

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 - TLEMCCEN -



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 expérimentale de l'efficacité d'une
membrane en film mince de type spirale
pour le dessalement des eaux saumâtres**

Soutenu le : 03 /10 / 2013

Par :

M^{elle} SI MOHAMMED Fatima

Devant les membres du jury :

M^r A. MEGNOUNIF
M^r M. BESSEDIK
M^r M.Z. DEBBAL
M^r M. BOUMEDIENE
M^r A. CHIBOUB FELLAH

Président
Examineur
Examineur
Encadreur
Encadreur

Promotion 2013 / 2014

Remerciements

Toute mon gratitude et remerciement vont à Allah, le clément et le miséricordieux qui nous a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour élaborer ce travail que je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaborer.

Je tiens à remercier vivement mes encadreurs Mr. M. BOUMEDIENNE « Maitre-Assistant (A) » au département d'hydraulique et Mr. A. CHIBOUB FELLAH

« Professeur au département d'hydraulique » pour la confiance qu'ils m'ont accordée en acceptant de m'encadrer et pour la sollicitude avec laquelle ils ont suivi et guidé ce travail.

Je tiens à remercier Mr. A. MEGHNOUNIF « professeur au département d'hydraulique » d'avoir accepté de présider le jury de ce modeste travail.

Je remercie aussi Mr. Z. debbal « Professeur au département d'hydraulique » et Mr. M. BESSEDIK « au département d'hydraulique » pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et l'honneur qui nous feront d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Je remercie également tous mes professeurs depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

Enfin, je remercie profondément mes parents qui ont fait tout pour que je sois aujourd'hui là, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu avec leurs encouragements durant mes études.

A mon très cher frère Fethi

A ma sœur Fouzia et son marie Ahmed

A mes sœurs Saraa, Ahlem

A mes neuves Chaymaa et Douaa

A mes oncles et tantes

A tous mes cousins,

A ma cousine Hanane et son marie Ahmed

A mes cousines ., Amel, Samiha, Fatima, Zineb, Ikram, Chahrazed, Khadra

A toutes ma famille

A ma très chère amie Fatima zohra et sa famille.

A tous mes amis : Fatima Zohra (sousou), Malika, Nacira, Zohra,

Merieme, Soumia, Amina.

A tout ma promotion d'hydraulique 2011-2013

Fatima



Résumé

L'objectif de ce travail est de faire une étude expérimentale sur l'efficacité d'une membrane type mince spirale, disponible dans notre laboratoire, pour le dessalement des eaux saumâtres (salinité de 5,5 à 9 g/l) par osmose inverse. Plusieurs paramètres (salinité de l'eau, pression transmembranaire appliquée, pression d'attaque de la membrane) ont été étudiés en vue de tester l'efficacité de cette membrane vis-à-vis à la rétention en sel et la production d'une eau de bonne qualité à la consommation. Les résultats obtenus ont montrés l'efficacité de cette membrane pour le dessalement de l'eau saumâtre fortement salées à des concentrations en sel variables de 5,5 à 9 g/l.

Mots clés : dessalement, membrane, osmose inverse, eaux saumâtres

Abstract :

The aim of this work is to study the efficiency use of a spiral membrane, available in our laboratory, for the desalination of brackish water (ranging salt from 5,5 to 9 g/l) by reverse osmosis. Several parameters (saltiness of water, pressure applied transmembranaire, pressure of attack of the membrane) have been studied in order to test the efficiency of this membrane for the removal of salt and the production of a good quality of fresh water. The results showed the efficiency of this membrane for the desalination of brackish water that the containing of salt is variables from 5,5 to 9 g/l.

Key words : desalination, membrane, reverse osmosis, brackish waters

الملخص

الهدف من هذا العمل هو القيام بدراسة تجريبية على فعالية غشاء لولبي (حلزوني) رقيق متوفر على مستوى مخبر الجامعة, من أجل تحلية الماء الأخصم (ملوحة 5.5 غ/ل الى 9 غ/ل) بالتناضح العكسي. عناصر كثيرة (ملوحة الماء, الضغط المطبق على طرفي الغشاء, الضغط المستهلك من الغشاء) درسوا من اجل اختبار فعالية هذا الغشاء بالمقابل استبقاء الملح و انتاج ماء ذو نوعية جيدة صالح للاستهلاك. النتائج المتحصل عليها اثبتت فعالية هذا الغشاء من اجل تحلية المياه المالحة بتركيز مختلفة من 5.5 غ/ل الى 9 غ/ل. الكلمات المفتاحية " التحلية , غشاء, التناضح العكسي , ماء اجاج " .

Table de matière

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	

Chapitre I : Généralité sur l'eau

I.1. Introduction :	03
I.2- Propriétés de l'eau :	03
I.2.1 Propriétés physiques :	03
I.3. Les eaux de mer et les eaux saumâtres:	04
I.3.1- Les eaux de mer :	04
I.3.2- Les eaux saumâtres :	05
I.4- Paramètres de qualité des eaux :	05
I.4.1- Les paramètres organoleptiques :	05
I.4.1.1-La turbidité :	05
I.4.1.2.Lacouleur :	05
I.4.1.3 Goût et odeur :	06
I.4.2- Les paramètres en relation avec la structure de l'eau :	06
I.4.2.1- La température :	06

I.4.2.2- La duresté :	06
I.4.2.3- Le pH :	06
I.4.2.4- L'alcalinité :	07
I.4.2.5-La conductivité :	07
I.4.2.6 Sodium :	07
I.4.2.7- Potassium :	08
I.4.2.8- Chlorure et sulfate :	08
I.4.3 Les paramètres indésirables (Certains métaux lourds):	08
I.4.5- Les paramètres biologiques :	09
1.5. Conclusion :	10

Chapitre II : Procédés de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres

II.1. Introduction :	11
II.2. Schéma général d'une installation de dessalement d'eau	11
II.2.1. Captage et pompage de l'eau brute :	11
II.2.2. Prétraitement de l'eau de mer :	12
II.2.2.1- La coagulation :	12
II.2.2.2- La floculation :	12
II.2.2.3 La décantation :	12
II.2.2.4 La filtration :	13
II.2.2.6 Prétraitement par les procédés membranaires :	13
II.3. Les procédés de dessalement :	13
II.3. 1-La distillation thermique:	14
II.3. 1.1- La distillation à simple effet :	14
II.3. 1.2- La distillation à multiples effets:	15
II.3. 1.3- La distillation par compression de vapeur:	15
II.3. 1.4- La congélation :	16
II.3. .2- Les procédés membranaires :	17

II.3.2.1- L'osmose inverse :	17
II.3.2.2- L'électrodialyse :	18
II.3.3- Les procédés chimiques :	18
II.3.3.1- L'Echange d'ions :	18
II.3.3.2- extraction par solvants :	19
II.4: Avantages et inconvénients liés au dessalement :	19
II.5. Les post- traitement :	20
II.6. Conclusion	20

Chapitre III: Les techniques membranaires

III.1-Introduction :	21
III.2. Les techniques séparatives à membranes utilisées dans le traitement de l'eau :	21
III.2.1-La microfiltration tangentielle :	22
III.2.2-1'ultrafiltration :	22
III.2.3. La nanofiltration :	23
III.2.4. l'osmose inverse :	24
III.2.4.1 Caractéristiques principale d'une unité d'osmose inverse :	25
III.2.4.2. Les membranes d'osmose inverse :	26
III.2.5. Les modules d'osmose inverse :	28
III.2.6.Le colmatage :	30
III.2.7. Nettoyage des membranes:	31
III.2.8. Avantages et inconvénients des techniques à membranes :	32
III.3.Conclusion :	33

Chapitre IV: Matériel et méthodes

IV.1. Dispositif expérimental :	34
IV.1.1. Présentation du pilote TE 200 :	34
IV.1.2. Description du pilote :	35
IV.1.3. Manipulation :	38
IV.2. Description de l'appareillage de mesure utilisé:	41

Chapitre V: Résultats et interprétations

V.1. Introduction :	43
V.2. Résultats et interprétations	43
V.3. Conclusion	61
Annexe.	
Bibliographie.	

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Masse volumique de l'eau en fonction de sa température	03
Tableau I.2: Valeurs de la viscosité dynamique de l'eau à différentes températures)	04
Tableau I.3: Salinité des eaux de mer sur la planète	05
Tableau I.4 : qualité des eaux en fonction de la conductivité	07
Tableau I.5 : Normes de quelques métaux toxiques dans l'eau potable	09
Tableau II.1: Avantages et inconvénients de l'osmose inverse	17
Tableau II.2 : Avantages et inconvénients de l'échange d'ions	19
Tableau III.1: Comparaison des modules d'osmose inverse	30
Tableau V.1: Valeurs de la pression osmotique pour les différentes concentrations en sel	43

Liste des figures

Figure II.1: Schéma général d'une installation de dessalement	11
Figure II.2 : Différents procédés dessalement	14
Figure II.3: Schéma de la distillation à simple effet	15
Figure II.4 : Schéma de la distillation à multiples effets	15
Figure II.5 : Procédé de dessalement par compression de vapeur	16
Figure II.6: Principe de l'électrolyse	18
Figure III.1 : Taille des matériaux qui sont enlevés par processus de séparation variés	22
Figure III.2 : Principe de l'ultrafiltration	23
Figure III.3 : L'osmose inverse	24
Figure III.4 : Membrane sélective	27
Figure III.5 : Module tubulaire vue longitudinale.	28
Figure III.6 : Module fibre creuse	29
Figure III.7 : Module spirale	30
Figure III.8 : Différentes formes de colmatage	31
Figure IV.1: Photo du pilote TE200	34
Figure IV.2 : Construction du pilote TE 200.	35
Figure IV.3 : Liste de vannes.	37
Figure IV.4: Conductimètre (laboratoire de la station de traitement de SEKKAK)	42
Figure IV.5: Conductimètre (laboratoire de département de chimie)	42
Figure IV.6: Photo de la balance électronique.	42
Figure V.1: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 5.5 g/l)	44
Figure V.2: Variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 5.5 g/l)	45
Figure V.3: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 6 g/l).	45
Figure V.4: Variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 6 g/l)	46
Figure V.5: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 6.5 g/l)	46

- Figure V.6:** Variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 6.5 g/l) 47
- Figure V.7:** Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7 g/l) 47
- figure V.8 :** Variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7 g/l) 48
- Figure V.9:** Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7.5 g/l) 48
- Figure V.10:** Variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7.5 g/l) 49
- Figure V.11:** Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8 g/l) 49
- Figure V.12:** Variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8 g/l) 50
- Figure V.13:** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8.5 g/l) 50
- Figure V.14:** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8.5 g/l) 51
- Figure V.15:** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 9 g/l) 51
- Figure V.16:** Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 9 g/l) 52
- Figure V.17:** La variation de volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 5,5 g/l) 53
- Figure V.18:** Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6 g/l) 53
- Figure V.19:** Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6,5 g/l) 54
- Figure V.20:** Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 7 g/l) 54
- Figure V.21:** Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 7,5 g/l) 55

Figure V.22: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 8 g/l)	55
Figure V.23: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 8,5 g/l)	56
Figure V.24: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 9 g/l)	56
Figure V.25: Variation de volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 5.5 g/l)	57
Figure V.26: Variation de volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6 g/l)	57
Figure V.27: Variation de volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6.5 g/l)	58
Figure V.28: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 5.5 g/l)	59
Figure V.29: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6 g/l)	59
Figure V.30: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7 g/l)	60
Figure V.31: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7.5 g/l)	60
Figure V.32: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8 g/l)	61
Figure V.33: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8.5 g/l)	61
Figure V.34: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 9 g/l)	62

LISTE DES ABREVIATION

Kg/m^3	kilogramme par mètre au cube.
η	La viscosité dynamique.
$\mu\text{s/cm}$	Micro-siemens par centimètre.
UNT	Unité néphélométrique de turbidité.
UCV	Unité de couleur vraie.
Meq/l	Milliéquivalent par litre.
TH	Titre hydrotimétrique.
PH	Potentiel hydrogène.
TA	Ttitre alcalimétrique.
$\mu\text{g/l}$	Microgramme par litre.
MF	Microfiltration
UF	Ultrafiltration
NF	Nanofiltration
OI	Osmose inverse.
PTm	Pression transmembranaire.
μm	Micromètre.
nm	Nanomètre.
Π	Pression osmotique (bar)
i	Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte
C	Concentration molaire (mol.L^{-1})
R	Constante des gaz parfaits ($0,082 \text{ L.bar.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$)
T	Température absolue (K)
J_1	Flux d'eau à travers la membrane. ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
A	Perméabilité de la membrane à l'eau. ($\text{Kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
$\Delta P(\text{Pa})$	Différence de pression de part et d'autre de la membrane.
$\Delta \pi (\text{Pa})$	Différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane (bar)
C_0	La concentration en soluté de l'alimentation ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).
C_P	La concentration en soluté du perméat ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).
Rm	Taux de rétention.
Y	Taux de conversion

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Aujourd'hui et dans le monde, de nombreux pays souffrent encore de pénuries en eau. La croissance de la population et la dégradation des ressources en eau douce, en raison de l'activité humaine ou des changements climatiques, ne favorisent pas la résolution de ce problème et tendent même à l'accroître. Un rapport récent de l'UNICEF et de l'Organisation Mondiale de la Santé indique que 13 % de la population mondiale n'a pas accès à une source d'eau de qualité satisfaisante [1]. Les statistiques prévoient que dans la prochaine décennie, un tiers de la population mondiale n'aura pas accès à l'eau [2]. Malgré des progrès importants, le problème de l'eau potable se pose toujours avec acuité et représente un enjeu technique, économique et politique majeur.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres [3]. Cette technique est en passe de devenir une méthode prépondérante pour la production d'eau potable dans les zones de pénurie en eau douce [4]. Le dessalement des eaux saumâtres et 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 d'environ 7 % par an [5].

Les procédés de dessalement sont principalement issus de deux technologies : les procédés thermiques et les procédés membranaires. La première usine de dessalement d'eau saumâtre par osmose inverse a vu le jour à la fin des années 60 [3]. Cette technique repose sur le principe d'une séparation sel - eau faisant appel à une membrane semi-perméable. Aujourd'hui, plus de 15 000 usines de dessalement sont en opération dans le Monde, environ 50 % sont des usines de dessalement par osmose inverse. Cette méthode tend à se développer très largement car elle présente un fort intérêt en termes de coût d'investissement, de consommation d'énergie et de qualité de l'eau produite [4]. La plus grande installation actuellement en opération est en Israël, mise en service en 2005 et produit 320 000 m³/jour d'eau potable [3].

Depuis le recours au dessalement, plusieurs types de membranes polymères ont été utilisés pour produire de l'eau douce. On peut citer: les membranes en acétate de cellulose, en polysulfones ou encore en polyamides. L'objectif de ce travail est d'étudier l'efficacité d'une membrane en film mince de type spiral pour le dessalement des eaux saumâtres par osmose

inverse (salinité de 5,5 à 9 g/l). Plusieurs paramètres (salinité de l'eau, pression transmembranaire appliquée, pression d'attaque de la membrane) sont étudiés en vue de tester l'efficacité de cette membrane vis-à-vis à la rétention en sel et la production d'une eau de bonne qualité à la consommation.

Le présent travail a été organisé de la manière suivante :

- Une partie bibliographique dans laquelle on a présenté au premier chapitre des généralités sur l'eau (propriétés, les eaux de mer et les eaux saumâtres, les paramètres physiques chimiques et biologiques de qualité des eaux de consommation). Les procédés de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres à savoir la distillation, l'échange d'ions et les procédés membranaires sont exposés dans le deuxième chapitre. Le troisième chapitre quant à lui évoque avec plus de détails les techniques membranaires (principe, applications, avantages et inconvénients, etc....) et leur application pour le dessalement de l'eau.
- Une partie expérimentale regroupant deux chapitres: le quatrième chapitre présente, avec plus de détail, le dispositif expérimental, le matériel ainsi que les méthodes d'analyse de l'eau des paramètres étudiés. Le cinquième chapitre a été réservé aux résultats expérimentaux trouvés ainsi qu'à leurs interprétations.

