

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -
UNIVERSITE ABOUBAKR BELKAÏD - TLEMCEN -



كلية التكنولوجيا
Faculté de technologie



كلية التكنولوجيا
Faculté de technologie

Mémoire de projet de fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de master en Hydraulique
Option : Technologies de Traitement des Eaux

**Etude sur le procédé d'osmose inverse
pour le dessalement des eaux faiblement
saumâtres**

Soutenu le : 03 /10 / 2013

Par :

BENAISSA Fatima Zohra

Devant les membres du jury :

Mr A. BENMANSOUR
Mr T. TERKI HASSAINE
Mr A. TABET HELLEL
Mr A. CHIBOUBE FELLAH
Mr M. BOUMEDIENNE

President
Examineur
Examineur
Encadreur
Co- Encadreur

Promotion 2012 / 2013

Remerciement

Je remercie en premier lieu DIEU tout puissant pour m'avoir accordé la puissance, la patience, le courage et la volonté de terminer ce modeste travail.

*Puis, Je tiens à remercier très sincèrement les deux personnes qui m'ont permis de faire ce mémoire, à savoir mes deux encadreurs **Mr A. CHIBOUB FELLAH** et **Mr M. BOUMEDIENE**, de m'avoir apporté leurs connaissances et leurs conseils précieux.*

Je voudrais ensuite remercier tous les membres du jury qui vont juger ce travail et me faire profiter de leurs connaissances et remarques constructives :

***Mr A. BENMANSOUR** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce modeste travail.*

***Mr T. TERKI HASSAINE** et **Mr A.TABET HELLAL** qui ont spontanément eu la volonté et l'honneur d'examiner ce travail, pour l'intérêt qu'ils ont porté pour mon travail. Leurs critiques et commentaires seront bénéfique pour enrichir mes connaissances dans ce domaine.*

J'adresse mes sincères remerciements aux responsables et agents de laboratoire de traitement des eaux de département d'Hydraulique au niveau de la faculté qui m'ont beaucoup aidé aux cours des expériences. Et aussi à tous les gens du laboratoire de la station de traitement des eaux de SEKKAK.

Je remercie également tous mes maîtres et maîtresses de la première année primaire à la cinquième année universitaire pour tout le savoir-faire et le savoir être qu'ils m'ont inculqué.

En fin, à toutes les personnes de près ou de loin qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces



*J'adresse mes remerciements par un grand respect et gratitude
à mes très chers parents qui sont la lumière de ma vie,
qui ont tant souffert et se sont sacrifiés pour que je sois heureuse,
pour leurs conseils, leurs affection
et leurs encouragements.*

Et je le dédie à :

*Mon très cher frère qui m'a aidé et qui est toujours présent à mes cotés.
Mes très chères sœurs qui m'ont soutenue affectivement tous le long de ma
formation.*

A toute la famille « BENAÏSSA » et « HAMEL ».

Mes amies : Fatima, Fatima Zohra, Nacira, Malika, Souria, Khadidja.

A mes camarades de promotion "Technologie et Traitement des Eaux"

*2011/2013, pour tout ce que nous avons partagé,
échangé ensemble durant ces années.*

A tous les gents qui ont contribué ma réussite de près ou de loin.

Fatima Zohra



Résumé :

Le problème de pénurie en eau potable se pose encore de nos jours dans de nombreux pays. Du fait de l'importance de la ressource en eau présente dans les océans, la solution du dessalement de l'eau de mer est en constant progrès. Ce dessalement se fait actuellement majoritairement par osmose inverse. Cependant, ce procédé membranaire est limité en facteur de concentration en raison de la pression osmotique de l'eau de mer qui augmente avec la concentration en sels.

Notre mémoire traite dans son ensemble deux parties :

- **Partie théorique** : cette partie a donné un aperçu général (bibliographique) sur les propriétés des différents procédés de dessalement en général et avec un peu de détail on a parlé de dessalement des eaux par osmose inverse.
- **Partie expérimentale** : Dans cette partie on a appliqué des expériences au laboratoire et à l'aide de pilote TE200 pour montrer l'influence de la concentration en NaCl de la solution d'alimentation et de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité (perméat et du concentrât) et sur le taux de rejet.

Mots-clés : Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres, osmose inverse, pression osmotique, perméat, concentrât, conductivité.

Abstract :

The shortage of drinking water still arises today in many countries. Because of the importance of water resources present in the oceans, the solution of desalination of sea water is in constant progress. This is currently done mainly desalination by reverse osmosis. However, this method is limited in membrane concentration factor due to the osmotic pressure of sea water, which increases with the concentration of salts.

Our memory processes as a whole into two parts:

- **Theoretical part**: this part provided an overview (literature) on the properties of various desalination processes in general and with a little detail we talked about water desalination by reverse osmosis.
- **Experimental part**: This section was applied laboratory experiments and using TE200 driver to show the influence of NaCl concentration of the feed solution and the pressure difference on both sides the membrane on the conductivity (the concentrate and permeate) and the rate of release.

Keywords: Desalination of seawater and brackish water, reverse osmosis, osmotic pressure, permeate, concentrate, conductivity.

الخلاصة:

إن مشكل نقص المياه الصالحة للشرب يطرح مع مرور الوقت مشكل عويص لدى عدة دول في العالم، و أهم مصادر المياه موجودة في البحار و المحيطات ، لذلك كان من الضروري اكتشاف طريقة للحصول على ماء صالح للشرب (تخلية مياه البحر) و تخلية مياه البحر تنجز حاليا وجوهريا بطريقة التناضح العكسي ، و تعتبر هذه العملية الغشائية محدودة بعامل التركيز بسبب الضغط التناضحي لمياه البحر الذي يرتفع بدوره مع تركيز المياه .

والمذكورة التي بين ايدينا تعالج هذا المشكل في جزأين :

- **الجزء النظري** : هذا الجزء يعطينا نظرة شاملة حول خصائص مختلف طرق التخلية على العموم وبقليل من التفاصيل تحدثنا عن تخلية المياه بالتناضح العكسي .
- **الجزء العملي** : في هذا الجزء قمنا بتجارب عملية في المخبر بمساعدة جهاز TE200 لإظهار تأثير التركيز NaCl (كلور الصوديوم) للمحلول المراد تحليله و الفرق بين الضغط بين جانبي الغشاء على الناقلية (مخفف ، مركز) ونسبة الرفض .

الكلمات المفتاحية :

تخلية مياه البحر الماء الاكظم (الاقل ملوحة من ماء البحر) ، التناضح العكسي ، الضغط التناضحي ، الماء المركز ، الماء المخفف ، الناقلية .

Table des matières

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01

Partie I : Partie théorique

Chapitre I : Généralité sur les eaux

I.1. Introduction	03
I.2. L'eau	03
I.3. L'eau potable	04
I.3.1. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation	04
I.3.1.1. Les paramètres organoleptiques	04
I.3.1.2. Les paramètres physico-chimiques	05
I.3.1.3. Substances indésirables	05
I.3.1.4. Substances toxiques	06
I.3.1.5. Les paramètres microbiologiques	06
I.4. Le cycle naturel de l'eau	06
I.5. Différents états de l'eau	07
I.5.1. L'état de vapeur (état gazeux)	08
I.5.2. L'état solide (glace)	08
I.5.3. L'état liquide	08
I.6. Propriétés de l'eau	08
I.6.1. Propriétés physiques	09
I.6.1.1. La masse volumique	09
I.6.1.2. La viscosité	09
I.6.1.3. Tension superficielle	09
I.6.1.4. Propriétés thermiques	09
I.6.1.5. Les propriétés électriques	10
I.6.1.6. Les propriétés optiques	10
I.6.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau	10
I.6.3. Propriétés biologiques de l'eau	11
I.7. Répartition de l'eau sur la planète	11
I.8. Les ressources de l'eau dans la nature	12
I.8. 1. Les eaux de pluie	12
I.8.2. Les eaux de surface	12

I.8.3. Les eaux souterraines	12
I.8.4. Les eaux de mer et les eaux saumâtres	12
I.8.4.1. L'eau de mer	13
I.8.4.2. Eau saumâtre	14
I.9. Conclusion	15

Chapitre II : Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres

I.1 Introduction	16
II.2. Bref aperçu historique	16
II.3. Schéma général d'une installation de dessalement	17
II.3.1. L'alimentation en eau de mer	17
II.3.2. Le prétraitement	18
II.3.3. Installation de dessalement	18
II.3.4. Le post-traitement	18
II.4. Différents procédés de dessalement	19
II.4.1. Procédés de dessalement par changement de phase	20
II.4.1.1. La distillation	20
II.4.1.2. La congélation	24
II.4.2. Les procédés membranaires	25
II.4.2.1. L'osmose inverse (OI)	25
II.4.2.2. Electrodialyse	26
II.4.3. Les procédés chimiques	28
II.4.3.1. Echangeurs d'ions	28
II.4.3.2. Extraction par solvants	29
II.4.4. Autres procédés de dessalement	29
II.4.4.1. Distillation solaire	29
II.5. Quantité d'énergie nécessaire pour le dessalement	30
II.6. L'impact de dessalement sur l'environnement	31
II.6.1. Rejets atmosphériques	31
II.6.2. Rejets chimiques	31
II.6.3. Rejets de saumures	31
II.7. Lieu de rejet de la saumure	32
II.8. Problèmes techniques rencontrés en dessalement	33
II.8.1. La corrosion	33
II.8.2. L'entartrage (Scaling)	33
II.8.2.1. Différents moyens de lutte contre l'entartrage	34
II.8.3. Le colmatage (Fouling)	34
II.8.3.1. Biofouling :	35
II.8.3.2. Différents moyens de lutte contre le colmatage	35
II.9. Les avantages et les inconvénients de dessalement	35
II.10. Conclusion :	36

Chapitre III : Osmose inverse

III.1. Introduction	37
III.2. Principe de l'osmose inverse	37
III.2.1. Qu'est-ce que l'osmose?	37
III.2.2. Qu'est-ce que l'osmose inverse ?	38
III.3. Pression osmotique	39
III.4. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse	40
III.4.1. Prise d'eau de mer	40
III.4.2. Le prétraitement	41
III.4.2.1. Prétraitement conventionnel	41
III.4.2.2. Prétraitement par les procédés membranaires	43
III.4.3. Le pompage haute pression	43
III.4.4. Récupération d'énergie	44
III.4.5. Unité d'osmose inverse	44
III.4.6. Poste traitement	44
III.4.7. Poste de nettoyage chimique	45
III.5. Mode de fonctionnement des systèmes membranaires	45
III.5.1. Filtration frontale	45
III.5.2. Filtration Tangentielle	46
III.6. Paramètres de fonctionnement d'une osmose inverse	47
III.7. Mécanisme de transfert	49
III.8. La polarisation de concentration	50
III.9. Membranes d'osmose inverse	50
III.9.1. Présentation des membranes	50
III.9.2. Type de membranes d'osmose inverse	51
III.9.3. Durée de vie des membranes	51
III.10. Les modules d'osmose inverse	52
III.10.1. Définition des modules	52
III.10.2. Les types de modules	52
III.11. La consommation énergétique et le coût de l'osmose inverse	55
III.12. Limitations de l'osmose inverse	55
III.12.1. Définition du colmatage	55
III.12.2. Les types de colmatage	55
III.12.2.1. Colmatage par entartrage	55
III.12.2.2. Colmatage par dépôt	56
III.12.2.3. Colmatage par adsorption	56
III.12.2.4. Le bio-colmatage	56
III.12.3. Estimation du potentiel de colmatage	57
III.12.3.1. SDI (Silt Density Index)	57
III.12.3.2. MFI (Modified Fouling Index)	58
III.12.3.3. MFI-UF (Modified Fouling Index by using Ultrafiltration membrane)	59
III.13. Le nettoyage des membranes	59
III.13.1. Les rétro lavages	59
III.13.2. Les nettoyages chimiques	60

III.13.3. Nettoyage enzymatique	60
III.14. Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse:	61
III.15. Conclusion	62

Partie II : Partie expérimentale

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Introduction	63
IV.2. Objectif	63
IV.3. Le pilote TE200	64
IV.4. Description du pilote	65
IV.4.1. Construction	65
IV.4.2. Instrumentation	67
IV.4.3. Liste des vannes	69
IV.5. Expériences	71
IV.5.1. Préliminaires	71
IV.5.2. Procédure de démarrage du pilote	71
IV.5.3. Production d'eau osmosée	72
IV.5.4. Procédure générale d'arrêt	73
IV.5.5. Détermination de la perméabilité de la membrane	74
IV.5.6. Manipulation (Rétention globale du module)	75
IV.6. Description des appareillages de mesure	76
IV.6.1. La conductivité	76
IV.6.2. Agitateur	76
IV.6.3. La balance électronique	77

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1. Perméabilité de la membrane au solvant	78
V.2. Etude de la rétention globale du module	80
V.2.1. Pour une concentration de 1.5 g/l	80
V.2.1.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction du tps	83
V.2.1.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps	84
V.2.1.3. La variation de la rétention globale du module	85
V.2.2. Pour une concentration de 2 g/l	89
V.2.2.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps	92
V.2.2.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps	93
V.2.2.3. La variation de la rétention globale du module	94
V.2.3. Pour une concentration de 2.5 g/l	97
V.2.3.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de tps	101
V.2.3.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps	102
V.2.3.2. La variation de la rétention globale du module	102
V.2.4. Pour une concentration de 3 g/l	106
V.2.4.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de	109

temps:	
V.2.4.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps	110
V.2.4.3. La variation de la rétention globale du module	111
V.2.5. Pour une concentration de 3.5 g/l	114
V.2.5.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps	118
V.2.5.2. La variation de volume de perméat et du concentrât en fonction de temps	119
V.2.3.3. La variation de la rétention globale du module	119
V.2.6. Pour une concentration 4 g/l	123
V.2.6.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps	126
V.2.6.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps	127
V.2.6.3. La variation de la rétention globale du module	128
V.2.7. Pour une concentration de 4.5 g/l	131
V.2.7.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps	135
V.2.7.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps	136
V.2.7.3. La variation de la rétention globale du module	136
V.2.8. Pour une concentration de 5 g/l	140
V.2.8.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps	143
V.2.8.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps	144
V.2.8.3. La variation de la rétention globale du module	145
V.3. Etude de la rétention globale du module	148
V.3.1.pour une concentration de 4 g/l et une pression alimentation 12 bar	148
V.3.1.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps	152
V.3.1.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps	153
V.3.1.3. La variation de la rétention globale du module	153
V.3.2. Pour une concentration de 4.5 g/l et une pression alimentation 12 bar	157
V.3.2.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps	160
V.3.2.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps	161
V.3.2.3. La variation de la rétention globale du module	162
V.3.3.pour une concentration de 5 g/l et une pression alimentation 12 bar	165
V.3.3.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps	169
V.3.3.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps	170
V.3.3.3.la variation de la rétention globale du module	170
V.4. Interprétations des résultats	174
Conclusion générale	177
Bibliographie	

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Répartition de l'eau dans le monde	11
Tableau I.2 : Composition chimique de l'eau de mer	13
Tableau I.3: Classification des eaux selon la salinité	15
Tableau V.1 : Résultats des débits de perméat en fonction des pressions.	78
Tableau V.2 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).	80
Tableau V.3 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).	81
Tableau V.4 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).	82
Tableau V.5 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).	82
Tableau V.6 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).	83
Tableau V.7 : 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 ; $C=1.5\text{g/l}$).	85
Tableau V.8 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0.5\text{bar}$; $C=1.5\text{g/l}$).	86
Tableau V.9 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).	86
Tableau V.10 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).	87
V.11 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).	87
Tableau V.12 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=2\text{g/l}$).	89
Tableau V.13: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=2\text{g/l}$).	90
Tableau V.14: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la	90

membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=2\text{g/l}$).	
Tableau V.15: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=2\text{g/l}$).	91
Tableau V.16: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=2\text{g/l}$).	92
Tableau V.17 : 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 ; $C=2\text{g/l}$).	94
Tableau V.18 : 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 ; $C=2\text{g/l}$).	94
Tableau V.19 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=2\text{g/l}$).	95
Tableau V.20 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=2\text{g/l}$).	95
Tableau V.21 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=2\text{g/l}$).	96
Tableau V.22: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).	98
Tableau V.23: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).	98
Tableau V.24: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).	99
Tableau V.25: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).	100
Tableau V.26: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membranesur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).	100
Tableau V.27 : 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 ; $C=2.5\text{g/l}$).	102
Tableau V.28: 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 ; $C=2.5\text{g/l}$).	103
Tableau V.29 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).	103
Tableau V.30 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).	104

Tableau V.31 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).	104
Tableau V.32: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=3\text{g/l}$).	106
Tableau V.33: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=3\text{g/l}$).	107
Tableau V.34: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=3\text{g/l}$).	108
Tableau V.35: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=3\text{g/l}$).	108
Tableau V.36: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=3\text{g/l}$).	109
Tableau V.37 : 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 ; $C=3\text{g/l}$).	111
Tableau V.38 : 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 ; $C=3\text{g/l}$).	111
Tableau V.39 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=3\text{g/l}$).	112
Tableau V.40 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=3\text{g/l}$).	112
Tableau V.41 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=3\text{g/l}$).	113
Tableau V.42: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	115
Tableau V.43: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	115
Tableau V.44: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	116
Tableau V.45: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	117
Tableau V.46: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	117
Tableau V.47 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration	119

du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	
Tableau V.48 : 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 ; $C=3.5\text{g/l}$).	120
Tableau V.49 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	120
Tableau V.50 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	121
Tableau V.51: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).	121
Tableau V.52: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	123
Tableau V.53: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	124
Tableau V.54: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	124
Tableau V.55: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	125
Tableau V.56: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	126
Tableau V.56 : 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 ; $C=4\text{g/l}$).	128
Tableau V.57 : 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 ; $C=4\text{g/l}$).	128
Tableau V.58 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	129
Tableau V.59 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	129
Tableau V.60 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	130
Tableau V.61: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	132
Tableau V.62: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	132

Tableau V.63: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	133
Tableau V.64: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	134
Tableau V.65: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	134
Tableau V.66 : 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 ; $C=4.5\text{g/l}$).	136
Tableau V.67 : 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 ; $C=4.5\text{g/l}$).	137
Tableau V.68 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	137
Tableau V.69 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	138
Tableau V.70 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	138
Tableau V.71: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=5\text{g/l}$).	140
Tableau V.72: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).	141
Tableau V.73: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=5\text{g/l}$).	141
Tableau V.74: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).	142
Tableau V.75: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=5\text{g/l}$).	143
Tableau V.76 : 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 ; $C=5\text{g/l}$).	145
Tableau V.77 : 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 ; $C=5\text{g/l}$).	145
Tableau V.78 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=5\text{g/l}$).	146
Tableau V.79 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration	146

du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).	
Tableau V.80 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=5\text{g/l}$).	147
Tableau V.81 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	149
Tableau V.82 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	149
Tableau V.83 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	150
Tableau V.84 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	151
Tableau V.85 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	151
Tableau V.86 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	153
Tableau V.87 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	154
Tableau V.88 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	154
Tableau V.89 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	155
Tableau V.90 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=4\text{g/l}$).	155
Tableau V.91 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	157
Tableau V.92 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	158
Tableau V.93 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	158
Tableau V.94 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	159
Tableau V.95 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).	160

Tableau V.96 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0$ bar ; $C=4.5$ g/l).	162
Tableau V.97 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0.5$ bar ; $C=4.5$ g/l).	162
Tableau V.98 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=4.5$ g/l).	163
Tableau V.99 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=4.5$ g/l).	163
Tableau V.100 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=4.5$ g/l).	164
Tableau V.101 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=5$ g/l).	166
Tableau V.102 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=5$ g/l).	166
Tableau V.103 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=5$ g/l).	167
Tableau V.104 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=5$ g/l).	168
Tableau V.105 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=5$ g/l):	168
Tableau V.106 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0$ bar ; $C=5$ g/l).	170
Tableau V.107 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0.5$ bar ; $C=5$ g/l).	171
Tableau V.108 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=5$ g/l).	171
Tableau V.109 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=5$ g/l).	172
Tableau V.110 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=5$ g/l).	172

Liste des figures

Figure I.1: Une molécule d'eau	03
Figure I.2: le cycle de l'eau	07
Figure I.3: Les différents états de l'eau	08
Figure I.4 : Diagramme de phase de l'eau	08
Figure I.5: Composition standard de l'eau de mer	13
Figure II.1: Schéma général d'une installation de dessalement	17
Figure II.2: Les procédés de dessalement	19
Figure II.3: Domaine d'utilisation des différentes techniques de déminéralisation en fonction de la salinité de l'eau à traiter	20
Figure II.4: Principe de distillation	20
Figure II.5: Schéma d'une distillation à simple effet	21
Figure II.6: Distillation à multiple effet	22
Figure II.7: Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF) à 3 étages	22
Figure II.8: Schéma de principe d'une unité d'évaporation avec Compression de Vapeur	23
Figure II.9: Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle	26
Figure II.10: Principe de l'électrodialyse	26
Figure II.11: Principe du distillateur serre	30
Figure II.12: Distillateur solaire	30
Figure III.1: Phénomène de l'osmose	38
Figure III.2: Procédé de l'osmose inverse	38
Figure III.3: Séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane	39
Figure III.4: Pression osmotique	39
Figure III.5: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse	40
Figure III.6: Tuyau de captage de l'eau de mer (Ténès, willaya de Chlef)	40
Figure III.7: Prétraitement conventionnel	41
Figure III.8: Racks d'osmose inverse (L'installation de SOUK THLATHA)	42
Figure III.9: Installation de SOUK THLATHA	42

Figure III.10: Présentation du fonctionnement de la filtration frontale	46
Figure III.11: Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle	46
Figure III.12: Taille des matériaux qui sont enlevés par les procédés membranaires	47
Figure III.13: Phénomène de polarisation	50
Figure III.14: Module à membrane tubulaire	53
Figure III.15: Modules à fibres creuses	53
Figure III.16: Exemple de module à plaques	54
Figure III.17: Description d'un module spiralé d'osmose inverse	54
Figure III.18 : Détermination graphique du MFI	58
Figure IV.1 : Phot de pilot TE 200 (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).	64
Figure VI. 2 : Construction de pilot TE 200	65
Figure VI.3 : Instrumentation du pilot TE 200	68
Figure VI.4 : Liste des vannes	70
Figure IV. 5: Photo de conductimètre (laboratoire de la station de traitement des eaux SEKKAK-	76
Figure IV.6 : Photo de conductimètre (laboratoire de chimie université Abou Bakr Belkaid–TLEMEN-)	76
Figure IV.7 : Photo de l'agitateur (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen)	76
Figure IV.8: Photo de balance électronique (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen)	77
Figure V.1 : Perméabilité de la membrane au solvant.	79
Figure V.2: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5\text{g/l}$)	83
Figure V.3: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5\text{g/l}$).	84
Figure V.4: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5\text{g/l}$).	84
Figure V.5: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5\text{g/l}$).	88
Figure V.6: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5\text{g/l}$).	88

Figure V.7: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2\text{g/l}$).	92
Figure V.8: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2\text{g/l}$).	94
Figure V.9: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2\text{g/l}$).	94
Figure V.10: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2\text{g/l}$).	96
Figure V.11: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2\text{g/l}$).	97
Figure V.12 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5\text{g/l}$).	101
Figure V.13 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5\text{g/l}$).	101
Figure V.14 : La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5\text{g/l}$).	102
Figure V.15: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2.5\text{g/l}$).	105
Figure V.16: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2.5\text{g/l}$).	105
Figure V.17 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/l}$).	109
Figure V.18 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/l}$).	110
Figure V.19 : La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/l}$).	110
Figure V.20: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/l}$).	113
Figure V.21: La variation de taux de rejet en fonction de concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/l}$).	114
Figure V.22 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3.5\text{g/l}$).	118

Figure V.23 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=3.5\text{g/l}$).	118
Figure V.24 : La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=3.5\text{g/l}$).	119
Figure V.25: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=3.5\text{g/l}$).	122
Figure V.26: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=3.5\text{g/l}$).	122
Figure V.27 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	126
Figure V.28 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	127
Figure V.29: La variation de tvolume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=3.5\text{g/l}$).	127
Figure V.30: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	130
Figure V.31: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	131
Figure V.32 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	135
Figure V.33 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	135
Figure V.34 : La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	136
Figure V.35: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	139
Figure V.36: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	139
Figure V.37 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).	143
Figure V.38 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).	144

Figure V.39 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).	144
Figure V.40: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).	147
Figure V.41: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).	148
Figure V.42 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	152
Figure V.43 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	152
Figure V.44 : La variation de volume du perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	153
Figure V.45: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	156
Figure V.46: La variation de taux de rejet en fonction de perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).	156
Figure V.47 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	160
Figure V.48 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	161
Figure V.49 : La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	161
Figure V.50: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	164
Figure V.51: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).	164
Figure V.52: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).	169
Figure V.53 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).	169
Figure V.54 : La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).	170

Figure V.55: La variation de taux de rejet en fonction du temps

173

($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=5\text{g/l}$).

Figure V.56: La variation de taux de rejet en fonction du temps

173

($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=5\text{g/l}$).

Liste des abréviations

A : Perméabilité au solvant.

B : La perméabilité de la membrane au soluté.

C : Concentration.

C_m : La concentration d'une espèce au voisinage de la membrane.

C_p : Concentration de perméat.

FC : Facteur de conversion.

i : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte.

J_m : Flux massique de solvant.

J_{soluté} : Le flux massique de soluté.

J_{solvant} : Le flux massique de solvant.

J_{v1} : 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_e : Pression efficace.

PH : Potentiel d'Hydrogène.

PS : Passage de sels.

Q₀ : Débit d'alimentation.

Q_A : Débit d'alimentation.

Q_c : Débit de concentrât.

Q_p : Débit de perméat.

R : Constante des gaz parfaits ($0,082 \text{ L}\cdot\text{bar}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).

R : Sélectivité.

R_m : Rétention 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 ;

$\Delta \Pi$: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

Π : Pression osmotique.

ρ : La masse volumique.



Introduction générale

L'eau est une substance essentielle à la survie et au développement de l'humanité. Mais que va devenir cette fragile ressource ?

L'eau est très abondante sur terre, elle recouvre 73% de sa surface, la grande majorité est essentiellement de l'eau de mer (97 %) ou de la glace (2 %) et donc impossible à consommer directement [1].

L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ 1 million de km³. Mais, la répartition de cette eau est très inégale [2].

En effet seulement 10 pays se partagent à eux seuls 60 % des réserves d'eau douce alors que 29 autres (principalement en Afrique et au Moyen-Orient) sont au contraire confrontés à des pénuries d'eau douce. Dans ces pays, 650 millions de personnes souffrent du manque d'eau, dont 1,6 millions décèdent chaque année des conséquences du manque d'eau. On estime qu'en 2050, 2,5 milliards de personnes souffriront du manque d'eau à cause de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations en eau [1].

Au plan mondial, la question de l'approvisionnement en eau devient chaque jour plus préoccupante. Le constat unanimement partagé est simple : déjà précaire dans certaines régions du globe, la situation ne pourra qu'empirer dans les années à venir. Le formidable essor démographique que va en effet connaître notre planète dans les vingt-cinq prochaines années va nécessairement s'accompagner d'une explosion de la consommation en eau et d'une dégradation de sa qualité. Cela risque de mettre gravement en péril l'approvisionnement en eau douce d'une grande partie de l'humanité et par voie de conséquence d'aggraver les conflits entre pays voisins ayant des ressources communes.

Le dessalement des eaux saumâtres et, à fortiori, de l'eau de mer, procure une solution séduisante à cette problématique. C'est pourquoi le marché du dessalement est d'ores et déjà en pleine expansion avec une progression 7% par an [3], d'autant que 70% de la population mondiale vit à moins de 70 km des bordures maritimes.

Le dessalement de l'eau de mer est connu depuis l'Antiquité et constitue une solution fiable utilisée par de nombreux pays côtiers notamment au Moyen-Orient. Deux grandes familles de procédés sont utilisées désormais pour le dessalement de l'eau de mer : les procédés thermiques de distillation qui se sont fortement développés à partir de la fin des années 1940 et les procédés membranaires qui ont vu le jour à la fin des années 1960. En dessalement, le

principal procédé membranaire est l'osmose inverse (OI) qui représente à l'heure actuelle 53 % des capacités mondiales d'eau produites par dessalement et a ainsi dépassé les procédés de distillation depuis 2001.

L'osmose inverse présente l'intérêt de pouvoir fonctionner à température ambiante et de produire une eau de qualité bonne et constante quelles que soient les variations de la qualité de l'eau brute. Le taux de rejet de sels peut être supérieur à 99 %. Un inconvénient de l'OI est qu'elle nécessite des pressions opératoires très importantes. En raison de la variation induite de la pression osmotique, la pression opératoire augmente avec la salinité de l'eau ce qui empêche l'utilisation de l'OI à de très fortes concentrations en sels [4].

L'objectif de ce travail consiste à faire une étude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres à l'aide du pilote TE 200 qui est considéré comme une petite station de dessalement par OI.

Le manuscrit se décompose en deux parties principales A et B, qui elles-mêmes sont divisées en plusieurs chapitres.

La première partie (partie A) de ce travail est relative à l'étude bibliographique, elle comporte trois chapitres :

- ✎ Chapitre I : Une étude 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 : Il est consacré à la présentation de la connaissance générale sur les techniques de dessalement.
- ✎ Chapitre III : Une étude théorique sur la filière de dessalement de l'eau de mer par le procédé d'osmose inverse.

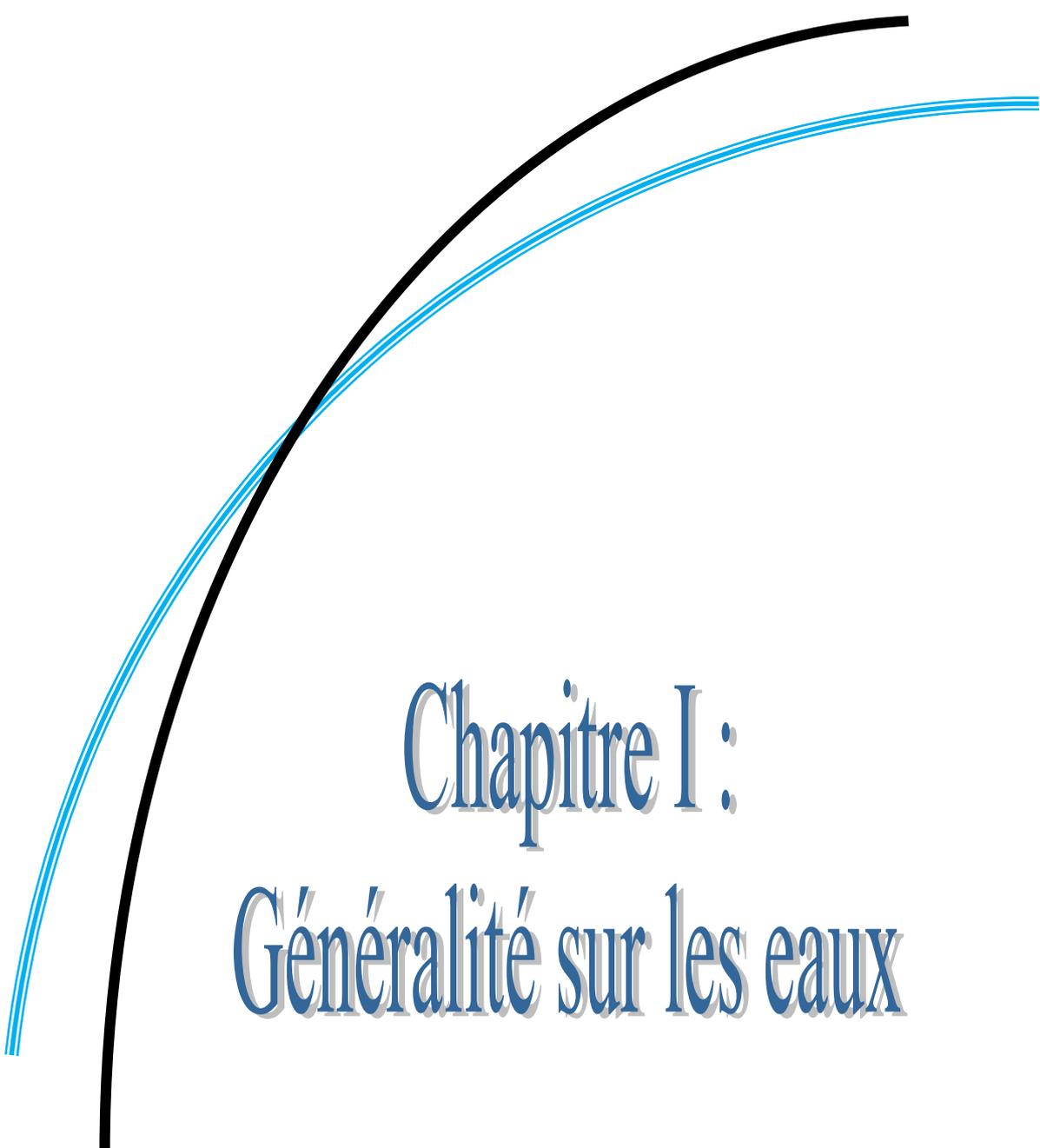
La seconde partie (partie B) présente l'étude expérimentale sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, subdivisée en 2 chapitres.

- ✎ Chapitre I : Matériels et méthodes.
- ✎ Chapitre II : Résultats et interprétations.

PARTIE I

ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE



Chapitre I: Généralité sur les eaux

I.1. Introduction :

Comme tout le monde le sait, la planète Terre est également appelée *planète bleue*, ceci provient du fait que sa surface est recouverte à 72 % d'eau. L'eau existe en quantité immuable depuis des millénaires, dans le monde, nous pouvons en compter 1400 millions de km³. C'est une quantité phénoménale. Même si la consommation en eau connaissait un accroissement formidable, il serait impossible de la consommer entièrement.

Mais ce n'est pas si simple. En effet, cette quantité d'eau colossale n'est pas 100% propre à la consommation. La plus grande partie, 97.2% voire 97.5% selon les sources, est de l'eau de mer et le reste, 2.5% à 2.8% est de l'eau douce [5].

I.2. L'eau :

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur. C'est un composé chimique simple, sa formule chimique est H₂O, c'est -à- dire que chaque molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogènes (H) par deux liaisons covalentes simples, formant un angle de 104.5°C. La représentation de la molécule d'eau sous sa forme compacte donne une image de la forme réelle de la molécule et de l'encombrement des atomes qui la constitue [6].

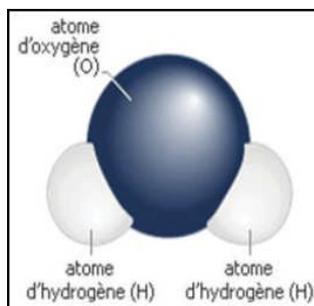


Figure I.1: Une molécule d'eau [6].

L'eau présente sur notre Terre et indispensable à la survie de tout être vivant, animal ou végétal n'est pas un liquide banal [7]. En particulier, l'eau entre, pour 70 à 80 % en moyenne, dans la composition de la matière vivante et c'est le principal constituant de l'organisme humain :

- ❖ embryon de trois jours : 94 à 97 %,
- ❖ nouveau-né : 66 à 75 %,
- ❖ adulte : 58 à 70 %,
- ❖ vieillard : 55 à 60 % ;

De plus, l'homme ne peut pas vivre plus de quatre jours sans eau [8].

I.3. L'eau potable :

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur [9].

I.3.1. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation :

Une eau est dite "potable" si elle respecte les valeurs imposées par la loi. Il existe cinq catégories de paramètres [10]:

I.3.1.1. Les paramètres organoleptiques :

- ✎ **Le goût :** Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation, il doit être non désagréable [11].
- ✎ **La couleur et l'odeur :** La couleur de l'eau est liée à la présence de substances organiques colorées (principalement des acides humiques et fulviques) et de métaux (le fer et le manganèse). L'odeur a pour origine principale la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz [12].
- ✎ **La turbidité :** La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Elle est causée par diverses matières particulières ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes [13].

I.3.1.2. Les paramètres physico-chimiques :

- ✎ **Température** La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit situer entre 8 et 15°C. L'OMS ne recommande aucune valeur. Pratiquement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine, cependant, une température supérieure à 15 °C favorise le développement des micro-organismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs. Par contre, une température inférieure à 10 °C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements d'eau [14].
- ✎ **La dureté** : 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^{2+} et Mg^{2+} . 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. On l'exprime aussi en degré français [15].
- ✎ **PH** : Le pH exprime l'acidité ou l'alcalinité suivant qu'il se trouve dans la bande de 0 à 7 ou de 7 à 14, le 7 constitue la neutralité du milieu .Le pH est indissociable de la température de l'oxygène dissous, de la minéralisation totale. La mesure du pH grâce à un PH-MÈTRE ou un comparateur colorimétrique approprié est tout à fait valable pour déterminer la concentration de l'ion d'hydrogène et l'ion d'hydroxyde [14].
- ✎ **La minéralisation** : La minéralisation est la concentration en sel dissous (Sulfates, Chlore, Sodium, Magnésium, Aluminium) [10].

I.3.1.3. Substances indésirables :

Ce sont entre autres, les éléments suivants (Acrylamide, Azote Kjeldahl N, Benzène, Bore, Bromates, Chlorure de vinyle, Cuivre, Détergents anioniques, Dichloréthane, Epichlorhydrine, Fer, Fluorures, H_2S , Hydrocarbures dissous, Manganèse, Nitrites (NO_2), Nitrates (NO_3), Oxydabilité au MnO_4K , Phénols, Tétrachloroéthylène et Trichloréthylène, Trihalométhanes) [10].

I.3.1.4. Substances toxiques :

Parmi ces substances, on peut citer les éléments suivants (Arsenic, Cadmium, Cyanure, Chrome total, Mercure, Nickel, Plomb, Antimoine, Sélénium, Hydrocarbures aromatiques polycycliques) [10].

I.3.1.5. Les paramètres bactériologiques :

L'eau contient une multitude de micro-organismes (bactéries, virus, parasites) issus de l'activité biologique naturelle. Certains de ces micro-organismes peuvent être pathogènes pour l'homme. Les maladies d'origine microbienne constituent d'ailleurs le risque sanitaire le plus important dans le domaine de l'eau : les effets sanitaires (gastro-entérite,...) peuvent se produire à court terme et se caractériser dans certaines situations par la survenue d'épisodes épidémiques [12].

L'eau ne doit en aucun cas contenir des organismes pathogènes et/ou d'organismes indicateurs d'une contamination fécale, tels les bactéries coliformes fécales, les bactéries *Escherichia coli*, les bactéries entérocoques et les virus coli-phages. L'eau ne doit pas contenir plus de 10 bactéries coliformes totales par 100 millilitres d'eau prélevée [16].

I.4. Le cycle naturel de l'eau :

Le cycle de l'eau schématisé par la figure 2 consiste en un échange d'eau entre les différentes enveloppes de la Terre (l'hydrosphère, l'atmosphérique et la lithosphère).

Ainsi l'eau de l'hydrosphère chauffée par le rayonnement solaire s'évapore. Elle rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur, cette dernière plus légère s'élève dans les régions plus hautes dans lesquelles la température est plus basse, elle se condense alors et retombe, sous forme de précipitation (neige ou pluie), sur les océans (pour 7/9) et les continents (pour 2/9) [17], 61 % de cette eau s'évapore, 16 % ruisselle et rejoint les cours d'eau et 23 % s'infiltre et alimente les nappes et rivières souterraines. La somme des évaporations, soit 496 000 km³/an, est toujours égale à la somme des précipitations [7].

Ainsi s'opposent deux types de réservoirs dans l'hydrosphère : ceux qui font office de conducteurs (cours d'eau et atmosphère) et ceux qui jouent un rôle d'accumulateurs (glaciers, nappes et océans).

La durée de renouvellement moyenne de chacun d'entre eux est de :

- ❖ **1600 à 9700 ans** pour les glaciers et les calottes glaciaires ;
- ❖ **2500 ans** pour les océans ;
- ❖ **1400 ans** en moyenne pour les eaux souterraines ;
- ❖ **17 ans** pour les lacs d'eau douce ;
- ❖ **1 an** pour l'humidité des sols ;
- ❖ **16 jours** pour les cours d'eau ;
- ❖ **8 jours** pour l'atmosphère.

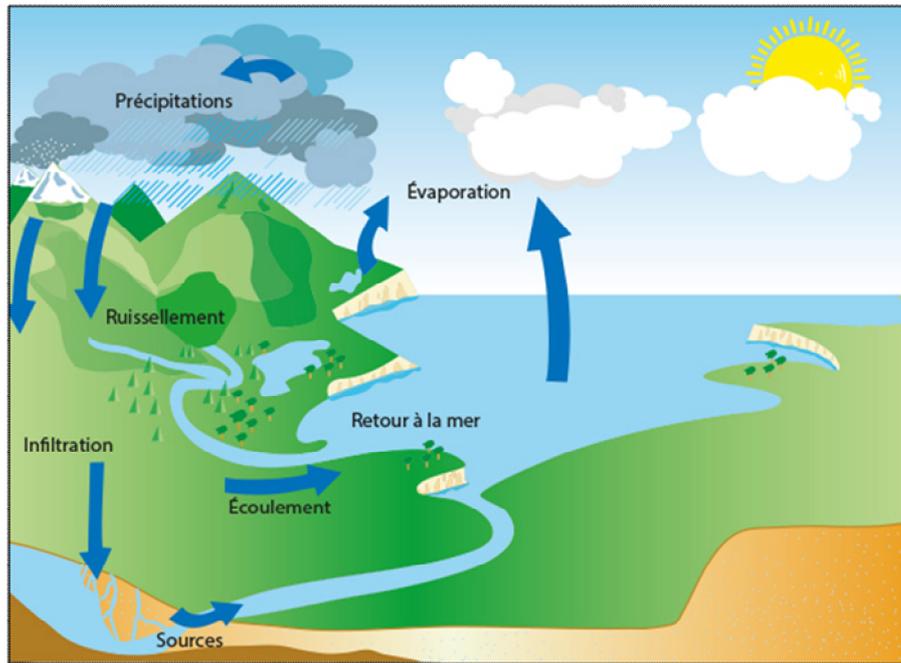


Figure I.2: le cycle de l'eau [7].

I.5. Différents états de l'eau :

L'eau, sous l'action conjuguée de la chaleur et de la pression atmosphérique, change d'état, passant de celui de vapeur à l'état solide ou liquide [7]. Le passage d'un état à un autre (Figure I.3) est appelé *changement de phase*.

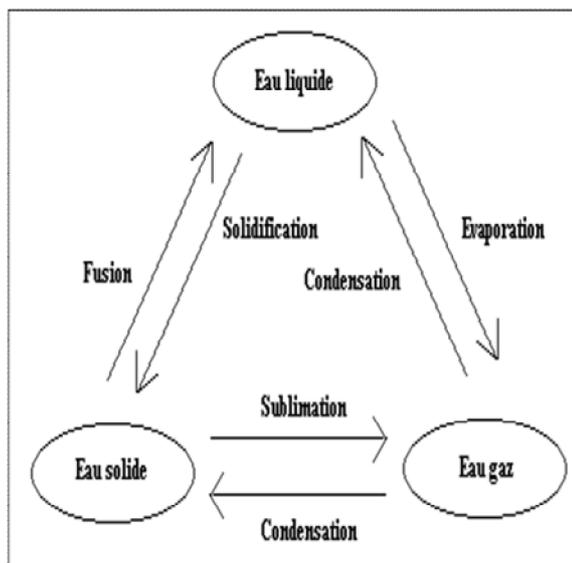


Figure I.3: Les différents états de l'eau [17].

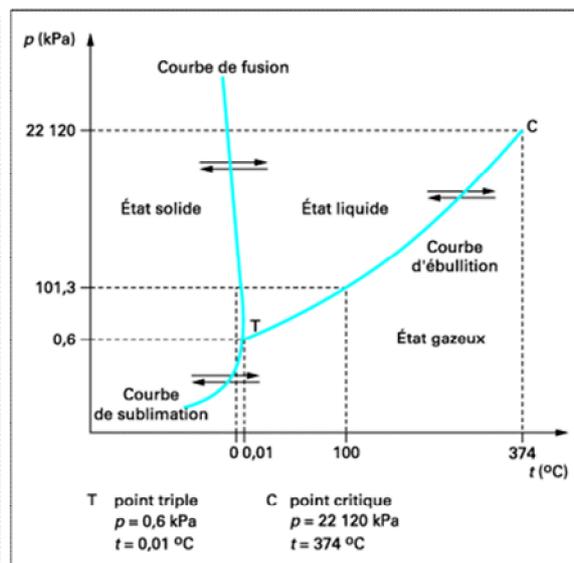


Figure I.4 : Diagramme de phase de l'eau [8].

