5	665	16,9	6561	1032	282
19	7	6,5	665	17,2	6563	1028	287
21	7	6,5	665	17,5	6566	1025	292
23	7	6,5	665	17,8	6569	1023	297

**Tableau 23** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	6	893	14,0	6495	1673	233
3	7	6	893	14,3	6499	1566	238
5	7	6	893	14,6	6505	1266	243
7	7	6	893	14,9	6509	1166	248
9	7	6	893	15,1	6515	933	252
11	7	6	893	15,4	6517	921	257
13	7	6	893	15,7	6519	900	262
15	7	6	893	16,0	6521	900	267
17	7	6	893	16,3	6523	900	272
19	7	6	893	16,6	6525	900	277
21	7	6	893	16,9	6527	900	282
23	7	6	893	17,2	6529	896	287

**Tableau 24** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=7 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	7	5,5	893	13,7	6501	1206	228
3	7	5,5	893	14,0	6503	1182	233
5	7	5,5	893	14,3	6507	1082	238
7	7	5,5	893	14,6	6509	1072	243
9	7	5,5	893	14,9	6511	1022	248
11	7	5,5	893	15,0	6512	1017	249
13	7	5,5	893	15,4	6515	1006	257
15	7	5,5	893	15,4	6515	1002	257
17	7	5,5	893	15,7	6517	997	262
19	7	5,5	893	16,0	6519	989	267
21	7	5,5	893	16,3	6521	989	272
23	7	5,5	893	16,6	6523	987	277

**Tableau 25** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	9	339	14,9	6640	1605	248
3	9	9	339	15,1	6649	1521	252
5	9	9	339	15,4	6663	1321	257
7	9	9	339	15,7	6673	1221	262
9	9	9	339	16,0	6681	1155	267
11	9	9	339	16,3	6687	1144	272
13	9	9	339	16,6	6693	1121	277
15	9	9	339	16,9	6698	1121	282
17	9	9	339	17,2	6703	1121	287
19	9	9	339	17,5	6709	1121	292
21	9	9	339	17,8	6714	1121	297
23	9	9	339	18,1	6719	1116	302

**Tableau 26** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	8,5	699	14,6	6523	1558	243
3	9	8,5	699	14,9	6527	1508	248
5	9	8,5	699	15,1	6535	1238	252
7	9	8,5	699	15,4	6538	1208	257
9	9	8,5	699	15,7	6544	1048	262
11	9	8,5	699	16,0	6546	1043	267
13	9	8,5	699	16,3	6549	1042	272
15	9	8,5	699	16,6	6551	1035	277
17	9	8,5	699	16,9	6554	1032	282
19	9	8,5	699	17,2	6556	1028	287
21	9	8,5	699	17,5	6559	1025	292
23	9	8,5	699	17,8	6561	1023	297

**Tableau 27** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	8	938	14,0	6492	1673	233
3	9	8	938	14,3	6495	1566	238
5	9	8	938	14,6	6501	1266	243
7	9	8	938	14,9	6505	1166	248
9	9	8	938	15,1	6510	933	252
11	9	8	938	15,4	6512	921	257
13	9	8	938	15,7	6514	900	262
15	9	8	938	16,0	6516	900	267
17	9	8	938	16,3	6518	900	272
19	9	8	938	16,6	6520	900	277
21	9	8	938	16,9	6521	900	282
23	9	8	938	17,2	6523	896	287

**Tableau 28** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	7,5	938	13,7	6497	1206	228
3	9	7,5	938	14,0	6499	1182	233
5	9	7,5	938	14,3	6502	1082	238
7	9	7,5	938	14,6	6504	1072	243
9	9	7,5	938	14,9	6507	1022	248
11	9	7,5	938	15,0	6508	1017	249
13	9	7,5	938	15,4	6511	1006	257
15	9	7,5	938	15,4	6511	1002	257
17	9	7,5	938	15,7	6513	997	262
19	9	7,5	938	16,0	6514	989	267
21	9	7,5	938	16,3	6516	989	272
23	9	7,5	938	16,6	6518	987	277

**Tableau 29** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	9	371	13,1	6968	1644	219
3	9	9	374	14,0	6978	1678	233
5	9	9	374	14,3	6993	1396	238
7	9	9	374	14,6	6998	1388	243
9	9	9	374	14,9	7010	1212	248
11	9	9	374	15,1	7015	1203	252
13	9	9	374	15,4	7021	1178	257
15	9	9	374	15,7	7026	1170	262
17	9	9	374	16,0	7031	1168	267
19	9	9	374	16,3	7036	1162	272
21	9	9	374	16,6	7041	1162	277
23	9	9	374	16,9	7047	1153	282

**Tableau 30** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	8,5	644	13,4	6894	1431	223
3	9	8,5	649	14,3	6900	1424	238
5	9	8,5	649	14,6	6905	1344	243
7	9	8,5	649	14,9	6908	1324	248
9	9	8,5	649	15,1	6914	1158	252
11	9	8,5	649	15,4	6917	1152	257
13	9	8,5	649	15,7	6920	1141	262
15	9	8,5	649	16,0	6923	1137	267
17	9	8,5	649	16,3	6926	1134	272
19	9	8,5	649	16,6	6929	1127	277
21	9	8,5	649	16,9	6932	1124	282
23	9	8,5	649	17,2	6934	1119	287

**Tableau 31** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	8	931	13,7	6862	1284	228
3	9	8	938	14,4	6865	1323	240
5	9	8	938	14,6	6868	1213	243
7	9	8	938	14,9	6870	1203	248
9	9	8	938	15,1	6872	1153	252
11	9	8	938	15,4	6874	1141	257
13	9	8	938	15,7	6877	1120	262
15	9	8	938	16,0	6878	1120	266
17	9	8	938	16,0	6878	1120	267
19	9	8	938	16,3	6880	1120	272
21	9	8	938	16,6	6882	1120	277
23	9	8	938	16,8	6883	1117	279

**Tableau 32** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	7,5	931	13,1	6859	1247	219
3	9	7,5	938	14,0	6863	1279	233
5	9	7,5	938	14,3	6866	1189	238
7	9	7,5	938	14,6	6868	1179	243
9	9	7,5	938	14,9	6871	1116	248
11	9	7,5	938	15,1	6873	1100	252
13	9	7,5	938	15,4	6875	1099	257
15	9	7,5	938	15,7	6877	1099	262
17	9	7,5	938	16,0	6879	1099	267
19	9	7,5	938	16,3	6881	1099	272
21	9	7,5	938	16,6	6883	1099	277
23	9	7,5	938	16,9	6884	1096	282

**Tableau 33** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 0 bar ; C=5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	9	369	12,8	7665	1754	214
3	9	9	369	13,1	7673	1659	218
5	9	9	369	13,4	7684	1493	223
7	9	9	369	13,7	7691	1444	228
9	9	9	369	13,9	7702	1281	232
11	9	9	369	14,2	7708	1267	237
13	9	9	369	14,5	7713	1248	241
15	9	9	369	14,7	7718	1248	246
17	9	9	369	15,0	7723	1248	250
19	9	9	369	15,2	7726	1248	253
21	9	9	369	15,3	7728	1248	255
23	9	9	369	15,6	7734	1243	259