Au terme de cette étude, une conclusion générale est donnée.

PARTIE I

ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

GENERALITES SUR L'EAU

Chapitre I: Généralités sur l'eau

I.1. Introduction :

L'eau est un élément indispensable à la vie de l'homme. Elle recouvre près de 70 % de la surface de la terre et constitue le liquide le plus abondant sur la planète [6]. Les besoins d'eau douce sont de plus en plus croissants [7]. Les pressions qui pèsent sur les ressources en eau sont de plus en plus fortes, principalement en raison des activités humaines et notamment l'urbanisation, la croissance démographique, l'augmentation du niveau de vie, la concurrence croissante pour les ressources en eau et la pollution. De plus, le changement climatique et les variations des conditions naturelles viennent aggraver ces pressions [8].

I.2- Propriétés de l'eau :

I.2.1 Propriétés physiques :

Parmi les principales propriétés physiques dont la connaissance est nécessaire par le traitement de l'eau, nous pouvons citer:

a) Masse volumique :

La masse volumique varie avec la température et la pression. Le tableau I.2 regroupe des valeurs de la masse volumique en fonction de la température à la pression atmosphérique [9]

Tableau I.1 : Masse volumique de l'eau en fonction de sa température

T (°C)	Masse volumique (Kg/m ³)
0	999.87
4	1000.00
10	999.73
15	999.13
20	998.28
100	958.38

b) Viscosité :

C'est la propriété qu'à un liquide d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes, soit globaux, comme l'écoulement. Elle est à la base des pertes de charge et joue donc un rôle important en traitement d'eau. Elle diminue lorsque la température croît. Le tableau I.2, représente des valeurs de viscosité dynamique à différentes températures.

Tableau I.2: Valeurs de la viscosité dynamique de l'eau à différentes températures), [9]

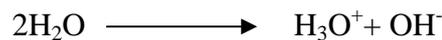
T (°C)	Viscosité dynamique η (mPa.s)
0	1.797
5	1.523
10	1.301
30	0.800
35	0.723

c) Tension superficielle :

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface [9].

d) Conductivité électrique :

L'eau est légèrement conductrice. Cette conductivité très faible, mais jamais nulle est expliquée par une légère dissolution de la molécule d'eau selon l'équation chimique :



Elle est exprimée en $\mu\text{s/cm}$ [9].

L'eau est donc répartie entre eau douce et eau salée. L'eau salée est de très loin majoritaire : elle représente 97 % du volume des eaux sur la planète bleue .L'eau est définie comme douce si sa teneur en minéraux dissous est inférieure à 1000 mg par litre. Les glaciers et les eaux souterraines représentent 99,9 % de l'eau douce.

Globalement, la quantité totale d'eau dans l'hydrosphère reste constante. Le volume des eaux océaniques a très peu varié depuis un milliard d'années. Toute perte d'eau par l'un ou l'autre des réservoirs est compensée par un gain d'eau par un autre réservoir [10].

I.3. Les eaux de mer et les eaux saumâtres:**I.3.1- Les eaux de mer :**

La mer désigne généralement l'étendue d'eau salée qui couvre une partie de la superficie du globe. Selon sa localisation et ses caractéristiques, elle porte de nombreux noms : la mer Morte, la mer Caspienne, la mer Noire, etc [11]

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.L-1 (27,2 g.L-1 de NaCl, 3,8 g.L-1 de MgCl_2 , 1,7 g.L-1 MgSO_4 , 1,26 g.L-1 CaSO_4 , 0,86 g.L-1 K_2SO_4) [12].. Le tableau I.3 donne la salinité des eaux de mer sur la planète].

Tableau I.3: Salinité des eaux de mer sur la planète [3]

Mer	Salinité (g/l)
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	40
Mer Baltique	7
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe Arabo-Persique	40 à 70
Mer noire	20

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4. L'eau de mer est un milieu légèrement basique [13]

I.3.2- Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [13].

I.4- Paramètres de qualité des eaux :

La qualité de l'eau est un paramètre important qui touche à tous les aspects du bien-être des écosystèmes et de l'homme : santé, les denrées alimentaires, la biodiversité [14].

I.4.1- Les paramètres organoleptiques :

I.4.1.1- La turbidité :

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes.

La turbidité est évaluée en unités néphélométriques de turbidité (UNT). La limite de détection habituelle des néphélomètres utilisée dans les laboratoires est de l'ordre de 0,1 UNT, ce qui correspond à environ 20 particules/ml [15].

I.4.1.2 La couleur :

Une eau naturelle, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (si on la compare, par exemple à une eau distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. La couleur peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques (acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [16].

I.4.1.3 Goût et odeur :

Il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Une saveur désagréable dans l'eau généralement conférée par des excès de fer, de manganèse, de chlore actif, de la température. Un développement d'odeur dans l'eau de consommation est généralement dû au plancton et aux algues mortes pour les eaux de surface et de sulfure d'hydrogène pour les eaux souterraines. En exploitation de l'eau, l'apparition d'odeur et de gout sont le plus souvent des signes d'activité bactérienne donc de pollution [17].

I.4.2- Les paramètres en relation avec la structure de l'eau :

I.4.2.1- La température :

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles.

Une température élevée peut favoriser des goûts et des odeurs désagréables. De plus elle accélère la plupart des réactions physico-chimiques [16].

I.4.2.2- La dureté :

La dureté ou titre hydrotimétrique correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature des terrains traversés. Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques.

Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté :

- dureté totale : somme des concentrations en calcium et magnésium ;
- dureté calcique : concentration globale en calcium ;
- dureté magnésienne : concentration globale en magnésium

La dureté s'exprime généralement en degré Français ou en milliéquivalents/l :

$$1^{\circ}\text{F} = 5 \text{ meq/l}$$

$$\text{Avec } 1^{\circ}\text{F} = 4 \text{ mg/l de Ca et } 2.43 \text{ mg/l de Mg ou } 10 \text{ mg/l de CaCO}_3 [9].$$

Les classes suivantes sont généralement adoptées pour caractériser la dureté de l'eau :

- TH < 8 °f : eau très douce ; 8 °f ≤ TH < 15 °f : eau douce.

- $156 \text{ °f} \leq \text{TH} < 30 \text{ °f}$: eau moyennement dure ;
- $\text{TH} \geq 30 \text{ °f}$: eau très dure [18].

I.4.2.3- Le pH :

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+).

L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C . Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac [19].

I.4.2.4- L'alcalinité :

Le Titre alcalimétrique (TA) permet de déterminer en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonates [29]. L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H^+) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-) [20].

I.4.2.5- La conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m) avec $1 \text{ S/m} = 10^3 \text{ mS/m}$. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution. D'une façon générale, la conductivité s'élève progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau, les écarts sont d'autant plus importants que la minéralisation initiale est faible, en particulier dans les zones à substrat acide ou à sous-sol siliceux [21].

Tableau I.4 : qualité des eaux en fonction de la conductivité [21].

Conductivité $< 100 \mu\text{S/cm}$	Minéralisation très faible
$100 \mu\text{S/cm} < \text{Conductivité} < 200 \mu\text{S/cm}$	Minéralisation faible
$200 \mu\text{S/cm} < \text{Conductivité} < 333 \mu\text{S/cm}$	Minéralisation moyenne
$333 \mu\text{S/cm} < \text{Conductivité} < 666 \mu\text{S/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
$666 \mu\text{S/cm} < \text{Conductivité} < 1000 \mu\text{S/cm}$	Minéralisation importante
Conductivité $> 1000 \mu\text{S/cm}$	Minéralisation élevé

I.4.2.6 Sodium :

Sa présence dans l'eau provient du lessivage de formation géologique concernant de chlorure de sodium (NaCl). Son ingestion en importantes quantités entraînant des complications sur des sujets hypertendus, sa concentration limite est fixée à 200 mg/l [17].

I.4.2.7- Potassium :

Sa teneur dans l'eau naturelle est constante et ne dépasse pas habituellement les 15mg/l. Les normes fixent sa concentration maximale à 200 mg/l [22].

I.4.2.8- Chlorure et sulfate :

Les chlorures (Cl⁻) et les sulfates (SO₄²⁻) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées domestiques (sels régénérant utilisés dans les lave-vaisselle) ou par certaines eaux usées industrielles. Les pics de concentration en chlorures s'observent le plus souvent en période de gel (sels de déneigement). Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates. Ce sont surtout les changements brusques et importants des teneurs en chlorures et sulfates qui se révèlent néfastes [19].

I.4.3 Les paramètres indésirables (Certains métaux lourds):**✚ Le cuivre (Cu) :**

Au niveau de traces il n'est pas toxique. Sa présence dans les eaux provient de l'érosion des conduites ou de l'activité industrielle. Dans les sols agricoles, il peut s'accumuler à la suite des épandages de lisiers de porcherie. A une concentration > 2 mg/l, il colore les eaux [23].

✚ Le zinc (Zn) :

Elément courant, on le trouve généralement dans le charbon. Les normes fixent sa concentration à 5 mg/l [17].

✚ Fer et manganèse (Fe), (Mn) :

Ces sont des impuretés minérales sans effets appréciables sur la santé. Ces métaux peuvent provoquer une coloration et sont à l'origine de dépôts dans les réseaux. Des corrosions peuvent en résulter. Par ailleurs ils affectent les paramètres organoleptiques comme d'autres métaux cuivre, aluminium, zinc. Dans les eaux de surface, le fer et le manganèse se trouvent en général à l'état oxydé et précipité ; ils sont donc éliminés par les traitements classiques de clarification [16].

Concernant les métaux lourds toxiques, le tableau I.5 présente les normes de ces éléments dans l'eau de consommation.

Tableau I.5 : Normes de quelques métaux toxiques dans l'eau potable [24]

Substances	Taux maximum ($\mu\text{g/l}$)
Arsenic	10
Cadmium	5
Cyanure	50
Chrome Total	50
Mercurure	1
Nickel	20
Plomb	10
Antimoine	5
Sélénium	10

I.4.5- Les paramètres biologiques :

L'eau doit être exempte de bactéries et de virus pathogènes. L'eau ne doit pas non plus contenir des "germes tests" de contamination car ceux-ci, bien qu'inoffensifs, signalent la présence de germes pathogènes. Par contre la présence de germes banals est admise dans l'eau. Les traitements de clarification et de désinfection permettent de les éliminer efficacement. La contamination de l'eau provient des déjections animales ou est provoquée par les milieux naturels. Les germes pathogènes peuvent entraîner des infections sans gravité comme la diarrhée mais aussi des infections graves voire mortelles comme la méningite ou le choléra.

La présence dans l'eau de germes pathogènes est très difficile à détecter. On se contente de rechercher des germes non-toxiques, tels que la bactérie *Escherichia coli*, plus facile à détecter, et qui accompagnent toujours des germes pathogènes d'origine fécale.

L'eau ne doit pas contenir de salmonelles, de staphylocoques, de bactériophages fécaux dans d'entérovirus, coliformes, streptocoques fécaux, *pseudomonas aeruginosa*. La démarche consiste à utiliser les organismes vivants présents dans les cours d'eau comme indicateurs de la qualité de l'eau. Ces organismes les plus sensibles sont dits polluo-sensibles [25].

1.5. Conclusion :

De grandes quantités d'eau sont présentes sur la terre, mais la plupart de cette eau est salée ou concentrée dans les glaces des pôles et les nappes souterraines profondes et donc inexploitable pour l'homme. Ainsi, l'homme ne peut utiliser que moins d'1 % du volume d'eau douce présent sur Terre. De plus, la répartition de cette eau est inégale.

Ce manque d'eau entraîne des conséquences importantes qui peuvent aller de simples restrictions d'eau dans les zones sujettes à des sécheresses, à des conflits entre Etats où l'eau devient alors un enjeu stratégique, l'or bleu. De plus, l'eau devient de plus en plus coûteuse car elle nécessite des traitements lourds pour assurer sa potabilité.

Ces problèmes risquent de s'aggraver dans les prochaines décennies avec l'augmentation de la population mondiale qui réduira encore les ressources disponibles par individu. Ainsi, différentes solutions sont déjà apparues avec notamment le dessalement de l'eau de mer qui permettra d'exploiter les ressources d'eau salée très importantes sur la terre.

CHAPITRE II

***PROCEDES DE DESSALEMENT DE
L'EAU DE MER
ET DES EAUX SAUMATRES***

Chapitre II : Procédés de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres

II.1. Introduction :

La crise de l'eau potable est annoncée pour les années 2000-2020. En effet, actuellement 1,4 milliard d'habitant sur terre ne disposent pas d'une eau propre à la consommation. Ce chiffre atteindra 2,3 milliards d'ici 25 ans. Il faut savoir que 97 % de l'eau présente sur terre se trouve dans les océans, parmi les 3 % d'eau douce restante, seul 0.07% est directement accessible. Le reste étant sous forme de glace, d'où la nécessité du dessalement [26].

La pénurie d'eau s'aggravera dans les années à venir et cette situation empirera si aucun remède n'y est apporté. Ainsi des estimations montrent que pour la région méditerranéenne les besoins en eau dessalée s'élèveront à environ 15 millions de m³ par jour en 2025. Le dessalement de l'eau (de mer ou saumâtres) 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 d'environ 7 % par an [5].

II.2. Schéma général d'une installation de dessalement d'eau

Une installation de dessalement peut être subdivisée en 4 postes principaux (figure II.1):

- L'alimentation en eau de mer (captage et pompage) ;
- Le prétraitement ;
- Le procédé de dessalement ;
- Le post-traitement

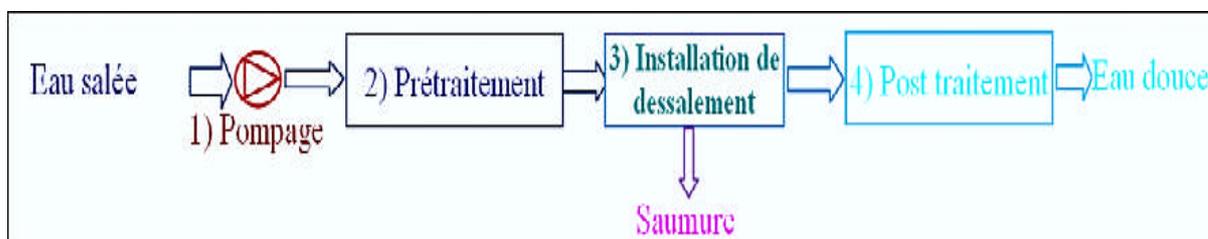


Figure II.1: Schéma général d'une installation de dessalement [27]

II.2.1. Captage et pompage de l'eau brute :

La prise d'eau de mer est la première étape de la filière de dessalement. Elle doit permettre d'obtenir une eau en entrée de filière de la meilleure qualité possible et surtout

minimiser les matières en suspension présentes. Il existe deux technologies: les forages côtiers et les prises d'eau de surface.

- Les forages côtiers permettent d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stable. Le prélèvement s'effectue à travers le sol qui sert de filtre naturel. Cependant, cette technique est limitée en débit suivant la nature du terrain et elle est ainsi utilisée pour des usines de dessalement de capacité inférieure à 40 000 m³.j⁻¹. L'inconvénient de cette méthode est le colmatage éventuel au cours du temps du filtre.
- Les prises d'eau en mer : sont effectuées en zones profondes, éloignées de la côte et protégées des pollutions par rejets et des forts courants. Cette technique permet d'obtenir des débits supérieurs à 100 000 m³.j⁻¹ mais des variations de la qualité de l'eau peuvent avoir lieu avec la présence de particules, colloïdes, polluants hydrocarbures ou d'organismes biologiques [1]. Le captage est effectué en zone profonde d'environ 8m, éloigné de la cote, protégé des pollutions et des forts courants et il n'est pas influencé par les rejets. La pression d'entrée de l'eau de mer est de 2 à 4 bars.