I.5.1. L'état de vapeur (état gazeux) :

Il est obtenu à partir de 100 °C à la pression atmosphérique, les molécules sont relativement indépendantes les unes des autres et correspondent exactement à la formule H_2O et plus particulièrement au modèle angulaire [18].

I.5.2. L'état solide (glace) :

La glace est l'eau à l'état solide lorsque sa température est inférieure à la température de fusion qui est de 0 °C. Cependant, en l'absence de cristal de glace, de l'eau calme peut être refroidie à des températures inférieures à 0 °C sans se congeler [17].

I.5.3. L'état liquide :

Au cours de la fusion de la glace, les liaisons hydrogène se rompent, le cristal s'effondre et les molécules se rapprochent les unes des autres, la masse volumique augmente jusqu'à une valeur maximale correspondant à une température de 4°C sous 1 atmosphère [19].

I.6. Propriétés de l'eau :

La liaison hydrogène est à l'origine des propriétés chimiques et physiques particulières de l'eau. L'eau peut se trouver sous trois états : liquide, solide et gazeux. Seul ce dernier état correspond exactement à la formule classique de la molécule d'eau H_2O . Les deux autres,

liquide et solide, sont plus compliqués, et c'est cette complexité qui leur confère leurs propriétés exceptionnelles [7].

I.6.1. Propriétés physiques :

Le caractère polaire de la molécule d'eau est à l'origine d'associations possibles entre les molécules d'eau ; il donnera lieu à bien des anomalies physiques que nous signalons brièvement, telles que [20]:

I.6.1.1. La masse volumique :

Elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous. L'eau a une masse volumique de 1g/cm^3 [20].

I.6.1.2. La viscosité :

C'est la propriété que présente un fluide (liquide ou gaz) d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes soit globaux. Cette résistance est due aux frottements réciproques des molécules en mouvement. Elle est à la base des pertes d'énergie cinématique (perte de charge) [18]. Elle diminue lorsque la température croît par contre elle augmente avec la teneur en sels dissous. Contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures [20].

I.6.1.3. Tension superficielle :

C'est une force d'attraction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant à réduire le plus possible l'étendue de cette surface [21]. Elle diminue avec l'augmentation de la température. La tension superficielle très élevée de l'eau est due à l'existence des liaisons hydrogène [18].

I.6.1.4. Propriétés thermiques :

✎ *Chaleur massique* : La chaleur massique est de $4.18\text{ KJ/Kg }^\circ\text{C}$ aux conditions normales de pression et de température (0°C , 1atm). Elle varie avec la température et présente un minimum à $+35^\circ\text{C}$ [17].

✎ *Les chaleurs latentes* : Les enthalpies de transformation sont pour la fusion : de 334 KJ/Kg et pour la vaporisation : de 2259 KJ/Kg à pression normale et une température de 100°C [6].

I.6.1.5. Les propriétés électriques :

✂ **Constante diélectrique** : La constante diélectrique de l'eau, de l'ordre de 80 farads stéradian par mètre, est l'une des plus élevées que l'on connaisse ; c'est pourquoi l'eau possède un pouvoir ionisant très important [19].

✂ **Conductivité électrique de l'eau** : L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 micros siemens par mètre à 20°C. Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et varie avec la température [18].

I.6.1.6. Les propriétés optiques :

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine. L'eau absorbe fortement l'orangé et le rouge dans le visible, d'où la couleur bleue de la lumière transmise en couche épaisse [21].

I.6.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau :

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solides. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques [20].

L'eau est un solvant : L'eau est le plus formidable solvant naturel à la surface de la terre. L'eau est capable de dissoudre quasiment n'importe quel substrat [22].

Dissoudre un corps, c'est détruire sa cohésion, laquelle est due à des forces électriques qui peuvent être :

- ❖ Interatomiques : liaisons chimiques fortes (covalentes,...).
- ❖ Intermoléculaires : liaison de cohésion entre molécules (liaison hydrogène).

Le pouvoir solvant de l'eau provoque l'altération partielle ou complète de divers liens entre les atomes (dissociation) et dans les molécules (ionisation) du corps [19].

I.6.3. Propriétés biologiques de l'eau :

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants. Il existe un cycle biologique, au cours duquel s'effectue une série d'échanges grâce à l'eau. Celle-ci est le constituant principal (en volume) des êtres vivants, et plus particulièrement du protoplasme de toutes les cellules [8].

I.7. Répartition de l'eau sur la planète :

On a coutume de qualifier la Terre de "planète bleue", car l'eau recouvre les trois quarts de sa surface. Mais la majorité de l'eau présente sur Terre est salée et l'eau douce, bien qu'abondante, n'est pas bien répartie entre les différents pays ou régions du globe et dépend de l'alternance entre années sèches et années humides [7].

Le volume total de l'eau de l'hydrosphère est estimé à 1 400 millions de km³. 70 % de la surface du globe sont d'ailleurs recouverts d'eau.

Toutefois, si la Terre est bien la planète de l'eau, c'est avant tout la planète de l'eau... salée, cette dernière représentant 97,2 % du volume. Il ne reste donc plus que 2,8 % pour l'ensemble des eaux douces des terres émergées : glaces, eaux souterraines, cours d'eau, lacs. 70 % de ces eaux douces sont concentrées dans les glaces des pôles et la majeure partie du reste se trouve dans les sols, sous forme d'humidité, ou dans des nappes souterraines très profondes, inexploitable pour l'homme [23].

Réservoirs	Volume (x10 ¹⁵ m ³)	% Total
Océans	1350	97
Glaciers (calotte glacière)	33	2,4
Eaux souterraines	8	0,6
Lacs	0,1	<0,01
Eau dans le sol	0,070	<0,01
Eau dans l'atmosphère	0,013	<0,001
Rivières	0,0017	0,0001
Eau dans la matière vivante	0,0011	0,0001
Total	1391	100 %

Tableau I.1 : Répartition de l'eau dans le monde [24].

Au final, l'homme ne peut utiliser que moins d'1 % du volume total d'eau douce présent sur Terre, soit environ 0,028 % de l'hydrosphère. Ceci englobe les cours d'eau, les réservoirs naturels ou artificiels (lacs, barrages...) et les nappes souterraines dont la profondeur n'est pas trop importante pour qu'elles soient exploitables à des coûts abordables [23].

I.8. Les ressources de l'eau dans la nature :**I.8. 1. Les eaux de pluie :**

Théoriquement, les eaux de pluie ou de précipitation sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine en ajoutant bien sûr à ces eaux les éléments nécessaires pour qu'elles deviennent potables tels que les sels minéraux. Il devait s'agir d'eau distillée, mais en réalité et surtout dans les régions industrialisées, ces eaux peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de leurs captage freinent l'utilisation de cette source [16].

I.8.2. Les eaux de surface :

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leur parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [20].

I.8.3. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont habituellement de bonne qualité. La composition des eaux souterraines est fonction de la composition des sols qui les contiennent. On peut cependant noter d'une façon générale l'absence d'oxygène, une faible turbidité, et une forte minéralisation. De plus, les eaux souterraines sont de composition relativement constante. La présence de fer et de manganèse et l'agressivité de l'eau due à la haute teneur en dioxyde de carbone (CO_2) sont les principales sources de problèmes avec ces eaux [24].

I.8.4. Les eaux de mer et les eaux saumâtres :

La salinité mesure la concentration en sels dissous ; elle s'exprime en [g/L]. Du fait que les quantités de sels dissous sont souvent très inférieures au gramme, l'unité communément utilisée est le [mg/L] ou encore le [p.p.m] chez les Anglo-Saxons. On notera que cette dernière unité n'est pas strictement équivalente puisqu'elle exprime des [mg/kg] [8].

I.8.4.1. L'eau de mer :

✎ Salinité de l'eau de mer :

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitations-évaporation. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques :

- Mer Méditerranée 36 à 39 g/l
- Mer Rouge ~ 40 g/l
- Mer Baltique 7 g/l
- Mer Caspienne 13 g/l
- Mer Morte 270 g/l
- Golfe Arabo-Persique 40 à 70 g/l
- Mer Noire 20 g/l [25].

✎ Les compositions de l'eau de mer :

Toutefois, dans le cas des mers ouvertes, la proportion des différents sels en présence est relativement constante. En particulier, la somme des ions chlorures et sodium représente environ 85% du poids total des sels. Par contre, dans les mers fermées ou les grands lacs salés, la concentration par évaporation à partir d'apports d'eaux de surface faiblement salées mais relativement différentes de celle de l'eau de mer, conduit quelquefois à des compositions ioniques très particulières [25].

	Composition de l'eau de mer (g/L)	Proportion (%)
Sodium	11,035	30,64%
Magnésium	1,330	3,69%
Calcium	0,418	1,16%
Potassium	0,397	1,10%
Strontium	0,014	0,04%
Chlorures	19,841	55,08%
Sulfates	2,769	7,69%
Bicarbonates	0,146	0,41%
Bromures	0,068	0,19%
Fluorures	0,001	0,00%
Total	36,02	100%

Tableau I.2 : Composition chimique de l'eau de mer [26].

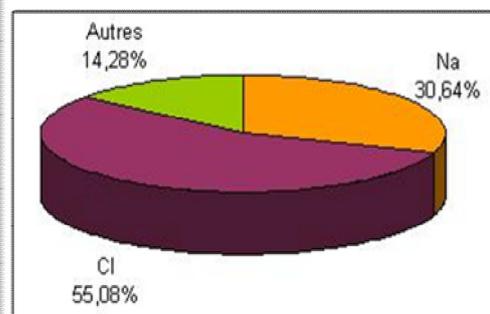


Figure I.5: Composition standard de l'eau de mer [26].

I.8.4.2. Eau saumâtre :

L'eau saumâtre est un milieu où l'eau douce rencontre l'eau de mer. On en trouve dans les estuaires, les embouchures de fleuves. Mais pour réaliser un tel milieu, il faut veiller à bien respecter certains paramètres. La marée et la saison des pluies jouent un rôle essentiel.

Les lagunes possèdent aussi des eaux saumâtres mais c'est aussi le cas de certaines mers comme la mer Baltique ou bien l'océan Arctique lors de la fonte de la banquise. Certains lacs peuvent aussi avoir des eaux saumâtres lorsque des infiltrations de sel parviennent à saliniser l'eau douce [27].

✎ La salinité des eaux saumâtres :

Les eaux saumâtres sont des eaux salées non potables qui ont une salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Elles contiennent généralement entre 1 et 10 g/l de sel.

Les eaux saumâtres sont parfois des eaux de surface, mais le plus souvent sont des eaux souterraines, elles sont soit chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversé ou bien elles deviennent saumâtres dues aux infiltrations des eaux de mer vers les nappes dans les zones côtières.

Les principaux sels dissous dans ces eaux sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le Na Cl . La déminéralisation des eaux saumâtres est une nécessité pour les régions en situation de pré-stress hydrique [16].

✎ Formation des eaux saumâtres :**❖ Les facteurs naturels :**

- Bassins hydrogéologiques fermés
 - Eaux souterraines se renouvelant
Lentement
 - Niveaux salifères et les processus de concentration sont amplifiés.
- Abondance et Répartition des niveaux salifères.
- Aridité du climat → Pouvoir évaporant important.
- Nappes phréatiques littorales → Invasion marine.

❖ Facteurs liés à l'activité humaine :

- Irrigation par les eaux salées.
- Irrigation par épandage massif d'eaux de crue [28].

Type d'eau	Salinité (mg/l)
Eau douce	< 500
Eau légèrement saumâtre	1000 à 5000
Eau modérément saumâtre	5000 à 15000
Eau très saumâtre	15000 à 35000
Eau de mer	35000 à 42000

Tableau I.3: Classification des eaux selon la salinité [29].

I.9. Conclusion :

L'eau est la source de vie, elle est de toutes les matières la plus importante pour l'existence de l'homme, indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne. Elle est non seulement nécessaire en quantité suffisante mais sa qualité est aussi un paramètre très important.

L'eau, lorsqu'elle est pure, est incolore, inodore et insipide. D'un point de vue biologique, c'est dans l'eau que la vie est apparue et c'est grâce à elle qu'elle se maintient. En effet, l'organisme humain peut vivre pendant près d'un mois sans manger mais ne peut survivre que quelques jours sans boire.

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pour ça, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.



Chapitre II.:

Déssalement des eaux de mer et des eaux saumâtres

I.1. Introduction :

Dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douces sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle. Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau potable ou de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou d'eau de mer [30]. Il peut remédier à la pénurie d'eau et pourrait donc contribuer à remédier à son manque, qui fait obstacle à l'amélioration des niveaux de vie et au développement des secteurs qui en dépendent [31].

Le dessalement peut être effectué grâce à différentes technologies plus ou moins coûteuses mais reste une activité énergivore. Les techniques les plus utilisées sont la distillation et l'osmose inverse. Elles sont depuis de nombreuses années à un stade d'exploitation industrielle [30].

Mais les effets engendrés par celles-ci pourraient être graves et importants ainsi que leurs impacts sur l'environnement provenant principalement du concentré (saumure) produit au cours du dessalement. Il pourrait s'y ajouter les effets des rejets de produits chimiques utilisés dans ces procédés [31].

II.2. Bref aperçu historique :

Le dessalement de l'eau est considéré comme une technique aussi ancienne que la terre elle-même, en effet, le cycle naturel de l'eau, qui consiste à une évaporation à partir des océans et des mers suivie d'une condensation de la vapeur ainsi formée donnant de l'eau douce qui tombe sous forme de pluies et de chutes de neige, est considéré comme le plus grand système de dessalement sur terre. Par ailleurs, il semble que l'homme ait connu ce phénomène depuis fort longtemps. En effet, on trouve dans l'Évangile quelques indications sur « l'échange d'ions », lorsqu'on a utilisé le bois pour adoucir l'eau. Plus tard, Aristote (384-322 av JC), cite dans son livre « Météorologie » que si l'on place un récipient en terre, fermé dans l'eau de mer, l'eau qui rentre dans ce récipient est de l'eau douce suite à la séparation des sels. Quelques traces remontant au 4^{ème} siècle, prouvent également que l'homme connaissait à l'époque le principe de la distillation pour obtenir de l'eau de boisson.

Au 7^{ème} siècle, Jaber ibn Hayane énonça quelques règles de la distillation, mais le premier travail scientifique publié est celui d'Ibn Mansour Moaffak ibn Ali Adaoui vers la fin du 9^{ème} siècle. Quant à la première station rudimentaire, il semble qu'elle soit construite sur la plage

de Tunis en 1650. En 1883, on signala la construction d'une station de dessalement par distillation solaire au Chili, à Saint Salinas. La première station industrielle de capacité 2400 m³ par jour a été construite en 1930 dans une des îles Hollandaises.

Ces procédés de distillation se sont développés à travers le temps, et particulièrement au XIX^{ème} siècle à la suite de l'invention de la machine à vapeur. Durant la deuxième guerre mondiale, ces procédés ont connu une véritable révolution.

A partir des années cinquante, de nouveaux procédés ont fait leur apparition, il s'agit de méthodes qui ne nécessitent pas un changement d'état de l'eau salée pour la dessaler, mais plutôt par une séparation dans la même phase par l'intermédiaire de membranes [32].

II.3. Schéma général d'une installation de dessalement :

On peut diviser une installation de dessalement en 4 postes principaux:

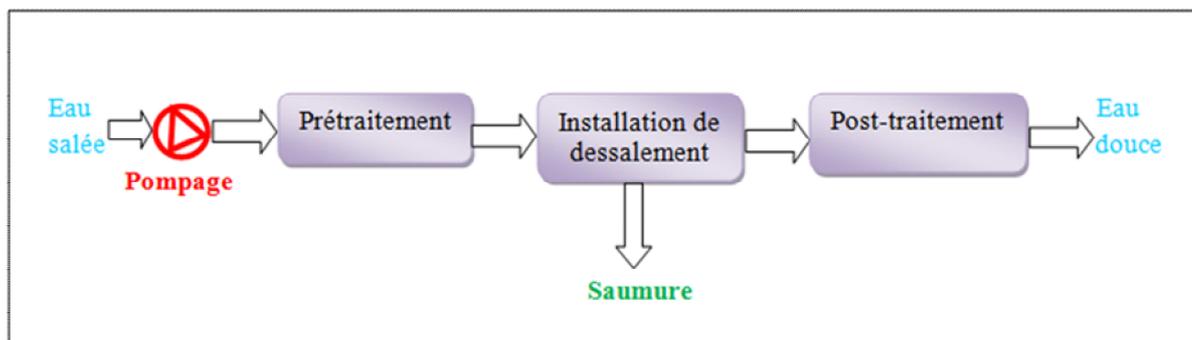


Figure II.1: Schéma général d'une installation de dessalement [33].

II.3.1. L'alimentation en eau de mer :

Peut s'effectuer soit par prise directe, soit par puits côtiers. Ce dernier système permet d'obtenir une eau non turbide, ce qui soulage les prétraitements [33].

Dans le cas où l'eau provient de la mer via une prise d'eau à ciel ouvert, le système comprendra les têtes de prises d'eau, les conduites d'acheminement des têtes de prises d'eau vers les puits de prises d'eau, la station de pompage dans le puits et les conduites à terre, du puits à l'installation de prétraitement. Les têtes de prises d'eau doivent être correctement situées afin d'éviter l'aspiration de matériaux flottants ou de sédiments, pour garantir une alimentation suffisante en eau salée [34].

II.3.2. Le prétraitement:

La salinité, les matières en suspension ainsi que les matières organiques des différents océans ou mers du globe sont très variables. Les systèmes de prétraitement de l'eau de mer avant dessalement ont pour but d'éliminer les matières en suspension et le plancton qui sont susceptibles de colmater les installations de dessalement [35].

Les techniques de prétraitement de l'eau de mer sont :

- ✂ *Chloration* : Bloque la prolifération des organismes vivants. Evite l'obstruction des conduites.
- ✂ *Filtration* : Protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs.
- ✂ *Antitartre* : La distillation favorise la précipitation du carbonate de calcium qui se dépose sur la paroi des échangeurs et réduit le transfert de chaleur [33].

II.3.3. Installation de dessalement :

C'est le système qui retire les sels de l'eau brute (eau saumâtre ou eau de mer). Ce système peut être un «système membranaire », un « système thermique » ou « un autre système ». Le choix de la meilleure technologie de dessalement peut dépendre de la géographie, de l'environnement, de la maturité de la technologie, de l'eau brute et de la qualité de l'eau produite, de la disponibilité des technologies, de l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'installation disponible, de la capacité des opérateurs à faire fonctionner cette technologie, des coûts, ... etc [34].

II.3.4. Le post-traitement :

Permet de potabiliser l'eau en 2 étapes (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée).

- ✂ *Correction de la corrosivité* : le traitement consiste à ajouter du Ca(OH)_2 ou du CaCO_3 .
- ✂ *Désinfection finale* : bien que certains procédés (osmose inverse) retiennent tous les microorganismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine [33].

II.4. Différents procédés de dessalement :

Un auteur a recensé 27 procédés différents de dessalement. Ces différents procédés peuvent être classés en trois grandes familles :

1) Les procédés faisant intervenir un changement de phase :

- ❖ Evaporation.
- ❖ Congélation.

2) Les procédés de perméation sélective à travers une membrane :

- ❖ Transfert d'ions sous l'action d'un champ électrique (électrodialyse),
- ❖ Transfert d'eau sous l'action d'un gradient de pression (osmose inverse).

3) Les procédés chimiques :

- ❖ échange d'ions,
- ❖ extraction par solvant [36].

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent [37].

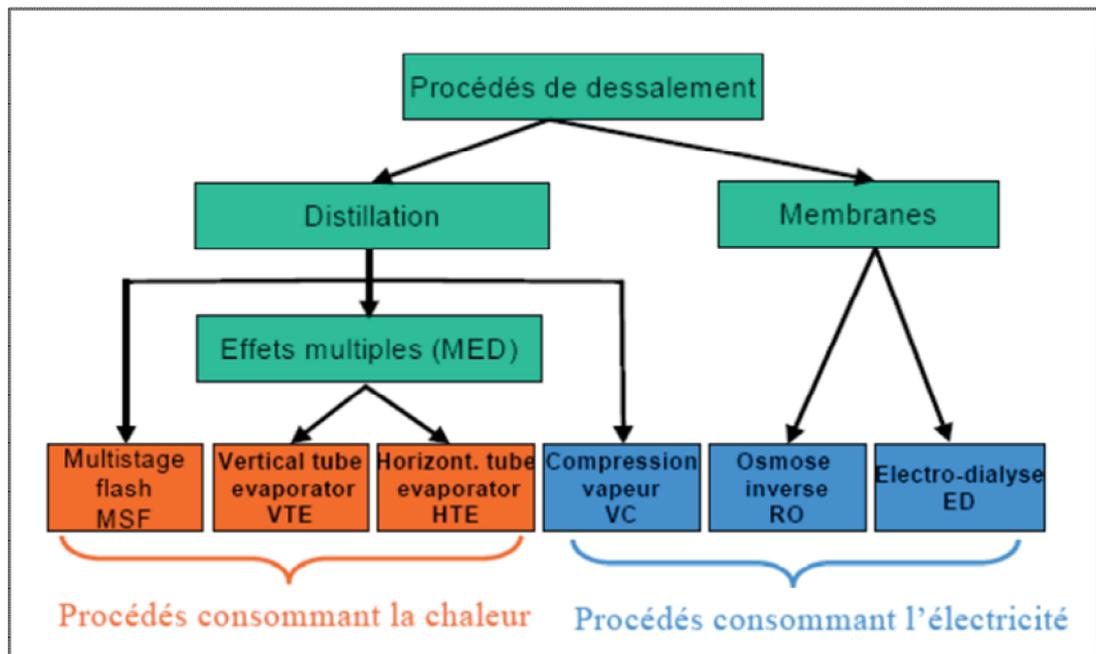


Figure II.2: Les procédés de dessalement [38].

La figure suivante donne en fonction de la salinité de l'eau à traiter, les domaines d'utilisation de plusieurs techniques de dessalement :

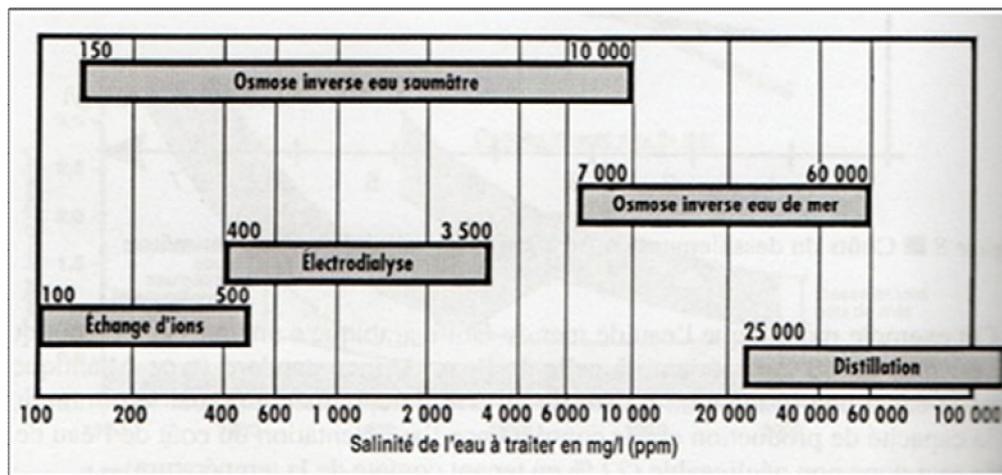


Figure II.3: Domaine d'utilisation des différentes techniques de déminéralisation en fonction de la salinité de l'eau à traiter [26].

II.4.1. Procédés de dessalement par changement de phase :

II.4.1.1. La distillation :

Ce procédé est la première technique historiquement utilisée dans le dessalement de l'eau de mer du fait, probablement, de sa simplicité. Cette méthode consiste à faire évaporer l'eau salée grâce à la chaleur produite par une chaudière ou plus simplement par le soleil. Par ce processus, les sels ainsi que les autres composés dissous se déposent tandis que de la vapeur d'eau s'élève. Cette dernière est ensuite recondensée afin de recueillir l'eau douce [39].

a- Principe :

Sur ce montage, l'eau de mer contenue (en 2) est chauffée au moyen d'un bec bunsen (en 1). L'eau se transforme alors en vapeur et passe (en 3), où sa température est évaluée à l'aide d'un thermomètre (en 4). La vapeur passe ensuite (en 5) dans la colonne réfrigérante (alimentée en eau froide par le 6 et le 7). Elle est alors condensée et redevient donc liquide. Ainsi (en 8) on obtient de l'eau pure et parfaitement potable.

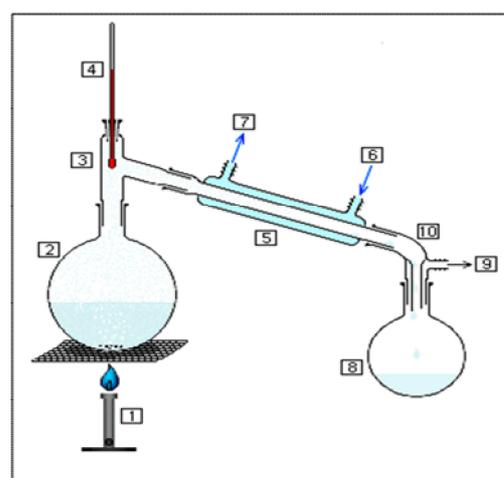


Figure II.4: Principe de distillation [1].

b- Les différents types de distillation :

Les procédés de distillation qui peuvent être utilisés sont les suivants :

- ❖ Distillation à simple effet ;
- ❖ Distillation à multiple effet ;
- ❖ Distillation par détente successive appelée aussi multi flash ;
- ❖ Distillation par compression de vapeur.

✂ Distillation à simple effet :

Les premières unités industrielles de distillation d'eau de mer sont apparues à bord des navires en même temps que la traction à vapeur. C'était dans la plupart des cas des bouilleurs simples à effets à faisceau noyé : l'eau de mer était chauffée dans un récipient étanche par la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire plongé dans l'eau de mer, la vapeur formée était condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute de l'enceinte et parcouru par de l'eau de mer froide [36].

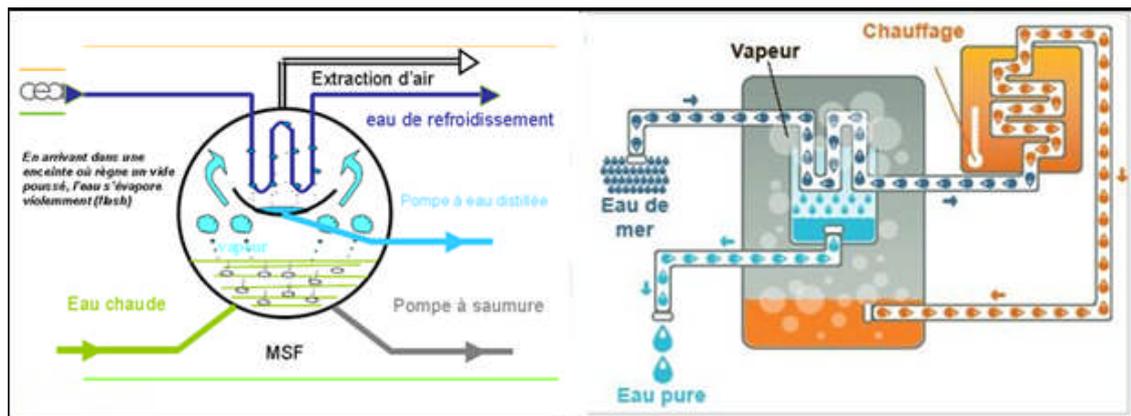


Figure II.5: Schéma d'une distillation à simple effet [40], [41].

✂ Distillation à multiple effet :

Une installation de distillation à effet multiple est constituée par la juxtaposition de n cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (Figure II.6). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule (entre 70 et 80°C), qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide [42].

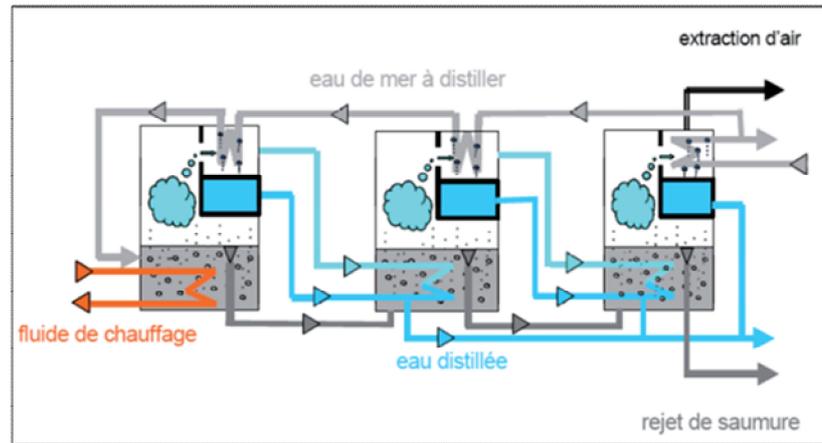


Figure II.6: Distillation à multiple effet [38].

✂ La distillation Multi-Flash (MSF) :

Ce procédé dit « Flash » consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C , elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation partielle instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (Figure II.7) pour se condenser sur les tubes du condenseur placé en haut de l'enceinte et l'eau liquide est recueillie en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène Flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle [2].

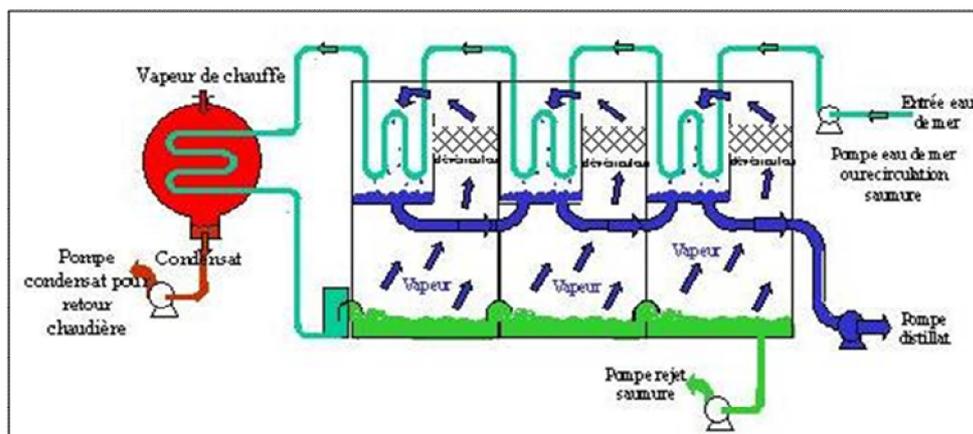


Figure II.7: Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages [43].

✍ La distillation par compression de vapeur (VC) :

Le procédé de distillation par compression de vapeur (VC) est utilisé pour des installations de dessalement de petite ou moyenne capacité. Le procédé par compression de vapeur diffère des autres procédés de distillation en ce qu'il n'utilise pas de source de chaleur extérieure mais la compression de la vapeur d'eau [44].

L'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée, la vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée.

En ce qui concerne le fonctionnement de ce système, l'eau de mer se vaporise, par exemple à la température de 90 °C et à la pression de 0,7 bar absolu. La vapeur ainsi produite est ensuite comprimée jusqu'à la pression de 1 bar absolu, puis envoyée dans le faisceau de chauffe du bouilleur ou elle se refroidit à pression constante, puis se condense en cédant à l'eau de mer la chaleur nécessaire à son ébullition [36].

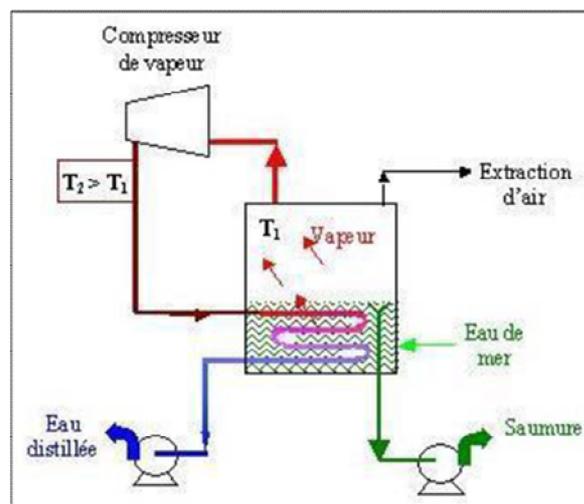


Figure II.8: Schéma de principe d'une unité d'évaporation avec Compression de Vapeur [2].

c- Les avantages et les inconvénients de distillation :

✍ Les avantages :

- ❖ Indépendance à la variation de la qualité d'eau brute ;
- ❖ Utilisation pour des grandes capacités de production d'eau ;
- ❖ Exploitation relativement aisée ;

- ❖ Une eau produite présentant un TDS faible requis particulièrement pour les besoins industriels [37].

✂ Les inconvénients :

- ❖ Un taux de conversion bas (inférieur à 35%) ;
- ❖ Une consommation spécifique d'énergie relativement élevée ;
- ❖ Une non flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau ;
- ❖ Un coût d'investissement élevé [37].

II.4.1.2. La congélation :

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte de sel, et depuis des temps immémoriaux, les riverains des mers arctiques se sont ainsi procuré de l'eau douce [36].

a- Le dessalement par congélation :

Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ -2°C , il y a formation de cristaux de glace constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation. Si l'on fait baisser davantage la température, la production de glace augmente. Signalons cependant qu'au environ de -9°C , le sulfate de sodium décahydraté a tendance à précipiter. Pour produire de l'eau pure, il est donc préférable de ne pas refroidir l'eau au-dessous de cette température.

Le dessalement des eaux de mer par congélation est particulièrement intéressant dans les régions où la température de l'eau est souvent inférieure à 0°C , car dans ces conditions, on peut aménager des bassins à ciel ouvert. Lorsque la température est suffisamment basse, on remplit ces bassins sur une hauteur de 10 à 15 cm, lorsque la couche de glace atteint une épaisseur de 1 à 1.5 cm, on enlève la saumure et on recueille la glace, qu'il ne reste plus qu'à laver et à faire fondre (il faut utiliser 30 à 35% de l'eau douce ainsi produite pour laver la glace et la débarrasser de sa pellicule d'eau de mer) [29].

b- Les avantages et les inconvénients :**✎ Les avantages:**

- ❖ Les appareillages sont moins exposés à la corrosion à de faibles températures comparativement aux températures d'ébullition atteintes lors de l'évaporation de l'eau ;
- ❖ Il n'y a pas de problèmes d'entartrage car les sels restent dissous à faible température ;
- ❖ L'eau douce obtenue est bien minéralisée et bien aérée ce qui constitue une excellente boisson [26];

✎ Les inconvénients:

- ❖ Cette technique est généralement plus onéreuse que l'évaporation de l'eau : la chaleur nécessaire pour congeler de l'eau est plus coûteuse que celle utilisée pour son évaporation ;
- ❖ Il existe une difficulté majeure concernant la séparation des cristaux de glace et de la saumure qui nécessite des opérations complexes : il reste une couche limite de saumure collée aux cristaux [26].

II.4.2. Les procédés membranaires :

Les techniques dites de séparation par membranes, constituent une révolution dans le domaine du traitement de l'eau de mer. Leur principe consiste non pas à éliminer chimiquement les microorganismes mais à les extraire physiquement. Elles n'utilisent aucun réactif chimique, sauf pour leur entretien. Très fiables, elles permettent de produire une eau très pure et de qualité constante [2].

II.4.2.1. L'osmose inverse (OI) :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si l'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 dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si l'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. Si l'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 [24].

L'osmose inverse sera détaillée dans le chapitre III.

II.4.2.2. Electrodialyse :

L'électrodialyse est un procédé à membranes très ancien puisque la première installation date des années 1960. Ce procédé consiste à éliminer des sels dissous dans l'eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique [36].

a- Description du procédé :

Le terme dialyse désigne la diffusion d'un soluté à travers une membrane qui lui est perméable au solvant. L'électrodialyse désigne donc le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique. L'électrodialyse est donc un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution.

L'extraction des ions se fait par migration des ions à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques) sous l'action d'un champ électrique [45].

b- Le dessalement par électrodialyse :

L'électrodialyse est utilisée pour le dessalement d'eau de mer. Sur le schéma ci-dessous, il est présenté le fonctionnement d'une unité en parallèle de dessalement. En fin de chaîne de traitement, on récupère à la fois de l'eau douce et du saumure. Il existe également des unités en série et d'autres modèles de système d'électrodialyse [46].

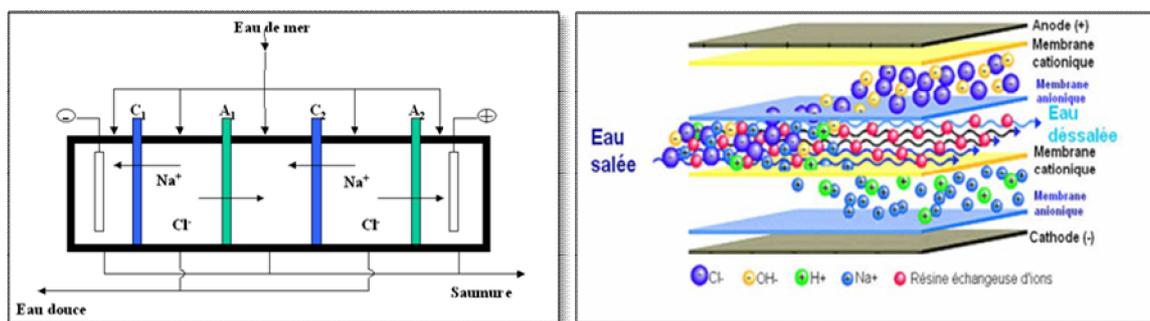


Figure II.9: Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle [45]. **Figure II.10:** Principe de l'électrodialyse [47].

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes, les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative et les ions Cl^- vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des

membranes; c'est à dire les ions Na^+ peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et les ions Cl^- les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments [48].

Souvent, il est nécessaire d'effectuer un prétraitement avant l'électrodialyse car les solides en suspension avec un diamètre supérieur à 10 mm, doivent être éliminés pour ne pas risquer de boucher les pores de la membrane. Seuls les ions sont éliminés dans l'électrodialyse ; les matières en suspension ne sont pas arrêtées par le procédé, et ne font qu'encrasser les membranes, d'où la nécessité d'un prétraitement de l'eau pour la débarrasser des matières en suspension qui sont capables de neutraliser la membrane comme par exemple les anions organiques de grande taille, les oxydes de fer et de manganèse. Ils perturbent l'effet sélectif de la membrane. En principe une filtration préalable, bien exploitée, est suffisante [49].

c- Les avantages et les inconvénients :

✎ Les avantages :

- ❖ L'électrolyse est une technique qui permet d'obtenir une eau de très bonne qualité avec une faible concentration de saumure ;
- ❖ Dans le cas des eaux à faible concentration saline, l'électrodialyse est très compétitive par rapport à l'osmose inverse ;
- ❖ La quantité de courant électrique nécessaire est proportionnelle à la teneur en sel de l'eau, donc elle consomme peu d'énergie quand on dessale une solution à faible teneur en sel telles les eaux saumâtres par exemple, avec une consommation d'énergie de 3-8 kWh/m³ [50].

✎ Les inconvénients :

- ❖ L'électrodialyse ne marche pas pour les solutions ayant une forte concentration en sel et si elle est utilisée pour dessaler des solutions à plus forte teneur en sel que des eaux saumâtres, la consommation grimpe à 15-25 kWh/m³ ;
- ❖ L'électrodialyse n'est pas pratiquée pour traiter les eaux à moins de 0.04% de sels ;
- ❖ Elle s'effectue accompagnée de rejets de saumures faisant ainsi augmenter la salinité des eaux dans laquelle elle est rejetée. Ces rejets entraînent une dégradation du sol et des plantes ainsi qu'une contamination des nappes phréatiques et une perte de la biodiversité [50].

II.4.3. Les procédés chimiques :

II.4.3.1. Echangeurs d'ions :

L'échange d'ions est la technologie de choix pour éliminer des contaminants spécifiques de l'eau potable. Comparé à d'autres procédés, l'échange d'ions est très sélectif et se trouve utilisé dans de nombreuses applications à grande échelle, pour l'élimination ciblée de la dureté, des nitrates, du bore, des matières organiques naturelles, des perchlorates, des chromates, de l'uranium et de divers autres métaux [51].

L'échange ionique se définit par la permutation réversible entre ions structurels d'un matériau, appelé «échangeur ionique», et ions en solution, cette dernière solution étant en contact avec l'échangeur ionique [52].

a- Application en dessalement :

La déminéralisation de l'eau par échange d'ions est obtenue en faisant circuler de l'eau dans des réservoirs contenant des résines cationiques et ou anioniques. La résine cationique est celle qui se charge d'échanger chaque cation (ions chargés positivement) par un cation d'hydrogène. La résine anionique, elle échange chaque anion (ions chargés négativement) par un anion d'oxygène.

Les atomes d'hydrogènes et d'oxygènes auxquels ils leurs manquent des électrons se reconstituent et s'unissent finalement pour former des molécules de matière en l'occurrence de l'eau [53].

b- Les avantages et les inconvénients :

✎ Les avantages:

- ❖ Élimine les ions dissous ;
- ❖ Régénération des résines, par ionisation, par l'utilisation d'acides et de bases ;
- ❖ Solution rentable de purification de l'eau [54].

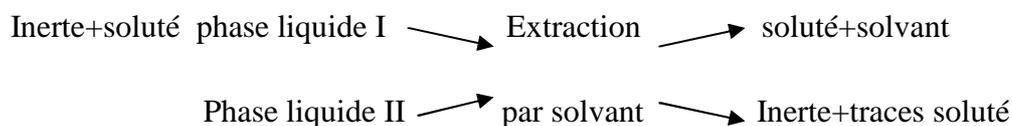
✎ Les inconvénients :

- ❖ N'élimine pas efficacement les bactéries, composés organiques, particules ou pyrogènes ;
- ❖ Capacité limitée, une fois tous les sites d'ions occupés, les ions ne sont plus retenus ;

- ❖ Les lits ionisés à régénération chimique peuvent produire des composés organiques et des particules ;
- ❖ Les résines à usage simple nécessitent une eau prétraitée de bonne qualité pour donner des résultats efficaces et économiques [54].

II.3.2. Extraction par solvants :

L'extraction par solvant est l'opération fondamentale qui permet d'extraire un composé (soluté) d'un liquide, par un autre liquide (solvant). Cette méthode repose sur la miscibilité de certains solvants avec l'eau, sans être solvant pour les sels. On obtiendra de l'eau douce par extraction, on peut schématiser cette opération comme suit :



La phase liquide I est un mélange homogène. Le solvant ne doit pas être miscible avec l'un des deux composés initiaux, l'inerte et le solvant ne sont pas miscibles. Le mode de dispersion des deux phases peut être gravitaire, par agitation ou par pulsation [26].

II.4.4. Autres procédés de dessalement :

II.4.4.1. Distillation solaire :

Le distillateur solaire est probablement le système le plus simple de distillation de l'eau de mer. Il s'agit d'un bassin avec couverture en verre transparent contenant de l'eau salée souvent en forme de V à l'envers. Le bassin est tapissé d'un matériau foncé pour maximiser l'absorption des rayons solaires. Cette installation crée un effet de serre dans lequel le verre permet aux rayons solaires de passer mais où les radiations infrarouges émises par le distillateur sont presque entièrement bloquées par le verre piégeant ainsi la chaleur dans le distillateur. La température obtenue provoque l'évaporation de l'eau salée, la vapeur monte et se condense au sommet de la couverture de verre et glisse sur les rebords inférieurs de la couverture dans le conduit de récupération. Le débit moyen d'un bon distillateur solaire est de 3-4 l/m²/j [34].

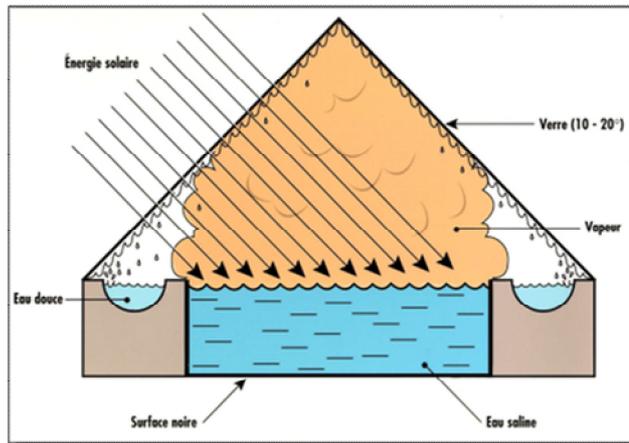


Figure II.11: Principe du distillateur serre [55].