**Tableau 34** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ;  $C=5$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	9	8,5	758	12,8	7560	1639	214
3	9	8,5	758	13,1	7564	1566	218
5	9	8,5	758	13,4	7568	1463	223
7	9	8,5	758	13,5	7571	1355	226
9	9	8,5	758	13,7	7574	1213	228
11	9	8,5	758	13,9	7577	1203	232
13	9	8,5	758	14,2	7580	1181	237
15	9	8,5	758	14,5	7582	1174	241
17	9	8,5	758	14,7	7585	1164	246
19	9	8,5	758	15,0	7587	1164	250
21	9	8,5	758	15,3	7590	1164	255
23	9	8,5	758	15,6	7592	1158	259

**Tableau 35** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C=5$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	9	8	938	12,6	7541	1498	209
3	9	8	938	12,8	7543	1482	214
5	9	8	938	13,1	7547	1335	218
7	9	8	938	13,2	7548	1315	220
9	9	8	938	13,4	7550	1204	223
11	9	8	938	13,7	7553	1188	228
13	9	8	938	13,9	7555	1155	232
15	9	8	938	14,2	7557	1155	237
17	9	8	938	14,5	7559	1155	241
19	9	8	938	14,6	7560	1155	244
21	9	8	938	14,7	7561	1155	246
23	9	8	938	15,0	7563	1149	250

**Tableau 36** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=9$  bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ;  $C=5$ g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	9	7,5	938	11,7	7528	2070	196
3	9	7,5	938	11,9	7531	1923	198
5	9	7,5	938	12,0	7536	1580	200
7	9	7,5	938	12,3	7539	1531	205
9	9	7,5	938	12,6	7544	1253	209
11	9	7,5	938	12,8	7546	1232	214
13	9	7,5	938	13,1	7549	1188	218
15	9	7,5	938	13,1	7549	1183	218
17	9	7,5	938	13,4	7551	1176	223
19	9	7,5	938	13,7	7553	1178	228
21	9	7,5	938	13,9	7555	1172	232
23	9	7,5	938	14,2	7557	1158	237

**Tableau 37** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 0 bar ; C=5.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	9	538	19,3	8145	1893	322
3	9	9	538	19,7	8154	1757	328
5	9	9	538	19,9	8160	1667	331
7	9	9	538	20,2	8169	1540	337
9	9	9	538	20,4	8176	1434	340
11	9	9	538	20,7	8178	1471	345
13	9	9	538	21,3	8183	1522	354
15	9	9	538	21,2	8183	1519	353
17	9	9	538	21,5	8186	1540	359
19	9	9	538	21,7	8188	1561	362
21	9	9	538	21,8	8188	1575	363
23	9	9	538	22,3	8193	1609	372

**Tableau 38** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=5.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	8,5	902	20,4	8065	1639	340
3	9	8,5	902	20,5	8067	1626	342
5	9	8,5	902	20,7	8068	1612	345
7	9	8,5	902	20,9	8070	1600	348
9	9	8,5	902	21,0	8071	1586	350
11	9	8,5	902	21,3	8073	1584	354
13	9	8,5	902	21,4	8074	1578	357
15	9	8,5	902	21,6	8076	1571	360
17	9	8,5	902	21,8	8077	1565	363
19	9	8,5	902	21,9	8078	1558	365
21	9	8,5	902	22,1	8080	1550	368
23	9	8,5	902	22,3	8081	1547	372

**Tableau 39** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ; ΔP = 1 bar ; C=5.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	9	8	902	18,5	8053	1585	308
3	9	8	902	18,9	8055	1580	315
5	9	8	902	19,3	8059	1576	322
7	9	8	902	19,4	8060	1572	324
9	9	8	902	19,9	8063	1568	331
11	9	8	902	20,1	8065	1564	335
13	9	8	902	20,4	8067	1558	340
15	9	8	902	20,6	8069	1554	344
17	9	8	902	21,0	8072	1552	350
19	9	8	902	21,3	8074	1545	354
21	9	8	902	21,5	8076	1542	359
23	9	8	902	21,9	8078	1539	364

**Tableau 40** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=9 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=5.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	9	7,5	902	18,1	8049	1595	302
3	9	7,5	902	18,3	8051	1592	305
5	9	7,5	902	18,5	8052	1587	325
7	9	7,5	902	18,8	8055	1582	313
9	9	7,5	902	19,0	8057	1578	317
11	9	7,5	902	19,2	8058	1566	320
13	9	7,5	902	19,4	8061	1529	324
15	9	7,5	902	19,7	8062	1526	328
17	9	7,5	902	19,9	8064	1507	331
19	9	7,5	902	20,1	8067	1486	335
21	9	7,5	902	20,3	8068	1472	339
23	9	7,5	902	20,5	8071	1454	342

**Tableau 41** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	11	11	307	16,2	5020	1792	270
3	11	11	307	16,5	5039	1522	274
5	11	11	307	16,8	5045	1477	279
7	11	11	307	17,1	5066	1175	284
9	11	11	307	17,3	5076	1074	289
11	11	11	307	17,6	5080	1068	294
13	11	11	307	17,9	5085	1056	299
15	11	11	307	18,2	5089	1056	304
17	11	11	307	18,5	5094	1056	309
19	11	11	307	18,8	5098	1056	314
21	11	11	307	18,8	5098	1056	314
23	11	11	307	19,4	5106	1052	323

**Tableau 42** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	623	15,6	4939	1379	260
3	11	10,5	623	15,9	4942	1326	265
5	11	10,5	623	16,2	4948	1192	270
7	11	10,5	623	16,5	4950	1169	274
9	11	10,5	623	16,8	4954	1099	279
11	11	10,5	623	17,1	4956	1093	284
13	11	10,5	623	17,3	4958	1080	289
15	11	10,5	623	17,6	4960	1080	294
17	11	10,5	623	17,9	4962	1080	299
19	11	10,5	623	18,2	4964	1080	304
21	11	10,5	623	18,2	4964	1080	304
23	11	10,5	623	18,8	4968	1073	314

**Tableau 43** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10	780	14,7	4919	1245	245
3	11	10	780	15,0	4921	1234	250
5	11	10	780	15,3	4924	1128	255
7	11	10	780	15,6	4926	1111	260
9	11	10	780	15,9	4929	1040	265
11	11	10	780	16,2	4931	1035	270
13	11	10	780	16,5	4933	1021	274
15	11	10	780	16,8	4934	1021	279
17	11	10	780	17,1	4936	1021	284
19	11	10	780	17,3	4937	1021	289
21	11	10	780	17,6	4939	1021	294
23	11	10	780	17,9	4940	1018	299

**Tableau 44** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	780	14,7	4921	1141	245
3	11	9,5	780	15,0	4927	943	250
5	11	9,5	780	15,3	4925	1089	255
7	11	9,5	780	15,6	4927	1066	260
9	11	9,5	780	15,9	4929	1048	265
11	11	9,5	780	16,2	4931	1043	270
13	11	9,5	780	16,5	4932	1029	274
15	11	9,5	780	16,8	4934	1029	279
17	11	9,5	780	17,1	4935	1029	284
19	11	9,5	780	17,3	4937	1029	289
21	11	9,5	780	17,6	4938	1029	294
23	11	9,5	780	17,9	4940	1026	299