II.2.2. Prétraitement de l'eau de mer : Les principaux modes du prétraitement sont les suivants :

II.2.2.1- La coagulation :

Le but de la coagulation c'est la neutralisation des charges primaires qui permet 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 Al³⁺ et Fe³⁺.

II.2.2.2- La floculation :

On distingue des flocculant naturels et synthétiques. Parmi les flocculant synthétiques: Les polymères chargés ou poly-électrolytes, ce qui définissent également par leur densité de charge. Les poly-électrolytes jouent un rôle important dans l'adhésion des bactéries sur les surfaces et la floculation biologique.

La coagulation et la floculation sont appliquées dans le cas où l'eau de mer a une turbidité élevée.

II.2.2.3 La décantation :

La décantation consiste uniquement à séparer la phase solide (matières en suspension) de la phase liquide par différence de masse volumique. Cette étape implique de laisser reposer les phases en contact et à attendre un temps suffisant pour qu'elles se séparent sous l'action de la pesanteur. Les boues sont éliminées de manière continue par le fond du décanteur [28].

II.2.2.4 La filtration :

Le système de filtration s'effectue grâce à un montage en parallèle en une ligne de filtres à base de matériaux inertes qui sont l'antracite et le silex. La vitesse de filtration est de 9.2 à 11 m/h [5]

II.2.2.5 Prétraitement par les procédés membranaires :

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

- Flux de l'osmose inverse significativement élevé ;
- Plus faible consommation de produit chimique ;
- Meilleure compacité (-33 %) ;
- Augmentation de la durée de vie des membranes d'osmose inverse ;
- Capacité de fonctionnement à une qualité de l'eau d'alimentation variée [29].

II.3. Les procédés de dessalement :

Pour dessaler l'eau il existe diverses techniques, certaines sont plus adaptées à un environnement donné que d'autres. Actuellement les différents procédés existant, connaît un développement important. Parmi les plus connus, il y a :

- Les procédés de distillation thermiques comme : La distillation à simple effet, la distillation à multiples effets ; la distillation par compression de la vapeur ;
- Les procédés à membranes dont la source principale d'énergie est l'électricité. On trouve dans cette catégorie: L'osmose inverse et L'électrodialyse.

De plus il y a d'autres procédés comme le procédé d'échange d'ions et l'extraction par solvants [30].

Les différents procédés peuvent être classés selon le principe sur lequel ils se basent comme présenté le schéma indiqué sur la figure II.2 suivante:

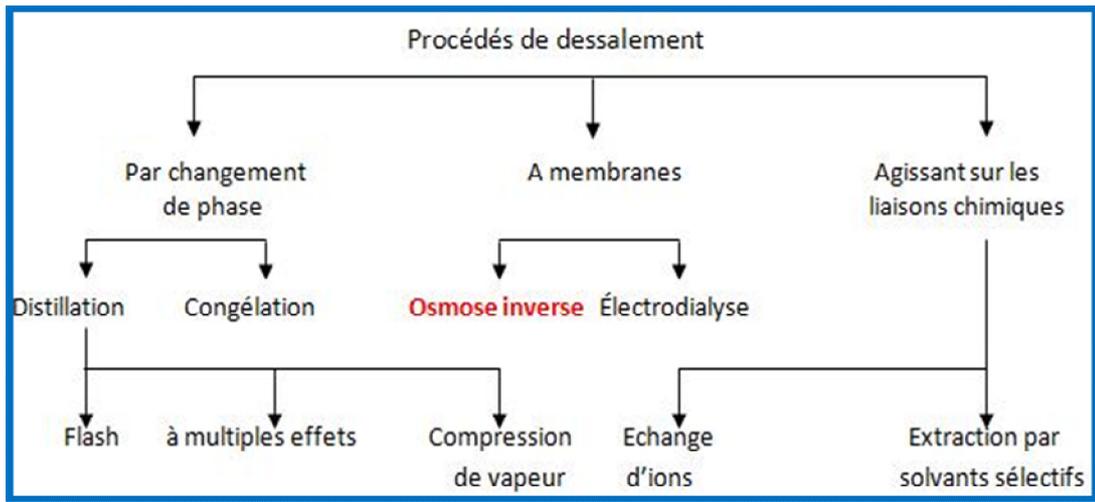


Figure II.2 : Différents procédés dessalement [31].

II.3.1-La distillation thermique:

La distillation est un procédé qui comporte une vaporisation, une condensation et une récupération de chaleur libérée par la condensation. On procède à la vaporisation en fournissant de l'énergie sous forme de chaleur (procédés thermiques) ou sous forme de travail mécanique (procédés par thermo-compression). Dans les distillateurs modernes, la température de travail oscille entre 95 et 125°C. La salinité de l'eau douce obtenue par ce procédé est toujours nettement inférieure à 100mg/L. on doit donc reminéraliser cette eau lorsque elle est destinée à la consommation [32].

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer un kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut environ 2250 k.J (si le changement d'état se fait à 100°C). Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point [13].

II.4.1.1- La distillation à simple effet : Le principe de ce procédé est simple. Il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée.

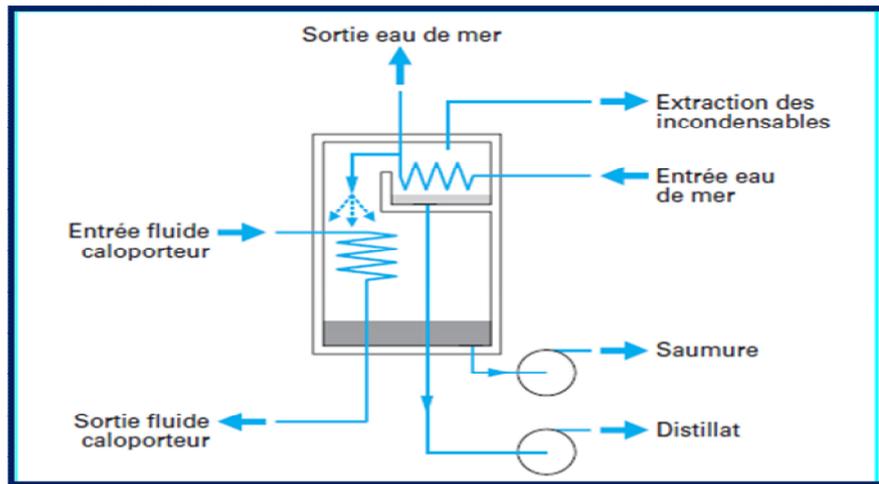


Figure II.3: Schéma de la distillation à simple effet [34]

II.4.1.2- La distillation à multiples effets: La distillation à multiples effets consiste simplement à la juxtaposition de plusieurs cellules fonctionnant selon le principe du simple effet. Le fluide caloporteur porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première 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 une pression légèrement inférieure est maintenue. La température d'ébullition diminuant avec la pression, l'eau de mer présente dans la deuxième cellule est alors vaporisée grâce à la vapeur issue du premier effet. Il s'agit du deuxième effet. L'opération peut être répétée plusieurs fois.

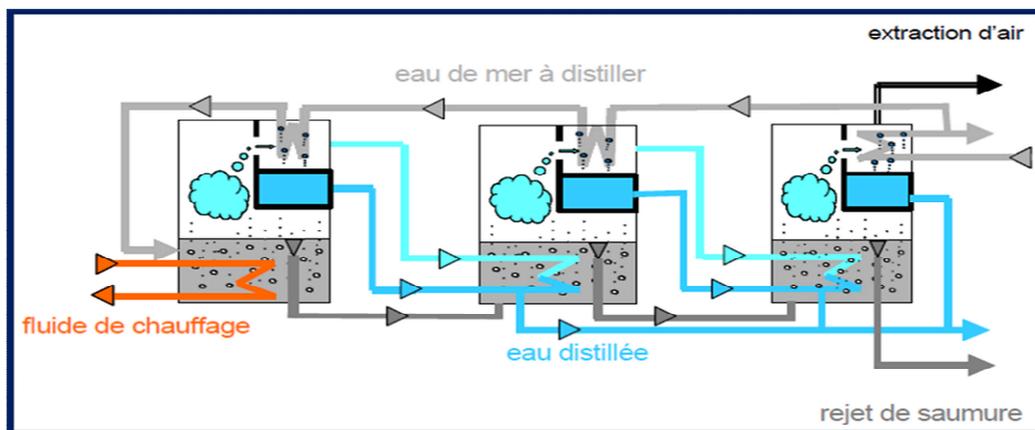


Figure II.4 : Schéma de la distillation à multiples effets [35].

II.4.1.3- La distillation par compression de vapeur: Lors de la distillation par compression de vapeur (Figure II.5), l'eau de mer 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'évaporation de l'eau salée [1]. L'eau salée arrive dans un évaporateur, ou elle se vaporise aux environs de 100°C grâce à un serpentin auxiliaire de

vapeur qui est ensuite mise hors circuit. La vapeur d'eau à la pression atmosphérique et vers 100°C est alors aspirée par un compresseur qui la porte à une pression relative de l'ordre de 0,2 bar, avec une surchauffe de l'ordre de seulement 6°C, la vapeur surchauffée passe ensuite dans le serpentin principal de l'évaporateur où elle se condense [30]. La condensation de la vapeur provoque le réchauffement de l'eau salée qui se vaporise sous l'effet d'une diminution de pression.

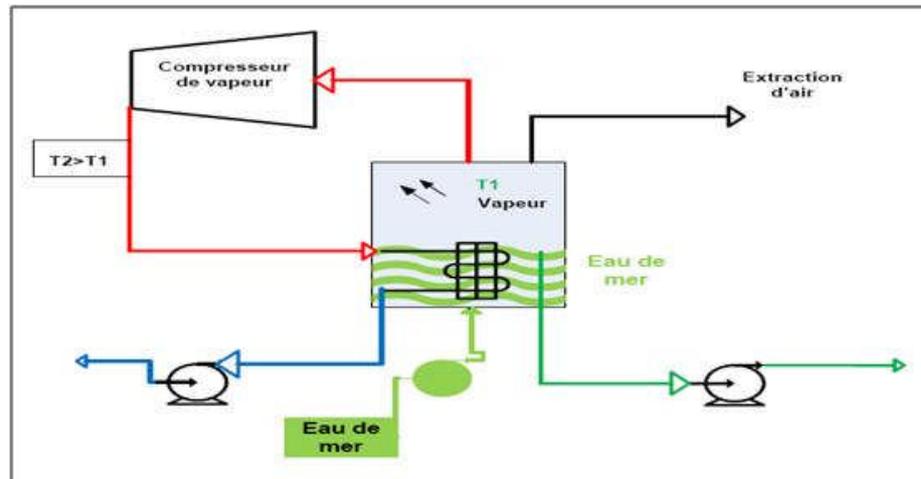


Figure II.5 : Procédé de dessalement par compression de vapeur [31]

II.4.1.4- La congélation :

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempts de sel. Le principe repose sur le fait qu'une fraction de l'eau salée s'enrichit en sels lors de la congélation d'eau pure. Ce procédé nécessite trois étapes :

- Congélation partielle de l'eau de mer,
- Séparation des cristaux de glace pure d'avec la saumure,
- Fusion des cristaux de glace [36].

La température de congélation est quasiment indépendante de la pression. Plus la concentration en sels est élevée plus la température de solidification de l'eau est faible. Alors qu'elle est de 0°C pour de l'eau pure, elle descend à -2°C pour l'eau de mer et -4°C pour une eau qui a une concentration en sels deux fois supérieure à celle de l'eau de mer [31].

Les avantages de ce procédé sont respectivement :

- ✓ 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 [31].

- ✓ C'est un procédé physique par changement de phase qui ne nécessite pas l'utilisation de réactifs ou produits additionnels comme par exemple le procédé de coagulation-floculation.
- ✓ Son domaine d'utilisation est très vaste car il s'avère applicable à tous les cas spécifiques de traitement et d'épuration des eaux.
- ✓ Il s'applique aussi bien à l'élimination des polluants solubles qu'aux polluants insolubles [37]

II.4.2- Les procédés membranaires :

II.4.2.1- L'osmose inverse :

L'osmose inverse a été utilisée dès les années 60 par la NASA (National Aeronautics and Space Administration) pour les vols habités. Simple dans son principe, la désalinisation par osmose inverse nécessite un prétraitement efficace pour éliminer les particules en suspension (filtration par sable, filtration par cartouche), éviter le développement de microorganismes et empêcher la formation de précipités des carbonates. Conçues pour résister à des fortes pressions, les membranes doivent être entretenues par des lavages réguliers pour empêcher des phénomènes de colmatages des pores.

Les installations de dessalement par osmose inverse travaillent généralement sous des pressions de 40 à 80 bars selon la salinité de l'eau. La technique a été améliorée par des procédés permettant de récupérer l'énergie du fluide sous pression à l'aide d'une turbine. Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau II.1: Avantages et inconvénients de l'osmose inverse [38]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de séparation élevée. • Systèmes modulaires, d'où une grande flexibilité d'utilisation. • Recyclage du perméat et du concentré possible. • Températures de fonctionnement faibles. • Fonctionnement entièrement automatisé possible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de colmatage, d'obturation et d'encrassement. • Compactage en présence d'agents d'adouçissage. • Pressions élevées requises. Flux de perméat faibles.

Les procédés membranaires sont présentés avec plus de détail dans le troisième chapitre de ce travail.

II.4.2.2- L'électrodialyse :

L'électrodialyse (ED) est un procédé membranaire très ancien dont la première installation date des années 1960. Il consiste à éliminer les sels dissous contenus dans une eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique [36]. Un électro-dialyseur (figure II.6) est composé de plusieurs compartiments séparés alternativement par des membranes anioniques ou cationiques et à chaque extrémité du système on dispose une cathode et une anode [39]. Les ions positifs ou cations (par Na^+) sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive [40].



Figure II.6: Principe de l'électrodialyse [2]

En raison de sa consommation électrique, l'électrodialyse n'est pas compétitive face à l'osmose inverse et donc il n'est utilisé que pour le traitement des eaux saumâtres de concentration inférieure à 3 g.L^{-1} [34].

II.4.3- Les procédés chimiques :

II.4.3.1- L'Echange d'ions :

L'échange ionique se définit par la permission réversible entre ions structurels d'un matériau, appelé échangeur ionique, et ions en solution. Cette solution étant en contact avec l'échangeur ionique. On distingue :

- *Les échangeurs cationique* qui échangent des cations et, de ce fait, sont constitués de groupes chargés négativement.
- *Les échangeurs anioniques* comportent des groupes chargés positivement qui se combinent avec un éventail d'ions négatifs, et ce de manière réversible.

Les échangeurs ioniques commerciaux courants sont, aujourd'hui, des résines synthétiques au sein desquelles des groupes chimiques fonctionnels jouent le rôle d'échangeurs. La capacité d'échange d'un échangeur ionique est exprimée en milliéquivalent par gramme ou par litre

d'échangeur on trouve aussi les unités de CaCO₃ par gramme ou par litre d'échangeur. La capacité totale d'échange n'est, en pratique jamais atteinte [41]. Les avantages et les inconvénients de l'échange d'ions sont regroupés dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Avantages et inconvénients de l'échange d'ions [38]

Avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> • En principe, tous les ions et les espèces ionisables peuvent être éliminés des liquides aqueux. • Fonctionnement selon les besoins, relativement peu sensible aux variations de flux. • L'efficacité peut être élevée. • Récupération de l'eau possible. • Large gamme de résines spécifiques disponible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'une préfiltration. • Croissance de bactéries sur la surface de la résine • Interférence des ions concurrents dans les eaux usées. • Attrition des particules de la résine due à la régénération ou à des impacts mécaniques. • La saumure et les boues produites par la régénération doivent être traitées ou évacuées.

II.4.3.3- 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 [31].

II.5. Avantages et inconvénients liés au dessalement :

Le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau douce. Il présente de nombreux avantages dont:

- 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 [42].

Toutefois, quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- Besoins énergétiques importants ;
- Rejet des saumures concentrées en mer ou injectées dans le sol ;
- 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 [40].
- Un volume d'eau produite 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 concentrats) [43].

II.5 .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 [1].