Figure II.12: Distillateur solaire [34].

a- Les avantages et les inconvénients :

✂ Les avantages :

- ❖ Utilise l'énergie solaire ;
- ❖ Simple et facile d'utilisation.

✂ Les inconvénients :

- ❖ Nécessite de grands espaces ;
- ❖ Peu pratique pour de grandes capacités [34].

II.5. Quantité d'énergie nécessaire pour le dessalement :

Théoriquement, la quantité d'énergie minimale nécessaire pour produire un mètre cube d'eau douce est de 0.65 KW par heure, quel que soit le procédé de dessalement utilisé. L'estimation de cette quantité est basée sur les lois de la thermodynamique et repose en outre sur les hypothèses suivantes :

- * Les températures initiales et finales sont identiques ;
- * La salinité de l'eau de mer, de laquelle, on extrait l'eau douce demeure constante.

Lorsque l'on extrait de l'eau douce d'un volume fini d'eau de mer, la salinité de cette dernière varie. On constate alors que la quantité d'énergie requise varie avec le taux de production :

$$\text{Taux de production} = \text{Volume d'eau douce produit} / \text{Volume d'eau de mer utilisé}$$

En pratique, toutefois, les quantités d'énergie utilisées sont beaucoup plus élevées que celles calculées théoriquement. Il faut en effet de l'énergie pour faire fonctionner les équipements mécaniques (moteur, pompes de circulation,... etc.), pour compenser les pertes de chaleur et pour réaliser le traitement lui-même.

En général, la quantité pratique minimale d'énergie nécessaire pour obtenir le dessalement de l'eau de mer est environ 3.5Kw.h/m^3 , quantité à laquelle il faut ajouter l'énergie requise pour acheminer l'eau de mer jusqu'à la station de dessalement [29].

II.6. L'impact de dessalement sur l'environnement :

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants [44].

Cet impact est multiple et se manifeste par :

II.6.1. Rejets atmosphériques :

Les usines de dessalement étant essentiellement alimentées par des énergies fossiles, elles génèrent donc directement ou indirectement des polluants atmosphériques ; gaz carbonique, oxydes de soufre et d'azote, particules solides [50].

II.6.2. Rejets chimiques :

Les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que pour le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissure et antimousse, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée [44].

II.6.3. Rejets de saumures :

Les installations de dessalement rejettent en fait la même charge de sels de l'eau à traiter qu'elles ont reçu, mais dans un volume d'eau moindre, donc plus concentré allant jusqu'à deux fois la concentration initiale dans le cas de l'osmose inverse.

Outre cet excès de concentration qui peut atteindre 70 g/l, ces saumures sont rejetées à des températures plus élevées de 10 à 15°C quand il s'agit d'un procédé de distillation. Ces saumures sont rejetées en mer ou injectées dans le sol.

Les usines de dessalement ont donc un impact négatif sur l'environnement, particulièrement lorsque les saumures sont déversées dans des écosystèmes sensibles. Cet effluent peut être extrêmement dangereux pour la vie végétale et animale si certaines précautions ne sont pas prises. L'élimination de ces saumures dans les zones côtières et intérieures n'aura pas la même incidence.

A l'intérieur des terres, il est possible d'utiliser des étangs à sels, mais le risque de pollution des eaux souterraines demeure si l'étang n'est pas étanche. Le rejet côtier direct, plus simple en apparence, est susceptible d'impacter fortement l'écosystème marin par la modification de sa salinité et de sa température.

Pour limiter l'effet de cet impact, la solution adoptée aujourd'hui est la mise en place de systèmes de diffuseurs permettant de maîtriser la dilution de la saumure avec l'eau de mer et limiter dans l'espace la zone impactée [50].

II.7. Lieu de rejet de la saumure :

Le rejet de la saumure (dont la concentration en sel est bien supérieure à celle de l'eau brute) devrait de préférence se faire en mer, mais au cas où cela ne serait pas possible, elle peut être rejetée dans des puits ou des bassins d'évaporation à l'intérieur des terres. En cas de rejet dans la mer, l'emplacement des décharges devra se situer à distance suffisante de la prise d'eau de mer et orienté de façon que la forte salinité de la saumure ne soit pas absorbée par la prise d'eau. Cela nécessitera de prendre en compte également « l'excès de salinité » (la salinité excessive de l'eau de mer est diluée à 12-15 mètres du point de rejet avec une vitesse de rejet de 6,0 m/s et une concentration de saumure à 5.8% et d'eau de mer à 3.5%) et la direction des courants marins au lieu de rejet [34].

II.8. Problèmes techniques rencontrés en dessalement :

Les problèmes rencontrés dans les différents procédés de dessalement sont principalement liés à l'utilisation de solutions salines concentrées ou à la production d'eaux agressives (excès de gaz carbonique par rapport à l'équilibre). Ce sont la corrosion, l'entartrage et le colmatage.

II.8.1. La corrosion :

La corrosion des matériaux par l'eau de mer est un phénomène important qui conditionne la durée de vie des installations, donc leur coût. Elle dépend d'un certain nombre de facteurs, comme :

- ❖ la teneur élevée en chlorures, la teneur en oxygène dissous, la présence de H_2S ;
- ❖ la présence de particules solides, de bactéries, d'organismes marins (algues) ;
- ❖ la conductivité.

Cette dernière, très élevée en eau de mer, peut conduire à des effets galvaniques si les matériaux ne sont pas judicieusement choisis. L'utilisation dans le circuit haute pression d'osmose inverse d'aciers austénitiques ou ferriques voire de titane (coût élevé) est recommandée malgré des surcoûts importants. Il en est de même pour les évaporateurs dans lesquels circulent de l'eau de mer à haute température.

La production d'eaux trop agressives par distillation ou par osmose inverse implique une remise à l'équilibre de ces eaux avant injection dans les réseaux d'eau potable et parfois une reminéralisation lorsque la teneur en sels dissous est insuffisante. Dans le premier cas, une simple neutralisation peut être suffisante par exemple à la chaux ou la soude, mais dans le second, l'ajout de chaux doit être combiné à celui de gaz carbonique [56].

II.8.2. L'entartrage (Scaling) :

L'entartrage est un problème de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. Les dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium ($CaCO_3$), de l'hydroxyde de magnésium ($Mg(OH)_2$) et du sulfate de calcium. Pour qu'il y ait dépôts de tartre sur une surface d'échange, deux conditions principales doivent être réunies :

- ✎ *Une condition thermodynamique* : il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est-à-dire qu'il y ait sursaturation.

✂ *Une condition cinétique* : il faut que la vitesse de déposition soit suffisamment rapide [26].

L'entartrage est lié à la formation de solides amorphes ou cristallisés qui est fonction de la température (diminution de la solubilité quand la température augmente) et de la composition de l'eau [56].

II.8.2.1. Différents moyens de lutte contre l'entartrage :

La formation de tartre doit être évitée pour maintenir un fonctionnement correct des installations. Une première solution consiste à jouer sur le procédé même : apport d'énergie calorifique supplémentaire dans le cas des procédés de distillation, application d'une pression supérieure dans celui des procédés membranaires. Une deuxième solution consiste à prétraiter l'eau par :

- ❖ l'ajout d'acide qui induit une décarbonatation du milieu par dégazage du gaz carbonique formé à partir des hydrogénocarbonates ;
- ❖ l'ajout de chaux et de germes de cristallisation qui favorisent la précipitation du carbonate de calcium ;
- ❖ l'emploi d'inhibiteurs d'entartrage : polyphosphate, organophosphate, polymères polycarboxyliques.

Quelle que soit la solution adoptée, elle augmente le coût du dessalement [56].

II.8.3. Le colmatage (Fouling) :

Les dépôts qui sont à l'origine du colmatage (fouling) des surfaces d'échange peuvent être classés en trois catégories :

✂ *Les dépôts minéraux*: qui correspondent au phénomène d'entartrage ou scaling constitués principalement par CaCO_3 , CaSO_4 , H_2O

✂ *Les dépôts organiques* : tels que les matières en suspension, les acides humiques et fulviques, les micro-organismes ainsi que les produits excrétés par les micro-organismes (polysaccharides).

✂ *Les dépôts colloïdaux* : tels que la silice et les hydroxydes de fer, de manganèse d'aluminium... [25].

II.8.3.1. Biofouling :

Le biofouling peut être défini comme un colmatage dû à des micro-organismes (bactéries principalement), mais aussi des micro-algues, champignons :

- ❖ soit directement par le développement d'une biomasse ;
- ❖ soit indirectement par les métabolites produits par les micro-organismes (polysaccharides) [26].

II.8.3.2. Différents moyens de lutte contre le colmatage :

Comme pour les autres problèmes, il est possible de réduire le colmatage par un prétraitement adéquat : dans certains cas une étape de coagulation-floculation suivie d'une filtration sera indispensable [56].

II.9. Les avantages et les inconvénients de dessalement :**✂ Les avantages :**

Le dessalement de l'eau de mer présente de nombreux avantages :

- ❖ D'une part, il peut s'avérer très utile dans les situations d'urgence, lorsque les réserves d'eau ont subi des infiltrations d'eau salée, à la suite, par exemple, de marées salines, comme cela s'est produit récemment avec les tsunamis en Asie.
- ❖ D'autre part, l'irrigation à base d'eau dessalée est bénéfique pour l'environnement car elle permet une salinisation réduite du sol [23].

✂ Les inconvénients :

Le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau douce. Toutefois, quelque soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- ❖ Besoins énergétiques importants ;
- ❖ Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes ;
- ❖ Traces de métaux lourds échappés des installations ;
- ❖ Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements [57].
- ❖ Un volume d'eau produit insuffisant comparé au volume d'eau de mer prélevé.
- ❖ La dégradation de l'environnement marin due à l'extraction et au rejet d'eau avec une quantité de sels très élevée (rejet des concentrât) [58].

II.10. Conclusion :

Toutes les techniques de dessalement sont très intéressantes au vu de leurs performances et de leur rentabilité, notamment grâce aux innovations techniques des 10 dernières années qui ont déclenché une baisse de coûts de dessalement significative et une augmentation globale de la puissance des usines à dessalement. Rendre potable ces millions de km³ d'eau de mer a toujours été une perspective plaisante pour l'Homme et grâce à toutes ces nouvelles techniques, les procédés sont désormais rendus possible tout en étant rentables.

Malgré cela, on redoute maintenant que ces usines à dessalement nuisent trop gravement à l'Environnement. A nous maintenant d'utiliser le dessalement avec prudence et discernement, mais seulement là où le dessalement est établi comme pouvant répondre à un besoin réel en eau tout en restant rentable et en atténuant les risques pour l'Environnement [1].



Chapitre III: Osmose inverse

III.1. Introduction :

Au début du XXe siècle, s'inspirant de la nature osmotique des parois cellulaires, des chercheurs avaient avancé l'idée de l'utilisation d'une membrane pour séparer le sel de l'eau de mer. Dans les années 1960, des chercheurs américains et japonais, qui avaient développé des membranes semi-perméables à des fins industrielles, se rendirent rapidement compte que ces mêmes membranes pourraient être utilisées pour dessaler l'eau de mer.

Dans la nature, l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques. Mais le procédé industriel est qualifié d'«osmose inverse» car, à l'aide d'une forte pression P (supérieure à la pression osmotique), de l'ordre de 80 bars, on force l'eau salée à passer du compartiment le plus concentré en sel au compartiment d'eau douce. Comme les deux compartiments sont séparés par une membrane, le compartiment d'eau douce s'enrichit en fait en eau douce. Dans la réalité, si on avait laissé faire la nature, sans imposer ni membrane ni pression, l'eau douce se serait chargée en sel et l'eau salée se serait diluée [59].

L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer l'eau et arrêtent tous les sels. Cette technique est utilisée pour :

- ❖ Le dessalement des eaux de mer ;
- ❖ Le dessalement des eaux saumâtres ;
- ❖ La production d'eau ultra pure ;
- ❖ La production d'eau de process... [60].

III.2. Principe de l'osmose inverse :**III.2.1. Qu'est-ce que l'osmose? :**

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous. Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane. La différence de hauteur est appelée pression osmotique [46].

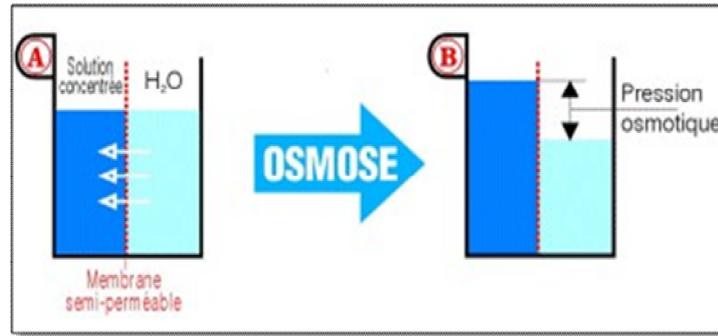


Figure III.1: Phénomène de l'osmose [38].

III.2.2. Qu'est-ce que l'osmose inverse ? :

L'osmose inverse consiste à faire passer l'eau au travers des membranes semi-perméables, sous l'effet de la pression différentielle de la solution concentrée vers la solution diluée. Le taux d'élimination est exprimé en pourcentage de la salinité totale, la réduction de salinité de l'eau saumâtre est supérieure à 92% contre plus de 98,5% pour l'eau de mer [35].

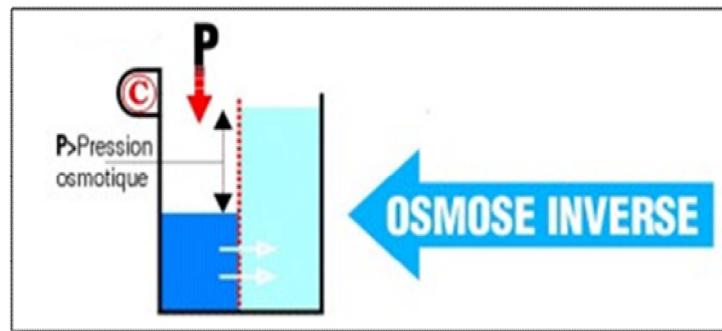


Figure III.2: Procédé de l'osmose inverse [38].

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 qui passe à travers la membrane ou *perméat* (débit Q_p) ;
- ⇒ Une partie qui ne passe pas à travers la membrane, appelée *concentrât* ou *retentât* (débit Q_c), et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane [60].

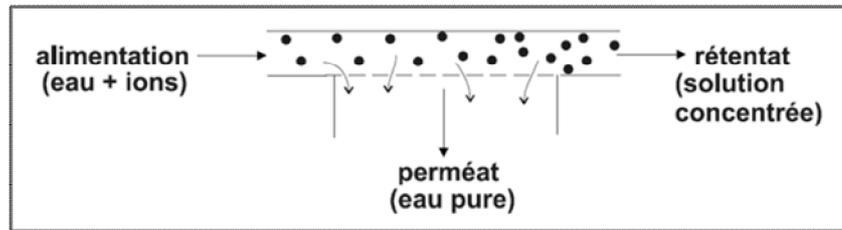


Figure III.3: Séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane [61].

III.3. Pression osmotique:

La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van't Hof qui exprime que la pression osmotique exercée par un soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume (V) et à la même température (T). Si le soluté est dissocié en i ions, la pression osmotique sera i fois supérieure [61].

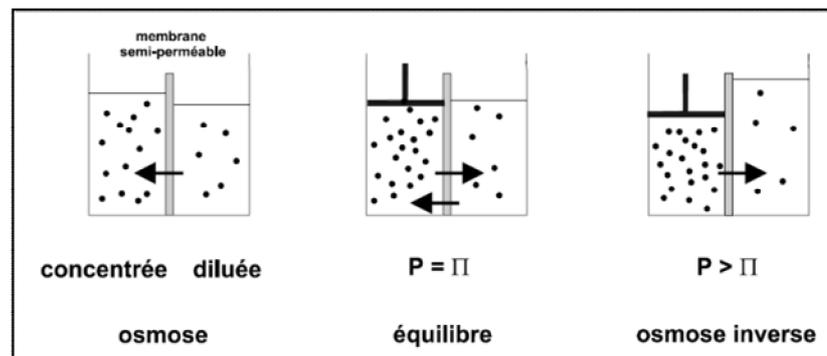


Figure III.4: Pression osmotique [60].

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en solutés :

$$\Pi = i \cdot C \cdot R \cdot T$$

Avec :

Π : Pression osmotique (bar) ;

i : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte ;

C : Concentration molaire ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) ;

R : Constante des gaz parfaits ($0,082 \text{ L} \cdot \text{bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ;

T : Température absolue (K) [62];

Dans le cas d'une solution saline, la pression osmotique peut être, en première approximation estimée à 0.7 bar par gramme/litre de salinité :

$$\Pi = 0.7 C$$

Avec :

Π : pression osmotique (bar) ;

C : concentration (g/l) [36].

III.4. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse:

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure III.5.

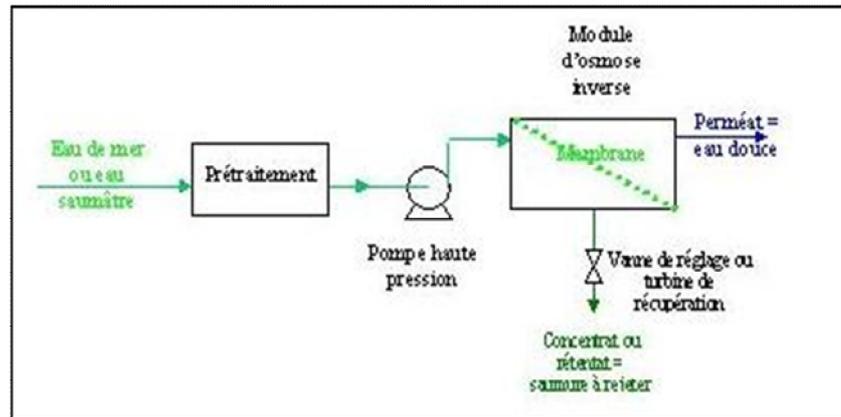


Figure III.5: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse [43].

III.4.1. Prise d'eau de mer :

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une eau de la meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matières en suspension. Dans ce cadre, deux technologies peuvent être utilisées : les forages côtiers et les prises d'eau de surface qui vont dépendre de la localisation géographique de l'usine.



Figure III.6: Tuyau de captage de l'eau de mer (Ténès, willaya de Chlef) [63].

III.4.2. Le prétraitement :

Destiné à optimiser les performances et la durée de vie des membranes d'osmose inverse, le prétraitement est une étape clé dans la conception des installations de dessalement.

Les eaux de mer brutes peuvent connaître une forte variation de leur composition (matières organiques, algues) en fonction de paramètres géographiques, saisonniers (température, luminosité), ou encore de la pollution locale (par exemple, aux hydrocarbures). La qualité des eaux saumâtres peut également varier, mais dans une moindre mesure.

Afin de limiter la vitesse d'encrassement et le colmatage des membranes d'osmose inverse, la chaîne de prétraitement doit être adaptée aux caractéristiques de l'eau brute afin de réduire de façon significative :

- ❖ La turbidité et la quantité de matières en suspension (MES) : la turbidité doit être en effet inférieure à 0,1.
- ❖ L'indice de colmatage (SDI) : la valeur cible moyenne de l'indice de colmatage doit être inférieure à 3 en amont des membranes. Diminuer l'indice de colmatage entraîne l'élimination d'algues, de planctons, de micro-organismes et de composants organiques [64].

Il y a deux types de filières de prétraitement : conventionnelle et à membrane.

III.4.2.1. Prétraitement conventionnel

La filière de prétraitement conventionnel dans une usine de dessalement de l'eau de mer comporte généralement les étapes suivantes :

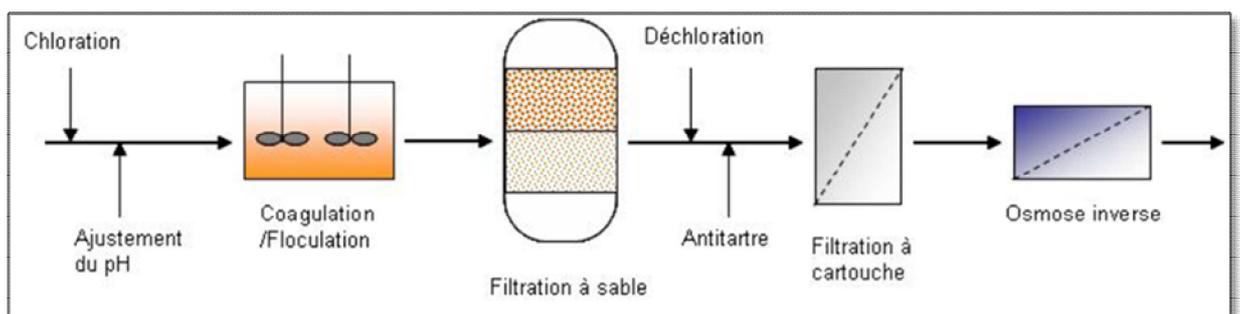


Figure III.7: Prétraitement conventionnel [62].

✓ Préfiltration grossière :

L'eau passe d'abord par une étape de filtration grossière permettant d'éliminer les gros matériaux susceptibles d'endommager les installations et de diminuer l'efficacité globale du procédé de traitement [26].

✓ Chloration :

La chloration a pour objectif l'inactivation des micro-organismes (bactéries principalement) mais aussi micro-algues, champignons, qui, outre le fait que certains peuvent être pathogènes, sont à l'origine d'un colmatage important des membranes appelés *biofouling* [26]

✓ Ajustement du pH :

L'addition d'acide comme l'acide sulfurique (H_2SO_4) est nécessaire pour empêcher l'entartrage par $CaCO_3$ [62].

✓ Coagulation et floculation :

La coagulation: le but de la coagulation c'est la neutralisation des charges primaires qui permettent d'annuler les forces de répulsion suivie par le piégeage dans les précipités. Cette neutralisation se déroule par l'intermédiaire des composés de deux métaux lourds Al^{3+} et Fe^{3+} [63].

La floculation : La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquels sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules [29].

✓ La décantation :

Après l'étape de coagulation floculation, si la densité de ces floes est supérieure à celle de l'eau, il y'a décantation [63].

La décantation est peu utilisée en prétraitement avant osmose inverse.

✓ Filtration sur sable mono- ou bicouche :

La filtration sur sable est nécessaire pour éliminer les agglomérats produits lors de la coagulation.

- ❖ le filtre monocouche est constitué par une hauteur de sable de granulométrie comprise entre 0,4 et 1 mm sur une hauteur de 1 m.
- ❖ le filtre bicouche est constitué par une couche de 0,7 m de sable surmontée d'une couche de 0,3 m d'anhracite [26].

✓ Déchloration et antitartre :

Compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, membranes les plus utilisées actuellement, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre avant son entrée dans les modules. Cette déchloration est effectuée :

- ❖ Soit par ajouts de réactifs chimiques : bisulfite de sodium, c'est la solution la plus utilisée car elle est efficace et d'un coût relativement faible.

❖ soit par passage sur charbon actif (poudre ou grains) : des précautions sont nécessaires pour éviter le colmatage des modules d'OI par des fines de carbone [25].

La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres (CaCO_3 , CaCO_4 , $2\text{H}_2\text{O}$...) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres.

Les produits utilisés sont:

- ❖ Les polyphosphates : ces produits sont efficaces et bon marché mais ils peuvent éventuellement former des dépôts d'ortho phosphates par suite de phénomènes d'hydrolyse.
- ❖ Les polymères carboxyliques : efficaces sur la plupart des tartres, ces produits ne posent pas de problèmes pour les rejets. Ils présentent l'inconvénient d'être chers.

L'acidification de l'eau brute, en provoquant la décomposition des bicarbonates, est aussi un moyen efficace de prévenir les dépôts de CaCO_3 [26].

✓ **Filtration sur cartouche :**

La dernière étape du prétraitement conventionnel est la filtration sur cartouche avec une taille de maille de 5 à 10 μm pour protéger les membranes d'osmose inverse.

Le choix du prétraitement conventionnel doit donc être adapté selon la qualité de l'eau de mer brute pour assurer la meilleure qualité de l'eau possible en amont des membranes d'osmose inverse [62].

III.4.2.2. 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 telles que la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF) et la nano filtration (NF). Les avantages majeurs des procédés membranaires sont les suivants:

- ❖ Flux de l'osmose inverse significativement élevé ;
- ❖ Plus faible consommation de produit chimique ;
- ❖ 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 [58].

III.4.3. Le pompage haute pression:

Avant l'entrée dans les membranes d'O.I, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars, en fonction de la température et de la salinité [65].

III.4.4. Récupération d'énergie :

Dans les stations d'eau de mer principalement, où l'on travaille avec des pressions comprises entre 60 et 90 kg/cm², la récupération de l'énergie contenue dans le débit de rejet, est obligatoire pour des raisons énergétiques-économiques.

Au début, on utilisait des turbines Francis, avec des rendements très bas, de l'ordre de 65%, plus tard on a utilisé des turbines Pelton, avec des efficacités supérieures à 80%.

Récemment, ces dernières sont devenues également obsolètes grâce à l'apparition sur le marché des systèmes d'échange d'énergie, qui, outre des rendements supérieurs à 90%, ont, comme caractéristiques, besoin d'une pompe à haute pression approximativement 50% plus petite que celle d'une station conventionnelle, ce qui a induit d'importantes réductions dans la consommation d'énergie [37].

III.4.5. Unité d'osmose inverse :



Figure III.8: Racks d'osmose inverse
(L'installation de SOUK THLATHA)



Figure III.9: Station de dessalement
(SOUK THLATHA)

III.4.6. Poste traitement :

Les post-traitements consistent principalement à reminéraliser l'eau en la diluant avec une autre source d'eau potable afin d'ajuster sa salinité à des salinités acceptables pour la consommation. Sa dureté et son alcalinité sont également augmentées. Un traitement complémentaire pour éliminer le bore et une chloration peuvent également avoir lieu [4].

L'étape de poste traitement comporte deux phases principales.

Ajustement du pH : L'eau produite par osmose inverse est agressive, son pH est inférieur au pH de saturation. Subséquemment, la correction de pH se fait à l'aide d'une solution alcaline, automatiquement en fonction du pH (NaOH). Cette neutralisation a pour but d'éviter les

problèmes liés au CO₂ dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante, car elle présente de multiples inconvénients [63].

Poste chloration : Bien que les membranes d'osmose inverse retiennent tous les micro-organismes (bactéries, virus) ; il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique [25].

III.4.7. Poste de nettoyage chimique :

Périodiquement, les membranes doivent être nettoyées pour les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à diminuer les performances qualitatives et quantitatives du système. Cette élimination est obtenue en faisant recirculer des solutions chimiques acides (pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques) et basiques (pour les dépôts biologiques et bactériens) [66].

Remarque :

Les principaux paramètres pris en compte pour le dimensionnement et l'agencement des systèmes d'osmose inverse sont :

- ❖ La salinité et la qualité de l'eau d'alimentation ;
- ❖ Le taux de récupération ;
- ❖ La température de l'eau ;
- ❖ La pression de service ;
- ❖ Les spécifications de qualité de l'eau produite.

La fiabilité de fonctionnement et la durée de vie des systèmes d'osmose inverse dépendent de la qualité du prétraitement mise en œuvre dans la filière globale [35].

III.5. Mode de fonctionnement des systèmes membranaires:

Il y a deux types de fonctionnement des systèmes membranaires: la filtration frontale (Dead-end) et la filtration tangentielle (cross-flow) [46].

III.5.1. Filtration frontale:

En mode frontal (Figure III.10), le flux d'alimentation arrive dans la direction perpendiculaire au plan de la membrane. Les particules solides et les solutés sont retenus à la surface et leur dépôt entraîne une superposition de couches qui vont progressivement provoquer le colmatage par la formation d'un gâteau. Cela exige un nettoyage périodique [67].

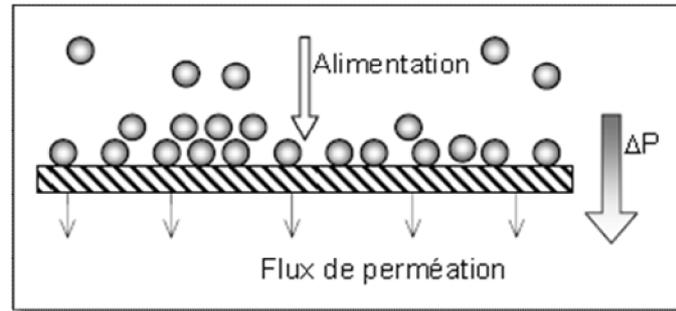


Figure III.10: Présentation du fonctionnement de la filtration frontale [68].

III.5.2. Filtration Tangentielle :

En filtration tangentielle, le fluide à traiter entre dans le module pour venir au contact de la membrane suivant un flux tangential. Dans ce mode de mise en œuvre, il y a donc nécessairement une entrée correspondant à l'alimentation et deux sorties que sont le permeat qui correspond au passage d'une partie du flux initial à travers la membrane et le concentrat ou retentat qui représente le flux qui n'est pas passé à travers la membrane comme l'illustre la figure III.11 [69].

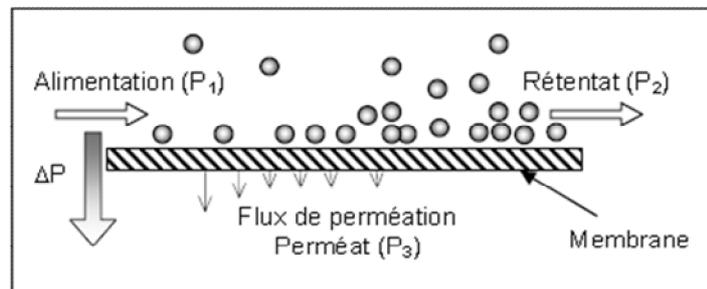


Figure III.11: Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle [68].

Le principal avantage de l'écoulement tangential, par rapport à l'écoulement frontal, est le fait que le mouvement tangential de l'alimentation balaie la surface de la membrane limitant ainsi l'accumulation des particules et réduit par conséquent le processus de colmatage [69].

Suivant la taille des pores du filtre, on peut nommer différemment la filtration :

✓ Nano filtration (NF):

La nano filtration (NF) est un procédé de séparation faisant intervenir la pression comme force motrice. Sa capacité de séparation se situe entre l'ultrafiltration (1 à 10 nm) et l'osmose inverse (0,1 à 1 nm). Les membranes utilisées ont un seuil de coupure, variant de 1 à 5 nm, mettant en perméation les ions monovalents et molécules de diamètre équivalent [67].

✓ **Microfiltration (MF) :**

Ce procédé de séparation solide-liquide met en œuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et 10 μm . Il permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries et indirectement des colloïdes et de certains ions après fixation de ces derniers sur des plus grosses particules obtenues par complexation, précipitation ou floculation [70].

✓ **Ultrafiltration (UF) :**

L'ultrafiltration utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes) Pour cette raison, cette technique est utilisée pour l'élimination des macro-solutés présents dans les effluents, ou encore dans l'eau à usage domestique, industriel ou médical [71].

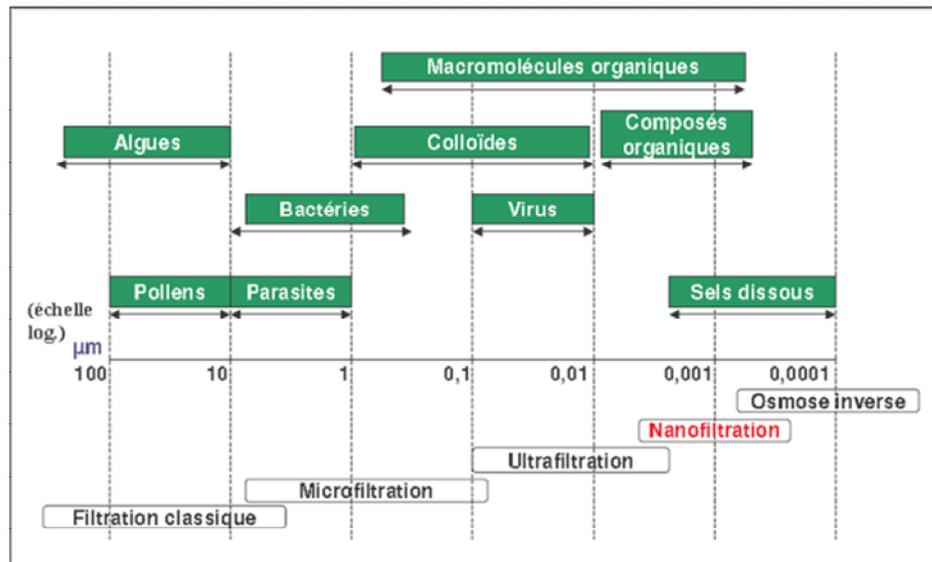


Figure III.12: Taille des matériaux qui sont enlevés par les procédés membranaires [72].

III.6. Paramètres de fonctionnement d'une osmose inverse:

✎ La **pression motrice ΔP** est égale à la pression de refoulement de la pompe diminuée de la pression statique à la sortie du module d'osmose (côté production) et de la perte de charge due à l'écoulement de l'eau.

✎ La **conversion Y** , rapport entre le débit produit et le débit d'alimentation se définit par

$$Y = 100 \times Q_P / Q_A$$

Ce paramètre s'exprime aussi sous la forme du **facteur de conversion FC** :

$$FC = 100 / (100 - Y)$$

Si $Y = 66 \%$, $FC = 3$, les sels seront donc concentrés 3 fois en admettant qu'ils sont entièrement retenus par la membrane.

- ❖ **Le passage de sels PS** se caractérise par le rapport entre la concentration côté production et la concentration côté alimentation :

$$PS = 100 \times C_P / C_A$$

On le note aussi par son complément : **le rejet de sels**, qui est le rapport entre la concentration côté rejet et la concentration côté alimentation [42] :

$$RS = 100 \times C_R / C_A = 100 - PS$$

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

$$R = C_0 - C_P / C_0 = 1 - C_P / C_0$$

Où

C_0 : la concentration de l'espèce à retenir dans la solution ;

C_p : la concentration de la même espèce dans le perméat [61].

- ❖ **Débits spécifiques ou densité de flux volumique** : Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité de flux volumique) doit être le plus élevé possible de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par la même l'investissement [36].

III.7. Mécanisme de transfert :

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

$$\mathbf{J_{\text{solvant}} = A \cdot (\Delta P - \Delta \Pi) \text{ et } Q_P = A \cdot S / \rho \cdot (\Delta P - \Delta \Pi)}$$

Où

A : est la perméabilité de la membrane au solvant ($\text{m}^{-1} \cdot \text{s}$) ;

S : la surface de la membrane (m^2) ;

ρ : la masse volumique du solvant ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ;

ΔP : la différence de pression de part et d'autre de la membrane ;

$\Delta \Pi$: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

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:

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

Où

B : est la perméabilité moyenne de la membrane au soluté ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) ;

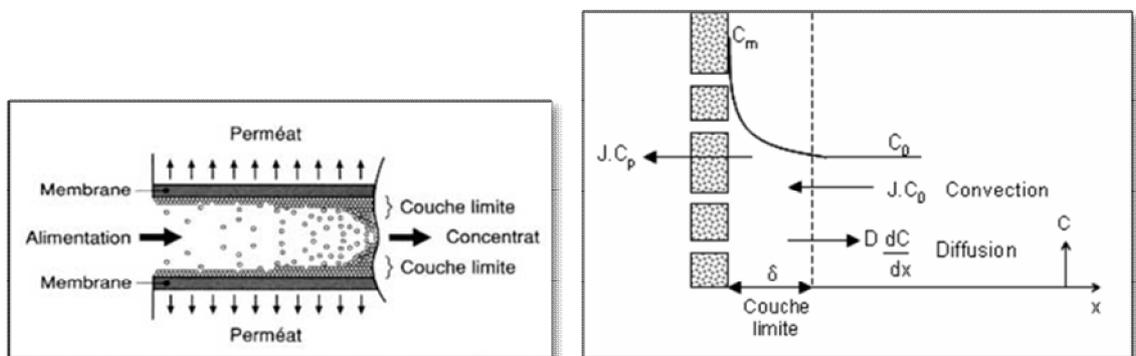
C_0 et C_P : sont respectivement la concentration en soluté de l'alimentation et du perméat de part et d'autre de la membrane ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

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 [73].

III.8. La polarisation de concentration :

La polarisation de concentration est un phénomène inhérent au sein de membranes sélectives. Il correspond à l'accumulation progressive de matières 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 [74].

Un phénomène limitant intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de concentration au voisinage de la membrane. Comme montré dans la figure 11, la polarisation de concentration est caractérisée par une accumulation à la surface de la membrane des espèces retenues. La concentration d'une espèce au voisinage de la membrane (C_m) va augmenter jusqu'à ce qu'un équilibre s'établisse entre le flux transféré à travers la membrane sous l'action du gradient de pression ($J.C_0$) et le flux qui diffuse en sens inverse sous l'action du gradient de concentration, de la couche limite vers la solution ($D \frac{dC}{dx}$). La polarisation de concentration est un phénomène réversible qui disparaît si la force motrice de transfert est annulée. Le facteur de polarisation (γ) est défini par : $\gamma = C_m / C_0$ [62].



a) Mécanisme de la formation de la couche de polarisation.

b) Evolution des différents paramètres à l'interface membrane-solution.

Figure III.13: Phénomène de polarisation [45], [62].

III.9. Membranes d'osmose inverse:

III.9.1. Présentation des membranes

Une membrane est une mince couche de matière permettant d'effectuer une séparation solide-liquide sélective à l'échelle microscopique lorsqu'elle est soumise à une force motrice. Cette force peut être générée par un gradient de pression, de concentration ou de potentiel électrique, de part et d'autre de la membrane [75].

III.9.2. Type de membranes d'osmose inverse :

Parmi les membranes d'osmose inverse utilisées, on peut citer :

✎ Membranes organiques :

Les premières membranes organiques ont été réalisées à partir de dérivés cellulosiques et de polyamides aromatiques. La trop grande sensibilité de ces matières vis-à-vis des bactéries leur a fait préférer les matériaux suivants : Acétate de cellulose, Polysulfone, Aramide, Polyacrylonitrile, Polypropylène. Leur méthode de fabrication est basée sur un mélange de polymère et de solvant. L'évaporation de ce collodion permet de distinguer des zones riches en polymère donnant la membrane et des zones creuses donnant les pores. Les membranes organiques sont assez sensibles au pH acide et aux fortes températures [76].

✎ Membranes minérales ou inorganiques :

Ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement les matières céramiques, le métal fritté et le verre. Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique [77].

✎ Membranes composites :

Elles sont caractérisées par une structure assymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique [71]. Elles peuvent être organiques, organo-minérales ou minérales;

✎ 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 [78].

III.9.3. Durée de vie des membranes :

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la membrane mais aussi de ses conditions d'utilisation, notamment:

- ❖ La Pression de fonctionnement ;
- ❖ La Température de l'eau ;
- ❖ Le pH de l'eau ;
- ❖ La qualité du prétraitement.

Enfin, la notion même de la durée de vie d'une membrane n'est pas très nette. Les performances d'une membrane d'osmose inverse évoluent lentement au cours du temps et en général on change les membranes lorsque la qualité du perméat dépasse un certain seuil. Mais pour différentes raisons, l'exploitant peut très bien augmenter la durée de vie des membranes en faisant fonctionner l'installation au-delà de ce seuil [36].

III.10. Les modules d'osmose inverse :

III.10.1. Définition des modules:

Les appareils unitaires de séparation, mettant en œuvre des membranes, sont appelés « cartouches » ou « modules ». Leur conception est différente suivant la forme de la membrane et doit, à la fois, assurer une circulation suffisante à la surface de celle-ci et présenter une bonne compacité. Ils sont aussi conçus en fonction de l'application à venir et doivent satisfaire aux facilités d'exploitation (montage, démontage, nettoyage) [76].

III.10.2. Les types de modules :

Les modules supportent les membranes. Actuellement quatre types de modules sont commercialisés :

✎ Les modules tubulaires :

Les membranes sont placées ou formées à l'intérieur d'un tube support, poreux ou percé de trous de drainage, et de diamètre variant de 10 à 40 mm. Ces tubes sont ensuite placés en parallèle ou en série dans une enveloppe cylindrique pour constituer le module unitaire.

L'hydrodynamique de l'écoulement est parfaitement définie et des vitesses de circulation pouvant atteindre $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ sont possibles si un régime de forte turbulence est nécessaire. Ces modules ne nécessitent pas de préfiltration fine du liquide à traiter et sont faciles à nettoyer.

Leur inconvénient majeur est leur faible compacité et un prix de revient élevé par m^2 installé [21].

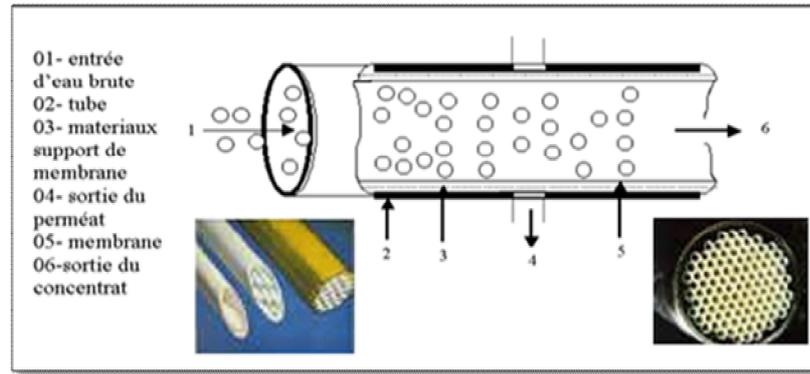


Figure III.14: Module à membrane tubulaire [45].

✂ Les modules à fibres creuses:

Ils rassemblent un ensemble de fibres creuses de quelques centimètres à un mètre de longueur et dont l'épaisseur est de l'ordre de 100 à 200 μm en un faisceau de diamètre inférieur à 3 mm. Elles sont assemblées en parallèle selon deux configurations possibles :

- ❖ **Int-Ext** : la solution à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangentiel. Cette technique est habituellement utilisée lorsque l'on est intéressé par le concentrât (Figure III.15, schéma a).
- ❖ **Ext- Int** : la solution circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres en mode frontal. Cette technique est habituellement utilisée lorsque l'on est intéressé par le perméat (Figure III.15, schémas b et c) [70].

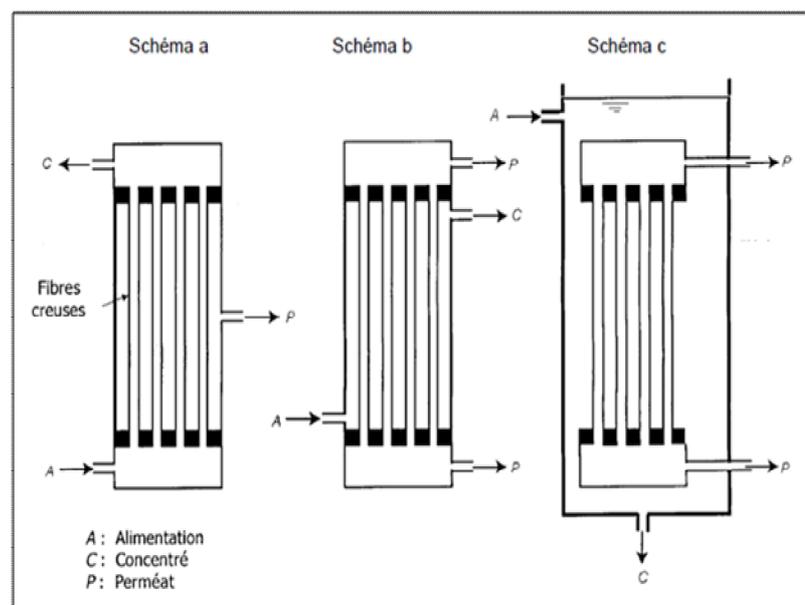
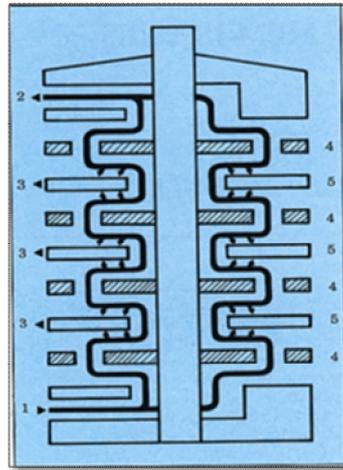


Figure III.15: Modules à fibres creuses [26].