**Tableau 45** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	11	289	15,4	5667	1607	257
3	11	11	289	15,7	5673	1571	262
5	11	11	289	16,0	5690	1359	267
7	11	11	289	16,3	5697	1317	272
9	11	11	289	16,6	5709	1200	276
11	11	11	289	16,9	5714	1186	281
13	11	11	289	17,2	5722	1147	286
15	11	11	289	17,5	5727	1147	291
17	11	11	289	18,0	5737	1147	301
19	11	11	289	18,0	5737	1147	301
21	11	11	289	18,3	5741	1147	306
23	11	11	289	18,6	5747	1138	310



**Tableau 46** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (µs/cm)	Conductivité perméat (µs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	527	14,6	5558	1629	243
3	11	10,5	527	14,8	5563	1540	247
5	11	10,5	527	15,1	5572	1328	252
7	11	10,5	527	15,4	5577	1222	257
9	11	10,5	527	15,7	5585	1063	262
11	11	10,5	527	16,0	5588	1058	267
13	11	10,5	527	16,3	5591	1046	272
15	11	10,5	527	16,6	5593	1042	276
17	11	10,5	527	16,9	5596	1037	281
19	11	10,5	527	17,2	5599	1028	286
21	11	10,5	527	17,5	5602	1028	291
23	11	10,5	527	17,8	5604	1025	296

**Tableau 47** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (µs/cm)	Conductivité perméat (µs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10	799	13,4	5521	1286	223
3	11	10	799	13,7	5523	1249	228
5	11	10	799	14,0	5527	1148	233
7	11	10	799	14,3	5528	1132	238
9	11	10	799	14,6	5531	1074	243
11	11	10	799	14,8	5533	1068	247
13	11	10	799	15,1	5535	1057	252
15	11	10	799	15,4	5537	1053	257
17	11	10	799	15,7	5538	1050	262
19	11	10	799	16,0	5540	1040	267
21	11	10	799	16,3	5542	1039	272
23	11	10	799	16,6	5544	1036	276

**Tableau 48** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=10 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (µs/cm)	Conductivité perméat (µs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	799	13,4	5524	1114	223
3	11	9,5	799	13,6	5525	1103	226
5	11	9,5	799	13,7	5526	1082	228
7	11	9,5	799	14,0	5528	1077	233
9	11	9,5	799	14,3	5530	1061	238
11	11	9,5	799	14,6	5532	1056	243
13	11	9,5	799	14,8	5533	1044	247
15	11	9,5	799	15,1	5535	1044	252
17	11	9,5	799	15,4	5537	1044	257
19	11	9,5	799	15,7	5538	1044	262
21	11	9,5	799	16,0	5540	1044	267
23	11	9,5	799	16,3	5542	1041	272

**Tableau 49** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	11	296	14,5	6666	1637	241
3	11	11	296	14,8	6676	1551	246
5	11	11	296	15,1	6692	1347	251
7	11	11	296	15,3	6703	1245	256
9	11	11	296	15,6	6712	1178	261
11	11	11	296	15,9	6719	1167	265
13	11	11	296	16,2	6726	1143	270
15	11	11	296	16,5	6732	1143	275
17	11	11	296	16,8	6738	1143	280
19	11	11	296	17,1	6743	1143	285
21	11	11	296	17,4	6749	1143	290
23	11	11	296	17,7	6755	1138	294

**Tableau 50** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	609	14,2	6535	1589	236
3	11	10,5	609	14,5	6539	1538	241
5	11	10,5	609	14,8	6548	1263	246
7	11	10,5	609	15,1	6551	1232	251
9	11	10,5	609	15,3	6558	1069	256
11	11	10,5	609	15,6	6561	1064	261
13	11	10,5	609	15,9	6564	1063	265
15	11	10,5	609	16,2	6567	1056	270
17	11	10,5	609	16,5	6569	1053	275
19	11	10,5	609	16,8	6572	1049	280
21	11	10,5	609	17,1	6575	1046	285
23	11	10,5	609	17,4	6578	1043	290

**Tableau 51** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10	818	13,6	6500	1706	227
3	11	10	818	13,9	6503	1597	232
5	11	10	818	14,2	6511	1291	236
7	11	10	818	14,5	6514	1189	241
9	11	10	818	14,8	6521	952	246
11	11	10	818	15,1	6523	939	251
13	11	10	818	15,3	6525	918	256
15	11	10	818	15,6	6527	918	261
17	11	10	818	15,9	6529	918	265
19	11	10	818	16,2	6531	918	270
21	11	10	818	16,5	6533	918	275
23	11	10	818	16,8	6535	914	280

**Tableau 52** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	818	13,3	6506	1230	222
3	11	9,5	818	13,6	6508	1206	227
5	11	9,5	818	13,9	6512	1104	232
7	11	9,5	818	14,2	6514	1093	236
9	11	9,5	818	14,5	6517	1042	241
11	11	9,5	818	14,6	6518	1037	243
13	11	9,5	818	15,1	6521	1026	251
15	11	9,5	818	15,1	6521	1022	251
17	11	9,5	818	15,3	6523	1017	256
19	11	9,5	818	15,6	6525	1009	261
21	11	9,5	818	15,9	6527	1009	265
23	11	9,5	818	16,2	6529	1007	270

**Tableau 53** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=10 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	11	330	13,2	6993	1678	221
3	11	11	330	13,5	7000	1644	226
5	11	11	330	13,8	7017	1368	230
7	11	11	330	14,1	7022	1360	235
9	11	11	330	14,4	7035	1188	240
11	11	11	330	14,7	7041	1179	245
13	11	11	330	15,0	7047	1154	250
15	11	11	330	15,3	7053	1147	254
17	11	11	330	15,6	7059	1145	259
19	11	11	330	15,8	7064	1139	264
21	11	11	330	16,1	7070	1139	269
23	11	11	330	16,4	7076	1130	274

**Tableau 54** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	572	13,5	6909	1461	226
3	11	10,5	572	13,8	6913	1396	230
5	11	10,5	572	14,1	6918	1317	235
7	11	10,5	572	14,4	6922	1298	240
9	11	10,5	572	14,7	6929	1135	245
11	11	10,5	572	15,0	6932	1129	250
13	11	10,5	572	15,3	6935	1118	254
15	11	10,5	572	15,6	6938	1114	259
17	11	10,5	572	15,8	6941	1111	264
19	11	10,5	572	16,1	6945	1104	269
21	11	10,5	572	16,4	6948	1102	274
23	11	10,5	572	16,7	6951	1097	278

**Tableau 55** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10	827	13,8	6873	1310	230
3	11	10	827	13,9	6874	1297	232
5	11	10	827	14,1	6877	1189	235
7	11	10	827	14,4	6879	1179	240
9	11	10	827	14,7	6882	1130	245
11	11	10	827	15,0	6884	1118	250
13	11	10	827	15,3	6887	1098	254
15	11	10	827	15,5	6888	1098	258
17	11	10	827	15,6	6889	1098	259
19	11	10	827	15,8	6891	1098	264
21	11	10	827	16,1	6893	1098	269
23	11	10	827	16,2	6894	1095	271