II.6. Conclusion :

Toutes les techniques de dessalement sont très intéressantes au vu de leurs performances et de leur rentabilité. Le dessalement est une technologie d'avenir mais il faut l'utiliser en dernier recours et quand aucune autre solution n'est possible.

CHAPITRE III

LES TECHNIQUES MEMBRANAIRES

Chapitre III: Les techniques membranaires

III.1-Introduction :

Le dessalement de l'eau de mer apparait comme une alternative à la pénurie d'eau annoncée. Face aux procédés conventionnels de distillation, les procédés membranaires pour le dessalement permettent une consommation d'énergie plus faible, un cout d'investissement réduit et une gamme de capacité étendue [44].

La filtration membranaire est de plus en plus utilisée comme procédé de séparation dans de nombreux domaines notamment dans le cycle de l'eau (potabilisation de l'eau, traitement des effluents, réutilisation de l'eau, adoucissement, dessalement ...). Cette méthode est basée sur l'application d'une différence de pression qui permet le transfert du solvant à travers une membrane dont la taille des pores assure la rétention de solutés. Ces opérations, classées selon une taille des pores décroissantes, sont : la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse [45].

Les techniques séparatives à membranes sont des procédés physiques de séparation qui utilisent les propriétés de tamisage moléculaire d'une membrane poreuse balayée par le liquide contenant les constituants à séparer. L'écoulement du fluide à filtrer est continu et frontal lorsque la qualité de l'eau le permet, sinon, tangentiel. L'objectif de l'écoulement tangentiel est d'éviter l'accumulation continue sur la membrane des espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière [46].

III.2. Les techniques séparatives à membranes utilisées dans le traitement de l'eau :

Elles reposent sur une différence de pression totale de part et d'autre de la membrane, appelée pression transmembranaire (PTM). Parmi les procédés, sont distingués : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI).

Ces techniques sont classées selon la taille moyenne des pores de membranes ainsi que par les gammes de pression utilisées pour réaliser la séparation [44]

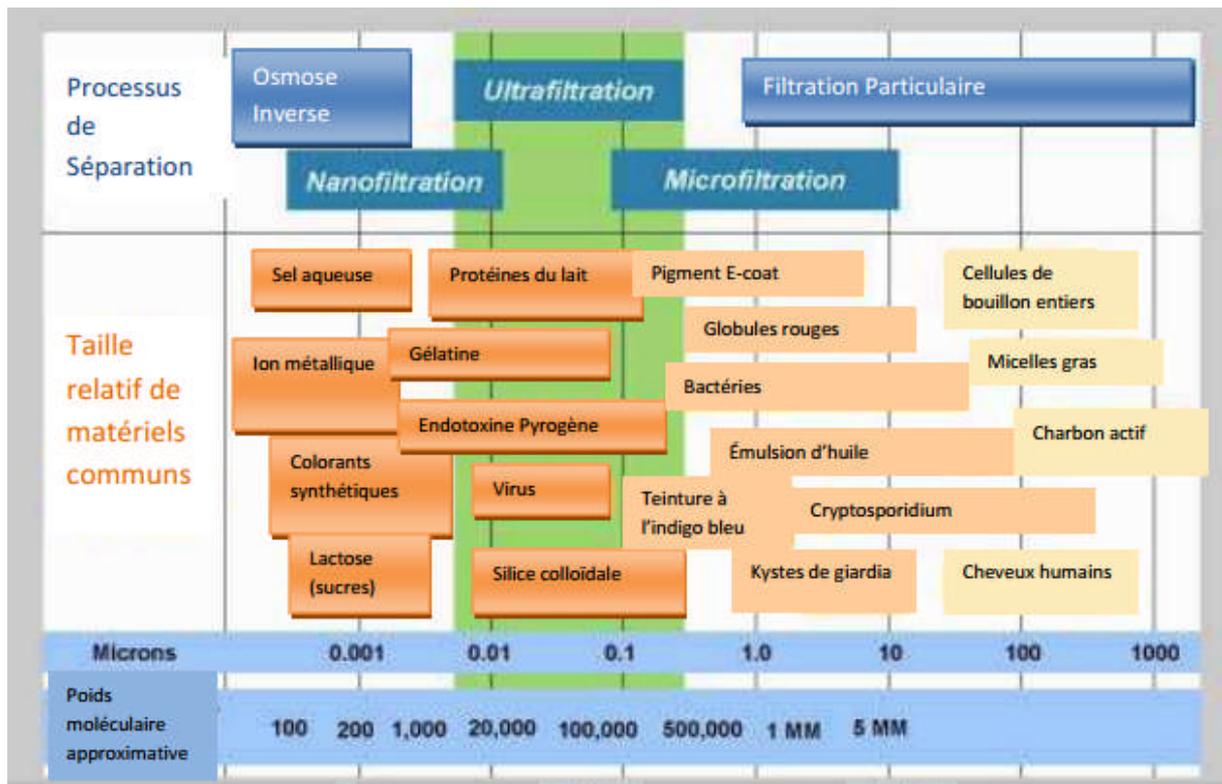


Figure III.1 : Taille des matériaux qui sont enlevés par processus de séparation variés [47]

III.2.1-La microfiltration tangentielle :

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 [46].

III.2.2-l'ultrafiltration :

L'ultrafiltration utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 10 et 100 ηm . 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 de macrosolutés présents dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical [46].

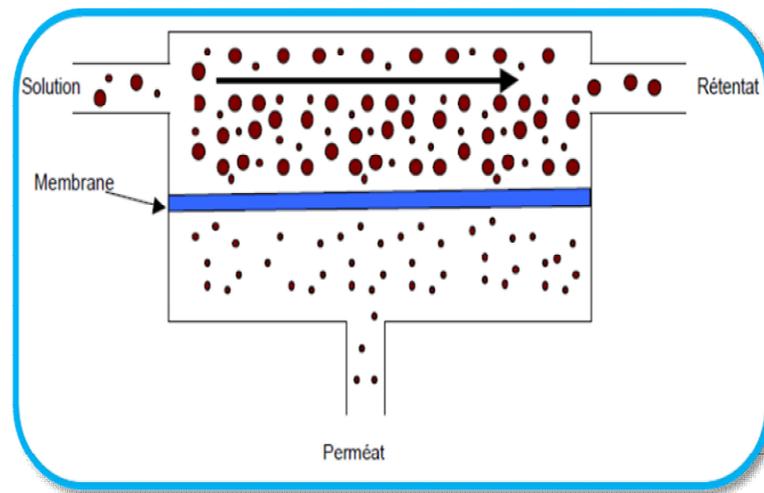


Figure III.2 : Principe de l'ultrafiltration [48]

Dans ce procédé, la membrane est constituée de milliers de fibres très fines, rassemblées à l'intérieur d'une gaine rigide. Les parois de chacune de ces fibres sont percées d'une multitude de pores microscopiques dont la taille est de l'ordre de 0.01 micromètre. L'eau à traiter circule sous pression à l'intérieur des fibres et passe à travers les pores.

L'ultrafiltration permet d'éliminer toutes les particules en suspension, les bactéries et les virus, ainsi que les plus grosses molécules organiques. Mais certains pesticides et certaines molécules responsables de goûts et d'odeurs, de plus faible encombrement, ne sont pas retenus [49].

L'ultrafiltration permet de concentrer les solutions macromoléculaires en ne laissant passer que le solvant et les solutés de faible masse molaire. Elle est utilisée principalement dans les applications suivantes :

- Clarification et désinfection des eaux potables,
- Concentration des protéines de lactosérum,
- Séparation d'émulsions huile-eau,

Traitement des bains de peinture [50].

III.2.3. La nanofiltration :

La nanofiltration est un procédé de filtration unique dont le domaine d'application se situe entre l'Ultrafiltration et l'Osmose Inverse. Elle est conçue pour obtenir une séparation très spécifique de composés à faible poids moléculaire, tels que les sucres, des minéraux dissous et des sels. Ce procédé inclut la déminéralisation des produits laitiers, la récupération des protéines hydrolysées, la concentration des sucres ainsi que la purification des colorants solubles et des pigments [51].

Les nanofiltres sont mis en œuvre selon le principe de la filtration tangentielle avec un transfert de matière à travers la membrane dû à un gradient de pression pouvant varier de 10 à 40 bars. La couche active de ces nanofiltres est constituée d'un matériau organique ou inorganique présentant une structure microporeuse avec des diamètres de pores de l'ordre du nanomètre [50].

III.2.4. l'osmose inverse :

a) Principe :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte le flux d'eau va même s'annuler : cette pression est nommée la pression osmotique Π . Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène de l'osmose inverse [6].

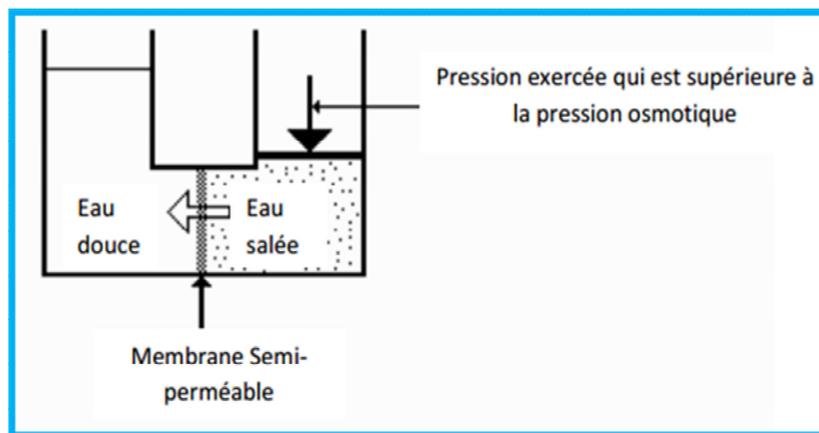


Figure III.3 : L'osmose inverse [52]

b) Pression osmotique :

La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van't Hoff 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. La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en solutés :

$$\Pi = i \cdot C \cdot R \cdot T \quad \dots (1)$$

Avec :

Π : Pression osmotique (bar)

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

C : Concentration molaire (mol.L⁻¹)

R : Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol⁻¹K⁻¹)

T : Température absolue (K) [29]

c) Mécanisme de transfert :

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts de solvant et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation-diffusion. Toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression.

En absence de colmatage, le flux de solvant (ici l'eau) à travers la membrane est exprimé par l'équation suivante [29] :

$$J_1 = A (\Delta P - \Delta \pi) \quad \dots (2)$$

Avec :

J_1 (Kg .m⁻².s⁻¹) : flux d'eau à travers la membrane.

A (Kg .s⁻¹.Pa⁻¹.m⁻²) : perméabilité de la membrane à l'eau.

ΔP (Pa) : différence de pression de part et d'autre de la membrane.

$\Delta \pi$ (Pa) : différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane [53].

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

$$J_{\text{soluté}} = B. (C_0 - C_P) \quad \dots (3)$$

où B est la perméabilité moyenne de la membrane au soluté (m.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 (kg.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. Le taux de rejet d'une membrane augmente lorsque la pression efficace augmente [54].

III.2.4.1 Caractéristiques principale d'une unité d'osmose inverse :

a) Taux de conversion (y) : La solution à traiter (débit Q_a) 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 rétentat (débit Q_c), et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.

La fraction de débit du liquide qui traverse la membrane est appelée taux de conversion de l'opération de séparation [46].

$$y = \frac{Q_p}{Q_a} \quad \dots (4)$$

b) La sélectivité : La sélectivité d'une membrane est en général définie par le taux de rétention ou le taux de rejet de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir :

$$R_m = \frac{C_a - C_p}{C_a} = 1 - \frac{C_p}{C_a} \quad \dots (5)$$

Avec

C_a : concentration de l'espèce à retenir dans la solution (g/l)

C_p : concentration de la même espèce dans le perméat (g/l) [36].

c) Le débit spécifique : 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 là même l'investissement.

Le débit spécifique s'exprime le plus souvent en litres.heure⁻¹.m².la conversion en unités SI (m³.m⁻².s⁻¹ ou m.s⁻¹) [36].

III.2.4.2. Les membranes d'osmose inverse :

Par définition, la membrane est une barrière permselective qui va réduire le transfert d'un soluté par rapport à un autre (le plus souvent d'un ou des solutés par rapport à l'eau). Dans le cas de la filtration membranaire, la membrane est une structure poreuse avec des pores de l'ordre de 0,1 à 10 μm pour la microfiltration, 10 nm à 1 μm pour l'ultrafiltration, quelques nm pour la nanofiltration et une structure dense pour l'osmose inverse [34].

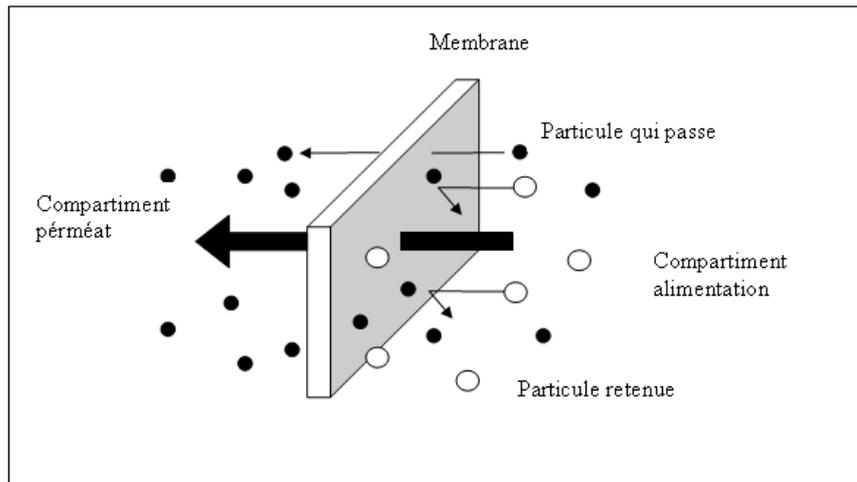


Figure III.4 : Membrane sélective [55].

a) Matériaux utilisés :

Une grande variété de polymères est utilisée pour la fabrication des membranes destinées à la production d'eau potable. Les fabricants hésitent à dévoiler avec précision la nature chimique des constituants de leurs membranes et préfèrent en indiquer les principales propriétés en termes :

- ☞ de résistance mécanique (déterminant la durée de vie et l'intégrité des membranes) ;
- ☞ d'hydrophilicité (déterminant la résistance au colmatage) ;
- ☞ de stabilité chimique (résistance aux agents lavants).

- **Les dérivés de cellulose :** Les dérivés de cellulose sont utilisés pour la fabrication des membranes asymétriques d'ultrafiltration, de nanofiltration et d'osmose inverse. Sous l'effet de fortes pressions, ils ont tendance à se compacter entraînant une diminution irréversible de la perméabilité. Leur stabilité chimique est réduite. Les pH opératoires doivent rester dans une gamme allant de 4 à 6,5 et la température doit rester inférieure à 40°C pour éviter l'hydrolyse du matériau.

- **Le polypropylène :** Le polypropylène est utilisé pour la fabrication de membranes de microfiltration. Il s'agit d'un matériau élastique qui résiste bien, sur le plan mécanique, aux rétrolavages. Le caractère hydrophobe de ce matériau le rend assez sensible au colmatage. Il présente une bonne stabilité chimique dans une large gamme de pH mais peut être détruit par le chlore dont l'usage est donc proscrit.

- **Les polysulfones :** Les polysulfones sont utilisés pour la fabrication de membranes d'ultrafiltration. Ils peuvent être utilisés tel quel ou servir de support à une couche fine de séparation au sein des membranes composites de nanofiltration ou d'osmose inverse. Les propriétés mécaniques de ce matériau ainsi que sa résistance chimique sont excellentes.