✂ Modules à plaques:

Le système utilise des membranes sous forme de feuilles. Il s'agit du type de configuration (filtre-press) le plus simple. La surface filtrante reste toutefois faible par rapport à l'encombrement [79].



- 1-Entrée d'eau brute.
- 2 - Sortie du concentrat.
- 3 - Sortie du perméat.
- 4-Plaque intermédiaire.
- 5-Ensemble membrane - plaque support membrane.

Figure III.16: Exemple de module à plaques [21].

✂ Les modules spiralés:

Les membranes planes sont enroulées en spirale autour d'un tube creux et perforé destiné à collecter le perméat. Entre les membranes est placé un grillage plastique de 0,8 à 1,2 mm d'épaisseur, qui a pour but de créer une turbulence dans la circulation du fluide. On obtient ainsi un cylindre multi-couches où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux [26].

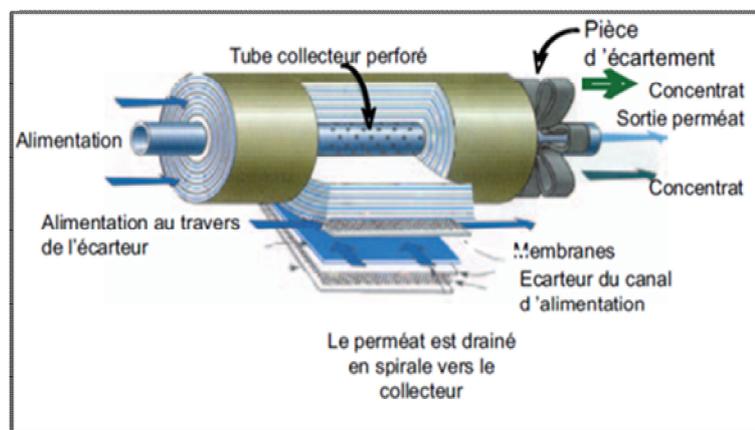


Figure III.17: Description d'un module spiralé d'osmose inverse [80].

III.11. La consommation énergétique et le coût de l'osmose inverse :

Le procédé d'osmose inverse ne faisant pas intervenir de changement de phase doit présenter une consommation d'énergie plus faible que d'autres procédés de séparation telle que la distillation par exemple. En fait, la consommation d'énergie est toujours supérieure au minimum théorique [71].

Comme pour toute technologie, le coût énergétique et économique du procédé doit être réduit au maximum. Le principal coût est celui de la pompe qui doit appliquer la pression de travail et représente une consommation électrique de 7 à 10 kWh. m⁻³ d'eau produite sans récupération d'énergie. Il est plus important pour le traitement des eaux de mer que pour celui des eaux saumâtres moins concentrées. Le coût énergétique et économique augmente également avec la concentration en sels. Outre les systèmes de récupération d'énergie (baisse de la demande énergétique à 5 à 7 kWh. m⁻³), il est intéressant d'envisager le couplage de l'OI avec des sources d'énergie renouvelable comme le solaire, l'éolien ou la géothermie [4].

III.12. Limitations de l'osmose inverse :**III.12.1. Définition du colmatage**

Le colmatage peut être défini comme l'ensemble des phénomènes qui interviennent dans la modification des propriétés filtrantes d'une membrane, exceptées la compaction et la modification chimique. Il s'agit de phénomènes physiques, chimiques, biologiques, se produisant à l'interface membrane-solution ou dans le volume poreux, dont la conséquence est une obstruction des pores entraînant à la fois des variations de perméabilité et de sélectivité [81].

III.12.2. Les types de colmatage :

Dans le cas de l'OI, le phénomène de colmatage peut être classifié en 4 catégories suivantes:

III.12.2.1. Colmatage par entartrage :

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation et l'augmentation rapide de la vitesse de déposition. Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et former une couche fine qui bloque le transfert de matières à travers la membrane. Les dépôts de tartre rencontrés le plus fréquemment dans le dessalement

comportent du carbonate de calcium, du sulfate de calcium, de l'hydroxyde de magnésium et des dépôts de silice [62].

III.12.2.2. Colmatage par dépôt :

Le colmatage d'une membrane peut résulter soit de l'obstruction des pores à l'intérieur même de la membrane (blocage des pores), soit d'un dépôt de matières en surface de la membrane par convection.

✂ **Le blocage des pores :** Il s'agit de la pénétration et du blocage, partiel ou total, des pores de la membrane par des particules sur lesquelles des composés peuvent être adsorbés [82].

✂ **Colmatage par dépôt de matières par convection :** La présence de particules dans les fluides peut conduire au simple dépôt de ces particules à la surface de la membrane, pour peu que leur taille soit supérieure ou égale à la taille des pores de la membrane [78].

III.12.2.3. Colmatage par adsorption :

L'adsorption est un phénomène irréversible dû aux interactions physico-chimiques entre le soluté et la membrane. Elle se traduit par la formation d'une ou de plusieurs couches moléculaires à la surface de la membrane et/ ou à l'intérieur des pores. Il s'agit d'un type de colmatage irréversible c'est-à-dire que son élimination nécessite un lavage chimique adapté [79].

III.12.2.4. Le bio-colmatage :

Toutes les eaux de mer contiennent des microorganismes tels que des bactéries, des algues, des virus, etc. Ces microorganismes excrètent des substances polymériques extracellulaires qui adhèrent à la surface de la membrane et provoquent la formation d'un biofilm.

En osmose inverse, le colmatage par biofilm est un phénomène majeur [62].

III.12.3. Estimation du potentiel de colmatage :

Pour caractériser le colmatage des membranes d'OI, différentes méthodes d'évaluation du potentiel de colmatage d'une eau ont été développées. Les plus utilisées sont le *Silt Density Index* (SDI) et le *Modified Fouling Index* (MFI) [72].

III.12.3.1. SDI (Silt Density Index):

Le SDI est considéré comme un paramètre représentatif du potentiel de colmatage d'une eau saline d'alimentation dans un procédé d'OI. Il dépend de la quantité de particules mais également des autres composants colloïdaux. Un essai de SDI consiste en la filtration d'un échantillon d'eau à travers une membrane de 0,45 µm (microfiltration) de surface filtrante $1,73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ à une pression transmembranaire constante de 2,07 bar. Le SDI est déterminé par une comparaison des temps de filtration, t_1 et t_2 , nécessaires pour obtenir un volume de filtration fixe respectivement au temps 0 et après un temps t .

$$SDI_t = \frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) * 100}{t}$$

Avec :

SDI : Silt Density Index ($\% \text{min}^{-1}$)

t_1 : temps initial pour filtrer un échantillon de 500 mL (sec) ;

t : temps après le départ de la mesure (min) ;

t_2 : temps pour filtrer un échantillon de 500 ml après le temps t (sec).

Le SDI_{15} ($t = 15$ minutes) est défini comme le temps nécessaire pour des essais précis et normalisés [62].

Le SDI doit être inférieur à 5 pour l'OI. L'utilisation du SDI est largement répandue dans le dessalement. Cependant, cet indice présente plusieurs limitations : il n'utilise pas une membrane d'osmose mais une membrane de microfiltration, la pression utilisée pour ce test est très inférieure aux pressions appliquées en OI et les essais sont effectués en mode frontal et non tangentiel comme en OI [4].

III.12.3.2. MFI (Modified Fouling Index):

Il s'agit ici de décomposer la filtration en trois étapes intervenant successivement : blocage de pores, formation d'un gâteau incompressible et formation d'un gâteau compressible.

Pour une filtration frontale à pression constante, la formation d'un gâteau incompressible conduit à une relation linéaire entre t/V et V (Figure III.18).

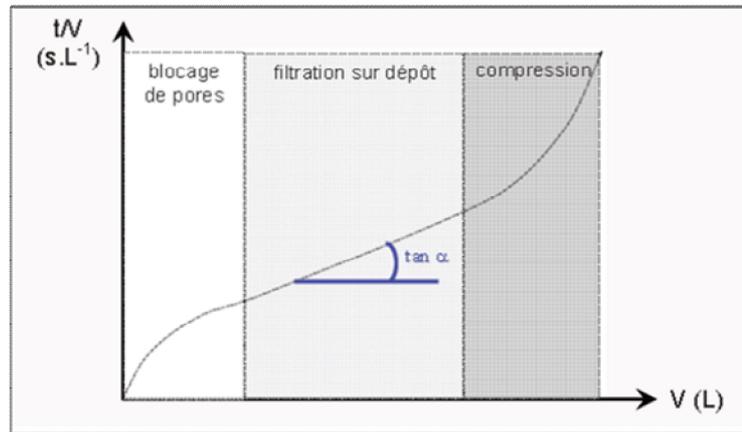


Figure III.18 : Détermination graphique du MFI [83].

Le MFI est alors déterminé graphiquement en prenant la pente de la partie linéaire du tracé $t/V=f(V)$. Il correspond spécifiquement au colmatage par formation d'un gâteau à la surface de la membrane.

Comme une membrane de $0,45 \mu\text{m}$ est utilisée dans ce test, et pour se différencier d'un autre indicateur développé ultérieurement, l'indicateur est noté $MFI_{0,45}$ [83].

De façon pratique, la détermination du MFI est similaire à celle du SDI. Cet indice a donc aussi pour objectif de caractériser la fraction particulaire des eaux plus que directement le colmatage des membranes d'OI. Le volume filtré est mesuré à la pression transmembranaire 210 kPa ($2,07 \text{ bar}$) toutes les 30 secondes pendant le temps maximum de 20 minutes.

Le MFI peut être calculé par :

$$MFI = \frac{\mu_{20}}{\mu_T} \frac{\Delta P}{\Delta P_0} \tan \alpha$$

Avec :

μ_{20} : Viscosité de l'eau à la température 20°C (Pa.s) ;

μ_T : Viscosité de l'eau à la température de la solution (Pa.s) ;

ΔP : Pression Transmembranaire appliquée (kPa) ;

ΔP_0 : Pression Transmembranaire à 210 kPa (Référence) ;

$\tan \alpha$: Pente de la partie linéaire de la courbe de $t/V=f(V)$.

Pour un fonctionnement satisfaisant de l'OI, le MFI recommandé est situé entre 0 et 2 s/L². En pratique, dans les usines d'osmose inverse, le MFI ne peut pas être corrélé avec le colmatage dû aux colloïdes. Ce dernier est certainement lié à la présence de particules colloïdales plus petites que 0,45 µm. Par conséquent, le MFI présente la même limitation dans l'estimation du pouvoir de colmatage que le SDI [62].

III.3.3. MFI-UF (Modified Fouling Index by using Ultrafiltration membrane :

Contrairement aux indicateurs précédents (SDI et MFI_{0,45}), cet indicateur est déterminé à partir d'un test réalisé avec une membrane d'UF donc avec des pores plus fins. Cela vise à mieux caractériser le pouvoir colmatant des eaux qui contiennent des colloïdes assez fins pour passer à travers une membrane dont la porosité est de 0,45 µm. Il est vrai que le gâteau formé sur une membrane de 0,45 µm retient une partie des particules de plus petite taille que celle des pores de la membrane. Mais en choisissant une membrane d'UF de faible SC, tous les colloïdes devraient être retenus. Donc le MFI-UF devrait mieux rendre compte que le SDI et le MFI_{0,45} du colmatage observé en NF ou en OI où les membranes ont des pores extrêmement fins [84].

Le MFI-UF est défini comme le MFI :

$$MFI-UF = \frac{\mu_{20}}{\mu_T} \frac{\Delta P}{\Delta P_0} \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \tan \alpha$$

Avec :

S : Surface de la membrane (m²) ;

S₀ : Surface de la membrane du test de MFI (17,34X10⁻⁴, m²).

Les valeurs de MFI-UF se situent de 2 000 à 13 300 s. L⁻² [62].

III.13. Le nettoyage des membranes :

Trois types de nettoyage sont de façon générale pratiqués :

III.13.1. Les rétro lavages :

Les rétro lavages consistent à inverser le sens d'écoulement au travers de la membrane et le gradient de pression de façon à envoyer le perméat au travers de la membrane et ainsi permettre l'évacuation du dépôt et des particules participant au blocage de pores.

Le succès d'une opération de filtration passe par une bonne efficacité des rétro lavages de façon à maintenir une productivité élevée. Ainsi, si les rétro lavages sont généralement réalisés à l'aide du perméat, il est aussi proposé d'utiliser de l'air et du perméat ou encore uniquement de l'air.

Les rétro lavages, quel que soit leur mode de mise en œuvre, ne permettent généralement pas d'assurer la restauration intégrale à long terme de la perméabilité des membranes [83].

III.13.2. Les nettoyages chimiques :

Le nettoyage chimique est presque toujours nécessaire si l'on veut que l'installation fonctionne suivant ses performances nominales.

La décision d'effectuer un nettoyage chimique d'un module d'osmose inverse peut être liée :

- ❖ Soit à une valeur de la perte de charge que l'on s'impose comme maximum à ne pas dépasser ;
- ❖ Soit à une valeur du débit de perméat lorsque la diminution atteint 20 à 25% par rapport au débit nominale ;
- ❖ Soit à un programme de nettoyage systématique prédéterminé. Ceci est utilisé lorsque l'on a une installation importante qui comporte un nombre élevé de modules. On peut ainsi avoir une partie des modules en nettoyage tandis que le reste assure la production [45].

III.13.3. Nettoyage enzymatique :

Ce type de nettoyage constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans les cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé. Bien que peu énergivores et biodégradables, les enzymes requièrent des temps de traitement plus longs que les traitements chimiques et sont aussi plus coûteux. Pour ces raisons, ils sont peu souvent adoptés [78].

Bien entendu, ces nettoyages présentent plusieurs inconvénients de taille : arrêt de la production pour réaliser le nettoyage, consommation élevée en eau pour rincer l'installation, utilisation de produits chimiques néfastes pour l'environnement, traitement nécessaire des effluents de nettoyage, dégradation des propriétés mécaniques des membranes [83].

III.14. Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse:**✎ Les avantages:**

- ❖ Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ;
- ❖ Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5Kwh/m³) ;
- ❖ Une flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau ;
- ❖ Un coût d'investissement relativement bas ;
- ❖ Une durée de mise en œuvre réduite [37].
- ❖ Après l'osmose inverse on obtient une eau très pure possédant des mesures bioélectroniques parfaites pour la santé, pratiquement identiques qu'à celles des eaux de sources les plus naturelles :
- ❖ pH légèrement acide de 6.6 (idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments et rééquilibre de pH du sang généralement trop toxique).
- ❖ Résistivité élevée 20000 à 30000 ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins [1].

✎ Les inconvénients :

Malgré les avantages, il y a aussi des inconvénients comme:

- ❖ Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions ;
- ❖ Nécessité d'un personnel qualifié ;
- ❖ Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement ;
- ❖ Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent [37].
- ❖ la perte de cinq litres d'eau pour un litre d'eau osmosée car la membrane doit être continuellement nettoyée.
- ❖ Comme l'eau est déminéralisée, elle est agressive et corrosive pour les tuyauteries.
- ❖ l'eau perd tous ses minéraux y compris les minéraux bénéfiques comme certains alcalins, notamment le calcium et le magnésium. Il est donc préférable de reminéraliser l'eau avant de la boire [41].

III.15. Conclusion :

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est à l'heure actuelle un procédé majeur pour la production d'eau potable dans les pays souffrant d'une pénurie d'eau douce. L'objectif principal de cette technique est l'élimination des sels, des matières organiques et des microorganismes présents dans l'eau de mer.

Les avantages de l'osmose inverse sont sa simplicité de mise en œuvre et son faible coût énergétique par rapport au dessalement thermique [61].

Cependant, ce procédé possède encore des limitations. La principale limitation est due à la pression de travail qui doit être appliquée pour vaincre la pression osmotique. Cette pression osmotique est d'autant plus importante que la concentration en sels augmente ce qui limite les taux de conversion pouvant être obtenus avec l'osmose inverse.

De plus, bien que le phénomène de polarisation de concentration contribue à réduire les flux produits, le phénomène de colmatage rend le procédé très sensible à la qualité des prétraitements et le problème de concentrats qui sont rejetés sans traitement dans l'eau de mer, modifie fortement l'équilibre et la biodiversité [4].

PARTIE II

ETUDE EXPERIMENTALE



Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.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 pompage destiné à assurer la pression requise. Les essais ont été réalisés au laboratoire de TTE du Département d'Hydraulique à l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen sur des échantillons d'eaux saumâtres préparés par la dissolution de sel avec l'eau de robinet.

IV.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 NaCl :

- ❖ 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.

IV.3. Le pilote TE200 :



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

IV.4. Description du pilote:**IV.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 m².

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 [84].

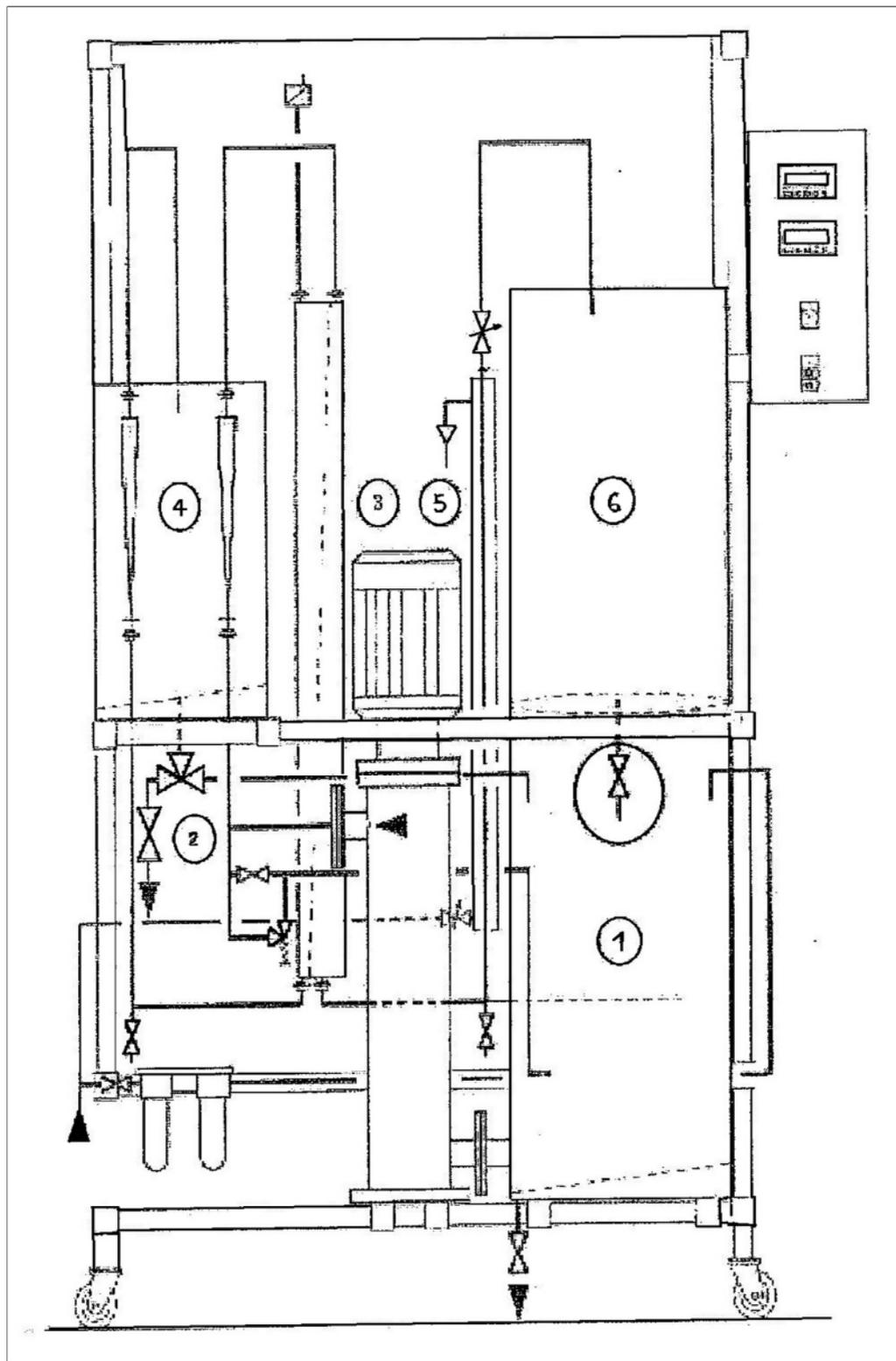


Figure VI. 2 : Construction de pilot TE 200 [76].

VI.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 μ s/cm) et (0 - 200 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 de 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 tous 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 ms/cm et 200 μ 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.

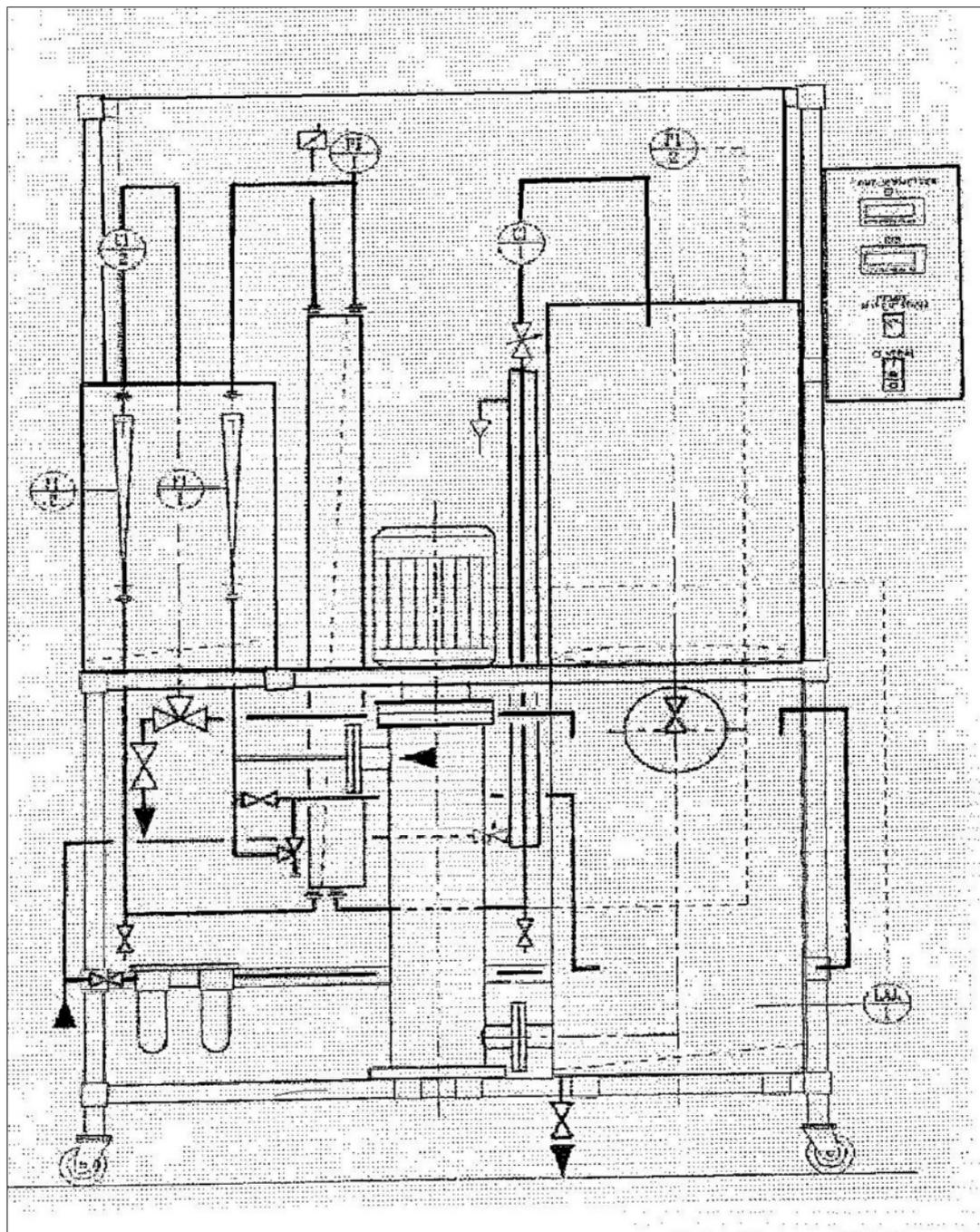


Figure VI.3 : Instrumentation du pilot TE 200 [85].

VI.4.3. Liste des vannes :

VA1: Vanne manuelle d'arrêt alimentation eau naturelle.

VA2 : Vanne manuelle d'arrêt échangeur concentrât.

VA3 : Vanne manuelle d'arrêt sortie perméat.

VS1 : Vanne manuelle sortie cuve alimentation.

VS2 : Vanne manuelle sortie cuve perméat.

VS3 : Vanne manuelle sortie cuve concentrât.

VS4 : Vanne manuelle vidange canalisation concentrât.

VS5 : Vanne manuelle vidange canalisation perméat.

VR1 : Vanne manuelle de réglage by-pass pompe alimentation.

VR2 : Vanne manuelle de réglage sortie concentrât [84].

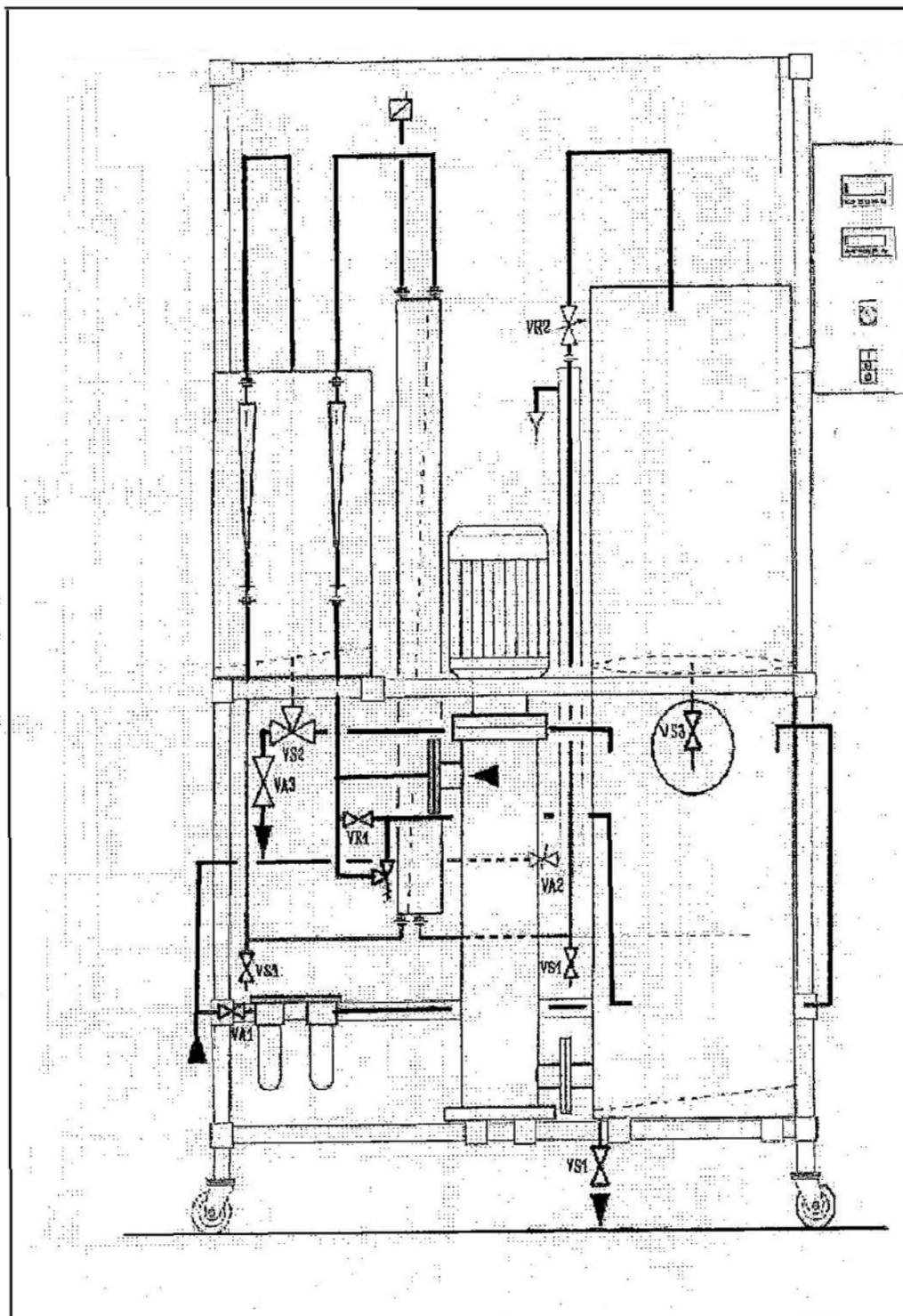


Figure VI.4 : Liste des vannes [85].

IV.5. Expériences :**IV.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 ΔP est définie comme étant la différence de pression entre l'amont et l'aval de la membrane. ΔP 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) [86].
- ❖ 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) [84].

IV.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 à 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 [84].

IV.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 (alimentation 10 bars, 500 l/h) ;

- 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 [84].

IV.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 trios 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].

IV.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 1.5 g/l de NaCl.
- ❖ Régler la pression à l'entrée du module d'osmose à une pression fixe de 6 bars.
Noter les débits d'entrée et de perméat.
- ❖ Renouveler l'opération pour des pressions de 7, 8, 9,10 ,11 ,12 ,13 et 14 bars.
- ❖ Tracer la courbe $Q_p=f(\Delta p)$.

Δp 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:

$$J_m = A * \Delta p$$

Jm: Kg. m⁻².s⁻¹

Ou dans notre cas:

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

Jm: Kg. s⁻¹ ;

S: m² ;

Δp : Pa ;

A: s.m⁻¹.

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

IV.6. Description des appareillages de mesure :**IV.6.1. La conductivité :**

Figure IV. 5: Photo de conductimètre (laboratoire de la station de traitement des eaux -SEKKAK-).

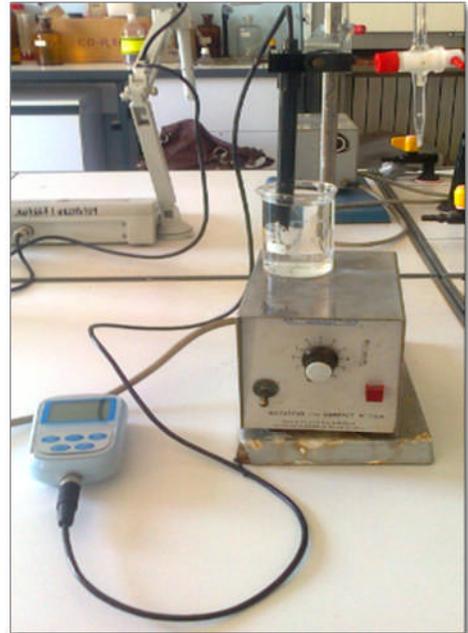


Figure IV.6 : Photo de conductimètre (laboratoire de chimie université Abou Bakr Belkaid – TLEMCEN-)

IV.6.2. Agitateur :

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

IV.6.3. La balance électronique :

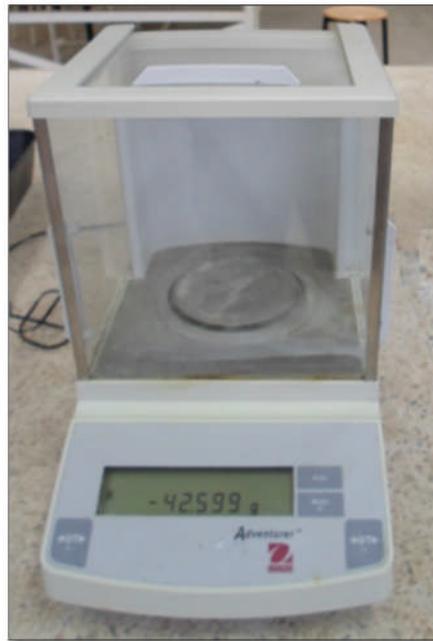


Figure IV.8: Photo de balance électronique (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen)



Chapitre V : Résultats et interprétations

Résultats expérimentaux :**V.1. Perméabilité de la membrane au solvant :**

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Résultats des débits de perméat en fonction des pressions.

Pression (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Pression alimentation *10 ⁶ (Pascal)	Débit perméat *10 ⁻⁵ m ³ /s
6	210	500	10	0,6	0,277
7	230	815	16,3	0,7	0,452
8	250	1000	20	0,8	0,555
9	270	1200	24	0,9	0,666
10	290	1410	28,2	1	0,783
11	300	1635	32,7	1,1	0,908
12	320	1850	37	1,2	1,027
13	330	2010	40,2	1,3	1,116
14	350	2210	44,2	1,4	1,227

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 (m³/s) = J_{v1} (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 :

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

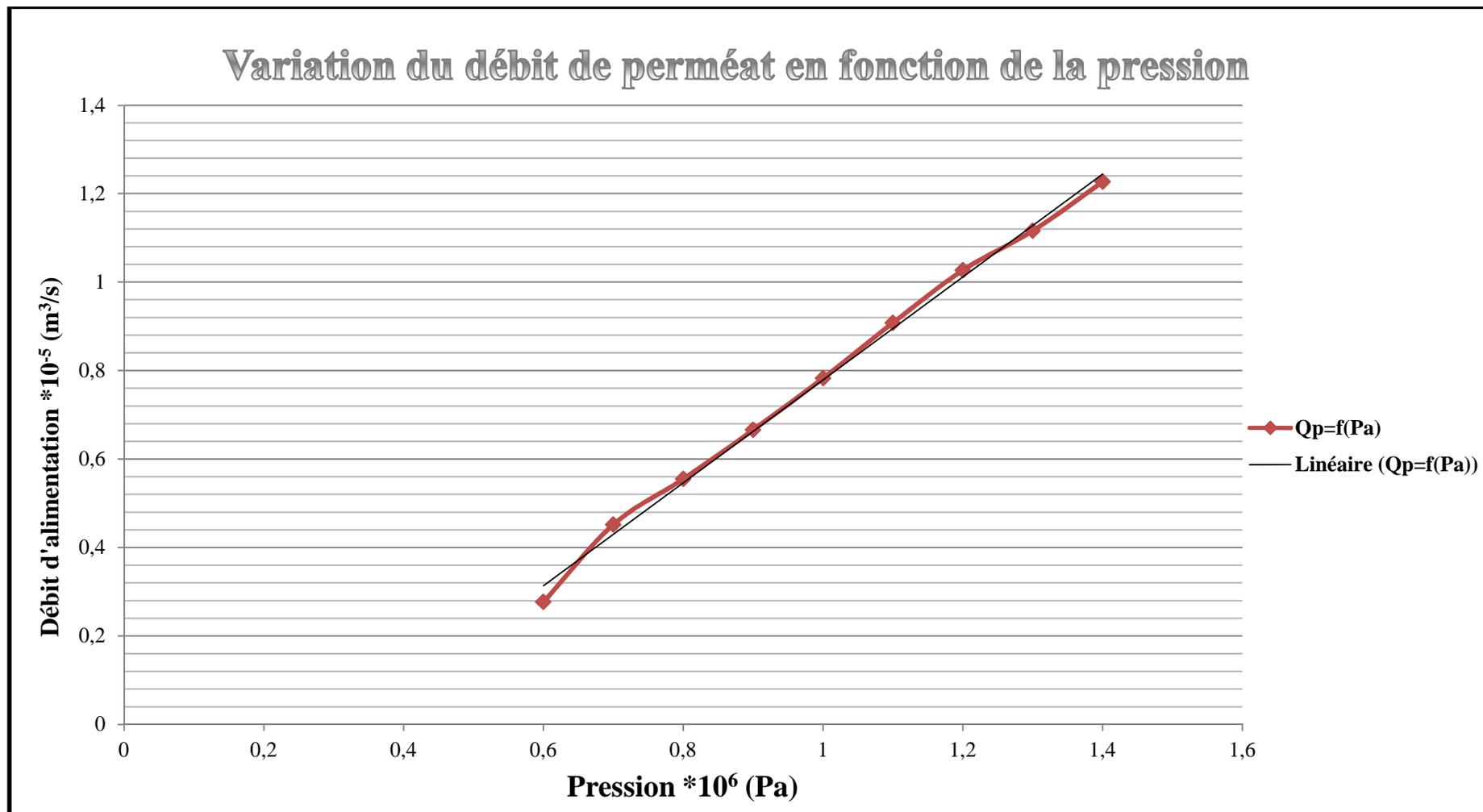


Figure V.1 : Perméabilité de la membrane au solvant.

V.2. Etude de la rétention globale du module :

Pour cette étude nous utiliserons des concentrations de NaCl de 1.5 g/l jusqu'à 5 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 NaCl.

La durée de chaque manipulation est de 12 minutes.

V.2.1. Pour une concentration de 1.5 g/l :*Manipulation n°01 :*

Conductivité de la solution d'alimentation : 875 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$C = 1.5 \text{ g/l} = 25.64 \text{ mol/m}^3$.

$\pi = 2 * 25.64 * 8.316 * (20 + 273.5)$.

Donc : $\pi = 1.25 * 10^5 \text{ Pa}$.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.2 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 1.5 \text{ g/l}$).

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	10	10	400	17,4	1196	284	290
2	10	10	400	17.4	1203	320	290
3	10	10	400	17,7	1206	336	295
4	10	10	400	18	1213	390	300
5	10	10	400	18	1220	450	300
6	10	10	400	18.6	1230	452	310
7	10	10	400	18,9	1233	455	315
8	10	10	400	19.2	1243	455	320
9	10	10	400	19,5	1250	456	325
10	10	10	400	19.8	1260	456	330
11	10	10	400	20,4	1266	457	340
12	10	10	400	20.4	1276	458	340

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 875 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.3 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).

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	10	9,5	700	17,1	1203	316	285
2	10	9,5	700	17,4	1210	350	290
3	10	9,5	700	17,7	1220	379	295
4	10	9,5	700	18	1226	400	300
5	10	9,5	700	18	1236	433	300
6	10	9,5	700	18,6	1246	440	310
7	10	9,5	700	18,9	1256	450	315
8	10	9,5	700	19,2	1263	450	320
9	10	9,5	700	19,5	1270	450	325
10	10	9,5	700	19,8	1280	450	330
11	10	9,5	700	20,1	1290	450	335
12	10	9,5	700	20,4	1300	455	340

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 875 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.4 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=1.5$ 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	10	9	940	16,5	1213	350	275
2	10	9	940	16.8	1226	370	280
3	10	9	940	16,8	1236	396	280
4	10	9	940	17.4	1250	420	290
5	10	9	940	18	1263	433	300
6	10	9	940	18	1273	438	300
7	10	9	940	18,6	1283	446	310
8	10	9	940	18.9	1296	448	315
9	10	9	940	19,2	1306	450	320
10	10	9	940	19.5	1316	450	325
11	10	9	940	19,8	1326	450	330
12	10	9	940	20.1	1336	455	335

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 875 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.5 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=1.5$ 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	10	8,5	940	16,5	1220	383	275
2	10	8,5	940	16.8	1233	395	280
3	10	8,5	940	17,1	1246	415	285
4	10	8,5	940	17.4	1263	425	290
5	10	8,5	940	17,7	1280	433	295
6	10	8,5	940	18	1293	441	300
7	10	8,5	940	18,6	1310	448	310
8	10	8,5	940	18.6	1320	449	310
9	10	8,5	940	18,9	1333	450	315
10	10	8,5	940	19.2	1343	450	320
11	10	8,5	940	19,2	1353	450	320
12	10	8,5	940	19.8	1363	454	330

✂ *Manipulation n°05 :*

Conductivité de la solution d'alimentation : 875 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 20 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.6 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	8	940	15,3	1253	416	255
2	10	8	940	15.9	1270	423	265
3	10	8	940	16,5	1286	433	275
4	10	8	940	16.5	1300	439	275
5	10	8	940	17,1	1316	443	285
6	10	8	940	17.4	1333	445	290
7	10	8	940	17,7	1343	448	295
8	10	8	940	18	1353	449	300
9	10	8	940	18,3	1370	450	305
10	10	8	940	18.6	1380	450	310
11	10	8	940	18,9	1390	450	315
12	10	8	940	19.2	1403	452	320

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

✂ *La variation de conductivité de perméat :*

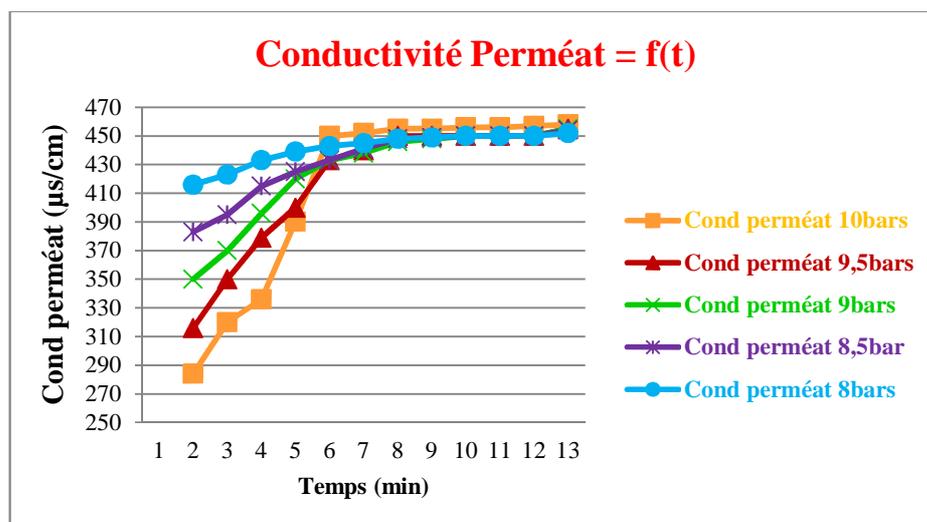


Figure V.2: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps

($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=1.5\text{g/l}$).

☒ La variation de conductivité du concentrât :

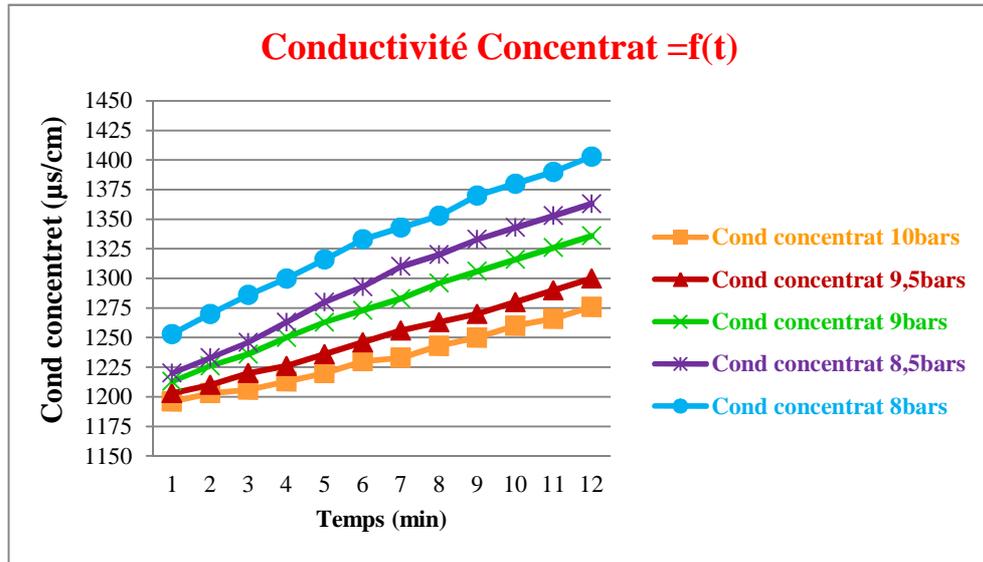


Figure V.3: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps
 ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5\text{g/l}$).