**Tableau 56** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	827	13,2	6870	1273	221
3	11	9,5	827	13,5	6872	1253	226
5	11	9,5	827	13,8	6875	1165	230
7	11	9,5	827	14,1	6878	1155	235
9	11	9,5	827	14,4	6881	1094	240
11	11	9,5	827	14,7	6883	1078	245
13	11	9,5	827	15,0	6885	1077	250
15	11	9,5	827	15,3	6887	1077	254
17	11	9,5	827	15,6	6889	1077	259
19	11	9,5	827	15,8	6891	1077	264
21	11	9,5	827	16,1	6893	1077	269
23	11	9,5	827	16,4	6896	1074	274

**Tableau 57** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=10 bars ; ΔP = 0 bar ; C=5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	11	333	13,0	7696	1683	217
3	11	11	333	13,3	7705	1591	222
5	11	11	333	13,6	7717	1432	227
7	11	11	333	13,9	7724	1385	231
9	11	11	333	14,2	7737	1229	236
11	11	11	333	14,4	7743	1215	241
13	11	11	333	14,7	7749	1197	245
15	11	11	333	15,0	7755	1197	250
17	11	11	333	15,3	7761	1197	254
19	11	11	333	15,4	7764	1197	257
21	11	11	333	15,5	7767	1197	259
23	11	11	333	15,8	7773	1192	264

**Tableau 58** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	684	13,0	7574	1572	217
3	11	10,5	684	13,3	7578	1502	222
5	11	10,5	684	13,6	7583	1403	227
7	11	10,5	684	13,8	7587	1300	229
9	11	10,5	684	13,9	7590	1164	231
11	11	10,5	684	14,2	7593	1154	236
13	11	10,5	684	14,4	7596	1133	241
15	11	10,5	684	14,7	7599	1126	245
17	11	10,5	684	15,0	7602	1117	250
19	11	10,5	684	15,3	7605	1117	254
21	11	10,5	684	15,5	7607	1117	259
23	11	10,5	684	15,8	7610	1111	264

**Tableau 59** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10	846	12,8	7552	1437	213
3	11	10	846	13,0	7555	1421	217
5	11	10	846	13,3	7559	1280	222
7	11	10	846	13,4	7560	1261	224
9	11	10	846	13,6	7563	1155	227
11	11	10	846	13,9	7565	1139	231
13	11	10	846	14,2	7568	1108	236
15	11	10	846	14,4	7570	1108	241
17	11	10	846	14,7	7572	1108	245
19	11	10	846	14,9	7574	1108	248
21	11	10	846	15,0	7575	1108	250
23	11	10	846	15,3	7577	1102	254

**Tableau 60** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	846	11,9	7541	1828	199
3	11	9,5	846	12,1	7544	1687	202
5	11	9,5	846	12,2	7549	1358	204
7	11	9,5	846	12,5	7552	1311	208
9	11	9,5	846	12,8	7558	1045	213
11	11	9,5	846	13,0	7561	1025	217
13	11	9,5	846	13,3	7564	982	222
15	11	9,5	846	13,3	7564	978	222
17	11	9,5	846	13,6	7566	971	227
19	11	9,5	846	13,9	7568	973	231
21	11	9,5	846	14,2	7570	967	236
23	11	9,5	846	14,4	7573	954	241

**Tableau 61** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=5.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	11	524	19,5	8163	1643	326
3	11	11	524	19,9	8172	1525	331
5	11	11	524	20,1	8178	1447	335
7	11	11	524	20,4	8187	1337	340
9	11	11	524	20,6	8194	1245	344
11	11	11	524	20,9	8197	1277	349
13	11	11	524	21,5	8202	1321	358
15	11	11	524	21,4	8202	1318	357
17	11	11	524	21,8	8205	1337	363
19	11	11	524	22,0	8208	1355	366
21	11	11	524	22,0	8208	1367	367
23	11	11	524	22,5	8213	1397	376

**Tableau 62** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=5.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	879	20,6	8076	1422	344
3	11	10,5	879	20,8	8077	1411	346
5	11	10,5	879	20,9	8079	1399	349
7	11	10,5	879	21,1	8081	1388	352
9	11	10,5	879	21,2	8082	1376	353
11	11	10,5	879	21,5	8084	1374	358
13	11	10,5	879	21,7	8085	1370	361
15	11	10,5	879	21,8	8087	1363	364
17	11	10,5	879	22,0	8089	1358	367
19	11	10,5	879	22,2	8090	1352	369
21	11	10,5	879	22,3	8091	1345	372
23	11	10,5	879	22,5	8093	1342	376

**Tableau 63** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=5.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10	879	18,7	8062	1375	312
3	11	10	879	19,1	8065	1372	318
5	11	10	879	19,5	8069	1368	326
7	11	10	879	19,6	8070	1364	327
9	11	10	879	20,1	8073	1361	335
11	11	10	879	20,3	8075	1357	339
13	11	10	879	20,6	8078	1352	344
15	11	10	879	20,9	8080	1349	348
17	11	10	879	21,2	8083	1347	353
19	11	10	879	21,5	8085	1341	358
21	11	10	879	21,8	8087	1339	363
23	11	10	879	22,1	8090	1336	368

**Tableau 64** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=5.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	879	18,3	8059	1385	305
3	11	9,5	879	18,5	8061	1382	309
5	11	9,5	879	18,7	8062	1377	328
7	11	9,5	879	19,0	8064	1373	316
9	11	9,5	879	19,3	8067	1370	321
11	11	9,5	879	19,4	8068	1359	324
13	11	9,5	879	19,6	8071	1327	327
15	11	9,5	879	19,9	8073	1325	331
17	11	9,5	879	20,1	8075	1308	335
19	11	9,5	879	20,3	8077	1290	339
21	11	9,5	879	20,5	8079	1278	342
23	11	9,5	879	20,8	8081	1262	346

**Tableau 65** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=6g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	11	437	19,6	9147	1625	327
3	11	11	437	19,9	9155	1580	331
5	11	11	437	20,1	9161	1548	336
7	11	11	437	20,3	9166	1501	339
9	11	11	437	20,4	9171	1452	340
11	11	11	437	20,9	9179	1445	348
13	11	11	437	21,3	9187	1437	354
15	11	11	437	21,5	9193	1405	358
17	11	11	437	21,8	9200	1378	363
19	11	11	437	21,9	9203	1365	365
21	11	11	437	22,1	9208	1343	368
23	11	11	437	22,4	9215	1324	374

**Tableau 66** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=6g/l)

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	855	18,5	8972	1458	308
3	11	10,5	855	18,8	8975	1454	313
5	11	10,5	855	19,0	8978	1449	317
7	11	10,5	855	19,4	8981	1447	324
9	11	10,5	855	20,1	8988	1442	336
11	11	10,5	855	20,3	8990	1428	339
13	11	10,5	855	20,7	8993	1411	345
15	11	10,5	855	21,0	8996	1403	350
17	11	10,5	855	21,5	9001	1402	359
19	11	10,5	855	21,6	9003	1388	361
21	11	10,5	855	21,8	9004	1380	363
23	11	10,5	855	22,4	9010	1369	373