(résistance à une large gamme de pH et à une exposition continue au chlore). En revanche, le caractère hydrophobe des polysulfones les rendent sensible au colmatage par adsorption des molécules organiques [46].

b) 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 des conditions d'utilisation :

- pression de fonctionnement,
- température de l'eau,
- pH,
- qualité du prétraitement [36]

III.2.5. Les modules d'osmose inverse :

Les membranes sont incorporées dans un dispositif appelé module et celui-ci peut se répéter à un certain nombre d'exemplaires disposés selon divers arrangements dans une unité. Les critères à prendre en considération pour le choix d'un module sont :

- Le type d'écoulement (laminaire ou turbulent) qui permet de minimiser les phénomènes de polarisation
- La compacité qui est le rapport entre la surface filtrante et le volume du module, elle s'exprime en m^2/m^3 .
- La facilité de démontage et de remplacement des membranes abimées.
- Le volume mort de l'appareil qui s'exprime en L/m^2 .

Dans la pratique, les modules peuvent être tubulaires, à fibres creuses, plans ou spiralés [56].

a) **les modules tubulaires** : Ce type de module est constitué de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fixée la membrane semi-perméable. L'eau à traiter circule, sous pression, à l'intérieur du tube et le perméat est collecté à l'extérieur du tube.

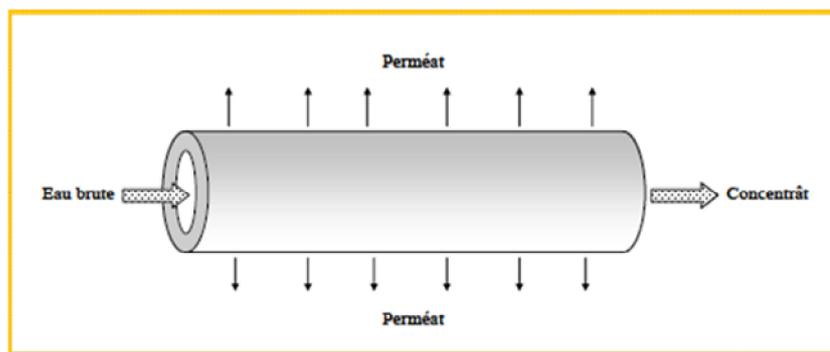


Figure III.5 : Module tubulaire vue longitudinale.

Les tubes sont rassemblés en petit nombre (quelques dizaines) dans un module et ils y sont disposés parallèlement les uns aux autres avec un espacement régulier. Les modules tubulaires sont d'un investissement relativement élevé et ils ont l'inconvénient de consommer beaucoup d'énergie à cause des vitesses de circulation requises (2 – 6 m/s) pour éviter les phénomènes de polarisation [56].

b) les modules 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 micromètres en un faisceau de diamètre inférieur à 3 mm [57].

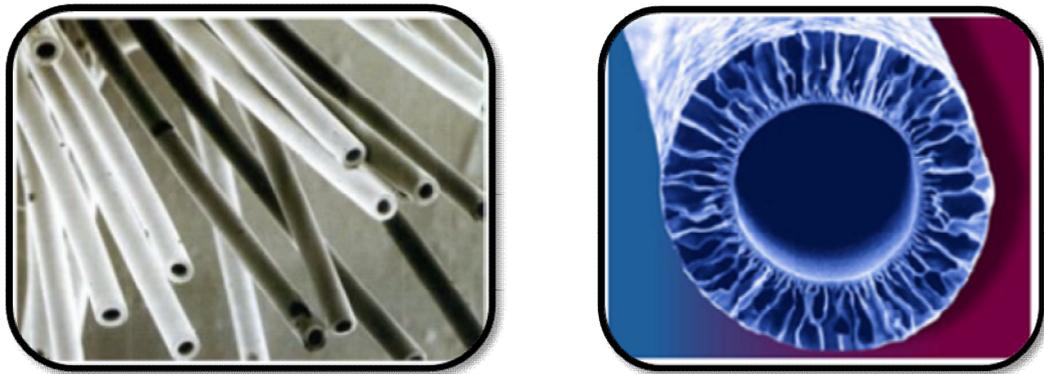


Figure III.6 : Module fibre creuse [57], [47]

c) les modules plaques : Ces modules sont constitués d'un empilement de membranes et de plaque supports. Leur conception est dérivée de celle des filtres-presses. Le fluide à traiter circule entre les membranes de deux plaques adjacentes. Ces plaques assurent en même temps le soutien mécanique de la membrane et le drainage du perméat. Ce type de module est assez peu utilisé en traitement d'eau compte tenu de son coût élevé. Il est par contre utilisé en agroalimentaire, ainsi que pour le traitement des lixiviats de charge [58].

d) les modules spiralés : Dans ce type de module, les membranes planes sont enroulées autour d'un tube perforé et creux 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. L'eau à traiter renfermant les sels dissous entre à l'une des extrémités du rouleau et passe axialement à travers la membrane. Afin de pouvoir exercer la pression requise sur le liquide à traiter, les rouleaux de membranes (appelée souvent de joints aux extrémités. En générale, plusieurs cartouches sont assemblées dans un seul corps de pression [36].

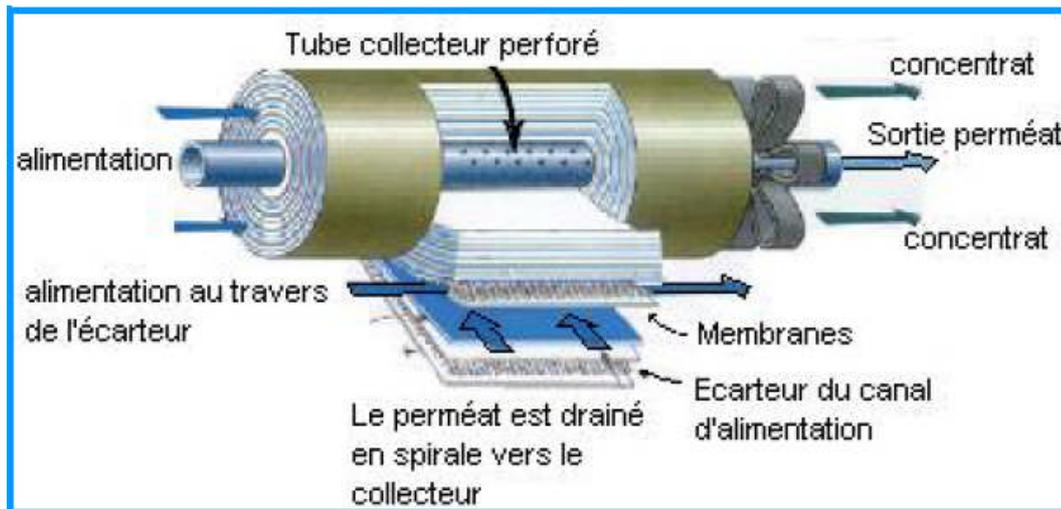


Figure III.7 : Module spirale [49]

L'eau à traiter entre à une extrémité du rouleau et passe axialement à travers la membrane. Le perméat est récupéré dans le tube collecteur. Le tableau III.1 donne une comparaison des modules d'osmose inverse ;

Tableau III.1: Comparaison des modules d'osmose inverse [36]

Module	Unité	Tubulaire	Plan	Spirale	Fibre Creuse
Surface de la membrane par unité de volume	m ² /m ³	300	300	1000	1500
Débit	L/h/m ²	~30	~30	~30	~30
Capacité de production	m ³ /m ³	~9	~9	~30	~45
Prétraitement		simple	simple	Moyen	élevé
Colmatage		faible	faible	Moyen	élevé

III.2.6. Le colmatage :

Le colmatage des membranes est un des verrous rencontrés en filtration membranaire. Le colmatage résulte de l'accumulation de macromolécules à la surface des membranes. A pression transmembranaire constante, la conséquence du colmatage est une diminution, parfois extrêmement accentuée, du flux de perméation dans le temps [59].

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

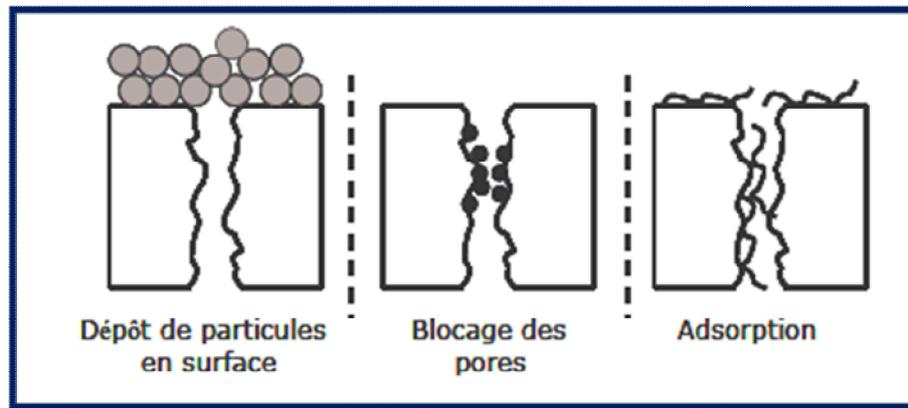


Figure III.8 : Différentes formes de colmatage [44]

- Facteurs influants sur le colmatage :

plusieurs facteurs peuvent influencer sur le colmatage et le comportement de la filtration et plusieurs paramètres doivent être pris en compte:

- la solution/suspension filtrée (nature, concentration et propriétés physico-chimiques des substances de la solution ou la suspension filtrée) ;
- les conditions opératoires (mode de filtration, pression transmembranaire, débit d'air, fréquence et intensité des rétrolavages, durée du temps de relaxation, procédure et intervalle des nettoyages chimiques) ;
- les caractéristiques des membranes (matériaux, taille et distribution des pores, hydrophobicité et charge des membranes, rugosité de surface) et
- les caractéristiques du module de filtration (géométrie des membranes, hauteur et espacement des membranes, tailles et formes des bulles,...) [60] .

III.2.7. Nettoyage des membranes:

Trois types de nettoyage sont de façon générale pratiqués :

- Le nettoyage mécanique, un nettoyage partiel ; mais rapide
- Le nettoyage chimique, qui implique un arrêt de production périodique, génère des coûts en solution de lavage et en traitement des effluents ;
- Le nettoyage enzymatique.

a) Le nettoyage mécanique : Le principe consiste à décoller et retirer la matière accumulée sur la membrane par des forces mécanique, d'origine hydrodynamique. La procédure généralement utilisée est le rétrolavage [61]: qui consiste à inverser le sens d'écoulement et le

gradient de pression par rapport à la filtration. Le compartiment perméat est ainsi mis sous pression, le perméat passe au travers de la membrane et permet l'arrachement et l'évacuation du dépôt de particules participant au blocage des pores [44].

b) le nettoyage chimique : Il se compose d'une séquence de lavage acide et basique, ainsi que de phases de rinçage. La durée d'une séquence de nettoyage peut aller de 30 à 60 min. Les nettoyages sont généralement effectués à la température la plus élevée que la membrane peut supporter sans dégradation, pour une meilleure efficacité, soit de 60 à 80 °C. L'agent de nettoyage doit à la fois être efficace pour éliminer l'agent colmatant et inoffensif vis-à-vis des membranes et du procédé. Par exemple, des solutions d'HCl ne sont pas utilisables en présence d'acier inoxydable [62].

c) le 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 [61]

III.2.8. Avantages et inconvénients des techniques à membranes :

Les Avantages :

- Elles opèrent à température ambiante en général, d'où l'absence de dénaturation des molécules fragiles telles que les protéines et le respect des qualités organoleptiques grâce à l'absence de choc thermique
- La séparation est fondée sur des critères physiques (diamètres de pores) et ne fait pas intervenir de réactifs chimiques (solvants, acides, bases...), réactifs qui sont, en général, une source importante de pollution.
- Elles ne font pas intervenir de changement de phase, l'osmose inverse connaît un développement important dans le domaine du dessalement de l'eau de mer, en particulier parce que la consommation d'énergie associée au procédé est très faible ;
- Les procédés peuvent fonctionner en continu et sont simples et faciles à automatiser. contrairement à la filtration frontale ou à l'échange d'ions, qui sont des procédés séquentiels (avec des phases de fixation et d'élution pour l'échange d'ions), la circulation tangentielle du liquide à traiter permet d'éviter l'accumulation progressive de dépôts.

Les Inconvénients :

- Colmatage des membranes, qui se traduit, en général, par une baisse de la perméabilité et une modification de la sélectivité qui n'est pas toujours souhaitable ;
- Sélectivité imparfaite des membranes : elle n'est jamais égale à 100 % sauf peut-être en microfiltration.

Durée de vie des membranes limitée, soit par perte de résistance mécanique, soit par suite d'une mauvaise tenue aux réactifs utilisés pour le nettoyage [63]

III.3.Conclusion :

Les procédés membranaires font partie des nouvelles technologies qui peuvent jouer un rôle environnemental important. Ces procédés permettent la production d'eau destinée soit à la consommation humaine (dessalement de l'eau) soit aux industries (réutilisation de l'eau) qui consomment de l'eau de pureté contrôlée dans leur chaîne de production (industries agroalimentaires, industrie pharmaceutique, etc.).

L'utilisation des techniques membranaires connaît une croissance rapide, en raison notamment de la multiplication des domaines d'application. Ces techniques présentent toutefois une limitation du fait de l'accumulation de matière à la surface de la membrane conduisant à la formation d'un dépôt. Le colmatage de la membrane est donc une limitation majeure des procédés membranaires puisqu'il diminue leur performance. Cependant elles sont de plus en plus présentes sur le marché mondiale, constituant un réel progrès et de réels avantages d'un point de vue économique.

PARTIE II

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV

MATERIEL ET METHODES

IV.1.2. Description du pilote :

a) 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 control et de mesure.

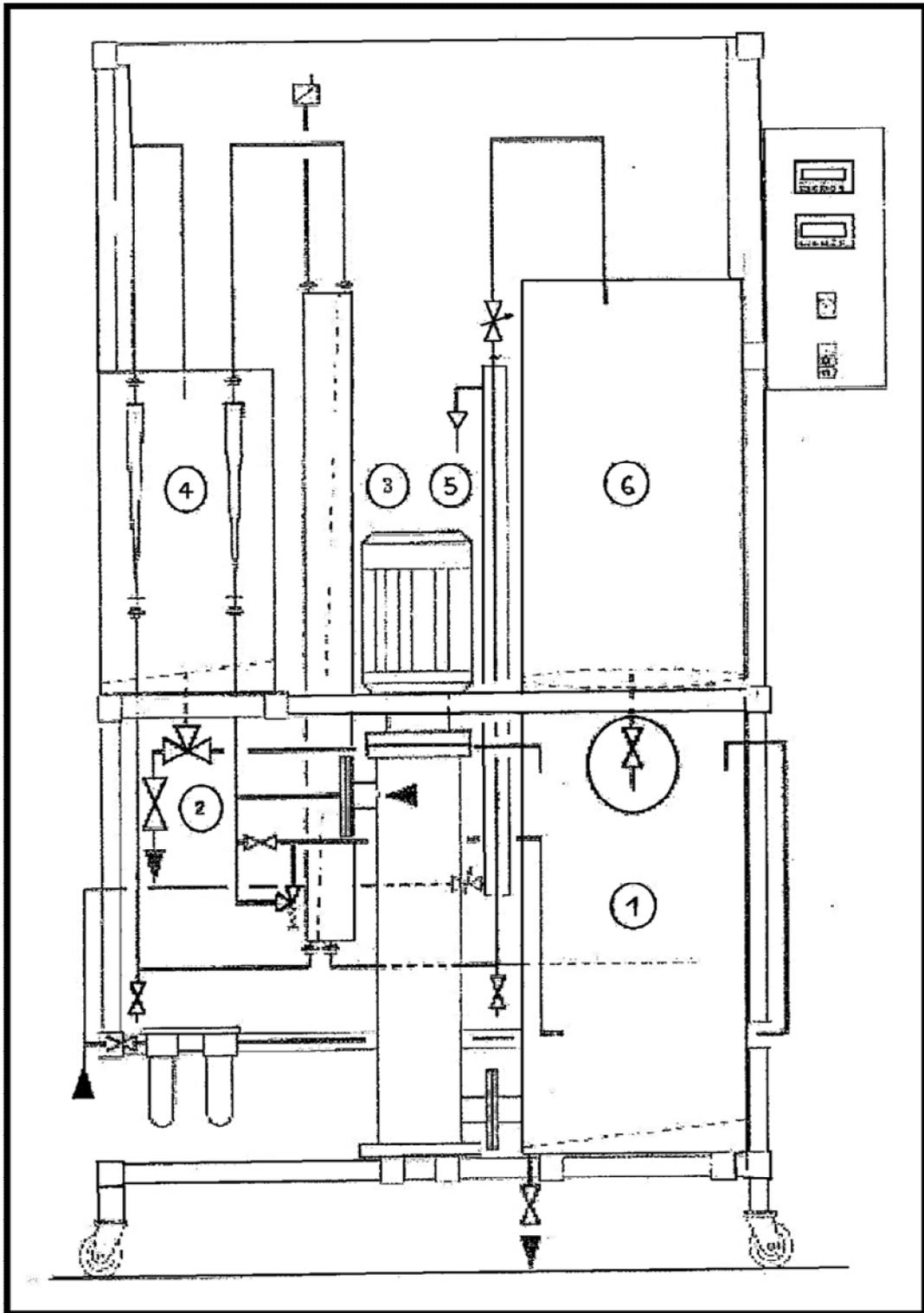


Figure IV.2 : Construction du pilote TE 200 [65].