V.2.1.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

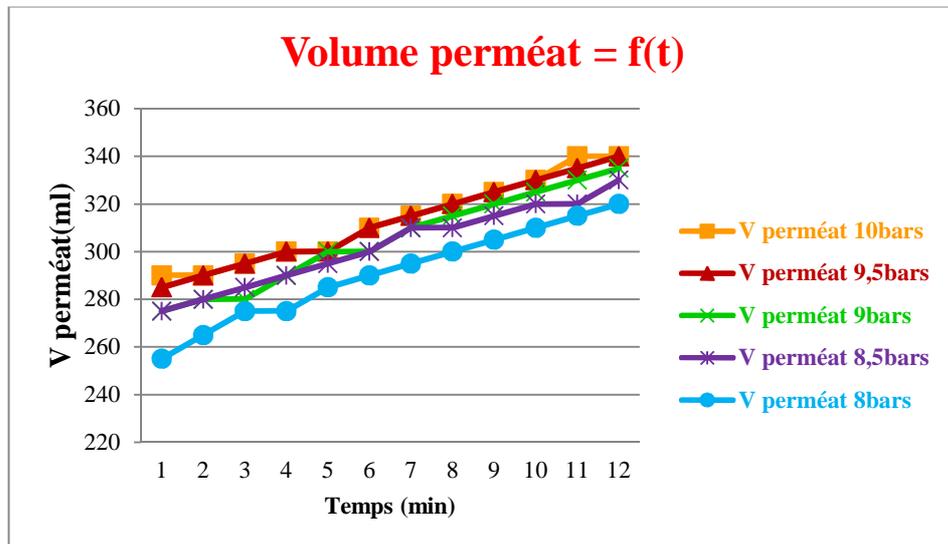


Figure V.4: La variation de volume de perméat en fonction du temps
 ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5\text{g/l}$).

V.2.1.3. La variation de la rétention globale du module :

REMARQUE :

Du fait de la faible concentration en NaCl dans le perméat on peut la calculer 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 V.7 : 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 ; $C=1.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,2540	0,0879	0,9121
2	2,5397	0,0991	0,9009
3	2,6667	0,1040	0,8960
4	3,0952	0,1207	0,8793
5	3,5714	0,1393	0,8607
6	3,5873	0,1399	0,8601
7	3,6111	0,1408	0,8592
8	3,6111	0,1408	0,8592
9	3,6190	0,1411	0,8589
10	3,6190	0,1411	0,8589
11	3,6270	0,1415	0,8585
12	3,6349	0,1418	0,8582

 **Manipulation n°02 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.8 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0.5\text{bar}$; $C=1.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,5079	0,0978	0,9022
2	2,7778	0,1083	0,8917
3	3,0079	0,1173	0,8827
4	3,1746	0,1238	0,8762
5	3,4365	0,1340	0,8660
6	3,4921	0,1362	0,8638
7	3,5714	0,1393	0,8607
8	3,5714	0,1393	0,8607
9	3,5714	0,1393	0,8607
10	3,5714	0,1393	0,8607
11	3,5714	0,1393	0,8607
12	3,6111	0,1408	0,8592

 **Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.9 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=1.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,7778	0,1083	0,8917
2	2,9365	0,1145	0,8855
3	3,1429	0,1226	0,8774
4	3,3333	0,1300	0,8700
5	3,4365	0,1340	0,8660
6	3,4762	0,1356	0,8644
7	3,5397	0,1381	0,8619
8	3,5556	0,1387	0,8613
9	3,5714	0,1393	0,8607
10	3,5714	0,1393	0,8607
11	3,5714	0,1393	0,8607
12	3,6111	0,1408	0,8592

✂ *Manipulation n°04 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.10 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=1.5$ g/l).

Temps (min)	Cp=conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	3,0397	0,1186	0,8814
2	3,1349	0,1223	0,8777
3	3,2937	0,1285	0,8715
4	3,3730	0,1316	0,8684
5	3,4365	0,1340	0,8660
6	3,5000	0,1365	0,8635
7	3,5556	0,1387	0,8613
8	3,5635	0,1390	0,8610
9	3,5714	0,1393	0,8607
10	3,5714	0,1393	0,8607
11	3,5714	0,1393	0,8607
12	3,6032	0,1405	0,8595

✂ *Manipulation n°05 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.11 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=1.5$ g/l).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	3,3016	0,1288	0,8712
2	3,3571	0,1309	0,8691
3	3,4365	0,1340	0,8660
4	3,4841	0,1359	0,8641
5	3,5159	0,1371	0,8629
6	3,5317	0,1377	0,8623
7	3,5556	0,1387	0,8613
8	3,5635	0,1390	0,8610
9	3,5714	0,1393	0,8607
10	3,5714	0,1393	0,8607
11	3,5714	0,1393	0,8607
12	3,5873	0,1399	0,8601

✍ La variation de la rétention globale du module en fonction du temps :

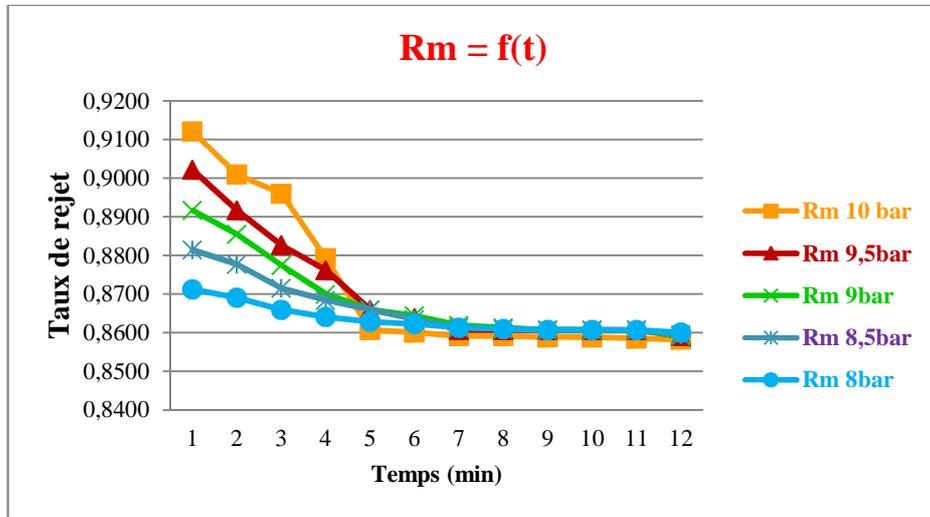


Figure V.5: La variation de taux de rejet en fonction du temps

($P_{entrée}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5g/l$).

✍ La variation de la rétention globale du module en fonction du concentration de perméat:

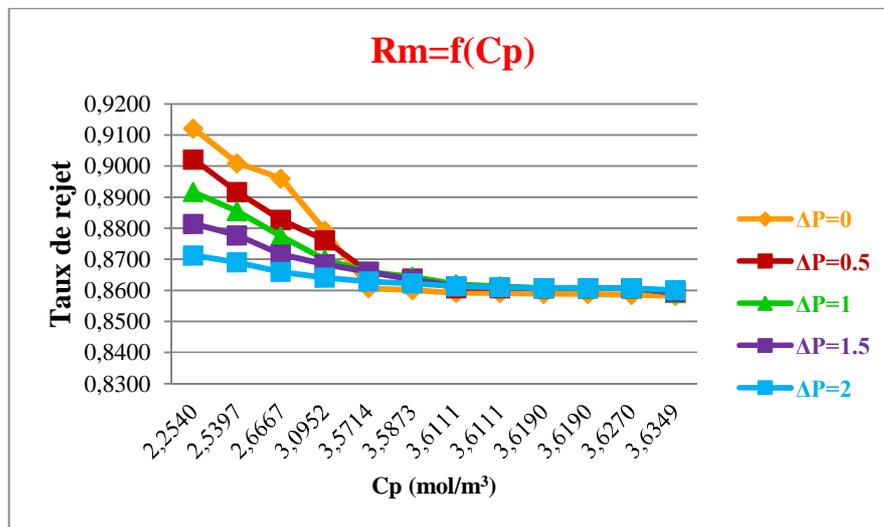


Figure V.6: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat

($P_{entrée}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1.5g/l$).

V.2.2. Pour une concentration de 2 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1050 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 22 °C.

Température après : 30°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$$\pi = 2 * 34.19 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

$$\text{Donc : } \pi = 1.67 * 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.12 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 2 \text{ g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	10	325	17,4	1420	357	290
2	10	10	325	18	1433	400	300
3	10	10	325	18,6	1440	440	310
4	10	10	325	18.6	1453	500	310
5	10	10	325	19,2	1460	566	320
6	10	10	325	19.5	1470	566	325
7	10	10	325	20,1	1480	566	335
8	10	10	325	20.1	1490	566	335
9	10	10	325	20,4	1500	566	340
10	10	10	325	20.7	1510	566	345
11	10	10	325	20,7	1520	566	345
12	10	10	325	21.3	1520	566	355

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1050 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.13: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=2\text{g/l}$).

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	10	9,5	700	16,5	1346	455	275
2	10	9,5	700	22.8	1353	460	280
3	10	9,5	700	17,1	1363	500	285
4	10	9,5	700	23.4	1370	520	290
5	10	9,5	700	17,7	1376	533	295
6	10	9,5	700	18	1386	540	300
7	10	9,5	700	18,3	1396	550	305
8	10	9,5	700	18.9	1403	552	310
9	10	9,5	700	18,9	1416	560	315
10	10	9,5	700	19.02	1423	560	320
11	10	9,5	700	19,2	1436	560	320
12	10	9,5	700	19.8	1446	562	330

 Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1050 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 18 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.14: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=2\text{g/l}$).

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	10	9	940	14,7	1343	366	245
2	10	9	940	15.6	1353	400	260
3	10	9	940	15,9	1366	460	265
4	10	9	940	16.2	1380	480	270
5	10	9	940	16,8	1393	533	280
6	10	9	940	16.8	1403	542	280
7	10	9	940	17,4	1416	533	290
8	10	9	940	17.4	1426	533	290
9	10	9	940	17,7	1440	533	295
10	10	9	940	18	1453	533	300
11	10	9	940	18	1463	533	300
12	10	9	940	18.6	1473	535	310

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1050 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.15: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=2\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	8,5	940	15	1366	466	250
2	10	8,5	940	15.3	1376	474	255
3	10	8,5	940	15,6	1390	492	260
4	10	8,5	940	15.9	1400	500	265
5	10	8,5	940	16,2	1413	516	270
6	10	8,5	940	16.5	1426	520	275
7	10	8,5	940	16,5	1443	533	275
8	10	8,5	940	16.8	1460	533	280
9	10	8,5	940	17,1	1476	533	285
10	10	8,5	940	17.4	1493	533	290
11	10	8,5	940	17,7	1506	533	295
12	10	8,5	940	18	1523	535	300

Manipulation n°05 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1050 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.16: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=2\text{g/l}$).

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	10	8	940	14,7	1390	466	245
2	10	8	940	15	1420	480	250
3	10	8	940	15,3	1446	489	255
4	10	8	940	15.6	1466	510	260
5	10	8	940	15,9	1486	516	265
6	10	8	940	16.2	1506	520	270
7	10	8	940	16,2	1526	533	270
8	10	8	940	16.8	1543	533	280
9	10	8	940	16,8	1560	533	280
10	10	8	940	17.1	1573	533	285
11	10	8	940	17,4	1586	533	290
12	10	8	940	17.7	1600	533	295

II.2.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

✂ La variation de conductivité de perméat :

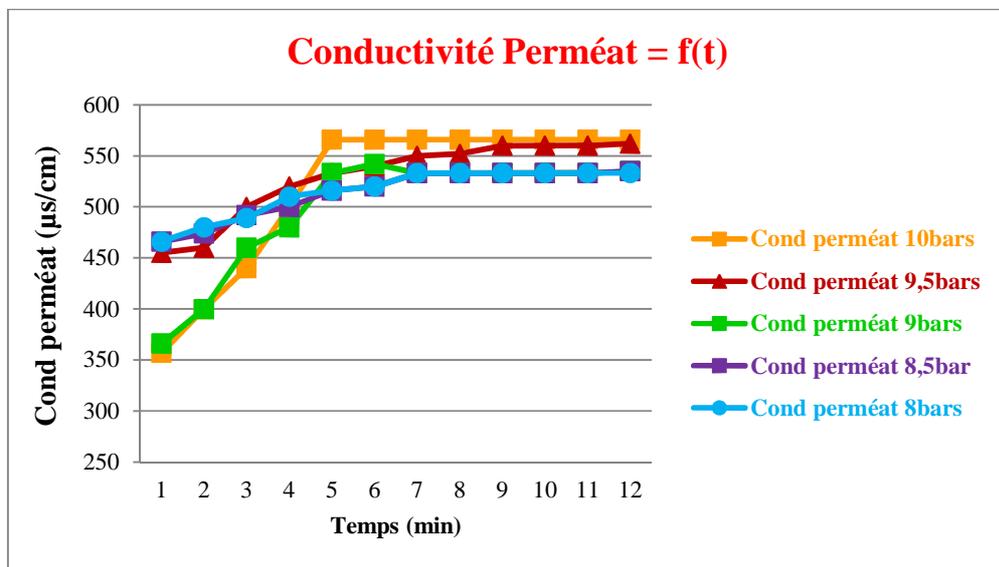


Figure V.7: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps

($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=2\text{g/l}$).

☒ La variation de conductivité du concentrât :

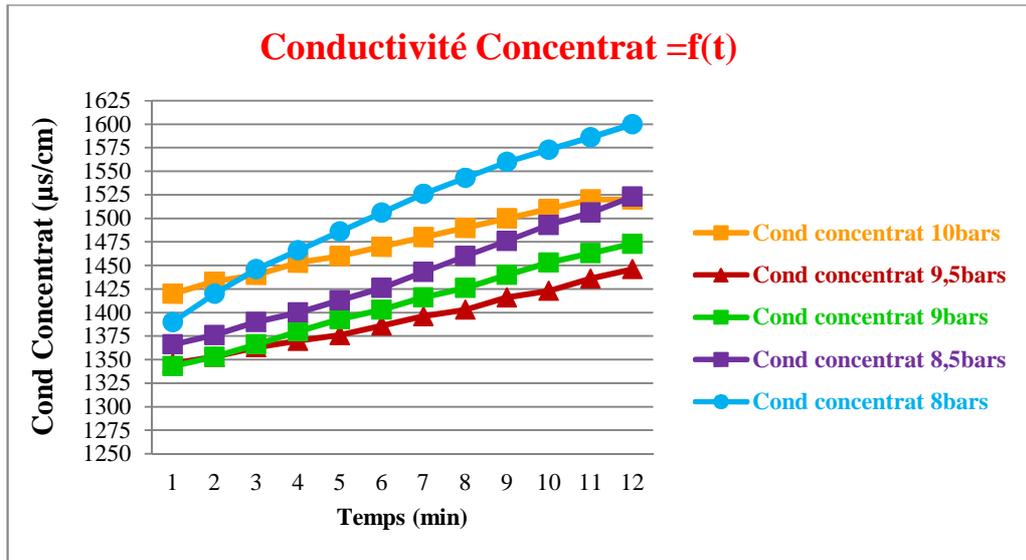


Figure V.8: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=2g/l$).

V.2.2.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

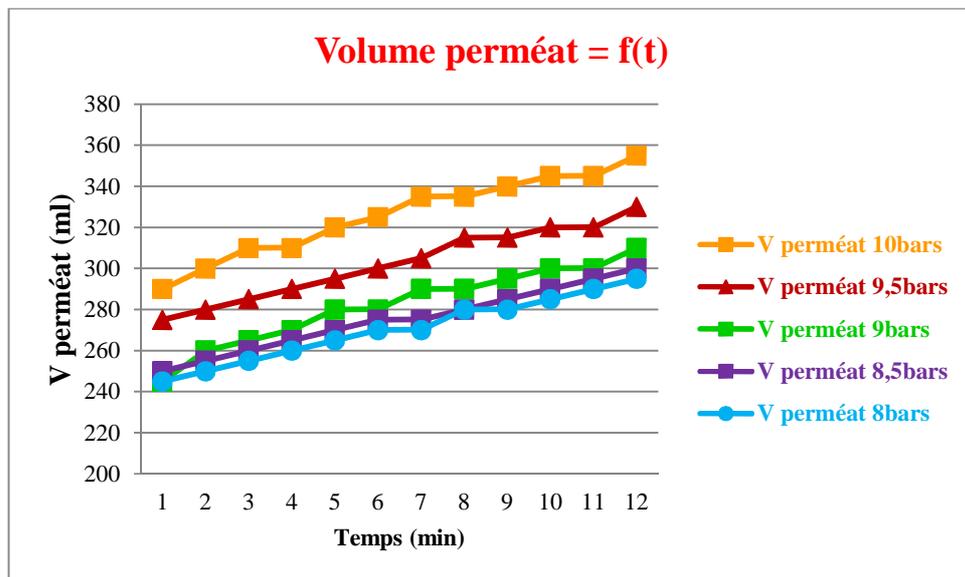


Figure V.9: La variation de volume de perméat en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=2g/l$).

V.2.2.3. La variation de la rétention globale du module :

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.17 : 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 ; $C=2\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 12(mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,8333	0,0829	0,9171
2	3,1746	0,0929	0,9071
3	3,4921	0,1021	0,8979
4	3,9683	0,1161	0,8839
5	4,4921	0,1314	0,8686
6	4,4921	0,1314	0,8686
7	4,4921	0,1314	0,8686
8	4,4921	0,1314	0,8686
9	4,4921	0,1314	0,8686
10	4,4921	0,1314	0,8686
11	4,4921	0,1314	0,8686
12	4,4921	0,1314	0,8686

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.18 : 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 ; $C=2\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126(mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	3,6111	0,1056	0,8944
2	3,6508	0,1068	0,8932
3	3,9683	0,1161	0,8839
4	4,1270	0,1207	0,8793
5	4,2302	0,1237	0,8763
6	4,2857	0,1253	0,8747
7	4,3651	0,1277	0,8723
8	4,3810	0,1281	0,8719
9	4,4444	0,1300	0,8700
10	4,4444	0,1300	0,8700
11	4,4444	0,1300	0,8700
12	4,4603	0,1305	0,8695

✂ *Manipulation n°03 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.19 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=2$ g/l).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126(mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,9048	0,0850	0,9150
2	3,1746	0,0929	0,9071
3	3,6508	0,1068	0,8932
4	3,8095	0,1114	0,8886
5	4,2302	0,1237	0,8763
6	4,3016	0,1258	0,8742
7	4,2302	0,1237	0,8763
8	4,2302	0,1237	0,8763
9	4,2302	0,1237	0,8763
10	4,2302	0,1237	0,8763
11	4,2302	0,1237	0,8763
12	4,2460	0,1242	0,8758

✂ *Manipulation n°04 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.20 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=2$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126(mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	3,6984	0,1082	0,8918
2	3,7619	0,1100	0,8900
3	3,9048	0,1142	0,8858
4	3,9683	0,1161	0,8839
5	4,0952	0,1198	0,8802
6	4,1270	0,1207	0,8793
7	4,2302	0,1237	0,8763
8	4,2302	0,1237	0,8763
9	4,2302	0,1237	0,8763
10	4,2302	0,1237	0,8763
11	4,2302	0,1237	0,8763
12	4,2460	0,1242	0,8758

Manipulation n°05 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.21 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=2\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126(mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	3,6984	0,1082	0,8918
2	3,8095	0,1114	0,8886
3	3,8810	0,1135	0,8865
4	4,0476	0,1184	0,8816
5	4,0952	0,1198	0,8802
6	4,1270	0,1207	0,8793
7	4,2302	0,1237	0,8763
8	4,2302	0,1237	0,8763
9	4,2302	0,1237	0,8763
10	4,2302	0,1237	0,8763
11	4,2302	0,1237	0,8763
12	4,2302	0,1237	0,8763

La variation de taux de rejet en fonction de temps :

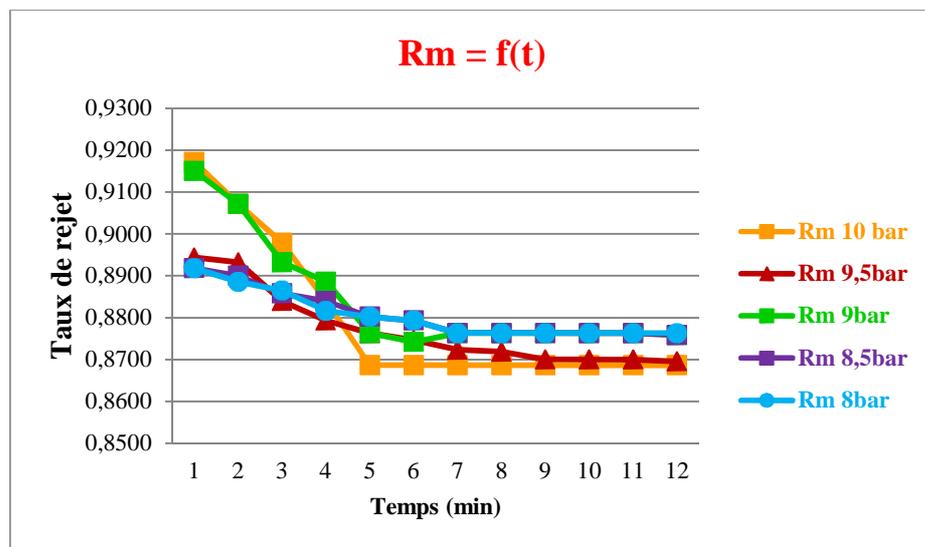


Figure V.10: La variation de taux de rejet en fonction du temps

($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=2\text{g/l}$).

☞ La variation de la rétention globale du module en fonction du concentration de perméat:

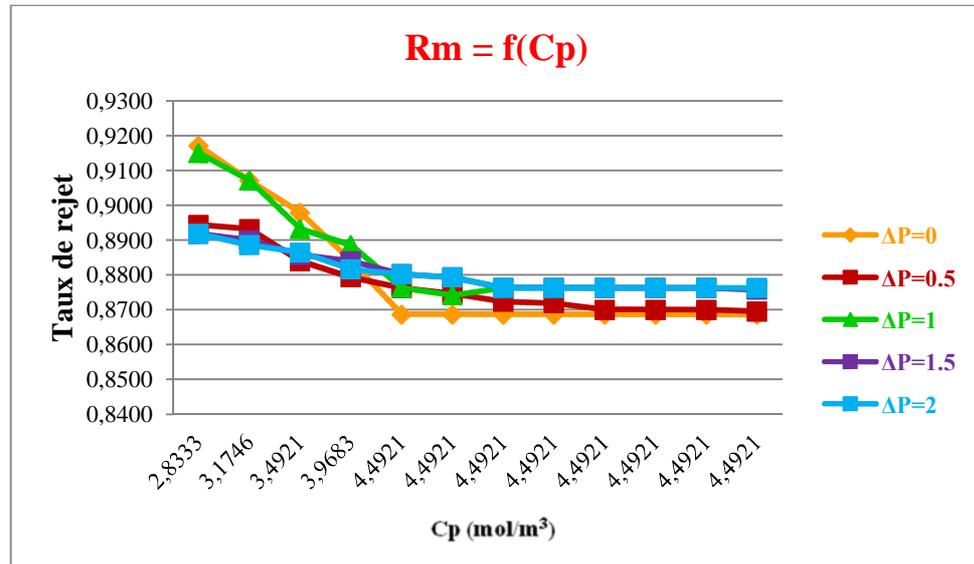


Figure V.11: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=2\text{g/l}$).

V.2.3. Pour une concentration de 2.5 g/l :

☞ *Manipulation n°01 :*

Conductivité de la solution d'alimentation : 1350 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 2.5 \text{ g/l} = 42.73 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 42.73 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

$$\text{Donc : } \pi = 2.086 * 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.22: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).

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	10	10	360	15,6	1480	170	260
2	10	10	360	15.9	1493	240	265
3	10	10	360	16,2	1506	420	270
4	10	10	360	16.5	1516	500	275
5	10	10	360	16,8	1526	650	280
6	10	10	360	17.1	1540	655	285
7	10	10	360	17,4	1550	666	290
8	10	10	360	17.7	1563	666	295
9	10	10	360	18	1576	666	300
10	10	10	360	18.3	1590	666	305
11	10	10	360	18,6	1600	666	310
12	10	10	360	18.9	1616	670	315

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : $1350 \mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19°C .

Température après : 27°C .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.23: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).

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	10	9,5	750	15,6	1490	324	260
2	10	9,5	750	15.9	1500	380	265
3	10	9,5	750	16,2	1516	500	270
4	10	9,5	750	16.5	1526	540	275
5	10	9,5	750	16,8	1536	633	280
6	10	9,5	750	17.7	1550	637	285
7	10	9,5	750	17,4	1563	650	290
8	10	9,5	750	17.7	1580	650	295
9	10	9,5	750	18	1593	650	300
10	10	9,5	750	18.3	1603	650	305
11	10	9,5	750	18,6	1616	650	310
12	10	9,5	750	18.9	1616	653	315

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1350 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.24: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=2.5\text{g/l}$).

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	10	9	940	15,3	1523	550	255
2	10	9	940	15.6	1540	560	260
3	10	9	940	15,9	1560	598	265
4	10	9	940	16.2	1573	600	270
5	10	9	940	16,5	1586	633	275
6	10	9	940	16.8	1603	639	280
7	10	9	940	17,1	1620	650	285
8	10	9	940	17.4	1633	650	290
9	10	9	940	17,7	1646	650	295
10	10	9	940	18	1660	650	300
11	10	9	940	18,3	1673	650	305
12	10	9	940	18.6	1690	656	310

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1350 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 21 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.25: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ 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	10	8,5	940	15,6	1586	566	260
2	10	8,5	940	15,9	1606	570	265
3	10	8,5	940	16,2	1630	605	270
4	10	8,5	940	16,5	1650	610	275
5	10	8,5	940	16,8	1670	633	280
6	10	8,5	940	17,1	1690	637	285
7	10	8,5	940	17,4	1710	650	290
8	10	8,5	940	17,7	1726	650	295
9	10	8,5	940	18	1743	650	300
10	10	8,5	940	18,3	1760	650	305
11	10	8,5	940	18,6	1776	650	310
12	10	8,5	940	18,9	1793	656	315

Manipulation n°05 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1350 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 21 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.26: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ 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	10	8	940	15,3	1630	516	255
2	10	8	940	15,6	1673	520	260
3	10	8	940	15,6	1710	600	260
4	10	8	940	16,2	1736	620	270
5	10	8	940	16,5	1760	633	275
6	10	8	940	16,8	1783	636	280
7	10	8	940	17,1	1803	650	285
8	10	8	940	17,4	1820	650	290
9	10	8	940	17,7	1840	650	295
10	10	8	940	18	1853	650	300
11	10	8	940	18,3	1870	650	305
12	10	8	940	18,6	1886	654	310

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

✂ La variation de conductivité de perméat :

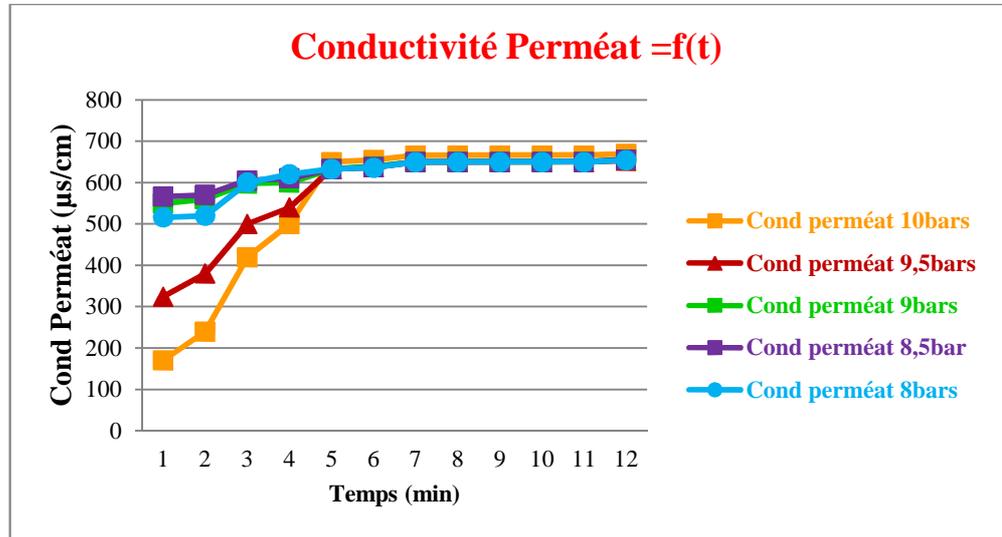


Figure V.12 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=2.5$ g/l).

✂ La variation de conductivité du concentrât :

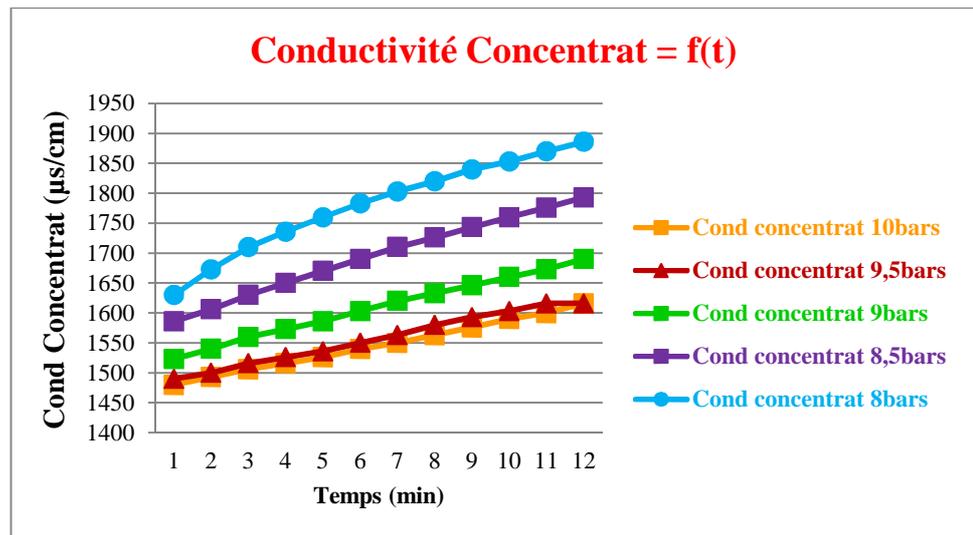


Figure V.13 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=2.5$ g/l).

V.2.3.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

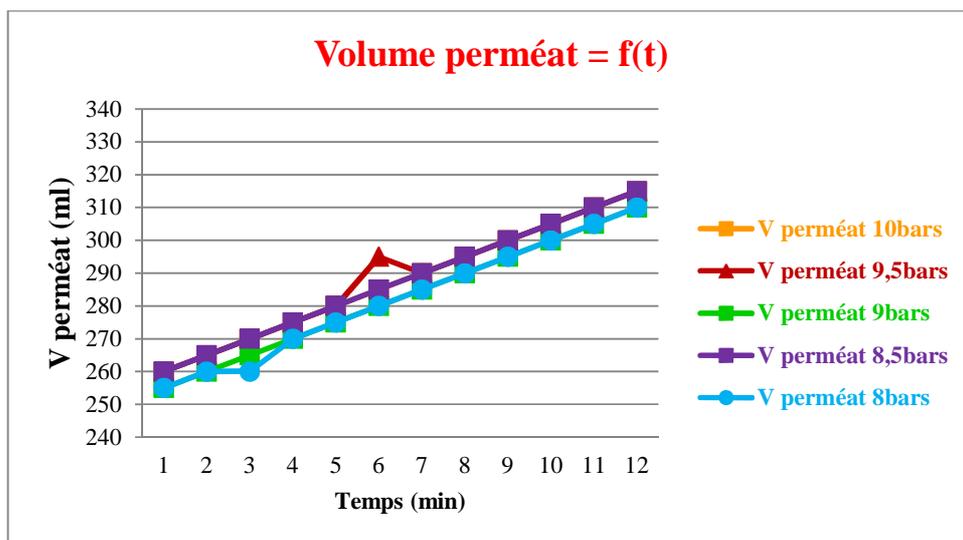


Figure V.14 : La variation de volume de perméat en fonction du temps

($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=2.5\text{g/l}$).

V.2.3.2. La variation de la rétention globale du module :

✂ Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.27 : 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 ; $C=2.5\text{g/l}$).

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	1,3492	0,0316	0,9684
2	1,9048	0,0446	0,9554
3	3,3333	0,0780	0,9220
4	3,9683	0,0929	0,9071
5	5,1587	0,1207	0,8793
6	5,1984	0,1217	0,8783
7	5,2857	0,1237	0,8763
8	5,2857	0,1237	0,8763
9	5,2857	0,1237	0,8763
10	5,2857	0,1237	0,8763
11	5,2857	0,1237	0,8763
12	5,3175	0,1244	0,8756

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.28: 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 ; $C=2.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,5714	0,0602	0,9398
2	3,0159	0,0706	0,9294
3	3,9683	0,0929	0,9071
4	4,2857	0,1003	0,8997
5	5,0238	0,1176	0,8824
6	5,0556	0,1183	0,8817
7	5,1587	0,1207	0,8793
8	5,1587	0,1207	0,8793
9	5,1587	0,1207	0,8793
10	5,1587	0,1207	0,8793
11	5,1587	0,1207	0,8793
12	5,1825	0,1213	0,8787

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.29 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=2.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	4,3651	0,1022	0,8978
2	4,4444	0,1040	0,8960
3	4,7460	0,1111	0,8889
4	4,7619	0,1114	0,8886
5	5,0238	0,1176	0,8824
6	5,0714	0,1187	0,8813
7	5,1587	0,1207	0,8793
8	5,1587	0,1207	0,8793
9	5,1587	0,1207	0,8793
10	5,1587	0,1207	0,8793
11	5,1587	0,1207	0,8793
12	5,2063	0,1218	0,8782

✂ *Manipulation n°04 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.30 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=2.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	4,4921	0,1051	0,8949
2	4,5238	0,1059	0,8941
3	4,8016	0,1124	0,8876
4	4,8413	0,1133	0,8867
5	5,0238	0,1176	0,8824
6	5,0556	0,1183	0,8817
7	5,1587	0,1207	0,8793
8	5,1587	0,1207	0,8793
9	5,1587	0,1207	0,8793
10	5,1587	0,1207	0,8793
11	5,1587	0,1207	0,8793
12	5,2063	0,1218	0,8782

✂ *Manipulation n°05 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.31 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=2.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	4,0952	0,0958	0,9042
2	4,1270	0,0966	0,9034
3	4,7619	0,1114	0,8886
4	4,9206	0,1152	0,8848
5	5,0238	0,1176	0,8824
6	5,0476	0,1181	0,8819
7	5,1587	0,1207	0,8793
8	5,1587	0,1207	0,8793
9	5,1587	0,1207	0,8793
10	5,1587	0,1207	0,8793
11	5,1587	0,1207	0,8793
12	5,1905	0,1215	0,8785

✂ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

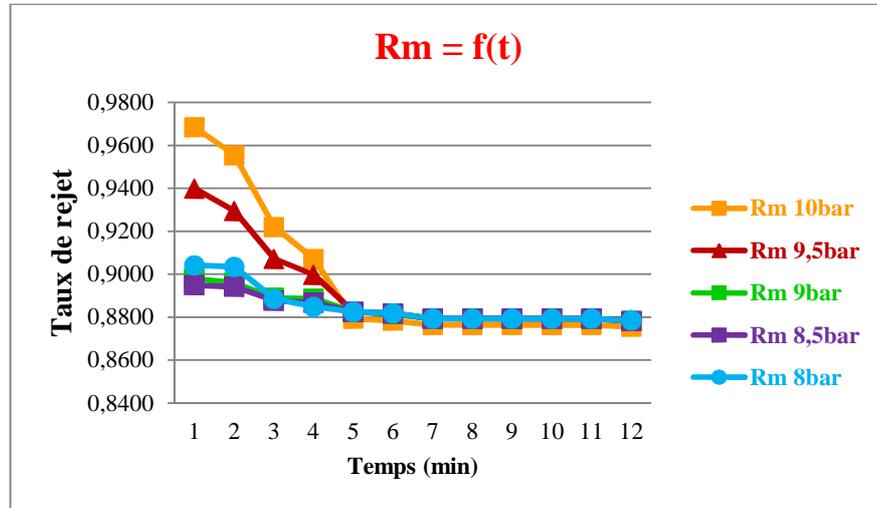


Figure V.15: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5; 2$; $C=2.5$ g/l).

✂ La variation de la rétention globale du module en fonction du concentration de perméat:

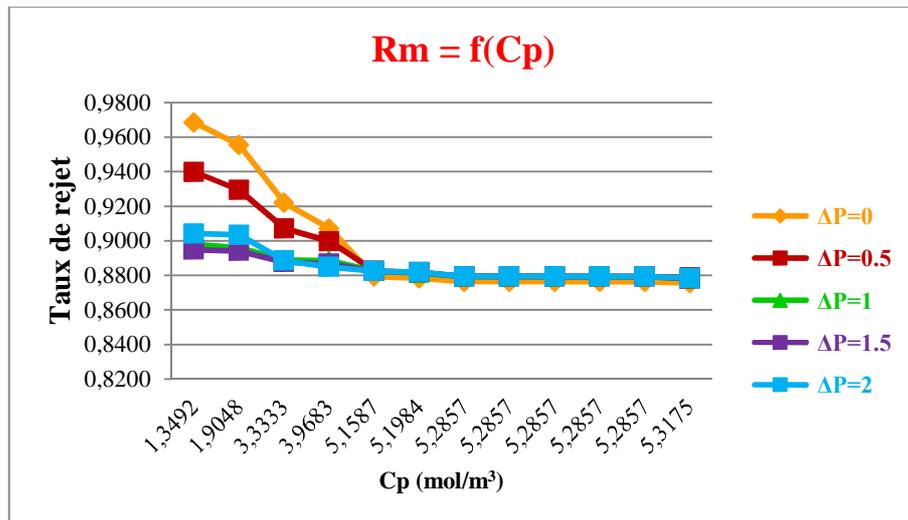


Figure V.16: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5; 2$; $C=2.5$ g/l).

V.2.4. Pour une concentration de 3 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1575 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$$\pi = 2 * 51.28 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

$$\text{Donc : } \pi = 2.50 * 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.32: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$).

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	10	10	370	16,5	1673	159	275
2	10	10	370	16.8	1680	400	280
3	10	10	370	17,1	1686	440	285
4	10	10	370	17.4	1696	710	290
5	10	10	370	17,7	1706	800	295
6	10	10	370	18	1720	805	300
7	10	10	370	18,3	1730	816	305
8	10	10	370	18.6	1743	816	310
9	10	10	370	18,9	1756	816	315
10	10	10	370	19.2	1773	816	320
11	10	10	370	19,2	1786	816	320
12	10	10	370	19.8	1803	820	330

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1575 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.33: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ 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	10	9,5	750	15,9	1670	533	265
2	10	9,5	750	16.2	1686	580	270
3	10	9,5	750	16,5	1700	700	275
4	10	9,5	750	16.8	1710	720	280
5	10	9,5	750	17,1	1723	783	285
6	10	9,5	750	17.4	1740	788	290
7	10	9,5	750	17,7	1753	800	295
8	10	9,5	750	18	1766	800	300
9	10	9,5	750	18,3	1780	800	305
10	10	9,5	750	18.6	1793	800	310
11	10	9,5	750	18,6	1806	800	310
12	10	9,5	750	19.2	1823	806	320

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1575 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.34: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ 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	10	9	940	15	1690	600	250
2	10	9	940	15.3	1706	610	255
3	10	9	940	15,6	1723	705	260
4	10	9	940	15.9	1736	720	265
5	10	9	940	16,2	1753	783	270
6	10	9	940	16.5	1770	788	275
7	10	9	940	16,8	1786	800	280
8	10	9	940	17.1	1803	800	285
9	10	9	940	17,4	1820	800	290
10	10	9	940	17.7	1833	800	295
11	10	9	940	18	1846	800	300
12	10	9	940	18.3	1863	803	305

 **Manipulation n°04 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 1575 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.35: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ 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	10	8,5	940	15	1733	683	250
2	10	8,5	940	15.3	1760	860	255
3	10	8,5	940	15,6	1786	730	260
4	10	8,5	940	15.9	1810	750	265
5	10	8,5	940	16,2	1830	766	270
6	10	8,5	940	16.5	1853	771	275
7	10	8,5	940	16,8	1873	783	280
8	10	8,5	940	17.1	1893	783	285
9	10	8,5	940	17,4	1913	783	290
10	10	8,5	940	17.7	1926	783	295
11	10	8,5	940	18	1946	783	300
12	10	8,5	940	18.3	1960	786	305

☞ Manipulation n°05 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1575 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 20 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.36: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ 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	10	8	940	14,4	1790	650	240
2	10	8	940	15	1833	660	250
3	10	8	940	15,3	1866	700	255
4	10	8	940	15.6	1890	760	260
5	10	8	940	15,9	1913	766	265
6	10	8	940	15.9	1940	772	265
7	10	8	940	16,2	1960	783	270
8	10	8	940	16.5	1980	783	275
9	10	8	940	16,8	1996	783	280
10	10	8	940	17.1	2013	783	285
11	10	8	940	17,1	2030	783	285
12	10	8	940	17.4	2043	785	290

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

☞ La variation de conductivité de perméat :

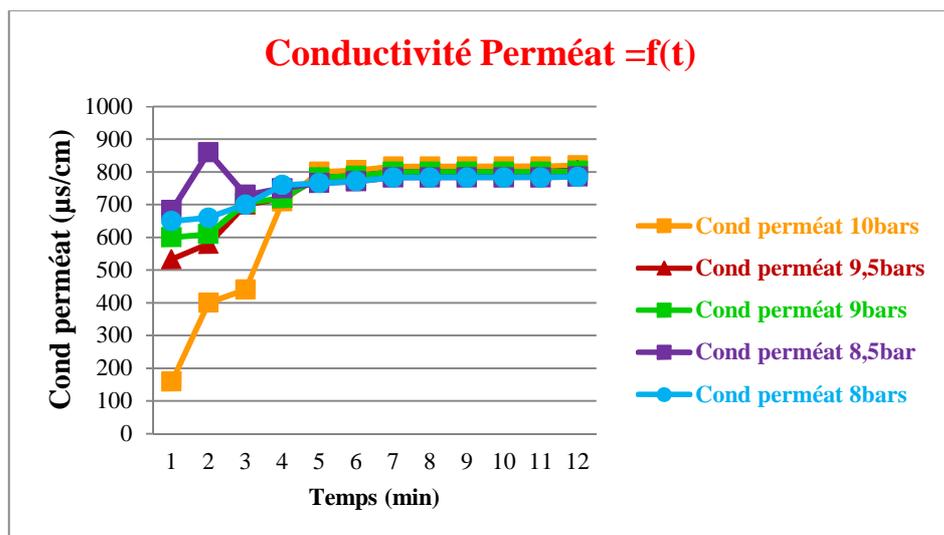


Figure V.17 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=3\text{g/l}$).

☞ La variation de conductivité du concentrât :

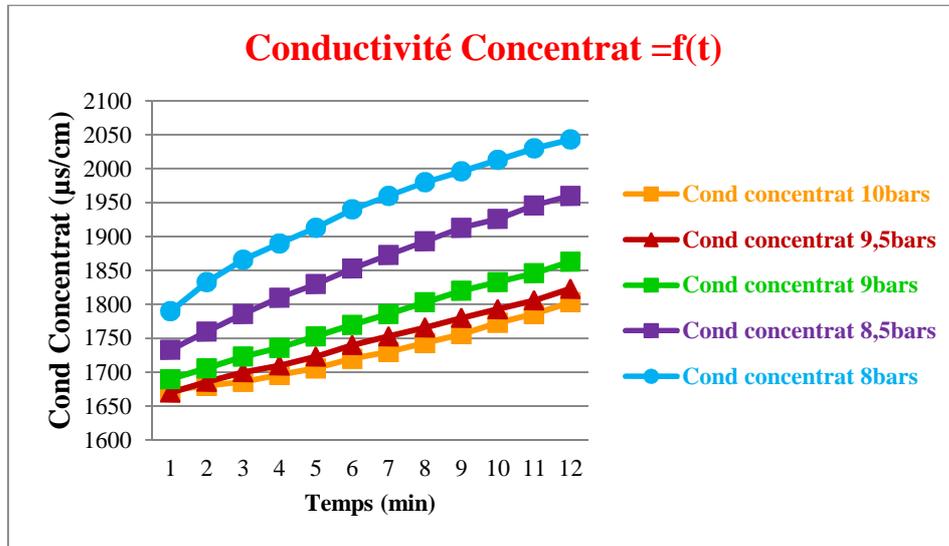


Figure V.18 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=3\text{g/l}$).