**Tableau 67** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C=6$ g/l)

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	11	10	855	19,0	8975	1544	317
3	11	10	855	19,2	8977	1507	319
5	11	10	855	19,3	8980	1450	322
7	11	10	855	19,7	8984	1413	328
9	11	10	855	19,9	8987	1372	331
11	11	10	855	20,1	8990	1352	336
13	11	10	855	20,3	8992	1325	338
15	11	10	855	20,6	8995	1319	344
17	11	10	855	21,0	8999	1309	350
19	11	10	855	21,2	9001	1293	353
21	11	10	855	21,5	9004	1278	359
23	11	10	855	21,6	9006	1271	361

**Tableau 68** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ;  $C=6$ g/l)

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	855	18,8	8975	1459	313
3	11	9,5	855	19,3	8980	1435	321
5	11	9,5	855	19,6	8983	1426	327
7	11	9,5	855	19,8	8985	1393	329
9	11	9,5	855	20,1	8990	1359	336
11	11	9,5	855	20,3	8992	1342	339
13	11	9,5	855	21,0	8998	1325	350
15	11	9,5	855	21,0	8999	1318	351
17	11	9,5	855	21,3	9001	1308	354
19	11	9,5	855	21,4	9003	1292	357
21	11	9,5	855	21,5	9005	1240	359
23	11	9,5	855	22,0	9009	1277	366

**Tableau 69** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C=6.5$ g/l)

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	11	11	659	18,3	9560	1624	345
3	11	11	659	18,6	9564	1620	351
5	11	11	659	18,8	9567	1616	355
7	11	11	659	19,1	9571	1614	361
9	11	11	659	19,6	9577	1607	370
11	11	11	659	19,6	9579	1575	371
13	11	11	659	19,8	9582	1543	375
15	11	11	659	20,0	9585	1526	379
17	11	11	659	20,4	9590	1496	385
19	11	11	659	20,5	9593	1467	388
21	11	11	659	20,6	9595	1445	390
23	11	11	659	21,0	9601	1418	397



**Tableau 70** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ;  $C=6.5$ g/l)

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	837	18,5	9515	1600	350
3	11	10,5	837	18,7	9518	1561	353
5	11	10,5	837	18,8	9520	1522	355
7	11	10,5	837	19,2	9525	1483	363
9	11	10,5	837	19,6	9529	1437	370
11	11	10,5	837	19,6	9530	1424	371
13	11	10,5	837	20,1	9535	1404	380
15	11	10,5	837	20,3	9537	1400	383
17	11	10,5	837	20,4	9538	1395	385
19	11	10,5	837	20,6	9541	1375	389
21	11	10,5	837	20,6	9541	1372	390
23	11	10,5	837	21,0	9546	1359	398

**Tableau 71** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C=6.5$ g/l)

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	11	10	837	18,8	9521	1449	355
3	11	10	837	18,9	9523	1439	358
5	11	10	837	19,1	9524	1427	360
7	11	10	837	19,4	9528	1413	367
9	11	10	837	19,6	9530	1404	370
11	11	10	837	19,8	9533	1393	375
13	11	10	837	20,1	9536	1385	381
15	11	10	837	20,4	9538	1383	385
17	11	10	837	20,6	9541	1378	390
19	11	10	837	20,8	9543	1372	393
21	11	10	837	20,9	9544	1368	395
23	11	10	837	21,2	9547	1363	401

**Tableau 72** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=11$  bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ;  $C=6.5$ g/l)

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	837	18,0	9514	1434	341
3	11	9,5	837	18,2	9516	1426	343
5	11	9,5	837	18,3	9517	1418	345
7	11	9,5	837	18,8	9522	1409	355
9	11	9,5	837	19,1	9525	1401	360
11	11	9,5	837	19,4	9529	1390	367
13	11	9,5	837	19,8	9534	1368	375
15	11	9,5	837	20,0	9536	1353	379
17	11	9,5	837	20,6	9542	1336	390
19	11	9,5	837	20,8	9544	1320	393
21	11	9,5	837	20,9	9546	1303	395
23	11	9,5	837	21,3	9550	1289	403

**Tableau 73** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=7g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	11	400	17,4	10503	2389	291
3	11	11	400	17,6	10520	2121	294
5	11	11	400	17,9	10540	1829	299
7	11	11	400	18,0	10554	1580	300
9	11	11	400	18,2	10562	1497	303
11	11	11	400	18,5	10572	1465	309
13	11	11	400	18,7	10577	1434	311
15	11	11	400	18,9	10585	1393	315
17	11	11	400	19,2	10592	1361	320
19	11	11	400	19,4	10600	1330	324
21	11	11	400	19,7	10608	1292	328
23	11	11	400	19,8	10613	1257	330

**Tableau 74** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=7g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10,5	783	16,9	10327	2120	282
3	11	10,5	783	17,2	10335	1924	288
5	11	10,5	783	17,3	10340	1737	289
7	11	10,5	783	17,5	10347	1529	292
9	11	10,5	783	17,7	10355	1318	295
11	11	10,5	783	17,9	10357	1315	299
13	11	10,5	783	18,2	10360	1311	303
15	11	10,5	783	18,2	10361	1308	304
17	11	10,5	783	18,4	10363	1306	307
19	11	10,5	783	18,6	10365	1303	310
21	11	10,5	783	18,7	10366	1300	311
23	11	10,5	783	18,9	10369	1297	315

**Tableau 75** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=7g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	10	818	16,4	10318	1948	274
3	11	10	818	16,7	10325	1763	278
5	11	10	818	16,9	10331	1596	282
7	11	10	818	17,2	10338	1409	286
9	11	10	818	17,4	10343	1272	291
11	11	10	818	17,7	10346	1271	295
13	11	10	818	17,9	10349	1270	299
15	11	10	818	18,2	10352	1269	303
17	11	10	818	18,4	10355	1267	307
19	11	10	818	18,7	10358	1266	311
21	11	10	818	18,9	10361	1264	315
23	11	10	818	19,2	10363	1263	320

**Tableau 76** : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P<sub>entrée</sub>=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=7g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs/cm)	Conductivité perméat (μs/cm)	Volume Perméat (ml)
1	11	9,5	818	16,4	10323	1724	274
3	11	9,5	818	16,7	10326	1717	278
5	11	9,5	818	16,9	10328	1709	282
7	11	9,5	818	17,1	10330	1701	285
9	11	9,5	818	17,2	10331	1693	286
11	11	9,5	818	17,5	10338	1542	291
13	11	9,5	818	17,7	10343	1438	295
15	11	9,5	818	17,9	10348	1334	299
17	11	9,5	818	18,2	10355	1147	303
19	11	9,5	818	18,3	10358	1064	305
21	11	9,5	818	18,9	10368	939	307
23	11	9,5	818	18,7	10369	814	312