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. Diamètre = 34.5cm

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 bar; 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.

c) Liste de vannes dans le pilote :

VA1 : vanne manuelle d'arrêt alimentation eau naturelle.

VA2 : vanne manuelle d'arrêt échangeur concentrât.

VAS : 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 d'alimentation.

VR2 : vanne manuelle de réglage sortie concentrât.

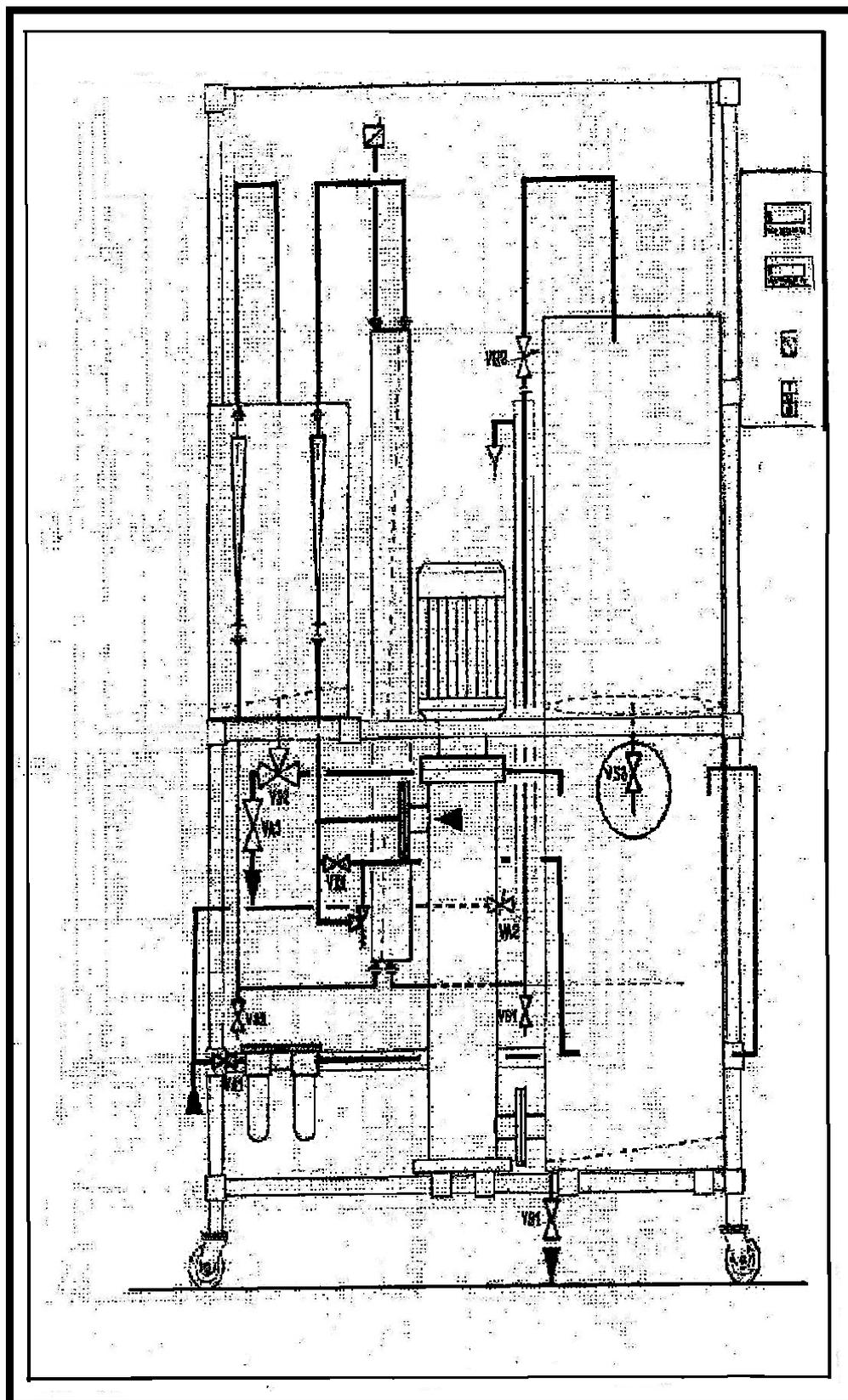


Figure .IV.3 : Liste de vannes [66]

IV.1.3. Manipulation :

L'utilisation du pilote doit montrer l'efficacité de fonctionnement du module d'osmose inverse en matière de fixation de sels. Les expérimentations vérifieront les performances de la membrane pour différentes concentrations et diverses pressions [99].

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 1 h30 – 2 h environ) [66].

a) 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 trios 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,
- La pilote est prête pour une manipulation

b) Préparation de l'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 la vanne de remplissage de la cuve d'alimentation 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 la vanne de remplissage VA1,
- Mettre en marche la pompe d'alimentation par son bouton "ARRET/MARCHE" sur la position "MARCHE",
- Régler la pression d'alimentation de la cartouche à 8 B environ en fermant la vanne de recyclage de l'alimentation VR1,
- Régler le débit d'alimentation à 500 l/h environ en utilisant la vanne de réglage de sortie du concentrât VR2,
- Ajuster à nouveau la pression d'alimentation avec la vanne VR1 à 10 B,
- Ajuster à nouveau le débit d'alimentation avec la vanne VR2 à 500 l/h
- Procéder par étapes successives avec les vannes de réglage VRI et VR2 pour obtenir les paramètres de fonctionnement corrects (pression d'alimentation 10 B, débit d'alimentation 500 l/h),
- Le perméat et le concentrât sont recyclés pendant cette période de réglage
- Lorsque la conductivité du perméat est correcte (CI2 inférieur à 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$), il convient de le prélever,
- Positionner la vanne trois voies de sortie de la cuve de réception du perméat VS2 de manière à prélever l'eau osmosée,
- Lorsque la conductivité du perméat remonte (CI2 supérieur 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$), convient de le recycler,
- Positionner la vanne trois voies de sortie de la cuve de réception du perméat VS2 de manière à recycler l'eau osmosée vers la cuve d'alimentation,
- Ouvrir au maximum les vannes de réglage de débit VRI et VR2,
- Arrêter la pompe d'alimentation par son bouton de commande sur la position "ARRET",
- Vidanger la cuve d'alimentation par sa vanne de vidange VS1,
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation VS1,
- Si la quantité d'eau osmosée produite n'est pas suffisante, convient de recharger la cuve d'alimentation en eau brute,
- Remplir à nouveau la cuve d'alimentation d'eau brute par la vanne de remplissage VA1,

- Lorsque la cuve d'alimentation est pleine, fermer la vanne de remplissage VA1,
- Recommencer les opérations décrites ci-dessus jusqu'à obtention de la quantité d'eau osmose nécessaire,
- Lorsque la quantité d'eau osmose nécessaire est obtenue, il convient d'arrêter le pilote [66].

c) Manipulation en osmose inverse d'une solution synthétique:

- 1- Mettre en marche le pilote.
- 2- Remplir la cuve d'alimentation par la solution de chlorure de sodium à étudier.

Etape 1 : (préparation de la solution)

- Pesé la quantité de sel nécessaire suivant la concentration voulu (5.5 ; 6 ; 6.5 ; 7 ; 7.5 ; 8 ; 8.5 ; 9 g/l).
 - Préparé une solution homogène de sel dans un volume d'eau.
 - Mettre cette solution dans la cuve d'alimentation puis ajouté de l'eau jusqu'au 50l.
 - La solution est prête pour l'utiliser.
 - Mesuré la température de la solution avant et après la manipulation.
(La solution doit être préparée à base d'une eau de très bonne qualité).
- 3- Mettre en marche de la pompe d'alimentation.
 - 4- Régler la pression d'alimentation (pression d'entrée).
 - 5- Régler la pression de sortie (pour faire une différence de pression).

Etape 2 :

- 6- Noter le changement de débit d'alimentation et de perméat.
 - 7- Noter la conductivité du concentrât et de perméat.
- La manipulation est terminée [66].

d) Procédure générale d'arrêt:

- Ouvrir au maximum les vannes de réglage de débit VRI et VR2,
- Arrêter la pompe d'alimentation par son bouton de commande sur la position "ARRET",
- Fermer la vanne d'alimentation d'eau de refroidissement VA2,
- Fermer si nécessaire la vanne d'alimentation VA1,
- Vidanger la cuve d'alimentation par sa vanne de vidange VS1,
- Vidanger si nécessaire la cuve de réception du concentrât par sa vanne de vidange VS3 dans la cuve d'alimentation,
- Vidanger si nécessaire la cuve de réception du perméat par sa vanne de vidange VS2 (L orienté à gauche),
- Si nécessaire il convient alors de nettoyer les cuves d'alimentation et de réception,

- Positionner le tuyau d'évacuation de la sortie de la cuve de réception du perméat vers l'égout du laboratoire,
- Laver soigneusement la cuve de réception du perméat,
- Rincer cette cuve avec le minimum d'eau déminéralisée si nécessaire,
- Lorsque le liquide de rinçage ne s'écoule plus du tuyau d'évacuation, positionner la vanne de vidange de la cuve de réception du perméat de manière à recycler le liquide vers la cuve d'alimentation (L orienté à droite),
- Laver soigneusement la cuve de réception du concentrât,
- Rincer cette cuve avec le minimum d'eau déminéralisée si nécessaire,
- Lorsque le liquide de rinçage ne s'écoule plus de la cuve de réception du concentrât, fermer sa vanne de vidange VS3,
- Laver soigneusement la cuve d'alimentation,
- Rincer cette cuve avec le minimum d'eau déminéralisée si nécessaire,
- Lorsque le liquide de rinçage ne s'écoule plus de la cuve d'alimentation, fermer sa vanne de vidange VS1,
- Arrêter le coffret général électrique par son bouton de commande sur le position "ARRET",
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau,
- Le pilote est prêt pour une autre manipulation [66].

IV.2. Description de l'appareillage de mesure utilisé:

a) Le conductimètre :

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution [34]. Ce paramètre a été mesuré par des conductimètres, l'un au laboratoire de la station de traitement de SEKKAK, et l'autre au labo du département de chimie.



Figure IV.4: Conductimètre (laboratoire de la
(laboratoire de station de traitement de SEKKAK)

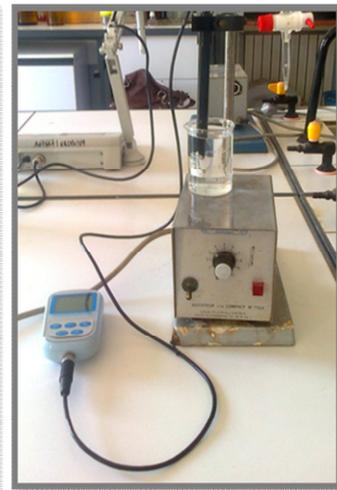


Figure IV.5: Conductimètre
département de chimie)

b) La balance :

Pour préparer des solutions de différentes salinités, on a fait des pesées du sel en utilisant une balance de précision disponible dans notre laboratoire (figure IV.6).



Figure IV.6: Photo de la balance électronique

c) Le thermomètre :

La température de l'eau est un paramètre de confort les usagers. Un thermomètre est un appareil qui sert à mesurer et à afficher la valeur des températures. Dans notre essai, on a utilisé un thermomètre à alcool [17].

CHAPITRE V

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Chapitre V: Résultats et interprétations

V.1. Introduction :

Afin d'étudier l'efficacité de la membrane mince (type spiralé) pour le dessalement des eaux saumâtres fortement salées, des analyses de l'eau après dessalement par la membrane ont été effectués. Les paramètres analysés sont : la conductivité du perméat, la conductivité du concentrat. Le travail expérimental a été effectué en faisant varier les paramètres suivant :

- la concentration en sel dans l'eau d'alimentation (variable de 5,5 à 9 g/l).
- la pression d'entrée sur la membrane (10 bars et 14 bars)
- la pression de sortie de la membrane

En parallèle, on a mesuré, suivant le temps, le volume du perméat pour chaque expérience étudiée. La concentration du sel dans l'eau d'alimentation a été variée en utilisant du sel (NaCl) dissous dans de l'eau distillée.

V.2. Résultats et interprétations

a) Détermination de la pression osmotique

Afin d'entamer les manipulations de dessalement sur pilote, on a jugé nécessaire de déterminer les pressions osmotiques pour les différentes concentrations en sels dans l'eau d'alimentation de la membrane. Les valeurs de la pression osmotique ont été calculées à partir de l'équation suivante :

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

i : nombre d'ions associés (=2);

C: Concentration molaire de la solution (mol/l);

R: constante des gaz parfaits (0,082 l.bar/mol.K) ;

T : temperature de l'eau (°K)

Les résultats trouvés sont indiqués sur le tableau V.1 suivant:

Tableau V.1: Valeurs de la pression osmotique pour les différentes concentrations en sel

Conductivité du sel	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9
Π (bar)	4.6	5.092	5.52	5.94	6.365	6.79	7.21	7.64

L'examen des résultats obtenus (tableau V.1) montre que la pression osmotique est proportionnelle à la concentration en sel dans la solution. Plus la concentration en sel dans l'eau d'alimentation augmente plus la pression osmotique croit.

b) Effet de la pression de sortie sur la variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps pour les différentes concentrations en sel étudiées:

Afin d'étudier l'effet de pression de sortie sur la variation, avec le temps, de la conductivité du perméat et du concentrât pour les différentes concentrations en sel étudiées, variables de 5,5 à 9 g/l avec un espacement de 0,5 g/l, on a fait varier la pression à la sortie de la membrane de 12 à 14 bars avec une progression constante de 0,5 bar. Cependant on a maintenu constant, durant toutes les expériences, la pression d'entrée sur la membrane à 14 bars, soit environs deux fois la valeur de la pression osmotique obtenue avec la concentration de 9 g/l. Les résultats trouvés sont présentés sur les figures (Fig V.1 jusqu'à Fig V.16) suivantes :

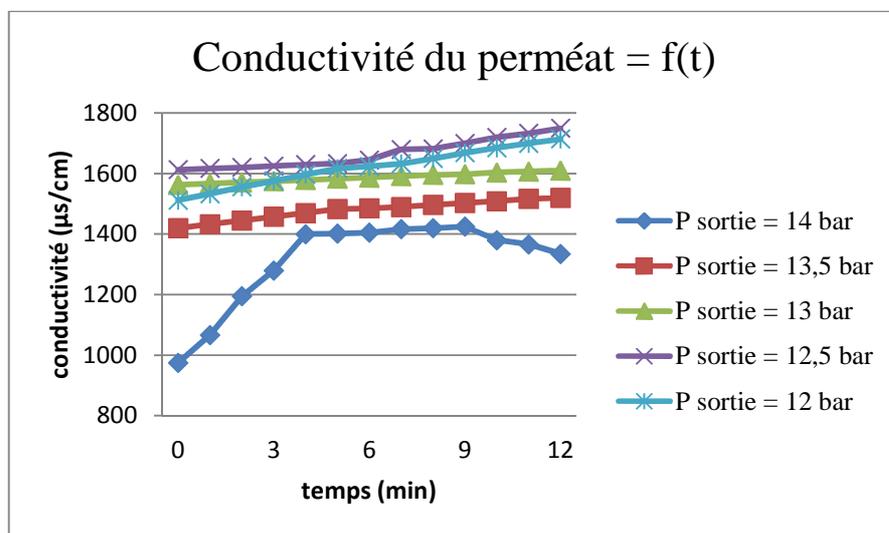


Figure V.1: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 5.5 g/l)