V.2.4.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps:

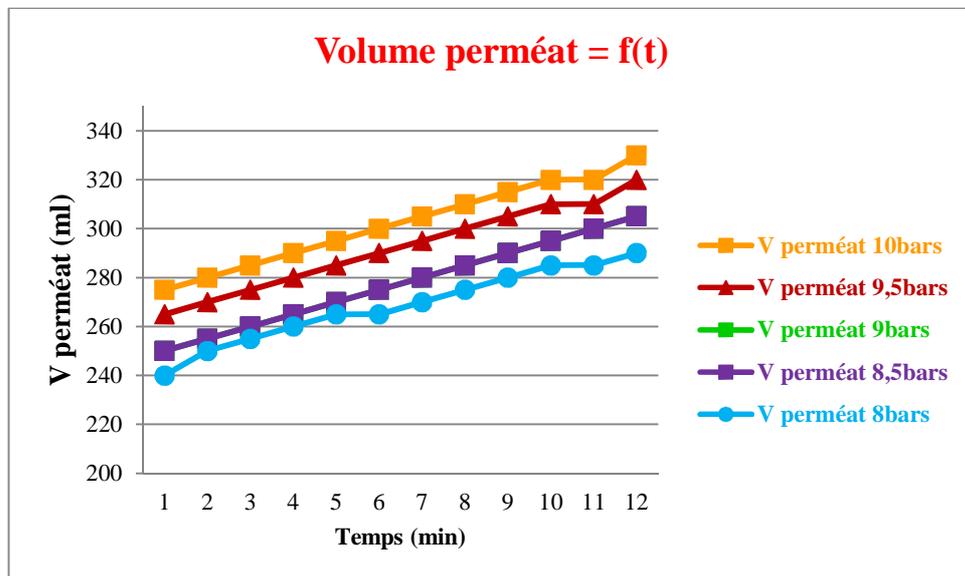


Figure V.19 : La variation de volume de perméat en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=3\text{g/l}$).

V.2.4.3. La variation de la rétention globale du module :

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.37 : 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)	Cp = conductivité de perméat / 126(mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	1,2619	0,0246	0,9754
2	3,1746	0,0619	0,9381
3	3,4921	0,0681	0,9319
4	5,6349	0,1099	0,8901
5	6,3492	0,1238	0,8762
6	6,3889	0,1246	0,8754
7	6,4762	0,1263	0,8737
8	6,4762	0,1263	0,8737
9	6,4762	0,1263	0,8737
10	6,4762	0,1263	0,8737
11	6,4762	0,1263	0,8737
12	6,5079	0,1269	0,8731

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.38 : 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)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	4,2302	0,0825	0,9175
2	4,6032	0,0898	0,9102
3	5,5556	0,1083	0,8917
4	5,7143	0,1114	0,8886
5	6,2143	0,1212	0,8788
6	6,2540	0,1220	0,8780
7	6,3492	0,1238	0,8762
8	6,3492	0,1238	0,8762
9	6,3492	0,1238	0,8762
10	6,3492	0,1238	0,8762
11	6,3492	0,1238	0,8762
12	6,3968	0,1247	0,8753

✎ *Manipulation n°03 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.39 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=3$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	4,7619	0,0929	0,9071
2	4,8413	0,0944	0,9056
3	5,5952	0,1091	0,8909
4	5,7143	0,1114	0,8886
5	6,2143	0,1212	0,8788
6	6,2540	0,1220	0,8780
7	6,3492	0,1238	0,8762
8	6,3492	0,1238	0,8762
9	6,3492	0,1238	0,8762
10	6,3492	0,1238	0,8762
11	6,3492	0,1238	0,8762
12	6,3730	0,1243	0,8757

✎ *Manipulation n°04 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.40 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=3$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,4206	0,1057	0,8943
2	6,8254	0,1331	0,8669
3	5,7937	0,1130	0,8870
4	5,9524	0,1161	0,8839
5	6,0794	0,1186	0,8814
6	6,1190	0,1193	0,8807
7	6,2143	0,1212	0,8788
8	6,2143	0,1212	0,8788
9	6,2143	0,1212	0,8788
10	6,2143	0,1212	0,8788
11	6,2143	0,1212	0,8788
12	6,2381	0,1216	0,8784

✂ *Manipulation n°05 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.41 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P=2$ bar ; $C=3$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,1587	0,1006	0,8994
2	5,2381	0,1021	0,8979
3	5,5556	0,1083	0,8917
4	6,0317	0,1176	0,8824
5	6,0794	0,1186	0,8814
6	6,1270	0,1195	0,8805
7	6,2143	0,1212	0,8788
8	6,2143	0,1212	0,8788
9	6,2143	0,1212	0,8788
10	6,2143	0,1212	0,8788
11	6,2143	0,1212	0,8788
12	6,2302	0,1215	0,8785

✂ **La variation de taux de rejet en fonction de temps :**

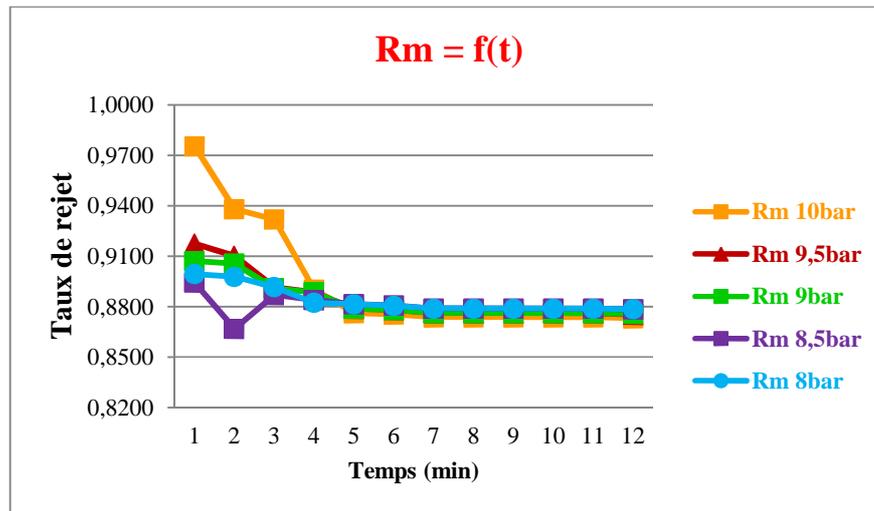


Figure V.20: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5; 2$; $C=3$ g/l).

☞ La variation de taux de rejet en fonction de concentration du perméat :

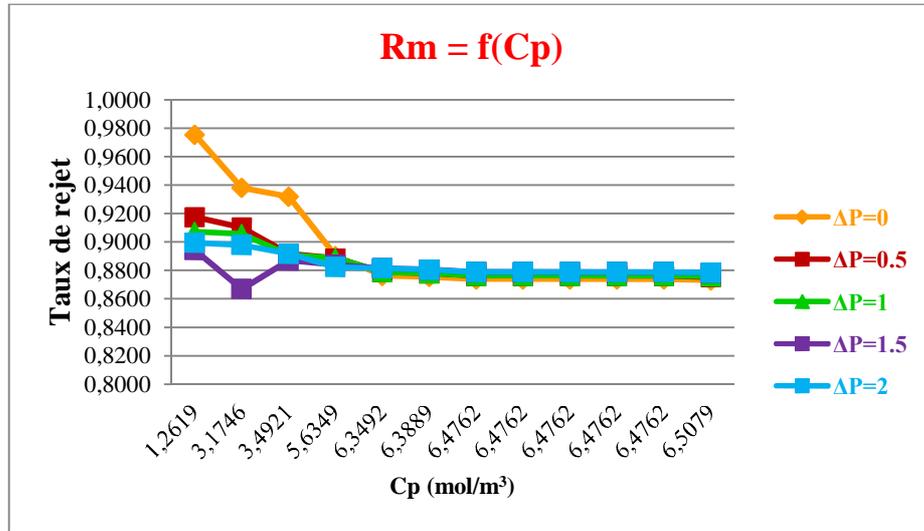


Figure V.21: La variation de taux de rejet en fonction de concentration du perméat (P_{entrée}=10 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3g/l).

V.2.5. Pour une concentration de 3.5 g/l :

☞ Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1800 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 3.5 \text{ g/l} = 59.83 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 59.83 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

Donc : $\pi = 2.92 * 10^5 \text{ Pa}.$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.42: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ 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	10	10	340	15,9	1853	466	265
2	10	10	340	16.2	1863	500	270
3	10	10	340	16,5	1876	700	275
4	10	10	340	16.8	1890	740	280
5	10	10	340	17,1	1903	850	285
6	10	10	340	17.4	1920	863	290
7	10	10	340	17,7	1933	900	295
8	10	10	340	18	1950	900	300
9	10	10	340	18,6	1963	900	310
10	10	10	340	18.6	1980	900	310
11	10	10	340	18,9	1993	900	315
12	10	10	340	19.2	2013	908	320

 **Manipulation n°02 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 1800 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 18 °C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.43: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ 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	10	9,5	620	15	1803	316	250
2	10	9,5	620	15.3	1813	400	255
3	10	9,5	620	15,6	1820	600	260
4	10	9,5	620	15.9	1830	700	265
5	10	9,5	620	16,2	1840	850	270
6	10	9,5	620	16.5	1853	855	275
7	10	9,5	620	16,8	1866	866	280
8	10	9,5	620	17.1	1883	870	285
9	10	9,5	620	17,4	1900	875	290
10	10	9,5	620	17.7	1913	883	295
11	10	9,5	620	18	1926	883	300
12	10	9,5	620	18.3	1943	886	305

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1800 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 17 °C.

Température après : 25°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.44: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ 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 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	9	940	13,8	1806	650	230
2	10	9	940	14.1	1830	685	235
3	10	9	940	14,4	1846	780	240
4	10	9	940	14.7	1863	795	245
5	10	9	940	15	1880	850	250
6	10	9	940	15.3	1900	855	255
7	10	9	940	15,6	1916	866	260
8	10	9	940	15.9	1936	870	265
9	10	9	940	16,2	1953	872	270
10	10	9	940	16.5	1970	882	275
11	10	9	940	16,8	1986	883	280
12	10	9	940	17.1	2003	886	285

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1800 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 17 °C.

Température après : 25°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.45: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=3.5$ 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	10	8,5	940	13,8	1846	800	230
2	10	8,5	940	13.98	1876	810	233
3	10	8,5	940	14,1	1900	830	235
4	10	8,5	940	14.4	1926	835	240
5	10	8,5	940	14,7	1950	850	245
6	10	8,5	940	15	1973	855	250
7	10	8,5	940	15,3	1993	866	255
8	10	8,5	940	15.6	2016	866	260
9	10	8,5	940	15,9	2033	866	265
10	10	8,5	940	16.2	2050	866	270
11	10	8,5	940	16,5	2066	866	275
12	10	8,5	940	16.8	2086	869	280

Manipulation n°05 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1800 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 18 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.46: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=3.5$ 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	10	8	940	14,1	1903	716	235
2	10	8	940	14.4	1950	720	240
3	10	8	940	14,7	1990	800	245
4	10	8	940	14.82	2023	815	247
5	10	8	940	15	2053	850	250
6	10	8	940	15.24	2080	855	254
7	10	8	940	15,6	2103	866	260
8	10	8	940	15.66	2126	866	261
9	10	8	940	15,9	2150	866	265
10	10	8	940	16.08	2170	866	268
11	10	8	940	16,2	2190	866	275
12	10	8	940	16.5	2206	868	280

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

✂ La variation de conductivité de perméat :

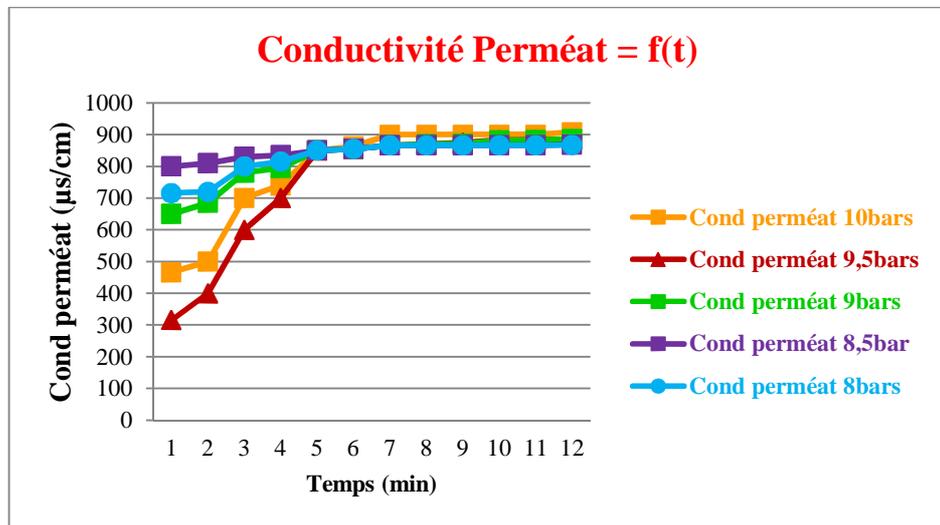


Figure V.22 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=10 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3.5g/l).

✂ La variation de conductivité du concentrât :

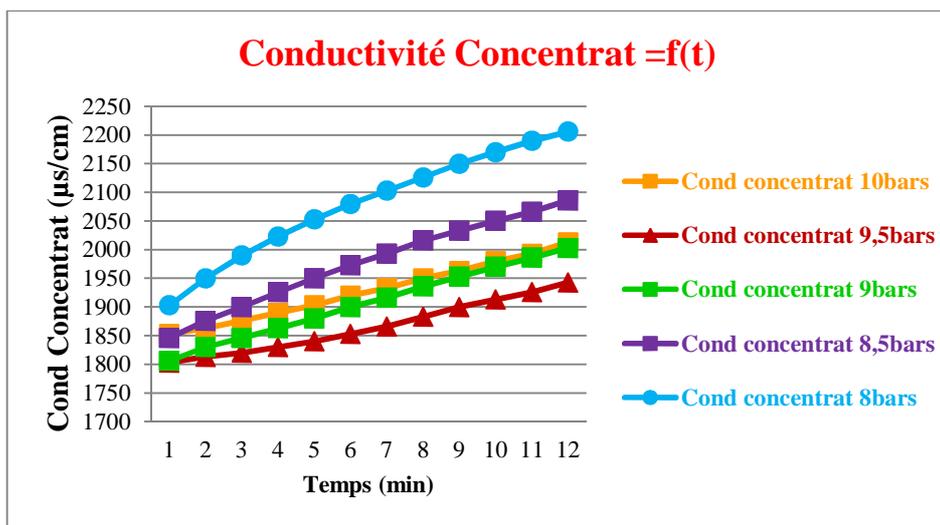


Figure V.23 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (P_{entrée}=10 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3.5g/l).

V.2.5.2. La variation de volume de perméat et du concentrât en fonction de temps :

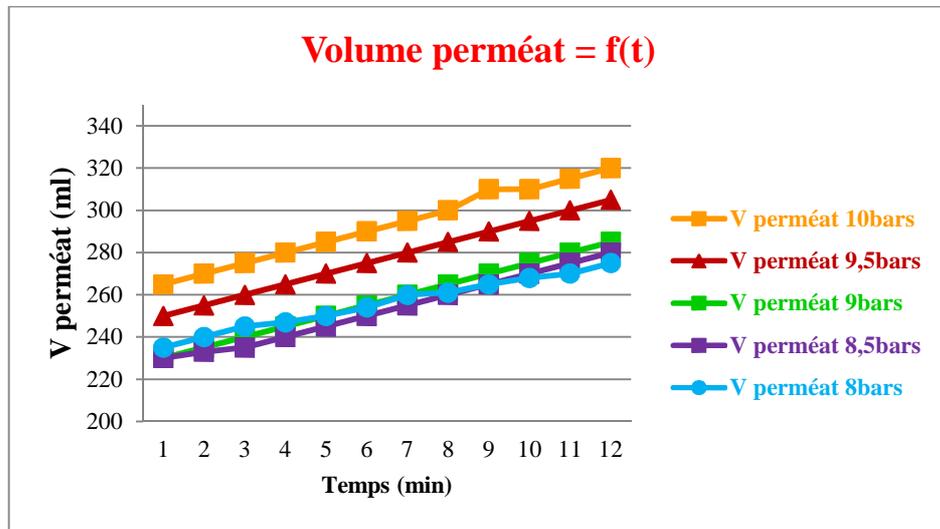


Figure V.24 : La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=3.5\text{g/l}$).

V.2.3.3. La variation de la rétention globale du module :

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.47 : 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 ; $C=3.5\text{g/l}$).

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	3,6984	0,0618	0,9382
2	3,9683	0,0663	0,9337
3	5,5556	0,0929	0,9071
4	5,8730	0,0982	0,9018
5	6,7460	0,1128	0,8872
6	6,8492	0,1145	0,8855
7	7,1429	0,1194	0,8806
8	7,1429	0,1194	0,8806
9	7,1429	0,1194	0,8806
10	7,1429	0,1194	0,8806
11	7,1429	0,1194	0,8806
12	7,2063	0,1204	0,8796

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.48 : 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 ; $C=3.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,5079	0,0419	0,9581
2	3,1746	0,0531	0,9469
3	4,7619	0,0796	0,9204
4	5,5556	0,0929	0,9071
5	6,7460	0,1128	0,8872
6	6,7857	0,1134	0,8866
7	6,8730	0,1149	0,8851
8	6,9048	0,1154	0,8846
9	6,9444	0,1161	0,8839
10	7,0079	0,1171	0,8829
11	7,0079	0,1171	0,8829
12	7,0317	0,1175	0,8825

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.49 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=3.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,1587	0,0862	0,9138
2	5,4365	0,0909	0,9091
3	6,1905	0,1035	0,8965
4	6,3095	0,1055	0,8945
5	6,7460	0,1128	0,8872
6	6,7857	0,1134	0,8866
7	6,8730	0,1149	0,8851
8	6,9048	0,1154	0,8846
9	6,9206	0,1157	0,8843
10	7,0000	0,1170	0,8830
11	7,0079	0,1171	0,8829
12	7,0317	0,1175	0,8825

✂ *Manipulation n°04 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.50 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=3.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	6,3492	0,1061	0,8939
2	6,4286	0,1074	0,8926
3	6,5873	0,1101	0,8899
4	6,6270	0,1108	0,8892
5	6,7460	0,1128	0,8872
6	6,7857	0,1134	0,8866
7	6,8730	0,1149	0,8851
8	6,8730	0,1149	0,8851
9	6,8730	0,1149	0,8851
10	6,8730	0,1149	0,8851
11	6,8730	0,1149	0,8851
12	6,8968	0,1153	0,8847

✂ *Manipulation n°05 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.51: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=3.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,6825	0,0950	0,9050
2	5,7143	0,0955	0,9045
3	6,3492	0,1061	0,8939
4	6,4683	0,1081	0,8919
5	6,7460	0,1128	0,8872
6	6,7857	0,1134	0,8866
7	6,8730	0,1149	0,8851
8	6,8730	0,1149	0,8851
9	6,8730	0,1149	0,8851
10	6,8730	0,1149	0,8851
11	6,8730	0,1149	0,8851
12	6,8889	0,1151	0,8849

✍ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

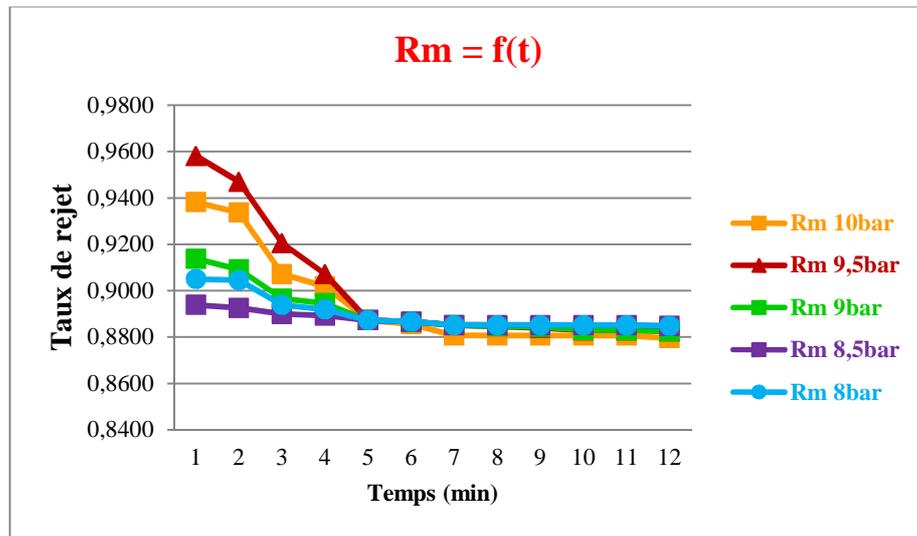


Figure V.25: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=3.5$ g/l).

✍ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

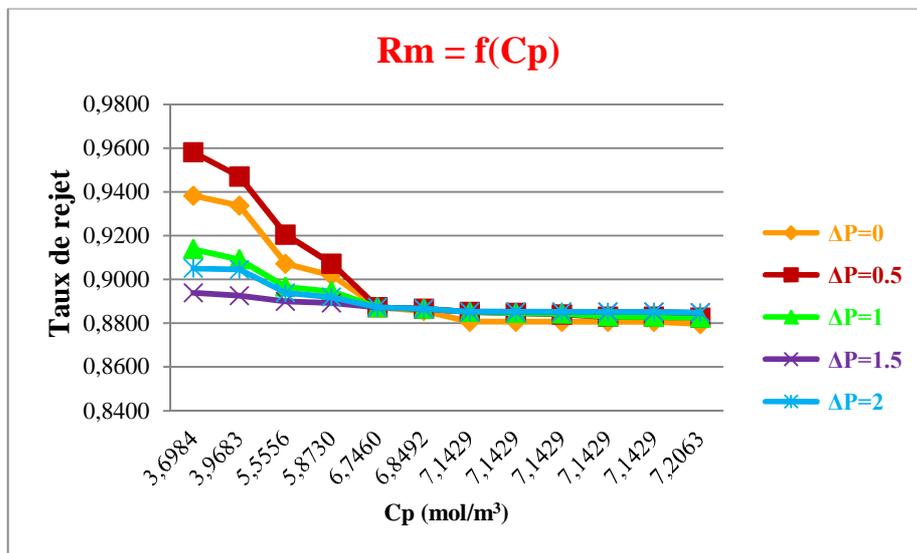


Figure V.26: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=3.5$ g/l).

V.2.6. Pour une concentration 4 g/l :**✂ Manipulation n°01 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 20 °C.

Température après : 28°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$$\pi = 2 * 68.38 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

$$\text{Donc : } \pi = 3.34 * 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.52: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$).

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	10	10	340	15	2033	516	250
2	10	10	340	15.3	2046	600	255
3	10	10	340	15,6	2056	800	260
4	10	10	340	15.9	2070	900	265
5	10	10	340	16,2	2083	966	270
6	10	10	340	16.5	2100	977	275
7	10	10	340	16,8	2116	1000	280
8	10	10	340	17.1	2136	1000	285
9	10	10	340	17,4	2153	1000	290
10	10	10	340	17.7	2170	1000	295
11	10	10	340	18	2186	1000	300
12	10	10	340	18.3	2203	1005	305

✂ Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19°C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.53: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

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	10	9,5	700	14,7	2013	450	245
2	10	9,5	700	15	2026	500	250
3	10	9,5	700	15,3	2043	770	255
4	10	9,5	700	15.6	2060	800	260
5	10	9,5	700	15,9	2070	960	265
6	10	9,5	700	16.2	2090	965	270
7	10	9,5	700	16,5	2106	966	275
8	10	9,5	700	16.8	2126	973	280
9	10	9,5	700	17,1	2143	976	285
10	10	9,5	700	17.4	2156	980	290
11	10	9,5	700	17,7	2176	983	295
12	10	9,5	700	18	2193	985	300

Manipulation n°03:

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 18°C.

Température après : 21°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.54: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

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	10	9	940	14,1	1983	193	235
2	10	9	940	14.4	2003	300	240
3	10	9	940	14,7	2026	600	245
4	10	9	940	15	2040	700	250
5	10	9	940	15,3	2060	933	255
6	10	9	940	15.6	2080	945	260
7	10	9	940	15,9	2100	966	265
8	10	9	940	16.2	2120	966	270
9	10	9	940	16,5	2140	966	275
10	10	9	940	16.8	2153	966	280
11	10	9	940	17,1	2176	966	285
12	10	9	940	17.4	2196	970	290

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 18°C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.55: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	8,5	940	13,8	2063	766	230
2	10	8,5	940	14.1	2093	790	235
3	10	8,5	940	14,4	2120	890	240
4	10	8,5	940	14.7	2146	900	245
5	10	8,5	940	15	2173	950	250
6	10	8,5	940	15.12	2196	955	252
7	10	8,5	940	15,6	2223	966	260
8	10	8,5	940	15.6	2243	970	260
9	10	8,5	940	15,9	2266	975	265
10	10	8,5	940	16.2	2286	983	270
11	10	8,5	940	16,5	2306	983	275
12	10	8,5	940	16.8	2323	985	280

Manipulation n°05 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 18°C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.56: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

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	10	8	940	13,5	2033	316	225
2	10	8	940	13,8	2070	400	230
3	10	8	940	13,8	2106	650	230
4	10	8	940	14,1	2133	710	235
5	10	8	940	14,4	2160	933	240
6	10	8	940	14,7	2186	940	245
7	10	8	940	15	2213	966	250
8	10	8	940	15	2236	970	250
9	10	8	940	15,3	2260	940	255
10	10	8	940	15,6	2280	980	260
11	10	8	940	15,9	2303	983	265
12	10	8	940	16,2	2326	986	270

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

✂ La variation de conductivité de perméat :

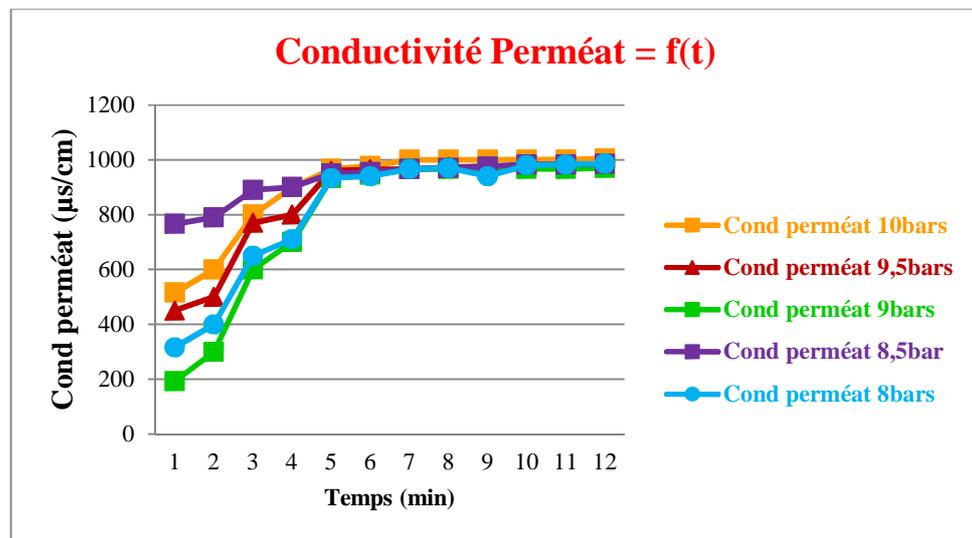


Figure V.27 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; C=4\text{g/l}$).

✂ La variation de conductivité du concentrât :

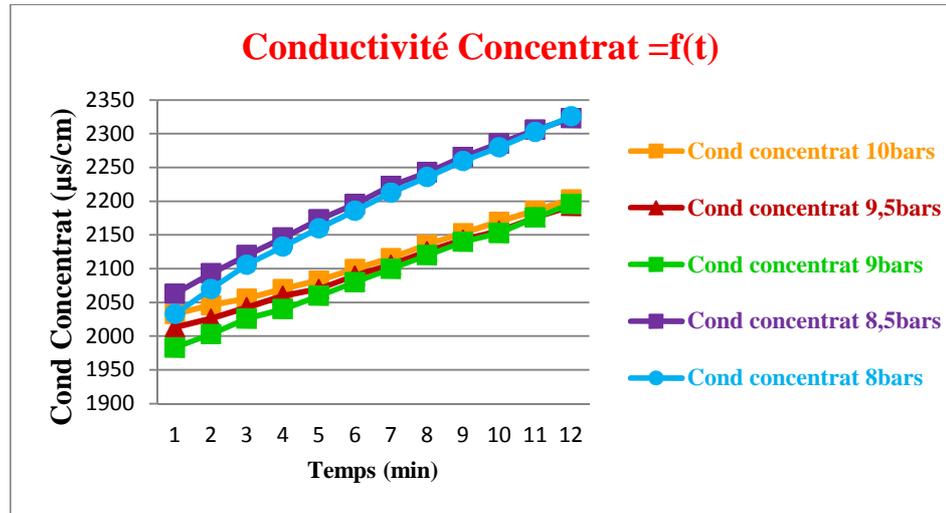


Figure V.28 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).

V.2.6.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

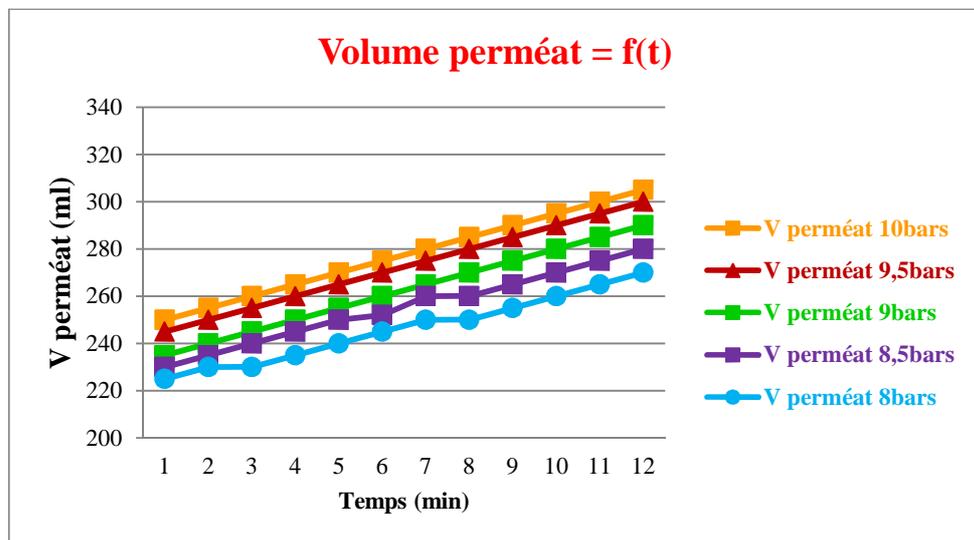


Figure V.29: La variation de tvolume de perméat en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2$; $C=3.5\text{g/l}$).

V.2.6.3. La variation de la rétention globale du module :

✂ Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.56 : 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 ; $C=4$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1- Sp
1	4,0952	0,0599	0,9401
2	4,7619	0,0696	0,9304
3	6,3492	0,0929	0,9071
4	7,1429	0,1045	0,8955
5	7,6667	0,1121	0,8879
6	7,7540	0,1134	0,8866
7	7,9365	0,1161	0,8839
8	7,9365	0,1161	0,8839
9	7,9365	0,1161	0,8839
10	7,9365	0,1161	0,8839
11	7,9365	0,1161	0,8839
12	7,9762	0,1166	0,8834

✂ Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.57 : 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 ; $C=4$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	3,5714	0,0522	0,9478
2	3,9683	0,0580	0,9420
3	6,1111	0,0894	0,9106
4	6,3492	0,0929	0,9071
5	7,6190	0,1114	0,8886
6	7,6587	0,1120	0,8880
7	7,6667	0,1121	0,8879
8	7,7222	0,1129	0,8871
9	7,7460	0,1133	0,8867
10	7,7778	0,1137	0,8863
11	7,8016	0,1141	0,8859
12	7,8175	0,1143	0,8857

✂ *Manipulation n°03 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.58 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=4$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	1,5317	0,0224	0,9776
2	2,3810	0,0348	0,9652
3	4,7619	0,0696	0,9304
4	5,5556	0,0812	0,9188
5	7,4048	0,1083	0,8917
6	7,5000	0,1097	0,8903
7	7,6667	0,1121	0,8879
8	7,6667	0,1121	0,8879
9	7,6667	0,1121	0,8879
10	7,6667	0,1121	0,8879
11	7,6667	0,1121	0,8879
12	7,6984	0,1126	0,8874

✂ *Manipulation n°04 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.59 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=4$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	6,0794	0,0889	0,9111
2	6,2698	0,0917	0,9083
3	7,0635	0,1033	0,8967
4	7,1429	0,1045	0,8955
5	7,5397	0,1103	0,8897
6	7,5794	0,1108	0,8892
7	7,6667	0,1121	0,8879
8	7,6984	0,1126	0,8874
9	7,7381	0,1132	0,8868
10	7,8016	0,1141	0,8859
11	7,8016	0,1141	0,8859
12	7,8175	0,1143	0,8857

✂ Manipulation n°05 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.60 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=4$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,5079	0,0367	0,9633
2	3,1746	0,0464	0,9536
3	5,1587	0,0754	0,9246
4	5,6349	0,0824	0,9176
5	7,4048	0,1083	0,8917
6	7,4603	0,1091	0,8909
7	7,6667	0,1121	0,8879
8	7,6984	0,1126	0,8874
9	7,4603	0,1091	0,8909
10	7,7778	0,1137	0,8863
11	7,8016	0,1141	0,8859
12	7,8254	0,1144	0,8856

✂ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

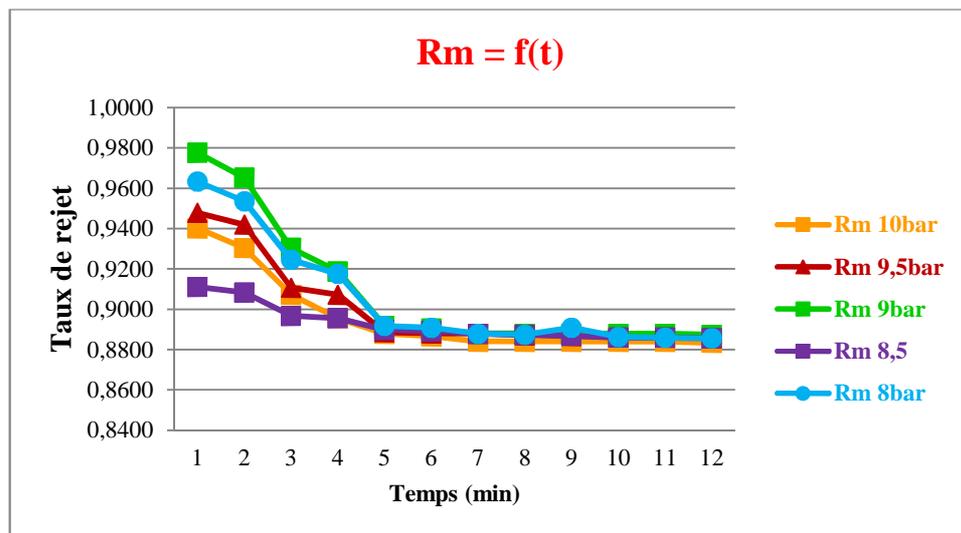


Figure V.30: La variation de taux de rejet en fonction du temps

($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=4$ g/l).

☞ La variation de taux de rejet en fonction de concentration du perméat :

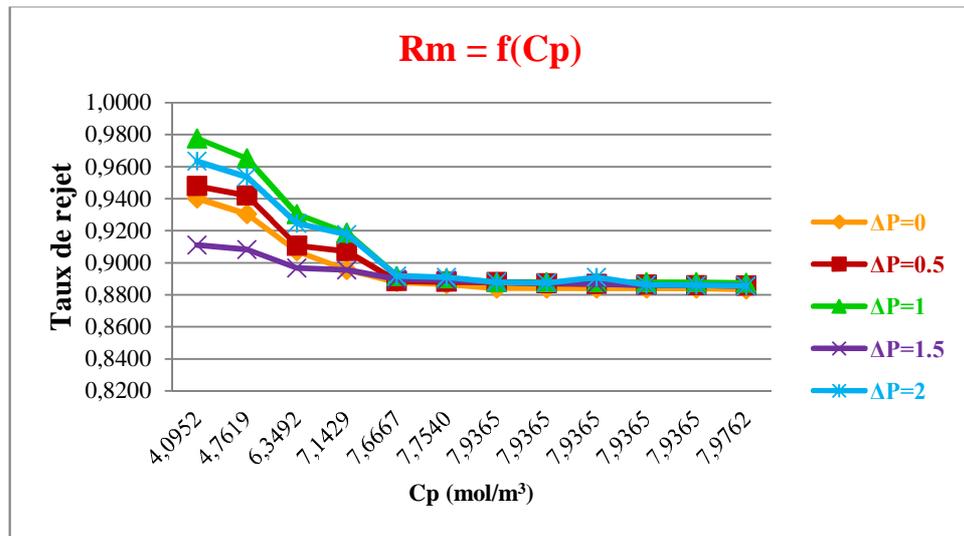


Figure V.31: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5; 2$; $C=4\text{g/l}$).

V.2.7. Pour une concentration de 4.5 g/l :

☞ Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 17°C.

Température après : 25°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 4.5 \text{ g/l} = 76.92 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 76.92 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

$$\text{Donc : } \pi = 3.75 * 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.61: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs)	Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	10	375	13,8	2116	566	230
2	10	10	375	14.1	2130	600	235
3	10	10	375	14,4	2146	882	240
4	10	10	375	14.7	2163	890	245
5	10	10	375	15	2176	1066	250
6	10	10	375	15.3	2196	1075	255
7	10	10	375	15,6	2210	1100	260
8	10	10	375	15.9	2230	1108	265
9	10	10	375	16,2	2246	1110	270
10	10	10	375	16.5	2266	1116	275
11	10	10	375	16,8	2283	1116	280
12	10	10	375	17.1	2306	1125	285

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 18°C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.62: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

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	10	9,5	650	14,1	2163	733	235
2	10	9,5	650	14.4	2180	800	240
3	10	9,5	650	14,7	2196	880	245
4	10	9,5	650	15	2210	900	250
5	10	9,5	650	15,3	2226	1066	255
6	10	9,5	650	15.6	2246	1072	260
7	10	9,5	650	15,9	2263	1083	265
8	10	9,5	650	16.2	2286	1087	270
9	10	9,5	650	16,5	2303	1090	275
10	10	9,5	650	16.8	2323	1097	280
11	10	9,5	650	17,1	2340	1100	285
12	10	9,5	650	17.4	2360	1105	290

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 19°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.63: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	9	940	14,4	2213	866	240
2	10	9	940	14,52	2240	880	242
3	10	9	940	14,7	2260	990	245
4	10	9	940	15	2280	1000	250
5	10	9	940	15,3	2303	1050	255
6	10	9	940	15,6	2326	1062	260
7	10	9	940	15,9	2346	1083	265
8	10	9	940	16,014	2366	1083	269
9	10	9	940	16,2	2390	1083	270
10	10	9	940	16,5	2410	1083	275
11	10	9	940	16,8	2426	1083	280
12	10	9	940	16,92	2450	1086	282

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 20°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.64: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât (μs)	Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	8,5	940	13,8	2303	900	230
2	10	8,5	940	14.1	2340	920	235
3	10	8,5	940	14,4	2370	1010	240
4	10	8,5	940	14.7	2400	1020	245
5	10	8,5	940	15	2426	1083	250
6	10	8,5	940	15.3	2453	1099	255
7	10	8,5	940	15,6	2476	1100	260
8	10	8,5	940	15.9	2500	1100	265
9	10	8,5	940	16,2	2526	1100	270
10	10	8,5	940	16.5	2543	1100	275
11	10	8,5	940	16,8	2566	1100	280
12	10	8,5	940	17.1	2590	1103	285

Manipulation n°05 :

Conductivité de la solution d'alimentation : $2250 \mu\text{s/cm}$.

Température avant : 20°C .

Température après : 28°C .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.65: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

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	10	8	940	13,5	2350	1000	225
2	10	8	940	13.8	2390	1005	230
3	10	8	940	14,1	2430	1018	235
4	10	8	940	14.4	2460	1023	240
5	10	8	940	14,7	2493	1033	245
6	10	8	940	14.88	2520	1042	248
7	10	8	940	15,3	2546	1066	255
8	10	8	940	15.3	2570	1070	255
9	10	8	940	15,6	2596	1070	260
10	10	8	940	15.9	2616	1081	265
11	10	8	940	15,9	2640	1083	265
12	10	8	940	16.2	2663	1086	270

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

✂ La variation de conductivité de perméat :

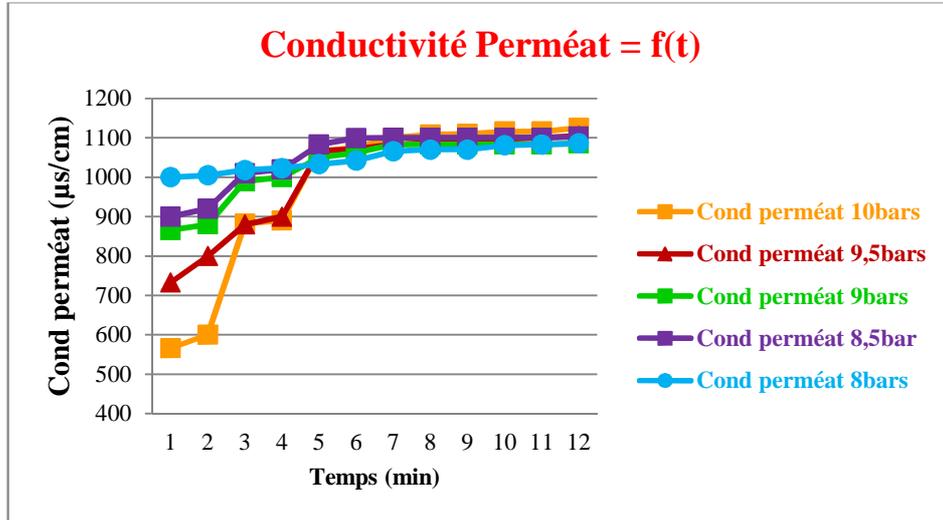


Figure V.32 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps
($P_{entrée}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5g/l$).

✂ La variation de conductivité du concentrât :

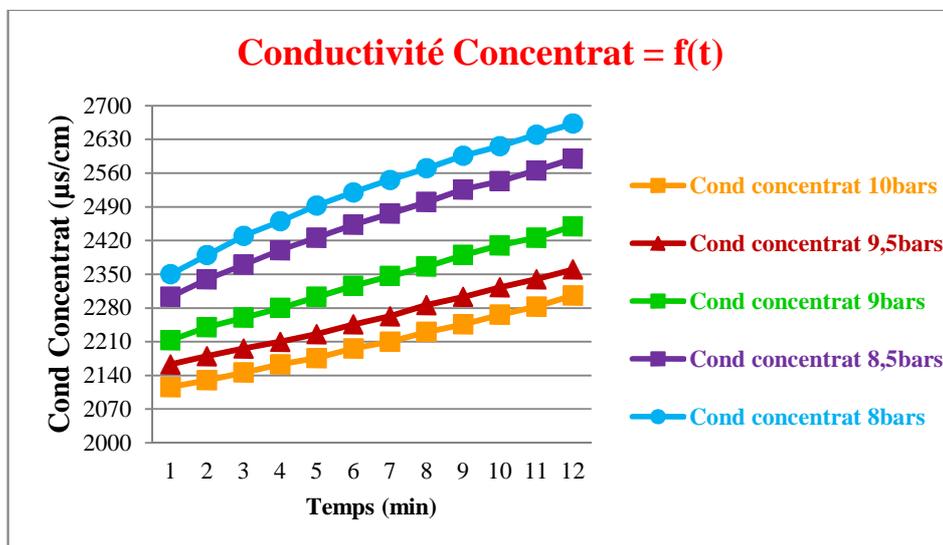


Figure V.33 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps
($P_{entrée}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5g/l$).

V.2.7.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

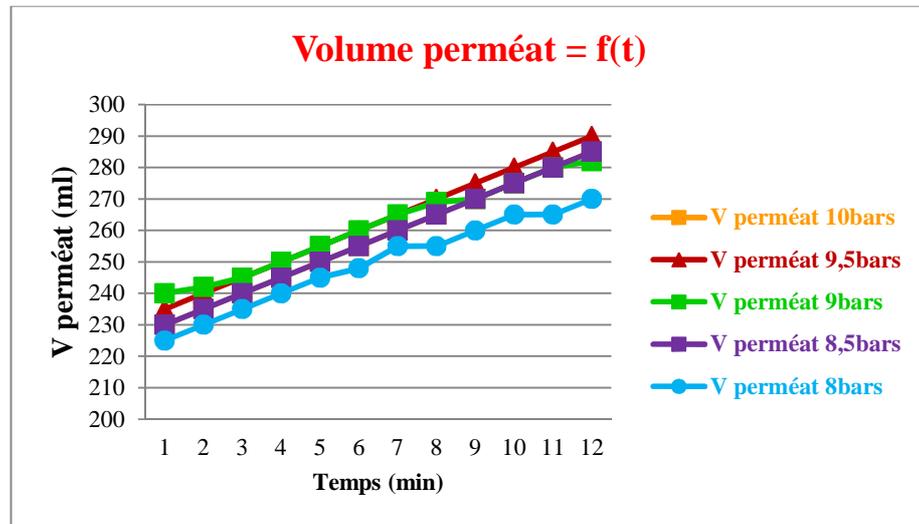


Figure V.34 : La variation de volume de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=10 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4.5g/l).