# Bibliographie

---

---

**Référence :**

- [1] Clement, « Larousse agricole » - édition Larousse (1979) p 48
- [2] Moll, circulations in the western méditerranéens se oceanologica acta (2) (1990) 134-149.
- [3] Michelle et Dominique, « dictionnaire des constantes physique et biologique »édition maloine (1994) p 99.
- [4] Marins, « les grandes encyclopédies » (1993).
- [5] T. Maya, « la pratique de l'eau édition moniteur France (1998) p 165.
- [6] J. Matricon, Vive l'eau. Découvertes Gallimard (2000).
- [7] P. Danis, Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J 2700, Juin (2003).
- [8] G. Copin-Montégut, Chimie de l'eau de mer, Institut océanographie (1991).
- [9] E. Brown, A. Colling, D. Park, J. Phillips, D. Rothery, J. Wright, Seawater: Its composition, properties and behaviour, The Open University, Second edition (1997).
- [10] J.I. Hedges, Global biogeochemical cycles: progress and problems, Marine Chemistry 39 (1992) 67-93
- [11] R. Benner, B. Biddanda, B. Black, M. McCarthy, Abundance, size distribution, and stable carbon and nitrogen isotopic compositions of marine organic matter isolated by tangential-flow ultrafiltration, Marine Chemistry 57 (1997) 243-263
- [12] J.A. Baldock, C.A. Masiello, Y. Gélinas, J.I. Hedges, Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems, Marine Chemistry 92 (2004) 39– 64
- [13] M. McCarthy, J. Hedges, R. Benner, Major biochemical composition of dissolved high molecular weight organic matter in seawater, Marine Chemistry 55 (1996) 281-297
- [14] D.A. Hansell, C.A. Carlson, Marine dissolved organic matter and the carbon cycle, Oceanography 14(4) (2001)
- [15] M. Barlow, T. Clarke, L'or bleu : l'eau, le grand enjeu du XXIème siècle, - Paris : Fayard (2002) p 390.
- [16] M. Ditman, L'eau introduction (2009).
- [17] H. Maillard, S. Morillon, L'eau source de vie. Association française (2013).
- [18] J. Devillers, M. Squilbin, C. Yourassowsky, Qualité physico- chimique et chimique des eaux de surface. Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, observation des données de l'environnement L'IBGE : "l'eau à bruxelles. Fiche 2 (2005).
- [19] S. Alpha, Qualité organoleptique de l'eau de consommation produit et distribuer par l'EDMSA dans la ville de Bamako. Doctorat en pharmacie, université de Bamako (2005).
- [20] H. Monique, Les eaux naturelles et les eaux de consommation saint Laurent (1991).
- [21] P. Savary, Guide des analyses de la qualité de l'eau .territorial éditions (2010) p 75-115.
- [22] N. Himmi, M. Fekhaoui, A. Foutlane, H. Bourchic, M. El Maroufy, T. Benazzout, M. Hasnaoui, Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. Rivista Di Idrobiologia. Universitadegli studi di perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi” (2003) p 110–111.
- [23] J. Rodier, L'analyse de l'eau .9eme édition© Dunod, Paris, ISBN 978-2-10- 054179-9 (2009) p 1526.
- [24] F. N. Kemmer, Manuel de l'eau, Technique & Documentation Lavoisier. ISBN 2-85206-220-8 (1984).
- [25] M.L. Belghiti, A. Chahlaoui, D. Bengoumi, R. El Moustaine, Etude de La qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Mknès .Maroc. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin (2013), p 21-36.
- [26] A. Fellah, Contribution à l'étude des polluants métalliques dans l'eau et les sédiments de l'estuaire de la Tafna (Rachgoune, Tlemcen).magister en chimie. Université de Tlemcen (2010).

- [27] N. Lebleu, Désinfection des eaux par procédés membranaires, étude des mécanismes de transfert des bactéries, thèse de doctorat, spécialité génie des procédés et de l'environnement. Université de Toulouse (2007).
- [28] C. Haslay, H. Leclerc, Microbiologie des eaux d'alimentation. Technique et documentation –Lavoisier édition, Paris (1993).
- [29] S. Khirani « procédés hydrique associant à la filtration membranaire et l'absorption », Thèse de Doctorat. Institut National des sciences appliquées de Toulouse, (2007).
- [30] J. Akretche « les prétraitements par membranes en dessalement » journée de formation, Gabés, Tunisie (2004).
- [31] G. K. Pearce, S. Talo, K. Chida, A. Basha, A. Gulamhusein, Pretreatment options for large scale SWRO plants: case studies of UF trials at Kindasa, Saudi Arabia, and conventional pretreatment in Spain, *Desalination* 167 (2004) 175-189
- [32] P. H. Wolf, S. Siverms, S. Monti, UF membranes for RO desalination pretreatment, *Desalination* 182 (2005) 293-300
- [33] A.S. Al-Amoudi, A.M. Farooque, Performance restoration and autopsy of NF membranes used in seawater pretreatment, *Desalination*, 178 (2005) 261-271
- [34] A. Teuler, K. Glucina, J.M. Laîné, Assessment of UF pretreatment prior RO membranes for seawater desalination, *Desalination* 125 (1999) 89-96
- [35] J. Xu, G. Ruan, X. Chu, Ye Yao, S. Baowei, C. Gao, A pilot study of UF pretreatment without any chemicals for SWRO desalination in China, *Desalination*, 207 (2007) 216-226
- [36] M. Cheryan, Ultrafiltration and microfiltration Handbook, (1998).
- [37] A. Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, Ed. Tec&Doc Lavoisier (2006), p 290.
- [38] Dégrement «Mémento technique de l'eau», Lavoisier-Lexique technique de l'eau. Tome1, Paris (2005).
- [39] J. Dunglas, Académie d'agriculture de France, Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau (2014).
- [40] S. Antipolis. Centre d'activités régionales. Eau. Energie, dessalement et changement climatique en méditerranée (2008), p10.
- [41] C.R. Bouchard, R.E. Lebrun, "Principes généraux de l'osmose inverse", *Sciences et Techniques de l'eau*. 21 (1988), p 03.
- [42] K. Merriman, "The Removal of Contaminants from Recycled Fibre Using Centrifugal Cleaners: Theory, Applications and Mill Practice", *Recycling and Deinking Of Newsprint and Fine Papers Course*, CPPA (1991).
- [43] A. Phillipe, P. Moulin, microfiltration et ultrafiltration: conduite des Essais pilotes, ED. Club français des membranes, (2002).
- [44] J.J. Bimbenet, D. Albert, T. Gilles. Génie des procédés alimentaires; des bases aux application, Dunod, Paris, (2002), p 547.
- [45] Technictendances, Etudes technologiques, le traitement des eaux résiduaires urbaines et industrielles, innovation 128. SA. Paris – Boston – Tokyo (1992).
- [46] A.-M. Bouroche Le Bras; techniques de séparation par membranes, vocabulaires français – anglais – allemand, INRA Paris (1994), p 62.
- [47] P. Marty, Traitement des effluents par filtrations membranaires & Agricoles. Octobre (1999).
- [48] R.D. Noble, A. Sterns, membrane separations technology; principales and applications, Elsevier science B.V; (1995).
- [49] P. Aimar, G. Dauphin, F. Rene; les séparations à membranes dans les procédés de l'industrie alimentaire. Techniques et documentation, Lavoisier, 1 (1998), p 592.