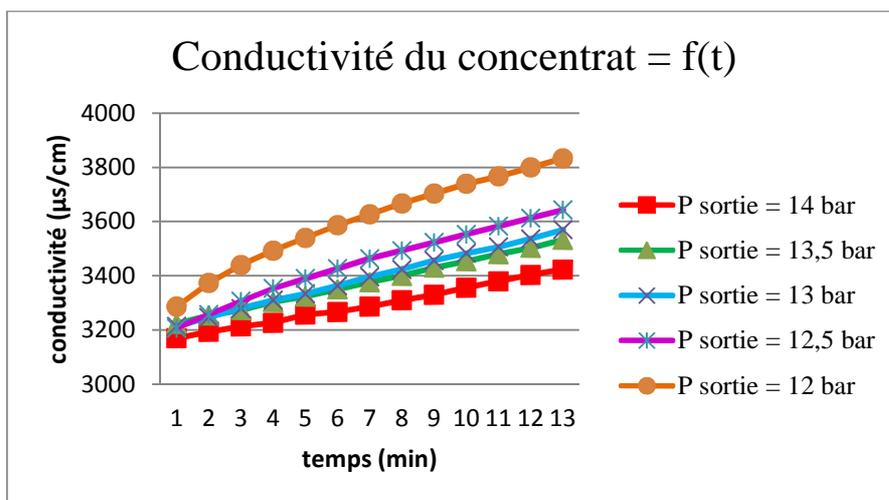


Figure V.2: Variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 5.5 g/l)

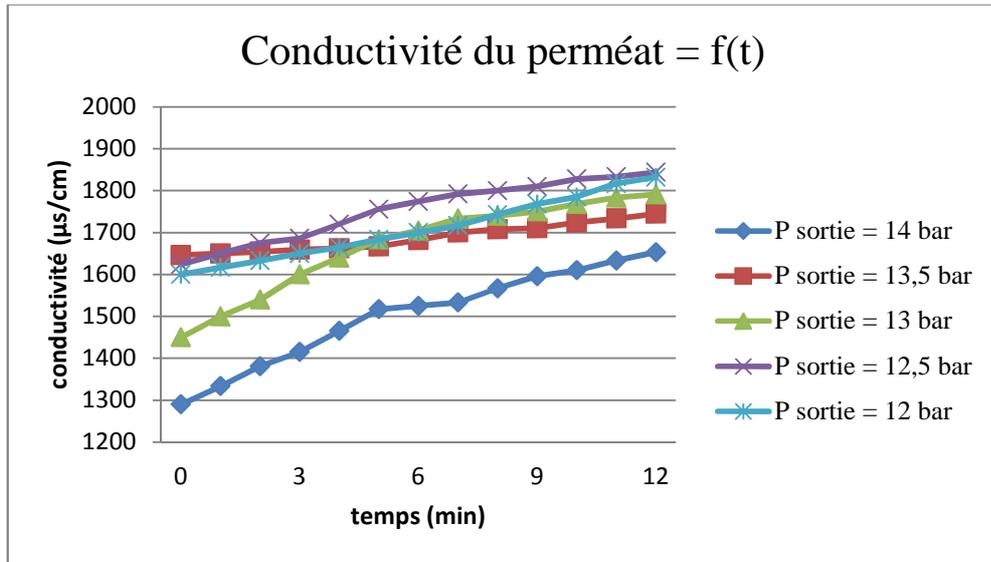


Figure V.3: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 6 g/l).

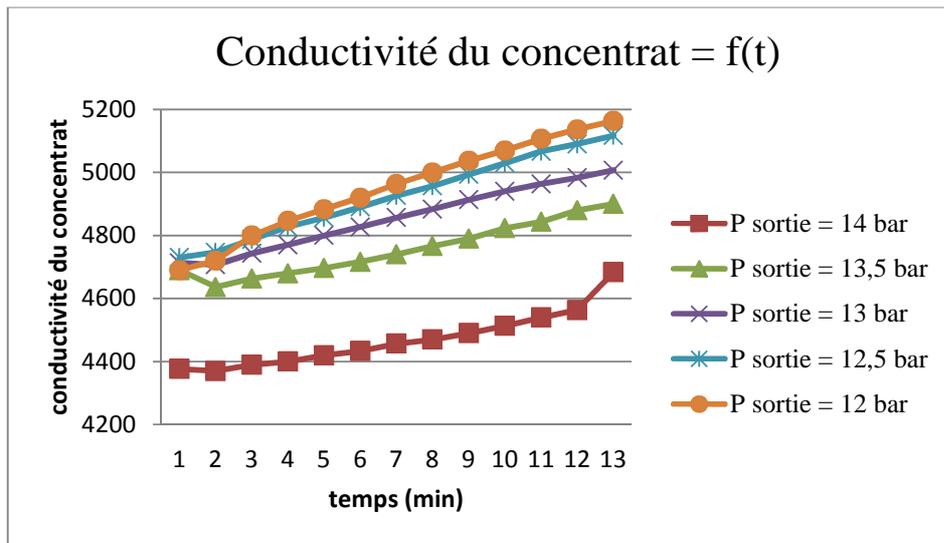


Figure V.4: Variation de la conductivité du concentrat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 6 g/l)

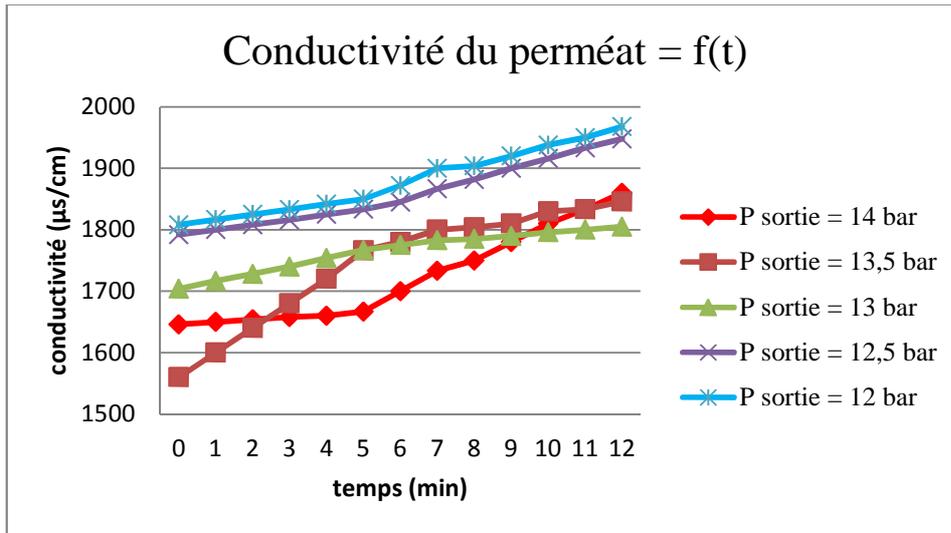


Figure V.5: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 6.5 g/l)

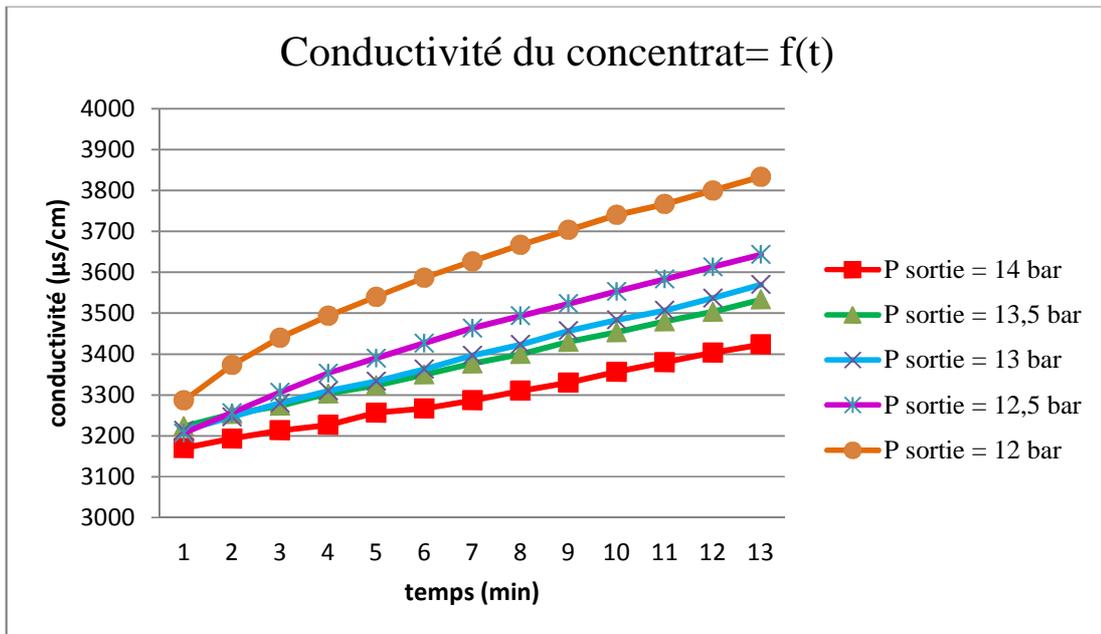


Figure V.6: Variation de la conductivité du concentrat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 6.5 g/l)

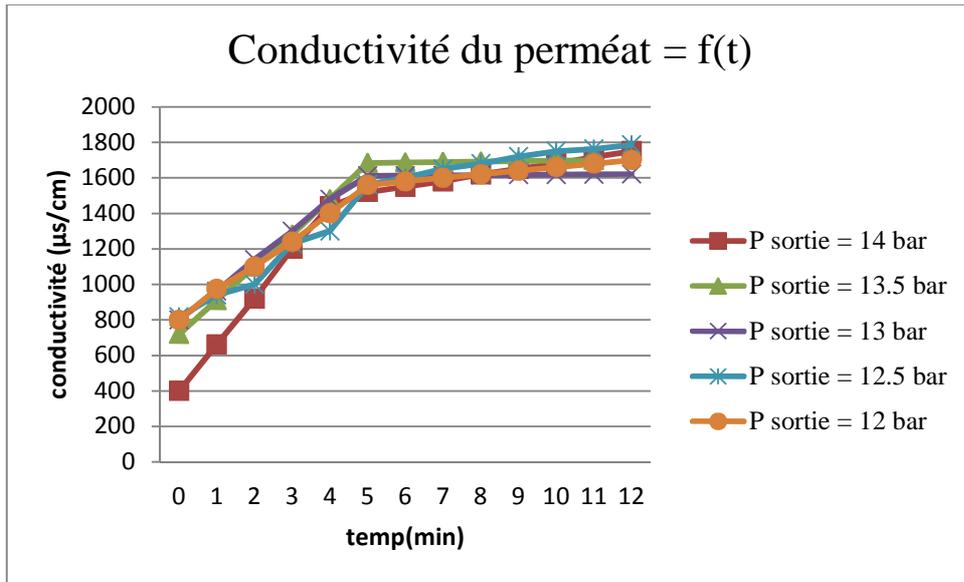


Figure V.7: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7 g/l)

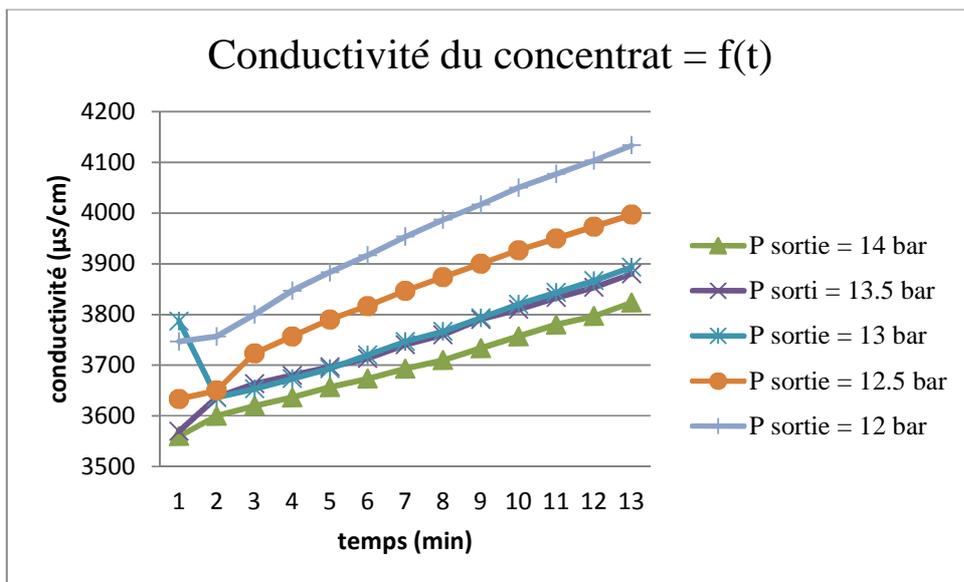


figure V.8 : Variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7 g/l)

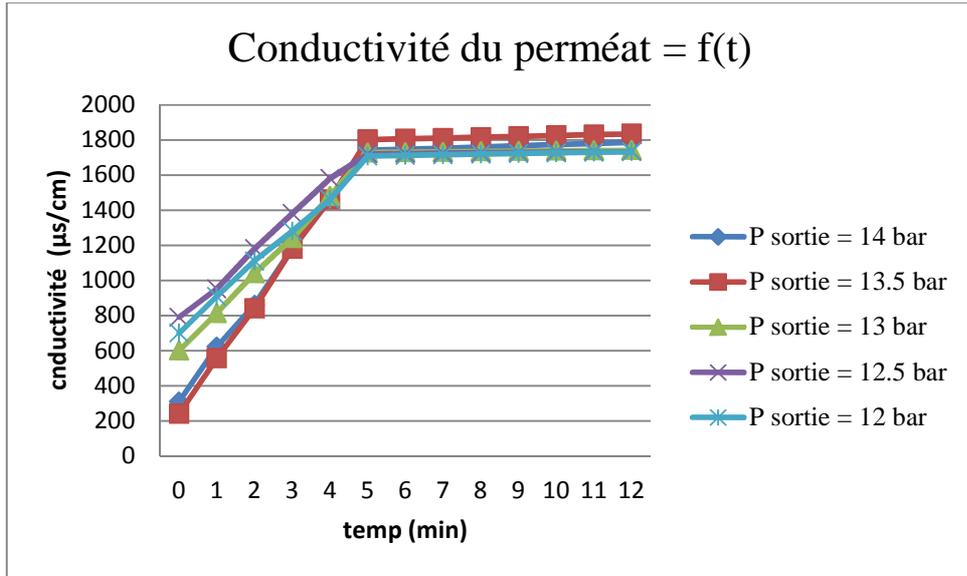


Figure V.9: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7.5 g/l)