V.2.7.3. La variation de la rétention globale du module :

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.66 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P_{entrée}=10 bars ; ΔP= 0 bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C _o	Rm=1-Sp
1	4,4921	0,0584	0,9416
2	4,7619	0,0619	0,9381
3	7,0000	0,0910	0,9090
4	7,0635	0,0918	0,9082
5	8,4603	0,1100	0,8900
6	8,5317	0,1109	0,8891
7	8,7302	0,1135	0,8865
8	8,7937	0,1143	0,8857
9	8,8095	0,1145	0,8855
10	8,8571	0,1151	0,8849
11	8,8571	0,1151	0,8849
12	8,9286	0,1161	0,8839

✂ *Manipulation n°02 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.67 : 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 ; $C=4.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C _o	Rm=1-Sp
1	5,8175	0,0756	0,9244
2	6,3492	0,0825	0,9175
3	6,9841	0,0908	0,9092
4	7,1429	0,0929	0,9071
5	8,4603	0,1100	0,8900
6	8,5079	0,1106	0,8894
7	8,5952	0,1117	0,8883
8	8,6270	0,1122	0,8878
9	8,6508	0,1125	0,8875
10	8,7063	0,1132	0,8868
11	8,7302	0,1135	0,8865
12	8,7698	0,1140	0,8860

✂ *Manipulation n°03 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.68 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=4.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C _o	Rm=1-Sp
1	6,8730	0,0894	0,9106
2	6,9841	0,0908	0,9092
3	7,8571	0,1021	0,8979
4	7,9365	0,1032	0,8968
5	8,3333	0,1083	0,8917
6	8,4286	0,1096	0,8904
7	8,5952	0,1117	0,8883
8	8,5952	0,1117	0,8883
9	8,5952	0,1117	0,8883
10	8,5952	0,1117	0,8883
11	8,5952	0,1117	0,8883
12	8,6190	0,1121	0,8879

✂ *Manipulation n°04 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.69 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=4.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C _o	Rm=1-Sp
1	7,1429	0,0929	0,9071
2	7,3016	0,0949	0,9051
3	8,0159	0,1042	0,8958
4	8,0952	0,1052	0,8948
5	8,5952	0,1117	0,8883
6	8,7222	0,1134	0,8866
7	8,7302	0,1135	0,8865
8	8,7302	0,1135	0,8865
9	8,7302	0,1135	0,8865
10	8,7302	0,1135	0,8865
11	8,7302	0,1135	0,8865
12	8,7540	0,1138	0,8862

✂ *Manipulation n°05 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.70 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=4.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C _o	Rm=1-Sp
1	7,9365	0,1032	0,8968
2	7,9762	0,1037	0,8963
3	8,0794	0,1050	0,8950
4	8,1190	0,1056	0,8944
5	8,1984	0,1066	0,8934
6	8,2698	0,1075	0,8925
7	8,4603	0,1100	0,8900
8	8,4921	0,1104	0,8896
9	8,4921	0,1104	0,8896
10	8,5794	0,1115	0,8885
11	8,5952	0,1117	0,8883
12	8,6190	0,1121	0,8879

✂ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

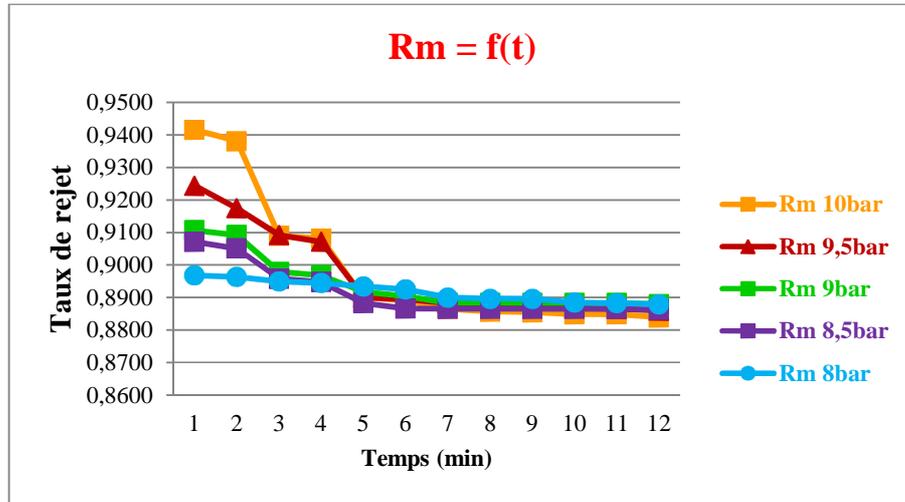


Figure V.35: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=4.5g/l$).

✂ La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat :

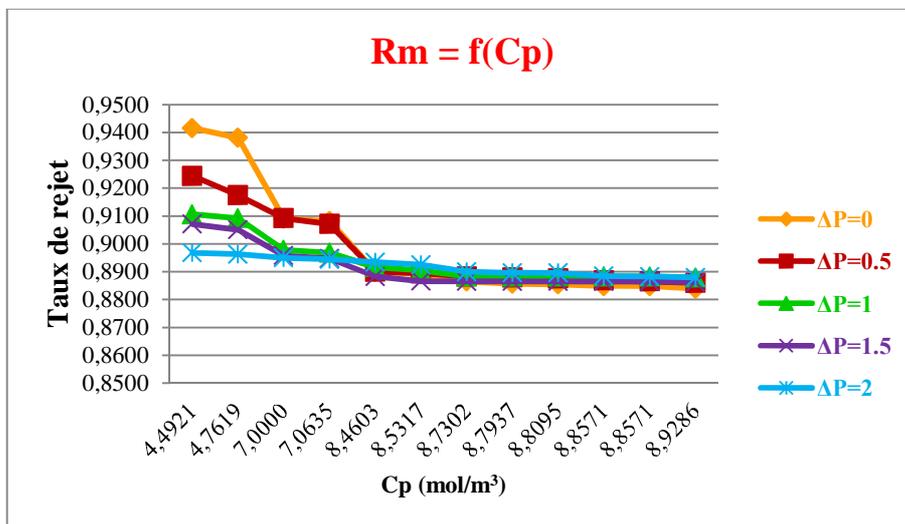


Figure V.36: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=4.5g/l$).

V.2.8. Pour une concentration de 5 g/l :*Manipulation n°01 :*

Conductivité de la solution d'alimentation : 2450 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 5 \text{ g/l} = 85.47 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 85.47 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

$$\text{Donc : } \pi = 4.17 * 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.71: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C=5\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	10	370	14,1	2340	683	235
2	10	10	370	14.4	2360	780	240
3	10	10	370	14,7	2370	950	245
4	10	10	370	15	2390	1000	250
5	10	10	370	15,3	2406	1166	255
6	10	10	370	15.6	2426	1180	260
7	10	10	370	15,9	2446	1200	265
8	10	10	370	16.2	2466	1200	270
9	10	10	370	16,5	2490	1200	275
10	10	10	370	16.68	2513	1200	278
11	10	10	370	16,8	2530	1200	280
12	10	10	370	17.1	2553	1205	285

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2450 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.72: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

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	10	9,5	760	14,1	2380	716	235
2	10	9,5	760	14.4	2400	790	240
3	10	9,5	760	14,7	2416	895	245
4	10	9,5	760	14.88	2433	1005	248
5	10	9,5	760	15	2450	1150	250
6	10	9,5	760	15.3	2470	1160	255
7	10	9,5	760	15,6	2486	1183	260
8	10	9,5	760	15.9	2510	1190	265
9	10	9,5	760	16,2	2530	1200	270
10	10	9,5	760	16.5	2550	1200	275
11	10	9,5	760	16,8	2573	1200	280
12	10	9,5	760	17.1	2593	1206	285

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : $2450\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 20°C .

Température après : 28°C .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.73: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

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	10	9	940	13,8	2446	833	230
2	10	9	940	14.1	2476	850	235
3	10	9	940	14,4	2500	1000	240
4	10	9	940	14.52	2523	1020	242
5	10	9	940	14,7	2546	1133	245
6	10	9	940	15	2570	1150	250
7	10	9	940	15,3	2593	1183	255
8	10	9	940	15.6	2620	1183	260
9	10	9	940	15,9	2643	1183	265
10	10	9	940	16.08	2663	1183	268
11	10	9	940	16,2	2686	1183	270
12	10	9	940	16.5	2713	1190	275

✂ *Manipulation n°04 :*

Conductivité de la solution d'alimentation : 2450 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 18 °C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.74: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	10	8,5	940	12,9	2376	250	215
2	10	8,5	940	13,08	2396	400	218
3	10	8,5	940	13,2	2416	750	220
4	10	8,5	940	13,5	2423	800	225
5	10	8,5	940	13,8	2453	1083	230
6	10	8,5	940	14,1	2486	1105	235
7	10	8,5	940	14,4	2546	1150	240
8	10	8,5	940	14,4	2573	1155	240
9	10	8,5	940	14,7	2603	1162	245
10	10	8,5	940	15	2623	1160	250
11	10	8,5	940	15,3	2650	1166	255
12	10	8,5	940	15,6	2673	1180	260

✂ *Manipulation n°05 :*

Conductivité de la solution d'alimentation : 2450 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 17 °C.

Température après : 25°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.75: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

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	10	8	940	12,3	2346	1016	205
2	10	8	940	12.48	2383	1020	208
3	10	8	940	12,6	2420	1035	210
4	10	8	940	12.9	2450	1040	215
5	10	8	940	12,9	2486	1050	215
6	10	8	940	13.2	2516	1065	220
7	10	8	940	13,5	2546	1085	225
8	10	8	940	13.8	2573	1090	230
9	10	8	940	14,1	2600	1098	235
10	10	8	940	14.4	2623	1116	240
11	10	8	940	14,7	2650	1116	245
12	10	8	940	14.7	2673	1124	245

V.2.8.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

✂ La variation de conductivité de perméat :

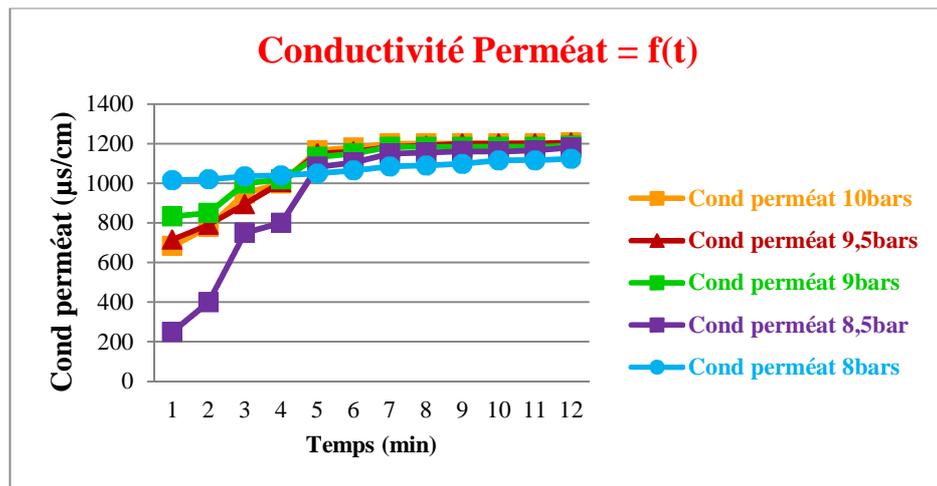


Figure V.37 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).

✂ La variation de conductivité du concentrât :

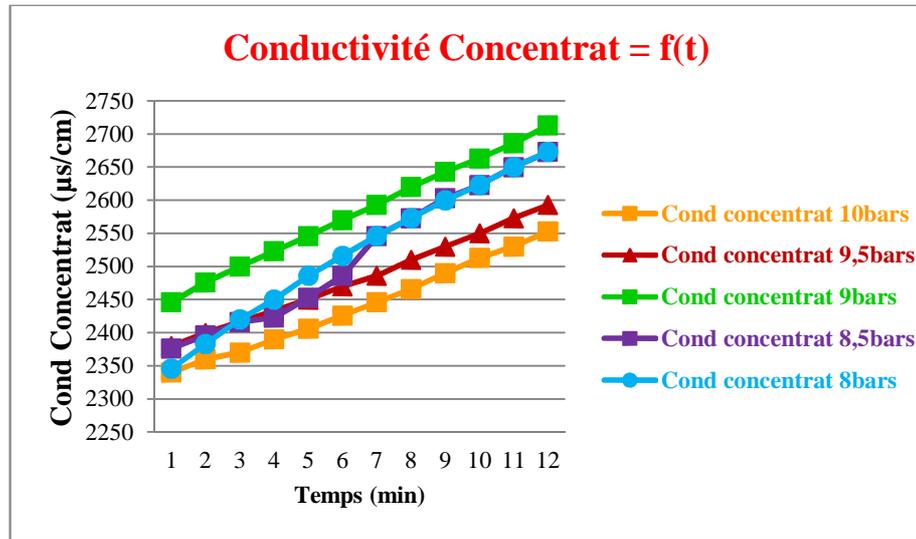


Figure V.38 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).

V.2.8.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

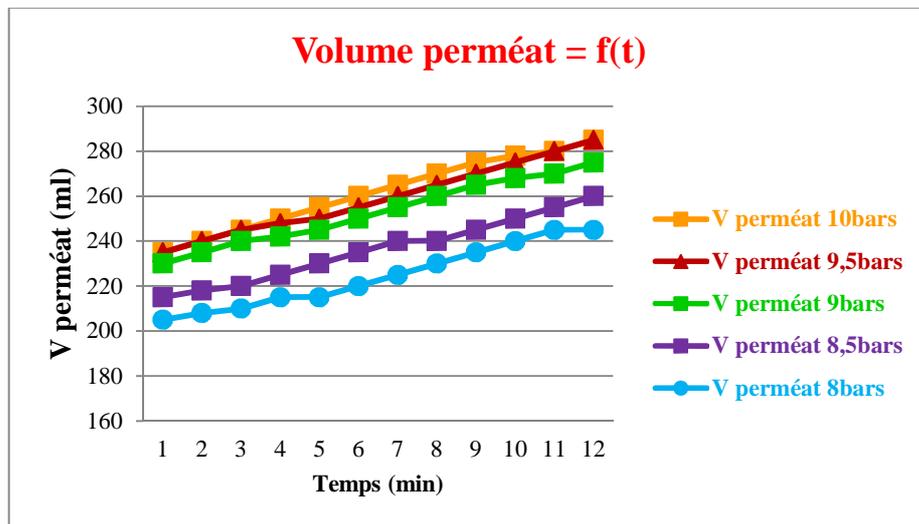


Figure V.39 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).

V.2.8.3. La variation de la rétention globale du module :

✂ Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.76 : 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 ; $C=5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,4206	0,0634	0,9366
2	6,1905	0,0724	0,9276
3	7,5397	0,0882	0,9118
4	7,9365	0,0929	0,9071
5	9,2540	0,1083	0,8917
6	9,3651	0,1096	0,8904
7	9,5238	0,1114	0,8886
8	9,5238	0,1114	0,8886
9	9,5238	0,1114	0,8886
10	9,5238	0,1114	0,8886
11	9,5238	0,1114	0,8886
12	9,5635	0,1119	0,8881

✂ Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.77 : 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 ; $C=5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,6825	0,0665	0,9335
2	6,2698	0,0734	0,9266
3	7,1032	0,0831	0,9169
4	7,9762	0,0933	0,9067
5	9,1270	0,1068	0,8932
6	9,2063	0,1077	0,8923
7	9,3889	0,1099	0,8901
8	9,4444	0,1105	0,8895
9	9,5238	0,1114	0,8886
10	9,5238	0,1114	0,8886
11	9,5238	0,1114	0,8886
12	9,5714	0,1120	0,8880

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.78 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	6,6111	0,0774	0,9226
2	6,7460	0,0789	0,9211
3	7,9365	0,0929	0,9071
4	8,0952	0,0947	0,9053
5	8,9921	0,1052	0,8948
6	9,1270	0,1068	0,8932
7	9,3889	0,1099	0,8901
8	9,3889	0,1099	0,8901
9	9,3889	0,1099	0,8901
10	9,3889	0,1099	0,8901
11	9,3889	0,1099	0,8901
12	9,4444	0,1105	0,8895

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.79 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	1,9841	0,0232	0,9768
2	3,1746	0,0371	0,9629
3	5,9524	0,0696	0,9304
4	6,3492	0,0743	0,9257
5	8,5952	0,1006	0,8994
6	8,7698	0,1026	0,8974
7	9,1270	0,1068	0,8932
8	9,1667	0,1073	0,8927
9	9,2222	0,1079	0,8921
10	9,2063	0,1077	0,8923
11	9,2540	0,1083	0,8917
12	9,3651	0,1096	0,8904

☞ **Manipulation n°05 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.80 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	8,0635	0,0943	0,9057
2	8,0952	0,0947	0,9053
3	8,2143	0,0961	0,9039
4	8,2540	0,0966	0,9034
5	8,3333	0,0975	0,9025
6	8,4524	0,0989	0,9011
7	8,6111	0,1008	0,8992
8	8,6508	0,1012	0,8988
9	8,7143	0,1020	0,8980
10	8,8571	0,1036	0,8964
11	8,8571	0,1036	0,8964
12	8,9206	0,1044	0,8956

☞ **La variation de taux de rejet en fonction de temps :**

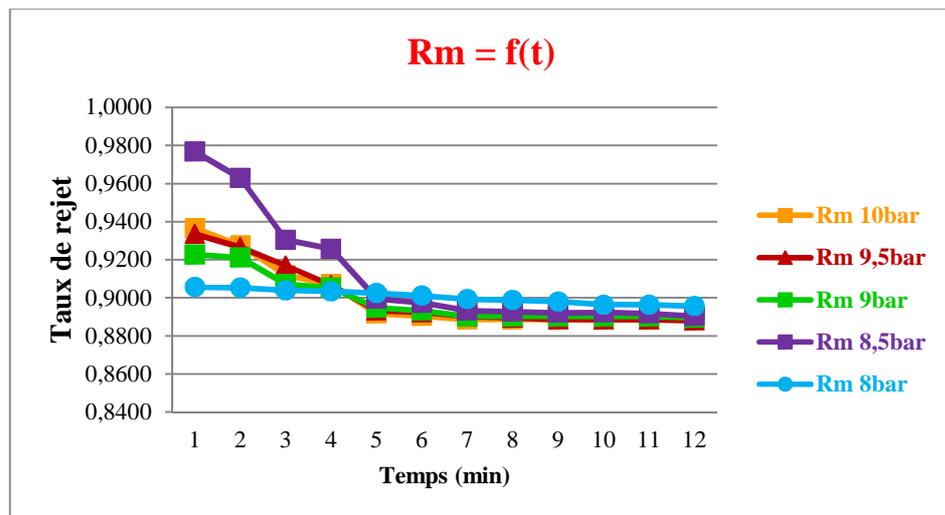


Figure V.40: La variation de taux de rejet en fonction du temps

($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=5$ g/l).

☞ La variation de taux de rejet en fonction de concentration du perméat :

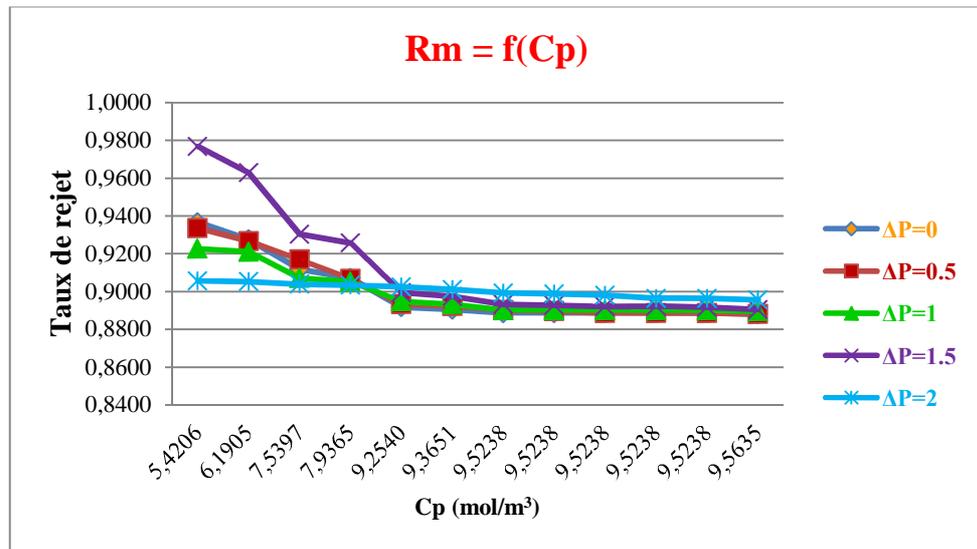


Figure V.41: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).

V.3. Etude de la rétention globale du module :

V.3.1. Pour une concentration de 4 g/l et une pression alimentation 12 bar:

☞ *Manipulation n°01 :*

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 18 °C.

Température après : 26°C.

$$\pi = 3.34 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.81 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

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	12	12	390	17,4	2100	400	290
2	12	12	390	17,4	2110	450	290
3	12	12	390	17,7	2120	710	295
4	12	12	390	18	2130	800	300
5	12	12	390	18,6	2140	1000	310
6	12	12	390	18,72	2156	1005	312
7	12	12	390	18,9	2170	1016	315
8	12	12	390	19,5	2186	1016	325
9	12	12	390	19,8	2200	1016	330
10	12	12	390	20,1	2216	1016	335
11	12	12	390	20,4	2233	1016	340
12	12	12	390	20,7	2250	1019	345

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : $2025 \mu\text{s/cm}$.

Température avant : 19°C .

Température après : 27°C .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.82 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

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	12	11,5	650	17,4	2123	550	290
2	12	11,5	650	17,7	2140	600	295
3	12	11,5	650	18	2156	800	300
4	12	11,5	650	18,3	2170	850	305
5	12	11,5	650	18,9	2183	983	315
6	12	11,5	650	19,2	2203	989	320
7	12	11,5	650	19,5	2220	1000	325
8	12	11,5	650	19,8	2236	1000	330
9	12	11,5	650	19,8	2253	1000	330
10	12	11,5	650	20,4	2273	1000	340
11	12	11,5	650	20,7	2286	1000	345
12	12	11,5	650	21	2303	1003	350

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 19 °C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.83 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=4\text{g}/\text{l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	12	11	940	16,8	2140	616	280
2	12	11	940	17.1	2166	650	285
3	12	11	940	17,4	2186	820	290
4	12	11	940	17.7	2200	880	295
5	12	11	940	18	2223	983	300
6	12	11	940	18.3	2243	989	305
7	12	11	940	18,6	2260	1000	310
8	12	11	940	18.72	2280	1000	312
9	12	11	940	18,9	2300	1000	315
10	12	11	940	19.2	2316	1000	320
11	12	11	940	19,5	2336	1000	325
12	12	11	940	19.8	2356	1003	330

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 18 °C.

Température après : 25°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.84 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

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	12	10,5	940	15,9	2183	783	265
2	12	10,5	940	16.2	2220	800	270
3	12	10,5	940	16,5	2250	900	275
4	12	10,5	940	16.8	2276	900	280
5	12	10,5	940	17,1	2300	966	285
6	12	10,5	940	17.4	2323	972	290
7	12	10,5	940	17,7	2346	983	295
8	12	10,5	940	18	2370	983	300
9	12	10,5	940	18,3	2390	983	305
10	12	10,5	940	18.6	2410	983	310
11	12	10,5	940	18,9	2430	983	315
12	12	10,5	940	19.2	2450	985	320

✂ *Manipulation n°05 :*

Conductivité de la solution d'alimentation : 2025 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 21 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.85 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

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	12	10	940	22,8	3053	840	380
2	12	10	940	22.98	3103	850	383
3	12	10	940	23,1	3146	940	385
4	12	10	940	23.7	3180	970	395
5	12	10	940	24	3216	983	400
6	12	10	940	24.3	3250	989	405
7	12	10	940	24,6	3283	1000	410
8	12	10	940	24.9	3313	1000	415
9	12	10	940	25,5	3340	1000	425
10	12	10	940	25.62	3366	1000	42
11	12	10	940	25,8	3393	1000	430
12	12	10	940	26.22	3420	1003	437

V.3.1.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

✂ La variation de conductivité de perméat :

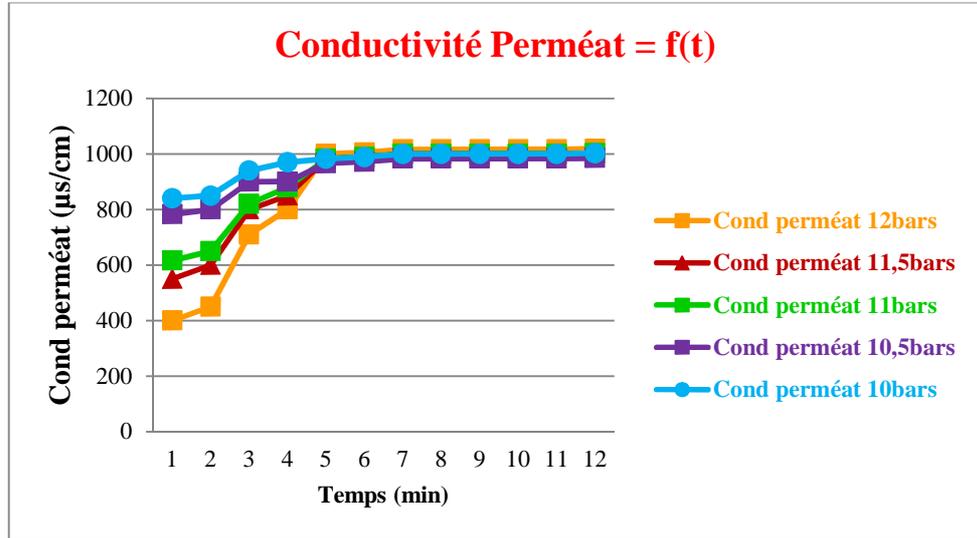


Figure V.42 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=12 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l).

✂ La variation de conductivité du concentrât :

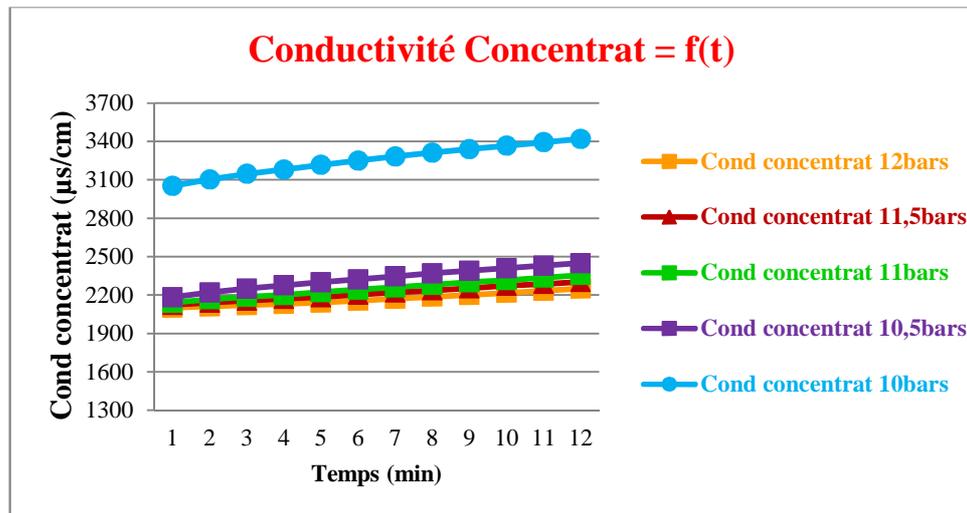


Figure V.43 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (P_{entrée}=12 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l).

V.3.1.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

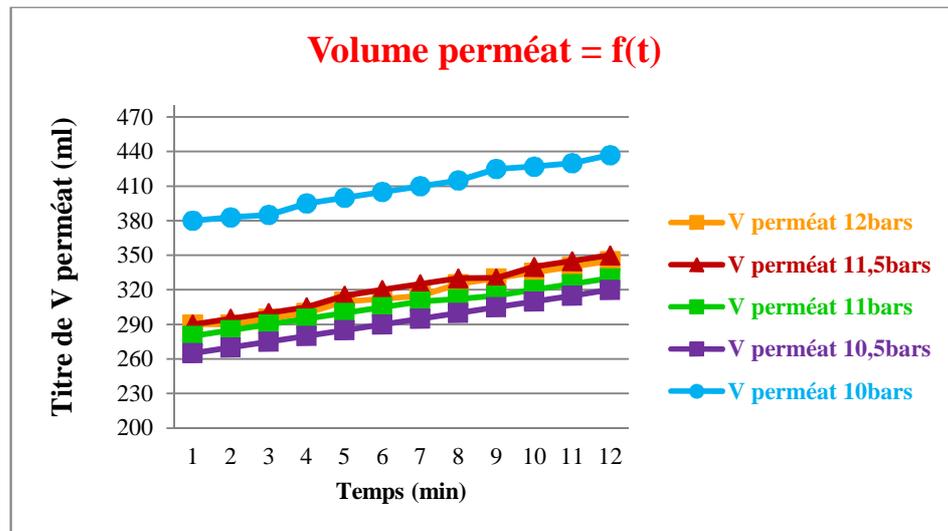


Figure V.44 : La variation de volume du perméat en fonction du temps

($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4\text{g/l}$).

V.3.1.3. La variation de la rétention globale du module :

✂ Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.86 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P=0$ 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	3,1746	0,0464	0,9536
2	3,5714	0,0522	0,9478
3	5,6349	0,0824	0,9176
4	6,3492	0,0929	0,9071
5	7,9365	0,1161	0,8839
6	7,9762	0,1166	0,8834
7	8,0635	0,1179	0,8821
8	8,0635	0,1179	0,8821
9	8,0635	0,1179	0,8821
10	8,0635	0,1179	0,8821
11	8,0635	0,1179	0,8821
12	8,0873	0,1183	0,8817

✂ *Manipulation n°02 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.87 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	4,3651	0,0638	0,9362
2	4,7619	0,0696	0,9304
3	6,3492	0,0929	0,9071
4	6,7460	0,0987	0,9013
5	7,8016	0,1141	0,8859
6	7,8492	0,1148	0,8852
7	7,9365	0,1161	0,8839
8	7,9365	0,1161	0,8839
9	7,9365	0,1161	0,8839
10	7,9365	0,1161	0,8839
11	7,9365	0,1161	0,8839
12	7,9603	0,1164	0,8836

✂ *Manipulation n°03 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.88 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	4,8889	0,0715	0,9285
2	5,1587	0,0754	0,9246
3	6,5079	0,0952	0,9048
4	6,9841	0,1021	0,8979
5	7,8016	0,1141	0,8859
6	7,8492	0,1148	0,8852
7	7,9365	0,1161	0,8839
8	7,9365	0,1161	0,8839
9	7,9365	0,1161	0,8839
10	7,9365	0,1161	0,8839
11	7,9365	0,1161	0,8839
12	7,9603	0,1164	0,8836

✂ *Manipulation n°04 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.89 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	6,2143	0,0909	0,9091
2	6,3492	0,0929	0,9071
3	7,1429	0,1045	0,8955
4	7,1429	0,1045	0,8955
5	7,6667	0,1121	0,8879
6	7,7143	0,1128	0,8872
7	7,8016	0,1141	0,8859
8	7,8016	0,1141	0,8859
9	7,8016	0,1141	0,8859
10	7,8016	0,1141	0,8859
11	7,8016	0,1141	0,8859
12	7,8175	0,1143	0,8857

✂ *Manipulation n°05 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.90 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=4\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	6,6667	0,0975	0,9025
2	6,7460	0,0987	0,9013
3	7,4603	0,1091	0,8909
4	7,6984	0,1126	0,8874
5	7,8016	0,1141	0,8859
6	7,8492	0,1148	0,8852
7	7,9365	0,1161	0,8839
8	7,9365	0,1161	0,8839
9	7,9365	0,1161	0,8839
10	7,9365	0,1161	0,8839
11	7,9365	0,1161	0,8839
12	7,9603	0,1164	0,8836

✂ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

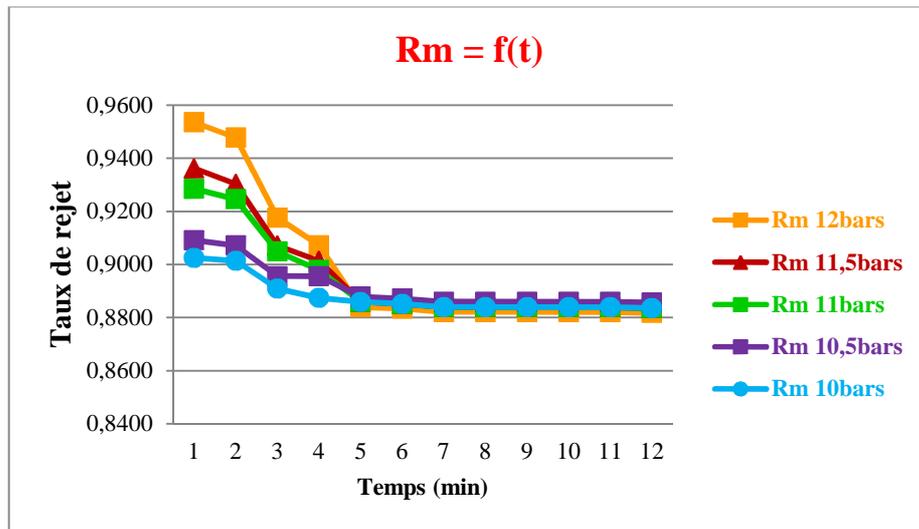


Figure V.45: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=4g/l$).

✂ La variation de taux de rejet en fonction de concentration du perméat :

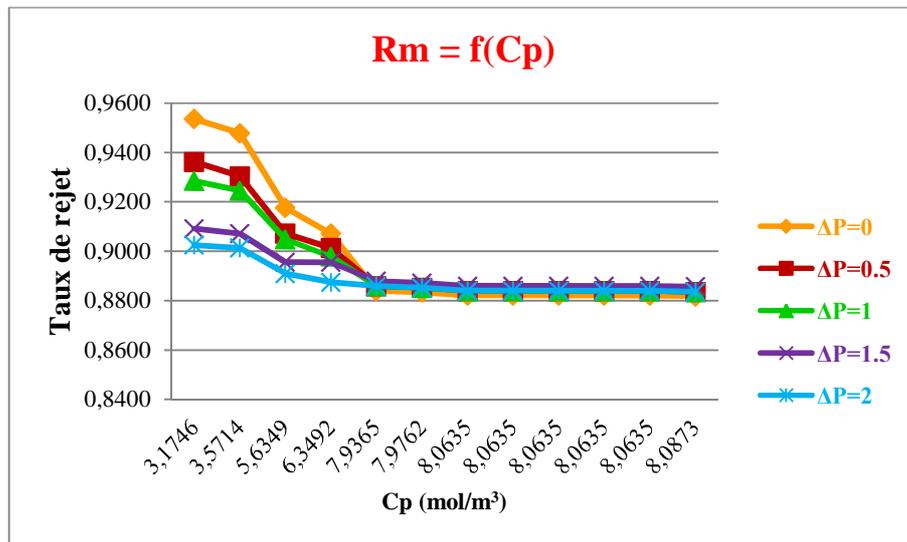


Figure V.46: La variation de taux de rejet en fonction de perméat
($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=4g/l$).

V.3.2. Pour une concentration de 4.5 g/l et une pression alimentation 12 bar:

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 18 °C.

Température après : 26°C. $\pi = 3.75 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.91 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C=4.5\text{g/l}$).

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	12	12	220	16,8	2306	216	280
2	12	12	220	17.1	2326	300	285
3	12	12	220	17,4	2346	730	290
4	12	12	220	17.7	2373	800	295
5	12	12	220	18	2393	1116	300
6	12	12	220	18.3	2420	1123	305
7	12	12	220	18,6	2436	1133	310
8	12	12	220	18.9	2460	1133	315
9	12	12	220	19,2	2476	1133	320
10	12	12	210	19.5	2500	1133	325
11	12	12	200	19,8	2513	1133	330
12	12	12	200	20.1	2536	1135	335

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 17 °C.

Température après : 25°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.92 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

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	12	11,5	640	16,2	2243	700	270
2	12	11,5	640	16,5	2256	750	275
3	12	11,5	640	16,8	2266	920	280
4	12	11,5	640	17,1	2276	980	285
5	12	11,5	640	17,4	2290	1083	290
6	12	11,5	620	17,7	2306	1089	295
7	12	11,5	620	18	2323	1100	300
8	12	11,5	620	18,3	2340	1100	305
9	12	11,5	620	18,6	2356	1100	310
10	12	11,5	620	18,9	2370	1100	315
11	12	11,5	620	19,2	2386	1100	320
12	12	11,5	620	19,5	2406	1103	325

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 20 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.93 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

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	12	11	940	16,5	2356	683	275
2	12	11	940	17,1	2380	730	285
3	12	11	940	17,7	2403	905	295
4	12	11	940	18	2423	925	300
5	12	11	940	18,3	2440	1083	305
6	12	11	940	18,3	2463	1088	305
7	12	11	940	18,9	2483	1100	315
8	12	11	940	19,2	2403	1100	320
9	12	11	940	19,5	2523	1100	325
10	12	11	940	19,8	2540	1100	330
11	12	11	940	20,1	2560	1100	335
12	12	11	940	20,4	2580	1102	340

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 20 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.94 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=4.5\text{g}/\text{l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	12	10,5	940	17,1	2440	800	285
2	12	10,5	940	17.4	2476	820	290
3	12	10,5	940	17,7	2510	935	295
4	12	10,5	940	17.88	2540	990	298
5	12	10,5	940	18	2563	1083	300
6	12	10,5	940	18.3	2590	1089	305
7	12	10,5	940	18,6	2613	1100	310
8	12	10,5	940	18.9	2633	1100	315
9	12	10,5	940	19,2	2656	1100	320
10	12	10,5	940	19.5	2673	1100	325
11	12	10,5	940	19,8	2696	1100	330
12	12	10,5	940	20.1	2716	1103	335

Manipulation n°05 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2250 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 21 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.95 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

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	12	10	940	22,8	3370	883	380
2	12	10	940	23.1	3416	910	385
3	12	10	940	23,4	3456	1015	390
4	12	10	940	23.7	3493	1080	395
5	12	10	940	24	3526	1166	400
6	12	10	940	24.36	3560	1172	406
7	12	10	940	24,6	3586	1183	410
8	12	10	940	25.08	3620	1183	418
9	12	10	940	25,2	3643	1183	420
10	12	10	940	25.8	3666	1183	430
11	12	10	940	26,4	3696	1183	440
12	12	10	940	26.4	3720	1186	440

V.3.2.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

✂ La variation de conductivité de perméat :

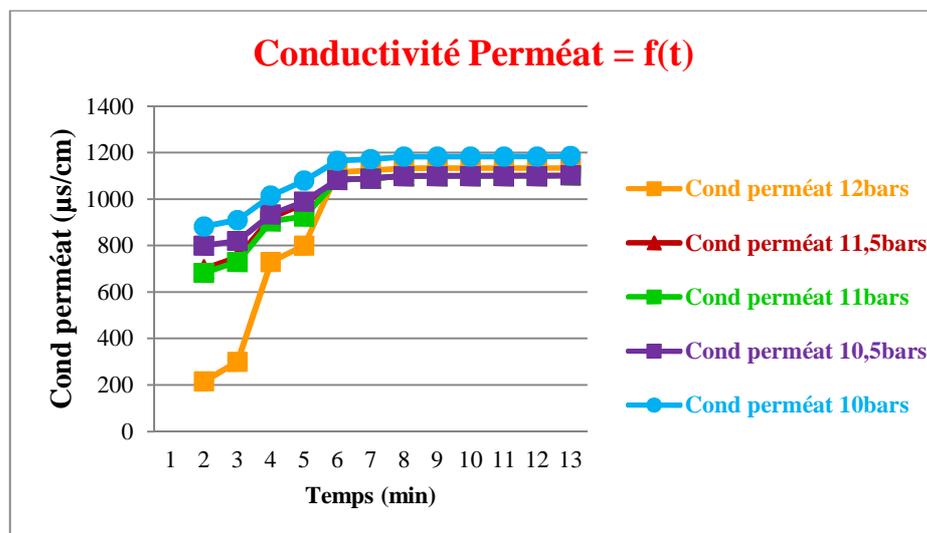


Figure V.47 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).

☞ La variation de conductivité du concentrât :

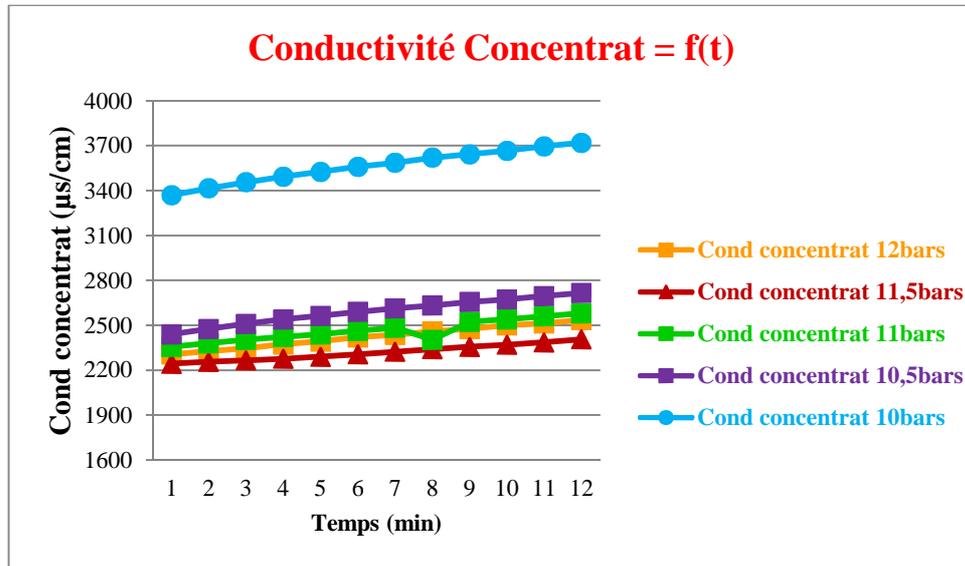


Figure V.48 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).

V.3.2.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

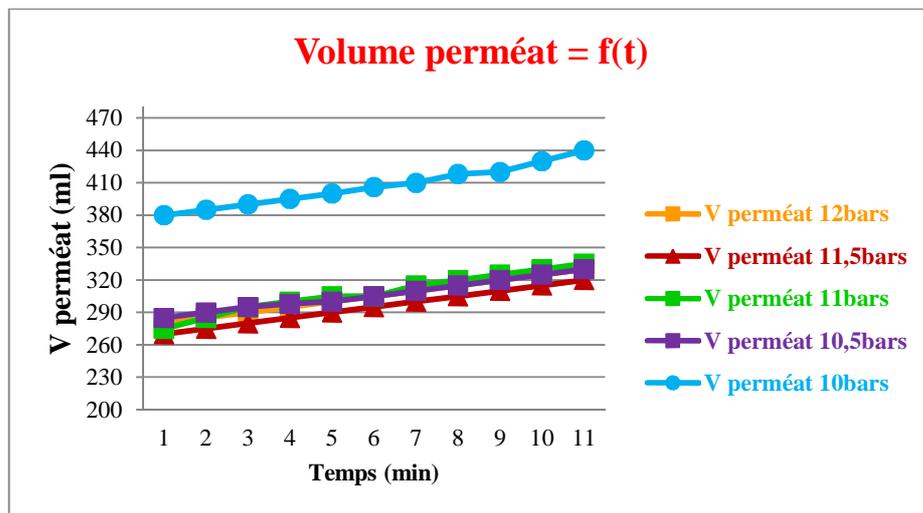


Figure V.49 : La variation de volume de perméat en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=4.5\text{g/l}$).