- [50] Shane A. Snyder, Samerdham, Adham M.Redding, Freds. Cannon, James De Carolis, Joan Oppenheimer, Eric C. Wert, Yeomin Yoon. Role of membranes and pharmaceceuticals\_Desalination 202 (2007), p 156-181.
- [51] Lain – Chuen Juang Dyi – Hwa Tseng, He – Yin Lin; membrane processes for water reense from the effluent of industrial park waste treatment plant: a study on flux and fouling of membrane. Desalination 22 (2007), p 302 – 309.
- [52] S. Lachebi. Valorisation des rejets de l’industrie laitière par techniques membranaires (ultrafiltration), Mémoire Magister en Génie de l’environnement université M’Hamed Bougara- Boumerdes, laboratoire de recherche de technologie Alimentaire, (2009), p 37-38.
- [53] K. Kosutic, L. Kastelan-Kunst, B. Kunst, Porosity of some commercial reverse osmosis and nanofiltration polyamide thin-film composite membranes. Journal of Membrane Science 168 (1-2) (2000), p 101-108.
- [54] D.R. Paul, Reformulation of the solution-diffusion theory of reverse osmosis, Journal of Membrane Science, 241, (2004), p 371-386
- [55] G.M. Geise, H.B. Park, A.C. Sagle, B.D. Freeman, J.E. McGrath, Water permeability and water/salt selectivity tradeoff in polymers for desalination, Journal of Membrane Science, 369, (2010), p 130-138.
- [56] S. Bason, V. Freger, Phenomenological analysis of transport of mono- and divalent ions in nanofiltration, Journal of Membrane Science, 360, (2010), p 389-396.
- [57] R.E. Kesting, Synthetic polymeric membranes, McGraw-Hill Book Company, (1971).
- [58] M. Mulder, Basic principles of Membrane Technology, 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1996)
- [59] G. Schock, A. Miquel, Mass transfer and pressure loss in spiral wound modules, Desalination, 64, (1987), p 339–352.
- [60] P. Riot, Installation d'un module de récupération d'énergie par échange de pression, Société Lorientaise de Construction Electromécanique, (2006), p 14-16.
- [61] H. Elkhebbaz, Thèse de doctorat, Université Mohammed V, Faculté des Sciences Rabat (2008), p 34.
- [62] C. Larchet, DHDR de l’Université Paris XII (1994).
- [63] R.C. Squires, “Removal of heavy metals from industrial effluent by crossflow microfiltration”, Wat. Sci. Tech., vol. 25(10), (1992), p 55-67.
- [64] Alfa Arzate, Ph.D procédés de séparation membranaire et leur application dans l’industrie alimentaire, centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc.
- [65] R.J. Bearman, J.G. Kirkwood, Statistical Mechanics of Transport Processes. XI. Equations of Transport in Multicomponent Systems J. Chem. Phys., 28, 136 (1958).
- [66] R.J. Bearman, On the Linear Phenomenological Equations. II. The Linear Statistical Mechanical Theory, J. Chem. Phys., 31, 751 (1959).
- [67] F.M. Snell, R. Aranow, R.A. Spangle, Statistical-Mechanical Derivation of the Partial Molecular Stress Tensors in Isothermal Multicomponent Systems, J. Chem. Phys., 47, 4959 (1967).
- [68] E.A. Mason, A.P. Malinauskas, R.B. Evans, Flow and Diffusion of Gases in Porous Media, J. Chem. Phys., 46, 3199 (1967).
- [69] E.A. Mason, L.A. Viehland, Statistical–mechanical theory of membrane transport for multicomponent systems: Passive transport through open membranes, J. Chem. Phys., 68, 3562 (1978).
- [70] L.F. Del Castillo, E.A. Mason, Energy-barrier models for membrane transport Biophys. Chem., 9 (2) 111-20 (1979).
- [71] J. Philibert, Diffusion et transport de matière dans les solides, Les Editions de physique (1990).

- [72] R.P. Buck, Kinetics of bulk and interfacial ionic motion: microscopic bases and limits for the Ernest Planck equation applied to membrane systems, *J. Membrane Sci.*, 17, 1 (1984).
- [73] D. Stauffer, Introduction to percolation theory, London, Taylor and Francis (1985).
- [74] J.F. Gouyet, Physique et structure fractals, Masson, Paris (1992).
- [75] A.B. Shelekhin, A.G. Dixon, Y.H. Ma; Adsorption, diffusion and permeation of gases in microporous membranes. III. Application of percolation theory to interpretation of porosity, tortuosity, and surface area in microporous glass membranes; *J. Membrane Sci.*, 83, 181 (1993).
- [76] W.Y. Hsu, J.R. Barkley, P. Meakin, Ion percolation and insulator-to-conductor transition in Nafion® perfluorosulfonic acid membranes, *Macromolecules*, 13, 198 (1980).
- [77] S.F. Timashev, Physical chemistry of membrane processes, Ellis Horwood (1991).
- [78] C. Gavach, G. Pamboutzoglou, M. Nedyalkov, G. Pourcelly, AC impedance investigation of the kinetics of ion transport in Nafion® perfluorosulfonic membranes, *J. Membrane Sci.*, 45, 37 (1989).
- [79] R. Wodkzki, A. Narebska, W.K. Nioch, Percolation conductivity in Nafion membranes, *J. Appl. Polym. Sci.*, 30, 769 (1985).
- [80] R.P. Buck, Kinetics of bulk and interfacial ionic motion: microscopic bases and limits for the Nernst—Planck equation applied to membrane systems, *J. Membrane Sci.*, 17, 1 (1984).
- [81] J. Pellicer, S. Mafe and V.M. Aguilera, *ANAL. Fis.*, B-84, 249 (1988).
- [82] V. Nikonenko, HDR de l'Université Paris XII (2001).
- [83] B. Auclair, V. Nikonenko, C. Larchet, M. Metayer, L. Dammak, Correlation between transport parameters of ion-exchange membranes; *J. Membrane Sci.*, 195, 89 (2002).
- [84] V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, Transport d'ions dans les membranes, *Nauka (Science)*, Moscou, (1996).
- [85] R.P. Buck, Kinetics of bulk and interfacial ionic motion: microscopic bases and limits for the Nernst—Planck equation applied to membrane systems, *J. Membrane Sci.*, 17, 1 (1984).
- [86] G. Pourcelly P. Sistat, A. Chapotot, C. Gavach, V. Nikonenko, Self diffusion and conductivity in Nafion® membranes in contact with NaCl+CaCl<sub>2</sub> solutions; *J. Membrane Sci.*, 110, 69 (1996).
- [87] N.I. Nikolaev, Diffusion in membranes, *Khimiya (Chemistry)*, Moscow, (1980).
- [88] P. Turq, J. Barthel, M. Chemla, Transport, relaxation and kinetic processes in electrolyte solutions, Springer, Berlin, (1992).
- [89] A. Chhich, P. Turq, O. Bernard, *Ber. Bursenges. Phys. Chem.*, 98, 1 (1994).
- [90] S. Koter, A. Narebska; Conductivity of ion-exchange membranes—II. Mobilities of ions and water, *Electrochim. Acta*, 32, 455 (1987).
- [91] Patrice Bacchin Université Paul Sabatier Laboratoire de génie Chimique 31 062 Toulouse Cedex 9
- [92] G. Belfort, R.H. Davis, A.L. Zydney, "The behaviour of suspensions and macromolecular solutions in crossflow microfiltration", *Int. Journal of Membrane Science*, vol. 961, (1994), p1-58.
- [93] R. Zaamouche, Thèse de doctorat en sciences en génie mécanique université de Batna faculté des sciences et de la technologie.
- [94] B. Allard Gaston, ing & agr. L'osmose inverse : description et principes de fonctionnement. (1984), p 8-12.
- [95] Montgomery Watson Harza (MWH). Water treatment: principles and design (Second Edition). Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley and Sons Inc. (2005).
- [96] H. Yamamura, K. Kimura, Y. Watanabe, Mechanism involved in the evolution of physically irreversible fouling in microfiltration and ultrafiltration membranes used for drinking water treatment. *Environmental Science and Technology*, 41(19), (2007), p 6789-6794.