V.3.2.3. La variation de la rétention globale du module :

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.96 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P=0$ bar ; $C=4.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	1,7143	0,0223	0,9777
2	2,3810	0,0310	0,9690
3	5,7937	0,0753	0,9247
4	6,3492	0,0825	0,9175
5	8,8571	0,1151	0,8849
6	8,9127	0,1159	0,8841
7	8,9921	0,1169	0,8831
8	8,9921	0,1169	0,8831
9	8,9921	0,1169	0,8831
10	8,9921	0,1169	0,8831
11	8,9921	0,1169	0,8831
12	9,0079	0,1171	0,8829

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.97 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P=0.5$ bar ; $C=4.5$ g/l).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,5556	0,0722	0,9278
2	5,9524	0,0774	0,9226
3	7,3016	0,0949	0,9051
4	7,7778	0,1011	0,8989
5	8,5952	0,1117	0,8883
6	8,6429	0,1124	0,8876
7	8,7302	0,1135	0,8865
8	8,7302	0,1135	0,8865
9	8,7302	0,1135	0,8865
10	8,7302	0,1135	0,8865
11	8,7302	0,1135	0,8865
12	8,7540	0,1138	0,8862

 **Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.98 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,4206	0,0705	0,9295
2	5,7937	0,0753	0,9247
3	7,1825	0,0934	0,9066
4	7,3413	0,0954	0,9046
5	8,5952	0,1117	0,8883
6	8,6349	0,1123	0,8877
7	8,7302	0,1135	0,8865
8	8,7302	0,1135	0,8865
9	8,7302	0,1135	0,8865
10	8,7302	0,1135	0,8865
11	8,7302	0,1135	0,8865
12	8,7460	0,1137	0,8863

 **Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.99 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	6,3492	0,0825	0,9175
2	6,5079	0,0846	0,9154
3	7,4206	0,0965	0,9035
4	7,8571	0,1021	0,8979
5	8,5952	0,1117	0,8883
6	8,6429	0,1124	0,8876
7	8,7302	0,1135	0,8865
8	8,7302	0,1135	0,8865
9	8,7302	0,1135	0,8865
10	8,7302	0,1135	0,8865
11	8,7302	0,1135	0,8865
12	8,7540	0,1138	0,8862

✂ *Manipulation n°05 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.100 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=4.5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	7,0079	0,0911	0,9089
2	7,2222	0,0939	0,9061
3	8,0556	0,1047	0,8953
4	8,5714	0,1114	0,8886
5	9,2540	0,1203	0,8797
6	9,3016	0,1209	0,8791
7	9,3889	0,1221	0,8779
8	9,3889	0,1221	0,8779
9	9,3889	0,1221	0,8779
10	9,3889	0,1221	0,8779
11	9,3889	0,1221	0,8779
12	9,4127	0,1224	0,8776

✂ **La variation de taux de rejet en fonction de temps :**

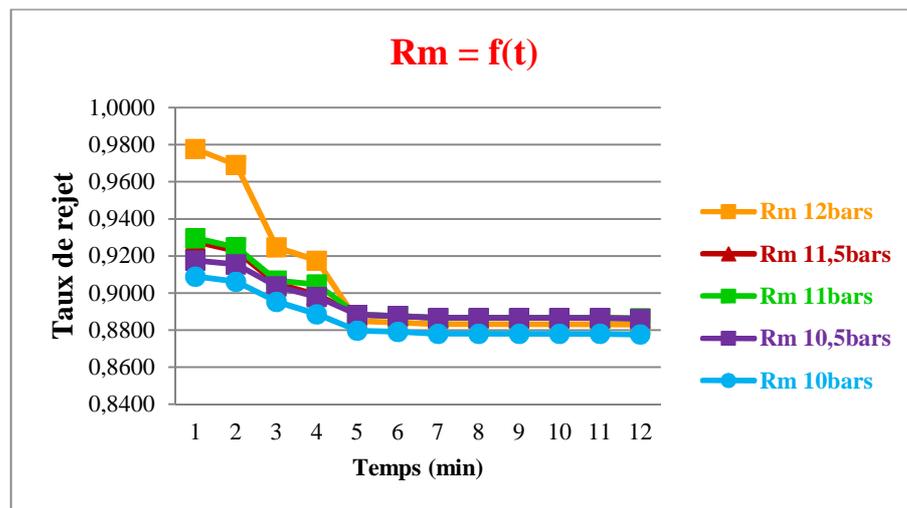


Figure V.50: La variation de taux de rejet en fonction du temps

($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=4.5\text{g/l}$).

☞ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

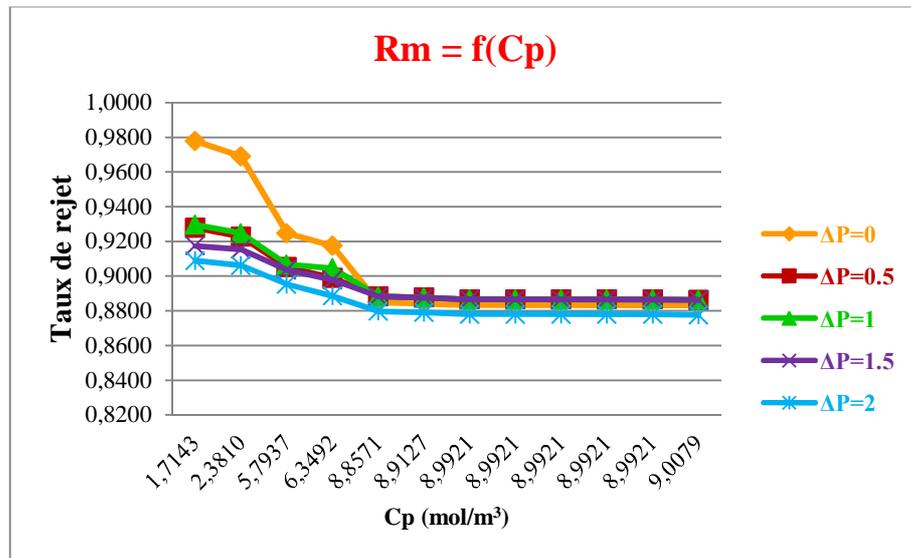


Figure V.51: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=10$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$; $C=4.5$ g/l).

V.3.3. Pour une concentration de 5 g/l et une pression alimentation 12 bar:

☞ Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2450 $\mu\text{s/cm}$.

Température avant : 20 °C.

Température après : 29°C.

$$\pi = 4.17 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.101 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

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	12	12	375	17,7	2526	350	295
2	12	12	375	18	2540	400	300
3	12	12	375	18,3	2553	830	305
4	12	12	375	18,6	2566	980	310
5	12	12	375	18,9	2576	1216	315
6	12	12	375	19,2	2596	1222	320
7	12	12	375	19,5	2613	1233	325
8	12	12	375	19,8	2630	1233	330
9	12	12	375	20,1	2646	1233	335
10	12	12	375	20,4	2666	1233	340
11	12	12	375	20,7	2683	1233	345
12	12	12	375	21	2700	1236	350

Manipulation n°02 :

Conductivité de la solution d'alimentation : $2450 \mu\text{s/cm}$.

Température avant : 20°C .

Température après : 27°C .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.102 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

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	12	11,5	700	17,1	2520	450	285
2	12	11,5	700	16,8	2533	500	280
3	12	11,5	700	17,7	2546	825	295
4	12	11,5	700	18	2560	950	300
5	12	11,5	700	18,3	2576	1200	305
6	12	11,5	700	18,6	2593	1205	310
7	12	11,5	700	18,9	2610	1216	315
8	12	11,5	700	19,2	2630	1216	320
9	12	11,5	700	19,5	2650	1216	325
10	12	11,5	700	19,8	2666	1216	330
11	12	11,5	700	20,1	2683	1216	335
12	12	11,5	700	20,4	2706	1218	340

Manipulation n°03 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2450 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 20 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.103 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Volume perméat (ml)
1	12	11	940	17,4	2533	650	290
2	12	11	940	17.64	2556	700	294
3	12	11	940	18	2576	970	300
4	12	11	940	18.12	2603	1005	302
5	12	11	940	18,3	2620	1200	305
6	12	11	940	18.6	2643	1210	310
7	12	11	940	18,9	2660	1216	315
8	12	11	940	19.14	2683	1216	319
9	12	11	940	19,2	2703	1216	320
10	12	11	940	19.68	2723	1216	328
11	12	11	940	20,1	2743	1216	335
12	12	11	940	20.16	2766	1219	336

Manipulation n°04 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 2450 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Température avant : 21 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.104 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

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	12	10,5	940	17,4	2623	850	290
2	12	10,5	940	17.64	2653	880	294
3	12	10,5	940	18	2686	1020	300
4	12	10,5	940	18.12	2713	1085	302
5	12	10,5	940	18,3	2740	1200	305
6	12	10,5	940	18.72	2766	1210	312
7	12	10,5	940	18,9	2793	1216	315
8	12	10,5	940	19.2	2816	1216	320
9	12	10,5	940	19,5	2840	1216	325
10	12	10,5	940	19.8	2860	1216	330
11	12	10,5	940	20,1	2883	1216	335
12	12	10,5	940	20.28	2906	1218	338

Manipulation n°05 :

Conductivité de la solution d'alimentation : $2450 \mu\text{s/cm}$.

Température avant : 21°C .

Température après : 29°C .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.105 : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 2$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

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	12	10	940	22.8	3583	833	380
2	12	10	940	23.1	3636	850	385
3	12	10	940	23,4	3680	1020	390
4	12	10	940	23.7	3716	1090	395
5	12	10	940	24	3753	1200	400
6	12	10	940	20.7	3786	1207	345
7	12	10	940	24,6	3820	1220	410
8	12	10	940	24.9	3850	1220	415
9	12	10	940	25.2	3880	1220	420
10	12	10	940	25.5	3903	1220	425
11	12	10	940	25,8	3933	1220	430
12	12	10	940	26.1	3956	1223	435

V.3.3.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

✂ La variation de conductivité de perméat :

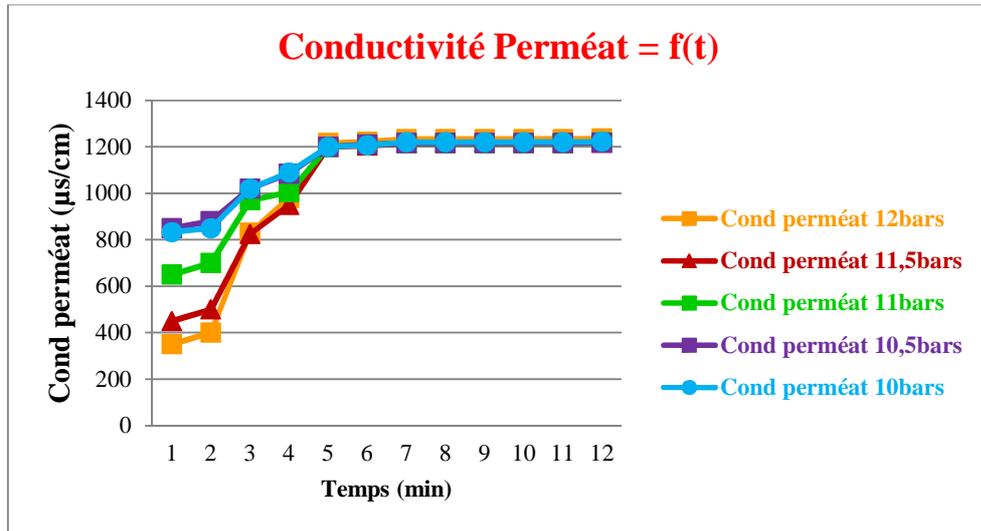


Figure V.52: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5g/l$).

✂ La variation de conductivité du concentrât :

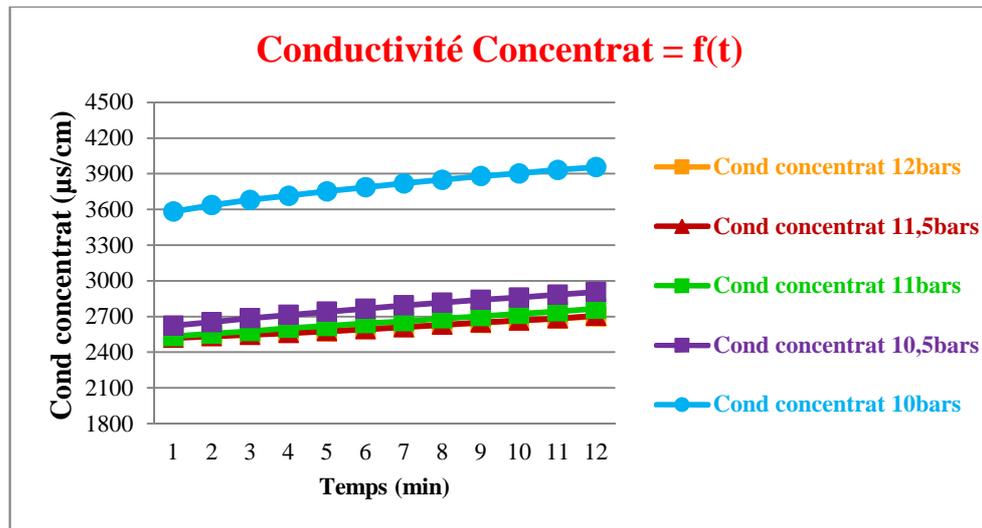


Figure V.53 : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5g/l$).

V.3.3.2. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

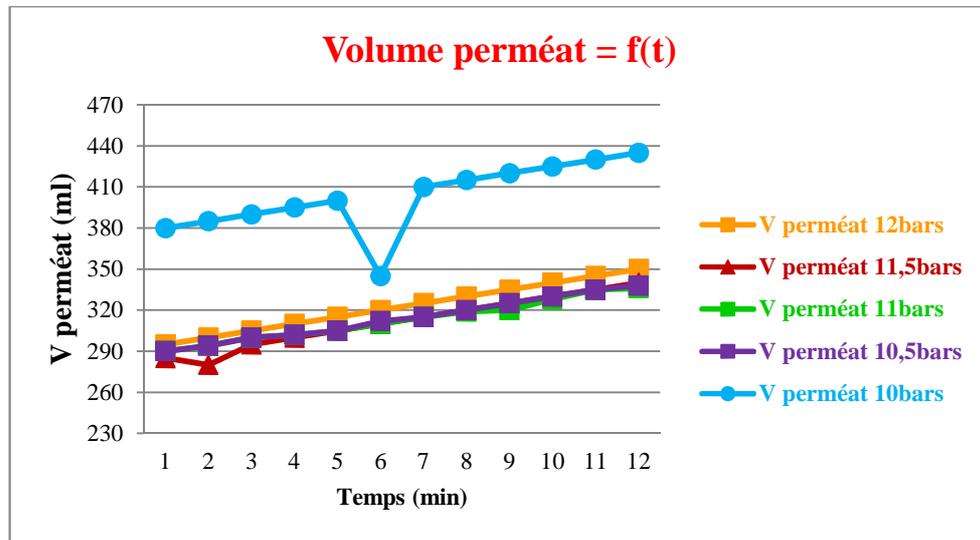


Figure V.54 : La variation de volume de perméat en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$; $C=5\text{g/l}$).

V.3.3.3. La variation de la rétention globale du module :

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.106 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	2,7778	0,0325	0,9675
2	3,1746	0,0371	0,9629
3	6,5873	0,0771	0,9229
4	7,7778	0,0910	0,9090
5	9,6508	0,1129	0,8871
6	9,6984	0,1135	0,8865
7	9,7857	0,1145	0,8855
8	9,7857	0,1145	0,8855
9	9,7857	0,1145	0,8855
10	9,7857	0,1145	0,8855
11	9,7857	0,1145	0,8855
12	9,8095	0,1148	0,8852

✂ *Manipulation n°02 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.107 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	3,5714	0,0418	0,9582
2	3,9683	0,0464	0,9536
3	6,5476	0,0766	0,9234
4	7,5397	0,0882	0,9118
5	9,5238	0,1114	0,8886
6	9,5635	0,1119	0,8881
7	9,6508	0,1129	0,8871
8	9,6508	0,1129	0,8871
9	9,6508	0,1129	0,8871
10	9,6508	0,1129	0,8871
11	9,6508	0,1129	0,8871
12	9,6667	0,1131	0,8869

✂ *Manipulation n°03 :*

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.108 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	5,1587	0,0604	0,9396
2	5,5556	0,0650	0,9350
3	7,6984	0,0901	0,9099
4	7,9762	0,0933	0,9067
5	9,5238	0,1114	0,8886
6	9,6032	0,1124	0,8876
7	9,6508	0,1129	0,8871
8	9,6508	0,1129	0,8871
9	9,6508	0,1129	0,8871
10	9,6508	0,1129	0,8871
11	9,6508	0,1129	0,8871
12	9,6746	0,1132	0,8868

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.109 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	6,7460	0,0789	0,9211
2	6,9841	0,0817	0,9183
3	8,0952	0,0947	0,9053
4	8,6111	0,1008	0,8992
5	9,5238	0,1114	0,8886
6	9,6032	0,1124	0,8876
7	9,6508	0,1129	0,8871
8	9,6508	0,1129	0,8871
9	9,6508	0,1129	0,8871
10	9,6508	0,1129	0,8871
11	9,6508	0,1129	0,8871
12	9,6667	0,1131	0,8869

Manipulation n°05 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.110 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 2$ bar ; $C=5\text{g/l}$).

Temps (min)	Cp = conductivité de perméat / 126 (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
1	6,6111	0,0774	0,9226
2	6,7460	0,0789	0,9211
3	8,0952	0,0947	0,9053
4	8,6508	0,1012	0,8988
5	9,5238	0,1114	0,8886
6	9,5794	0,1121	0,8879
7	9,6825	0,1133	0,8867
8	9,6825	0,1133	0,8867
9	9,6825	0,1133	0,8867
10	9,6825	0,1133	0,8867
11	9,6825	0,1133	0,8867
12	9,7063	0,1136	0,8864

✂ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

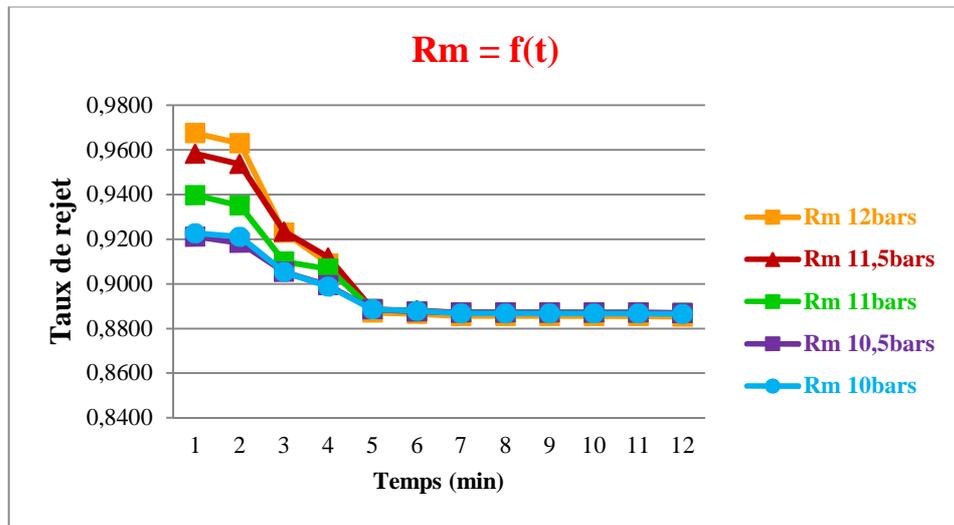


Figure V.55: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=5\text{g/l}$).

✂ La variation de taux de rejet en fonction de temps :

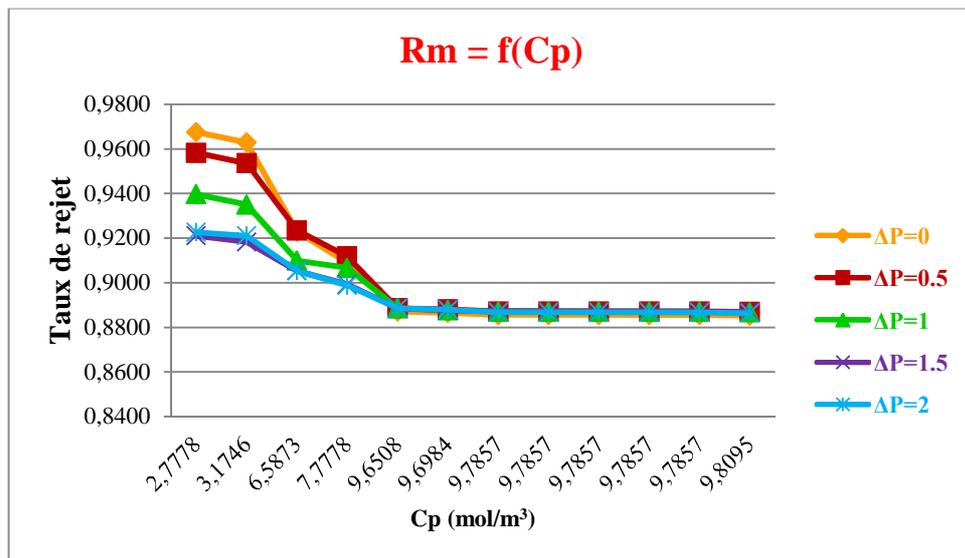


Figure V.56: La variation de taux de rejet en fonction du temps
($P_{\text{entrée}}=12$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=5\text{g/l}$).

V.4. INTERPRÉTATIONS DES RESULTATS :**Interprétation quand la pression d'entrée est de 10 bars:**

Pour $C = 1.5 \text{ g/l}$:

La conductivité du perméat varie d'une manière forte entre 0 et 5 mn, plus le temps augmente plus la conductivité du perméat augmente. Après 5mn nous constatons une certaine stabilité de la conductivité du perméat. Par contre plus différence de pression de part de la membrane diminue 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 ordonné que celle du perméat donné dans la figure précédente. Né au moins 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 de perméat en fonction du temps est représentée dans la figure V. 4. Cette figure montre bien 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 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 grande décroissance entre 0 mn et 5mn schématisé par des courbes dont les pentes sont assez importante puis une toute petite décroissance entre 5 et 8 mn ; après cela c'est-à-dire après 8mn les courbes se stabilisent et se stagne nous remarquons aussi que plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane est grande plus le taux de rejet est petit , cette variation elle aussi est importante dans le premier intervalle de temps « 0 - 5mn » puis peu décroissante dans le deuxième intervalle de temps « 5 et 8 mn » et en fin il se stabilise lui aussi après la 8^{ème} minute et donne pratiquement la même valeurs pour n'importe quel temps.

La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat varie dans le même sens qu'en fonction du temps dans les trois intervalles de concentrations correspondantes aux trois intervalles de temps précédemment. 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, né au moins nous constatons que la conductivité du perméat augmente avec le temps et la concentration du sel. Elle arrive jusqu'aux environs de 1200 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) au lieu de 470 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) pour la première solution et la différence de conductivité de l'ordre de 1000 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) pour une concentration de 5g/l de NaCl au lieu de 200 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) ; en ce qui concerne la variation de la conductivité du concentrât on note les mêmes remarques c'est à dire que la conductivité du concentrât augmente avec l'augmentation de temps seulement dans ce cas, la différence de conductivité reste pratiquement constante aux environs de 400 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) ; nous notons aussi que pour toutes ses solutions plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus la conductivité du concentrât augmente

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 augmente plus le volume du perméat diminue, à partir de la solution 2.5 g/l nous constatons un certain entassement dans les courbes et la variation du volume de 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 0.89 à 0.98 pour la 8^{ème} solution c'est-à-dire 5 g/l.

La figure V. 22 montre bien la variation de la conductivité du perméat en fonction du temps et pour les différentes concentrations et montre que plus la concentration augmente plus la conductivité du perméat augmente. Après 6 mn de traitement cette figure montre bien une certaine homogénéité dans la variation de la conductivité.

En ce qui concerne la variation de la conductivité en fonction du temps et pour les différentes concentrations, les courbes représentées dans la figure V. 23 montre très bien cette variation ce qui prouve bien que notre membrane d'osmose inverse donne toujours des bons résultats pour les faibles concentrations en sel.

Tous ces figures V. 22 à la figure V. 30 montrent bien que pour une pression d'entrée donnée, plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane est grande plus la

conductivité est meilleur plus on n'a plus de chance que l'eau soit meilleur, car la conductivité seule n'est pas un facteur fiable de la détermination de la qualité.

Interprétation pour la pression d'entrée égale à 12 bars :

Dans la dernière étude nous voulons montrer l'importance du choix de la pression d'entrée sur la qualité de l'eau traité en faisant varié la différence de pression de part et d'autre de la membrane et nous avons trouvé que la pression d'entrée 10 bars donne des résultats meilleurs que la pression d'entrée 12 bars bien sur pour la meilleurs différence de pression qui est de 2 bars.



Conclusion générale

Conclusion générale

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est une technique qui a prouvé son intérêt pour subvenir au besoin en eau potable pour les pays souffrant d'une grande pénurie d'eau douce.

Le procédé de dessalement par osmose inverse est une technique de filtration membranaire. Il est utilisé pour le dessalement des eaux de mer, des eaux saumâtres, ainsi que des eaux usées urbaines et industrielles. Ce procédé permet l'élimination des sels et des substances organiques présentes dans les eaux ainsi qu'une partie des virus et des bactéries.

L'objectif de ce mémoire était de faire une étude sur le dessalement des eaux faiblement saumâtres en utilisant le pilote TE200 du laboratoire TEE de département d'Hydraulique.

À partir des résultats trouvées dans notre travail et après plusieurs manipulations, nous avons conclu que :

- ❖ Une augmentation de la concentration en NaCl de la solution d'alimentation provoque une augmentation de la pression osmotique ce qui nécessite une augmentation de la pression d'entrée du module ;
- ❖ Plus le temps augmente plus la conductivité du perméat augmente. Elle varie d'une manière forte entre 0 et 5 mn. Après 5mn nous constatons une certaine stabilité de la conductivité du perméat. Par contre plus la différence de pression de part de la membrane diminue plus la conductivité du perméat diminue ;
- ❖ Plus le temps augmente plus la conductivité du concentrât augmente et elle diminue quand la différence de pression de part et d'autre de la membrane diminue ;
- ❖ Plus le temps augmente plus le volume de perméat augmente jusqu'à ce qu'il atteigne un équilibre ;
- ❖ Plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le volume du perméat diminue ;
- ❖ La variation du taux de rejet en fonction du temps présente une grande décroissance entre 0 mn et 5mn avec une pente assez importante, puis une toute petite décroissance entre 5 et 8 mn et après il devient stable
- ❖ Plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane est grande plus le taux de rejet est petit ;

Conclusion générale

- ❖ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat varie dans le même sens qu'en fonction du temps. Plus la concentration du perméat augmente plus le taux de rejet diminue ;
- ❖ Nous remarquons aussi que plus la concentration en sel augmente plus la conductivité de perméat augmente et plus le débit du perméat diminue ;
- ❖ notre membrane d'osmose inverse donne toujours des bons résultats pour les faibles concentrations en sel ;
- ❖ plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane est grande plus la conductivité est meilleur plus on n'a plus de chance que l'eau soit meilleur, car la conductivité seule n'est pas un facteur fiable de la détermination de la qualité ;
- ❖ La pression d'entrée 10 bars donne des résultats meilleurs que la pression d'entrée 12 bars bien sur pour la meilleurs différence de pression qui est de 2 bars.

Bibliographies

- [1] <http://dessalement.wordpress.com/> consulté le 24/02/2013.
- [2] T. Tahri, A. Bettahar, M. Douani, S.A. AbdulWahab, H. AlHinai, Y. AlMulla : « Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole »
http://www.univ-chlef.dz/uahbc/seminaires_2010/Article_Tahri_C13.pdf (14/04/2013).
- [3] HALLOUFI Ouahid (2010) : « Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pré- chauffage solaire de l'eau saumâtre ». Mémoire présente pour l'obtention du diplôme de magister en Génie Climatique, université MENTOURI CONSTANTINE.
<http://bu.umc.edu.dz/theses/gclim/HAL5596.pdf> consulté le 20/05/2013.
- [4] Jean-Pierre Méricq (2009) : « Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire ». Thèse en vue de l'obtention du DOCTORAT de l'université de TOULOUSE France.
- [5] Yacine Barhoumi-Andreani, Julien Gaudremeau, Benoit Gerbe, Frédéric Khamsing et Yoann Rabatel (2004) : « Eau ressources et menaces ». Chutes d'Iguaçu- Argentine.
<http://www.emse.fr/site/publications/eau.pdf> consulté le 07/06/2013.
- [6] CHERIF Lamia (2012): « L'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le prétraitement des eaux saumâtres ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de Diplôme de Master en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- [7] <http://www.cieau.com/tout-sur-l-eau/> consulté le 26/02/2013.
- [8] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/eau-proprietes-qualite-valeurs-d-usage-42506210/caracteristiques-et-proprietes-des-eaux-w110/> consulté le 26/02/2013.
- [9] <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/menuRessour.html> consulté le 14/07/2013.
- [10] <http://www.medecine-et-sante.com/nutrition.html> consulté le 14/07/2013.
- [11] Alpha Sidiki MAIGA (2005) : « Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de BAMAKO : Evaluation saisonnière ».

Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie, faculté de Médecine de Pharmacie et D'ODONTO-STOMATOLOGIE

http://indexmedicus.afro.who.int/iah/fulltext/Thesis_Bamako/0543.pdf consulté le 15/06/2013.

[12] Direction Générale de la Santé (2003) : « Rapport de synthèse 1996-1997-1998- Ressources en eau- Distribution de l'eau d'alimentation- Qualité des eaux distribuées dans les unités de distribution de plus de 5 000 habitants ». 8, Avenue de Ségur – Paris.

[13] Groupe scientifique sur l'eau (2003) : « Turbidité ». Dans *Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*. Institut national de santé publique du Québec.

<http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198-CartableEau/Turbidite.pdf> .

[14] Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds

<http://dspace.univ-tlemcem.dz/bitstream/112/995/8/CHAPITRE04.PDF> consulté le 15/06/2013.

[15] 2. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Fiche 2

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement

http://ww3.ac-poitiers.fr/math_sp/pedago/CAPPHY/PHICHI.PDF consulté le 15/06/2013.

[16] FECIH Abba (2012): « L'influence de la filtration sur sable sur le traitement des eaux saumâtres ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de Diplôme de Master en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[17] KAROUT Souad (2009) : « Estimation des pertes thermiques dans des systèmes de dessalement par voie solaire ». Mémoire présenté pour obtenir le Diplôme de MAGISTER en Physique, université MENTOURI de CONSTANTINE.

[18] Dégréement (1940) : « Mémento et technique de l'eau ». Edition France

[19] LOUNNAS Amel (2009) : « Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station HAMADI-KROMA de SKIKDA ». Mémoire de Magister, université du 20 Août 1955 Skikda.

[20] DEGREMENT (2005) : « Mémento technique de l'eau ». Tome I, Lavoisier, Paris. France.

[21] http://www.ecosociosystemes.fr/proprietes_physicochimiques_eau.doc consulté le 26/02/2013.

[22] Loren BERTHET, Isabelle JACQUET et Audrey PROVASI (2006) : « L'eau gratuite, c'est fini ? ». Ethique des Affaires Master 2.

<http://denis.dupre.pagesperso-orange.fr/GT-2.pdf> consulté le 20/05/2013.

- [23] BECHKI Djamel (2011) : « Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes ». Pour obtenir le diplôme de DOCTORAT, université HADJ LAKHDAR BATNA.
- [24] ALAIN Maurel (2006): « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 2^{ème} édition 11, rue Lavoisier, Paris.
- [25] <http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/> consulté le 24/04/2013.
- [26] <http://www.encyclo-ecolo.com/Image:Eausaum2.jpg> consulté le 25/02/2013.
- [27] Direction de la recherche et de la planification de l'eau (2008) : « Eaux souterraines saumâtres au Maroc, potentialités en tant que ressources alternatives », Marrakech.
http://www.eau-tensift.net/fil_eadmin/user_files/pdf/ADIRA/diaporamas/eaux_saum%C3%A2trs_au_Maroc_LYZIDLpdf
- [28] Raymond Desjardins (1990) : « le traitement des eaux », 2^{ème} édition, 11 rue Lavoisier. Montérial.
- [29] RICH Anouar (2011) : « Dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide : aspect thermodynamique et influence des conditions opératoires ». Thèse de DOCTORAT préparée en cotutelle avec l'université CLAUDE BERNARD LYON 1- France. Université MOHAMMED V – AGDAL faculté des sciences Rabat, Maroc.
http://toubkal.imist.ma/bitstream/handle/123456789/9199/THESE_RICH.pdf?sequence=1
(19/05/2013)
- [30] N. NOUREDDINE et N. HASSINI : « Impact environnemental de la station de dessalement de Brédéah (Algérie) : entre le légal et le réel ». Université d'Es-Sénia, Oran.
- [31] MAALEJ Mohamed (2002) : « Le dessalement de l'eau dans le monde arabe (perspectives d'utilisation des énergies renouvelables) ». Organisation Arabe pour l'Education, la Culture et les Sciences ALECSO. Tunis.
http://www.alecso.org.tn/site-energie_renouvelable_2008/French/pdf_files/dessalement%20de%20l%27eau%20dans%20le%20Monde%20Arabe.pdf consulté le 14/04/2013.
- [32] Farid TATA-DUCRU (2009) : « Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes ». Agence Française de Développement. 5, rue Roland Barthes, PARIS. FRANCE.
http://www.vacuumguide.com/process_vacuum/seawater_desalination/download/dessalement-eau-de-mer.pdf consulté le 14/04/2013
- [33] BUSHNAK Adil: « Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales ». version 2, Projet financé par l'Union européenne.

http://www.swim-sm.eu/files/BAT_on_Desalination_Final_FR.pdf

[34] http://www.degremont.fr/cms/degremont_7_refonte/upload/savoirfaire/fr/Osmose_inverse_principe.png consulté le 26/02/2013.

[35] ALAIN Maurel (2001): « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 1^{ème} édition 11, rue Lavoisier, Paris. France.

[36] Séminaire International (2009) : « Le dessalement des eaux: une opportunité pour les régions en pénurie d'eau? » *Tanger 8-10 mai 2009*

http://aem.portailgref.org/upload/documents/2009145101101_Recueil_des_communications_du_Seminaire_Dessalement_Tanger_mai_2009_AIGR.pdf consulté le 20/03/2013

[37] Le dessalement de l'eau de mer à Malte et en Israël.

http://moodle.utc.fr/file.php/767/Dessalement_de_l_eau_de_mer_en_Israel_et_a_Malte_Presentation_orale.pdf consulté le 19/02/2013.

[38] <http://www.ecotoxicologie.fr/Dessalement.php> consulté le 24/12/2012.

[39] Henri Boyé (2008): « Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée ». Conseil général de l'Environnement et du Développement Durable Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, France.

http://www.planbleu.org/publications/Etude_regionale_dessalement_FR.pdf consulté le 19/05/2013.

[40] <http://tpe-osmose.e-monsite.com/pages/introduction.html> consulté le 16/01/2013.

[41] Patrick DANIS : « dessalement de l'eau de mer » Ingénieur ENSIA Ancien Chef de projet chez Degremont. Doc J2700

[42] <http://culturesciences.chimie.ens.fr/> consulté le 21/01/2013.

[43] Plan d'action pour la méditerranée. Réunion des points focaux du PAM. Athènes, 11-14 septembre 2001 : « Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens: évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure ».

Réunion des coordonnateurs nationaux pour le MED POL Venise, Italie, 28-31 mai 2001

http://www.pseau.org/outils/ouvrages/pnue_dessalement_eau_de_mer_pays_mediterraneens.pdf consulté le 20/03/2013.

[44] HAMITI Omar (2010) : « L'influence des paramètres physico-chimique sur la performance de la station de dessalement de GHAZAOUET ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[45] <http://www.lenntech.fr/index.htm> consulté le 24/04/2013.

- [46] Le dessalement de l'eau de mer aboulo.com
- [47] BOUTRIAA Abdelouahab (2009) : « Effet des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un distillateur solaire ». Mémoire présente pour obtenir le diplôme de Magister en Physique, université MENTOURI de CONSTANTINE.
- [48] <http://tpedessalement77.e-monsite.com> consulté le 24/04/2013.
- [49] <http://www.e-monsite.com/contact/signalement-de-contenu-illicite.html?url=dessalementunisie.emonsite.com&page=http://dessalementunisie.emonsite.com/pages/sous-partie/2-l-impact-sur-l-environnement.html> consulté le 24/04/2013.
- [50] François de Dardel, directeur technique, Rohm and Haas : « Les résines échangeuses d'ions en traitement d'eau potable ».
- http://dardel.info/IX/processes/Article_EIN.pdf consulté le 24/04/2013.
- [51] W.J.MASSCHELEIN (1996) : « Processus unitaires du traitement de l'eau potable », 11 rue Lavoisier. Paris, France.
- [52] Mr SAOUDI Abdenour (2010) : « l'influence de la filtration sur sable sur la qualité des eaux potable ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- [53] <http://www.elgalabwater.com> consulté le 14/05/2013.
- [54] Alain MAUREL Consultant (2007) : « Dessalement de l'eau de mer, énergie nucléaire, énergies renouvelables », atelier plan BLEU/MEDITEP eau, énergie et changement climatique en méditerranée. Carthage TUNISIE. La date ?
- http://www.planbleu.org/publications/meditep/Session2_Intervention3_Maurel.pdf
- [55] C. Le Guern, P. Lachassagne, Y. Noël, F. Persin et I. De Buysscher (2003): « Dessalement et recharge artificielle », synthèse technico-économique, Rapport final BRGM/RP-52262-FR.
- <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-52262-FR.pdf> consulté le 20/05/2013.
- [56] Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril (2012) : « La mer à boire ». La cité de la mer Cherbourg.
- <http://mediatheque.citedelamer.com/fr/dossiers-thematiques/recherche-et-technologie/la-mer-a-boire/la-desalinisation/default.asp> consulté le 14/05/2013.
- [57] <http://dessalement.blogspot.com/2011/08/les-inconvenients-de-dessalement.html> consulté le 18/06/2013.
- [58] <http://controverseeauabarcelone.netne.net/solutionsenvisagees.html> consulté le 22/05/2013.

- [59] Jean-Marc BERLAND et Catherine JUERY (2002) : « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau ». Office International de l'Eau SNIDE
<http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae14.pdf> consulté le 21/01/2013.
- [60]http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/osmose_inverse.pdf consulté le 19/03/2013.
- [61] Chatkaew TANSAKUL (2009):« Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse ». Thèse en vue de l'obtention du DOCTORAT, université de TOULOUSE France.
<http://eprint.insa-toulouse.fr/archive/00000305/01/Tansakul.pdf> consulté le 21/01/2013.
- [62] TAHRAOUI DOUMA. N (2010) : « Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténès, Chlef. Impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique) ». Département du Tronc Commun Technologie, université Hassiba Benbouali Chlef, ALGER.
http://www.univchlef.dz/uahbc/seminaires_2010/communication_tahraouidoumanaima_2010.pdf consulté le 14/04/2013.
- [63] http://www.otv.fr/vwst/ressources/files/1/1939,15275,osmoseinverse_FRA.pdf consulté le 20/03/2013.
- [64] CHENAOUI Bakhta (2010) : « Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement ». Département d'Hydraulique, université de CHLEF.
http://www.univ-chlef.dz/uahbc/seminaires_2010/chenaoui_bakhta_OUARGLA_2010.pdf consulté le 28/05/2013.
- [65]<http://www.luisid.com/Brochure/WaterTreatment/Engineering/Memotec37Dessalementdeleau.pdf> consulté le 19/06/2013.
- [66] Valérie JACQUET VIOLLEAU (1999) : « Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant application au lactosérum ». Thèse présentée pour obtenir le titre de DOCTEUR de l'Institut National Polytechnique de TOULOUSE.FRANCE.
<http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000013/01/violleau.pdf> consulté le 14/04/2013.
- [67] Benjamin Espinasse (2003) : « Approche théorique et expérimentale de la filtration tangentielle de colloïdes : flux critique et colmatage ». Thèse de DOCTORAT, université PAUL SABATIER, TOULOUSE III. FRANCE.
<http://wiesner.cee.duke.edu/files/wiesner/Benjamin%20Th%C3%A8se%20F.pdf> consulté le 24/06/2013.

- [68] Saidou Nourou DIOP (2010) : « Elimination partielle du fluor et de la salinité des eaux souterraines du bassin arachidier par nano filtration et par adsorption sur argile ». Thèse de DOCTORAT, université CHEIKH ANTA DIOP de DAKAR.
- [69] <http://doxa.u-pec.fr/theses/th0238066-These.pdf> consulté le 20/05/2013.
- [70] ALAM Ibtissem et KERROUM Amina (2008) : « Optimisation de fonctionnement d'une unité de traitement des eaux a IN SALAH ». Mémoire pour l'obtention du Diplôme DEUA en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- [71] Maxime PONTTIE (2008) : « La nano filtration pour un dessalement sélectif»
http://www.info.univ-angers.fr/~gh/Tools/gap/dessalementCFM_M._Pontie.pdf consulté le 19/05/2013.
- [72] ZAHAF Benyounes (2003) : « L'osmose inverse pour les faibles concentration en sels ». Mémoire de Fin d'Etude pour l'Obtention du Diplôme DEUA en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- [73] Axel ETTORI (2011) : « Vieillissement chimique de membranes d'osmose inverse ». Thèse en vue de l'obtention du DOCTORAT université de Toulouse III - Paul Sabatier FRANCE.
<http://thesesups.ups-tlse.fr/1409/1/2011TOU30214.pdf> consulté le 24/06/2013.
- [74] <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/22789/ch02.html#N1084E> consulté le 19/06/2013.
- [75] Claude CARDOT (1999) : « les traitements de l'eau 'Procédés physico-chimiques et biologiques' ». 32, rue Barge 75740, Paris France.
- [76] LACHHABE Ahmed (2004) : « Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de faibles concentrations en sel ». Mémoire de Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Etat en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.
- [77] Alfa Arzate, Ph.D (2008) : « Procédés de séparation membrane et leur application dans l'industrie alimentaire ». 142, Rang Lainesse Saint-Norbert d'Arthabaska Québec.
- [78] BOURANENE Saliha (2008) : « Etude de la rétention de solutés neutres et ioniques par des membranes de nano filtration ». Ecole Doctorale Louis Pasteur -UTINAM- thèse de Doctorat, université de Franche-Comté.
http://artur.univ-fcomte.fr/ST/CHIORG/these/these_bouraneneS.pdf consulté le 24/06/2013.
- [79] <http://www.veolia.com/veolia/ressources/documents/1/1396,dessalement-mer.pdf> consulté le 19/02/2013.

[80] Alain MAUREL : « Techniques séparatives à membranes Considérations théoriques »
Ingénieur ENSIGC (École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Génie Chimique de
Toulouse) Licencié ès Sciences Ingénieur au Centre d'Études Nucléaires de Cadarache.

J 2 790 -17.

[81] Julie Mendret (2007) : « Mise au point de méthodes de caractérisation du colmatage de
membranes : application à la caractérisation in situ d'un dépôt particulaire en ultrafiltration
frontale en lien avec les performances du procédé ». Thèse présentée en vue de l'obtention du
DOCTORAT, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse France.

<http://eprint.insa-toulouse.fr/archive/00000233/01/Mendret.pdf> consulté le 24/06/2013.

[82] Yolaine BESSIERE (2005) : « Filtration frontale sur membrane : mise en évidence du
volume filtre critique pour l'anticipation et le contrôle du colmatage ». En vue de l'obtention
du DOCTORAT, université PAUL SABATIER, TOULOUSE III.

[83] <http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/22074/ch02.html#d0e2079> consulté le
21/01/2013.

[84] Bulletin Technique : « Osmose Inverse TE 200 ». DELTALAB. 38340 VOREPPE.
France.

[85] ZEGHOUDI Fethi ; BENDJAMAI Rabie (2003) : « Etude de l'osmose inverse dans les
pratiques de l'hydraulique urbaine ». Mémoire de Projet de Fin d'Etude Pour l'Obtention du
Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique Urbaine, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.

[86] ZEMALI Sofiane (2004) : « Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour
le dessalement de l'eau de fortes concentrations en sel ». Mémoire de Projet de Fin d'Etude
Pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique, université Abou Bakr
Belkaid Tlemcen.

[87] <http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bistream/112/995/8/CHAPTRE04.pdf> consulté le 15/06/2013.