- [97] United States Environmental Protection Agency (USEPA). Membrane Filtration Guidance Manual. (EPA-815-D-03-008), (2003).
- [98] American Water Works Association (AWWA). Committee report: Membrane Processes in Potable Water Treatment. *Journal of the American Water Works Association*, 84(1), (1992), p 59-67.
- [99] M.-M. Clark. Committee report: Membrane Processes. *Journal of the American Water Works Association*, 90(6), (1998), p 91-105.
- [100] A.-W. Zularisam, A.-F. Ismail, R. Salim. Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment - a review. *Desalination*, 194(1-3), (2006), p 211-231.
- [101] G. Amy. Fundamental understanding of organic matter fouling of membranes. *Desalination*, 231(1-3), (2008), p 44-51.
- [102] H. Huang, N.-H. Lee, T. Young, A. Gary, J.-C. Lozier, J.-G. Jacangelo,. Natural organic matter fouling of low-pressure, hollow-fiber membranes: effects of NOM source and hydrodynamic conditions. *Water Research*, 41(17), (2007), p 3823-3832.
- [103] N.-H. Lee, G. Amy, J.-P. Croué, Low-pressure membrane (MF/UF) fouling associated with allochthonous versus autochthonous natural organic matter. *Water Research*, 40 (12), (2006), p 2357-2368.
- [104] A.-H. Nguyen, J.-E. Tobiasson, K.-J. Howe, Fouling indices for low pressure hollow fiber membrane performance assessment. *Water research*, 45(8), (2011), p 2627-2637.
- [105] I. Sutzkover-Gutman, D. Hasson, R. Semiat, Humic substances fouling in ultrafiltration processes. *Desalination*, 261(3), (2010), p 218-231.
- [106] K.-J. Howe, M.-M. Clark, Fouling of microfiltration and ultrafiltration membranes by natural waters. *Environmental Science and Technology*, 36(16), (2002) p 3571-3576.
- [107] H. Huang, T. Young, J.-G. Jacangelo, Novel approach for the analysis of bench-scale, low pressure membrane fouling in water treatment. *Journal of Membrane Science*, 334(12), (2009), p 1-8.
- [108] W. Yuan, A.-L. Zydney. Humic acid fouling during microfiltration. *Journal of Membrane Science*, 157(1), (1999), p 1-12.
- [109] K.-L. Jones, C.-R. O'Melia, Ultrafiltration of protein and humic substances: effect of solution chemistry on fouling and flux decline. *Journal of Membrane Science*, 193(2), (2001), p 163-173.
- [110] K. Katsoufidou, S.-G. Yiantsios, A.-J. Karabelas. A study of ultrafiltration membrane fouling by humic acids and flux recovery by backwashing: experiments and modeling. *Journal of Membrane Science*, 266(1-2), (2005), p 40-50.
- [111] J. Cho, G. Amy, J. Pellegrino. Membrane filtration of natural organic matter: initial comparison of rejection and flux decline characteristics with ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Water Research*, 33(11), (1999), p 2517-2526.
- [112] H.-A. Mousa. Investigation of UF membranes fouling by humic acid. *Desalination*, 217(1-3), (2007), p 38-51.
- [113] G. Amy, J. Cho. Interactions between natural organic matter (NOM) and membranes: rejection and fouling. *Water Science and Technology*, 40(9), (1999), p 131-139.
- [114] P. Bacchin, P. Aimar, R.-W. Field. Critical and sustainable fluxes: theory, experiments and applications. *Journal of Membrane Science*, 281(1-2), (2006), p 42-69.
- [115] S. Chellam, W. Xu. Blocking laws analysis of dead-end constant flux microfiltration of compressible cakes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 301(1), (2006), p 248-257.
- [116] H. Huang, T.-A. Young, J.-G. Jacangelo. Unified membrane fouling index for low pressure membrane filtration of natural waters: principles and methodology. *Environmental Science and Technology*, 42(3), (2008), p 714-720.

- [117] J. Hermia. Constant pressure blocking filtration laws - Application to power-law non-Newtonian fluids. *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 60(3), (1982), p 183-187.
- [118] J. Hoigne, H. Bader. Ozonation of water: selectivity and rate of oxidation of solutes. *Ozone: Science and Engineering*, 1(1), (1979), p 73-85.
- [119] Y.-H. Lin, H.-J. Hsien,. Characteristics transformation of humic acid during ozonation and biofiltration treatment processes. *Water Environment Research*, 83(5), (2011), p 450-460.
- [120] M. Hashino, Y. Mori, Y. Fujii, N. Motoyama, N. Kadokawa, H. Hoshikawa, W. Nishijima, M. Okada,. Pilot plant evaluation of an ozone-microfiltration system for drinking water treatment. *Water Science and Technology*, 41(10-11), (2000), p 17-23.
- [121] Y. Mori, T. Oota, M. Hashino, M. Takamura, Y. Fujii,. Ozone-icrofiltration system. *Desalination*, 117(1-3), (1998), p 211-218.
- [122] B. Schlichter, V. Mavrov, H. Chmiel. Study of a hybrid process combining ozonation and microfiltration/ultrafiltration for drinking water production from surface water. *Desalination*, 168(1-3), (2004), p 307-317.
- [123] K. Farahbakhsh, C. Svrcek, R.-K. Guest, D.-W. Smith, A review of the impact of chemical pretreatment on low-pressure water treatment membranes. *Environmental Engineering and Science*, 3(4), (2004), p 237-253.
- [124] Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). Règlement sur la qualité de l'eau potable Gouvernement du Québec (2005).
- [125] D. Van Der Kooij, W.-A.-M. Hijnen, J.-C. Kruithof. The effects of ozonation, biological filtration and distribution on the concentration of easily assimilable organic carbon (AOC) in drinking water. *Ozone: Science and Engineering*, 11(3), (1989), p 297-311.
- [126] S. Osterhus, K. Azrague, T. Leiknes, H. Odegaard. Membrane filtration for particles removal after ozonation-biofiltration. *Water Science and Technology*, 56(10), (2007), p 101-108.