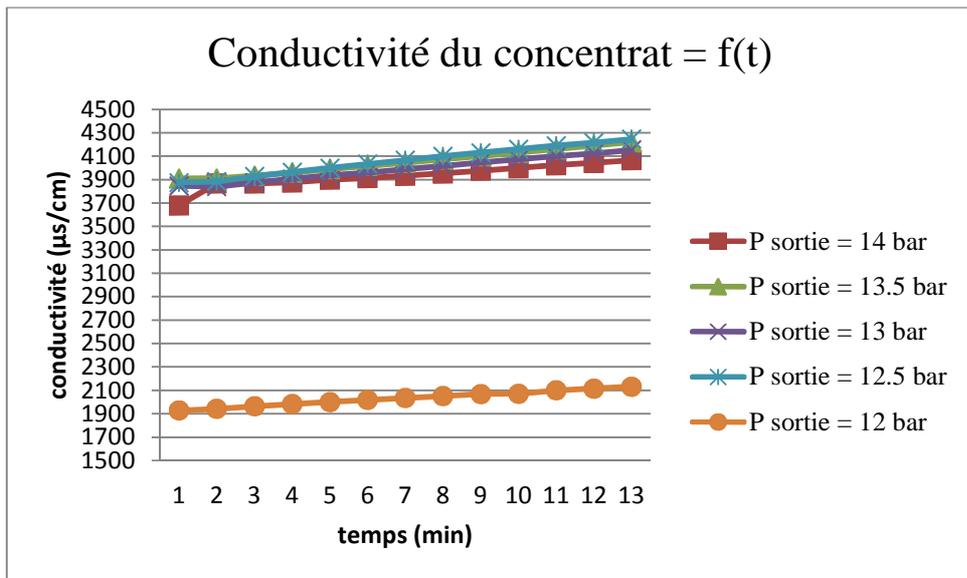


Figure V.10: Variation de la conductivité du concentrat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7.5 g/l)

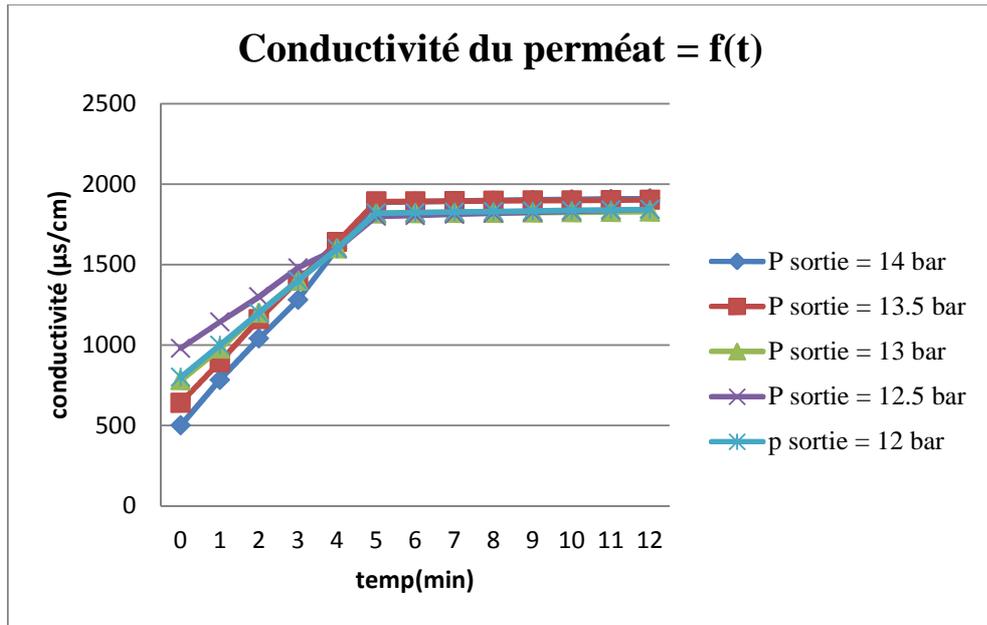


Figure V.11: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8 g/l)

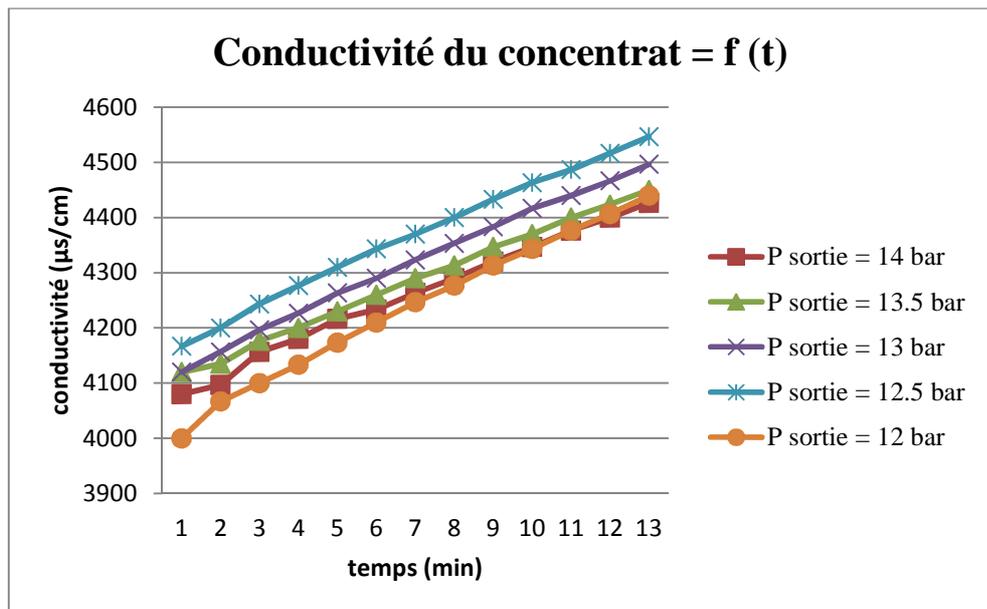


Figure V.12: Variation de la conductivité du concentrat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8 g/l)

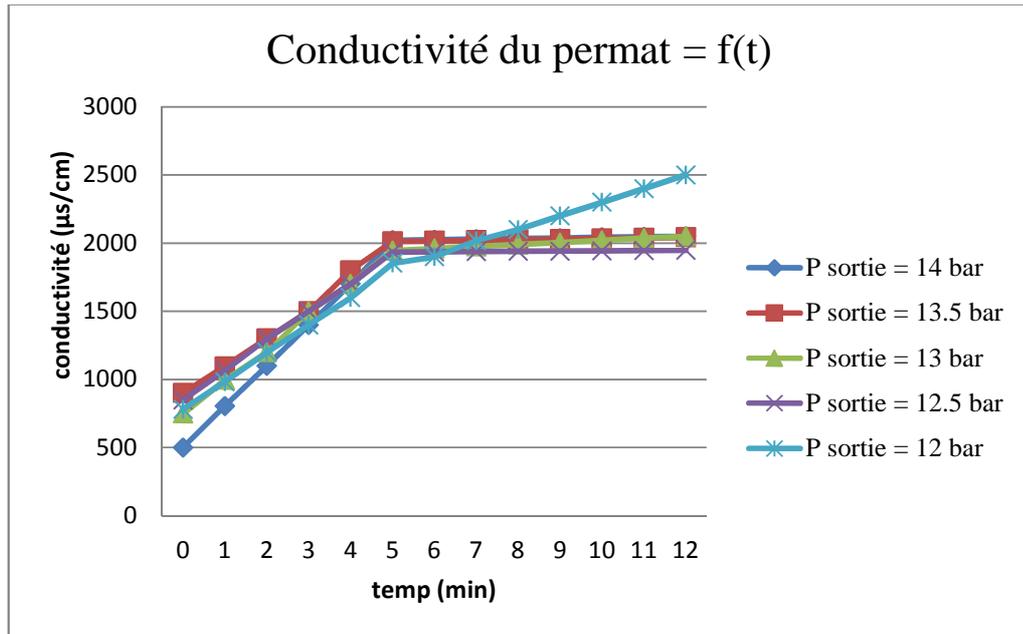


Figure V.13: La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8.5 g/l)

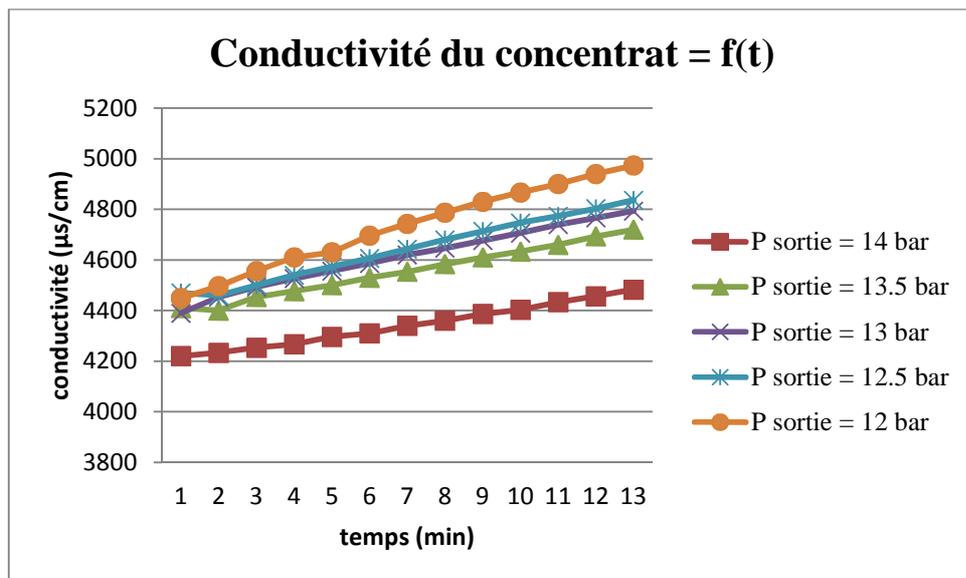


Figure V.14: La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8.5 g/l)

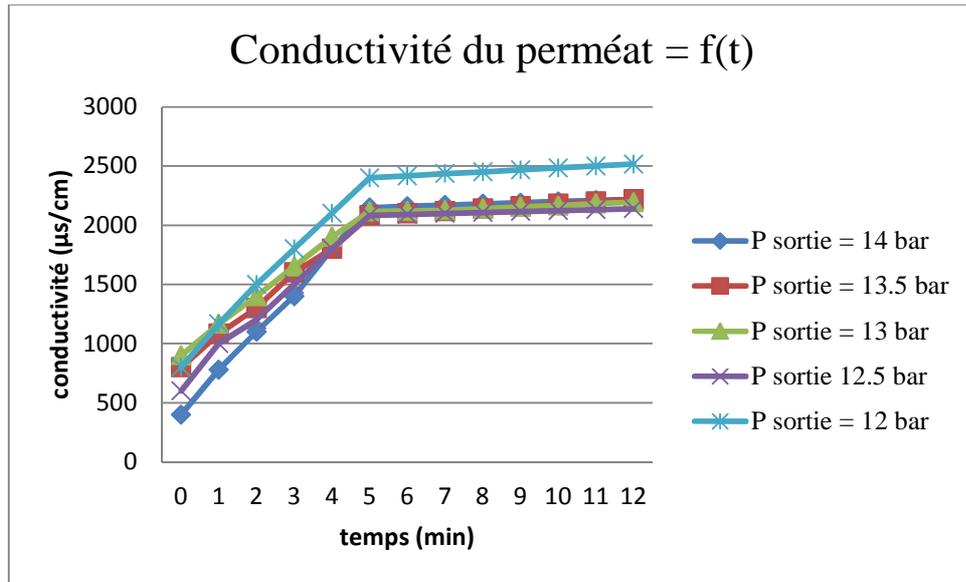


Figure V.15: La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 9 g/l)

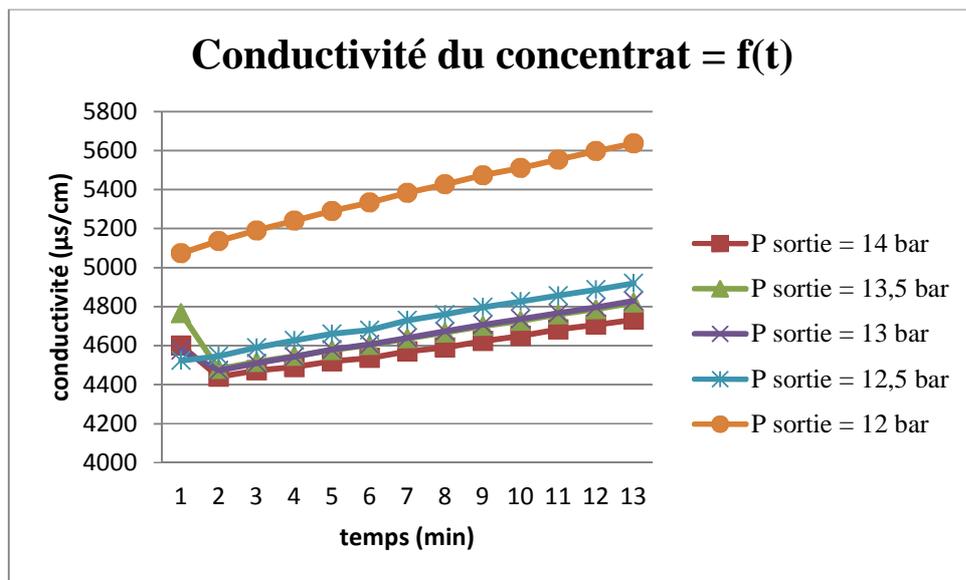


Figure V.16: Variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 9 g/l)

L'examen des résultats obtenus (figure V.1 jusqu'à figure V.16) montrent que la pression de sortie de la membrane influe considérablement sur la conductivité du perméat et du concentrât et ceci quel que soit la salinité de l'eau d'alimentation. En effet, la concentration en sel de l'eau d'alimentation modifie la pression osmotique et induit une diminution du passage d'eau à travers la membrane provoquant ainsi une augmentation de la conductivité au niveau du perméat, mais s'il y'a une augmentation de la pression d'entrée sur la membrane, le passage du perméat va augmenter et la concentration de ce dernier diminue.

- Variation du volume du perméat pour les différentes pressions de sortie étudiés et à différentes salinité de l'eau :

Les résultats trouvés sur la variation du volume du perméat, pour les différentes pressions de sortie étudiés précédemment, et à différentes concentrations en sel dans l'eau d'alimentation, sont indiqués sur les figures (Fig. V.17 jusqu'à Fig. V.24) suivantes:

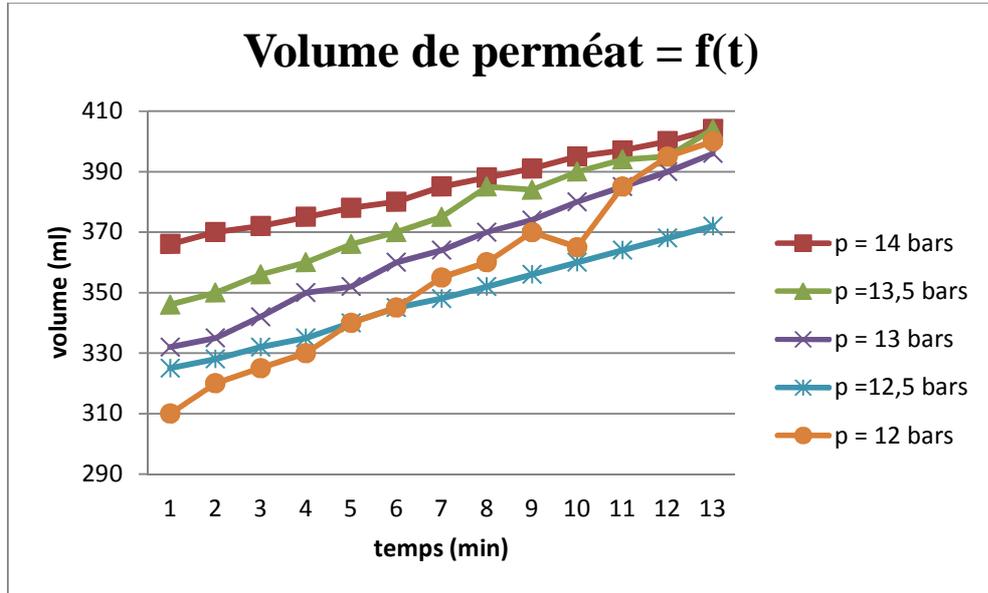


Figure V.17: La variation de volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 5,5 g/l)

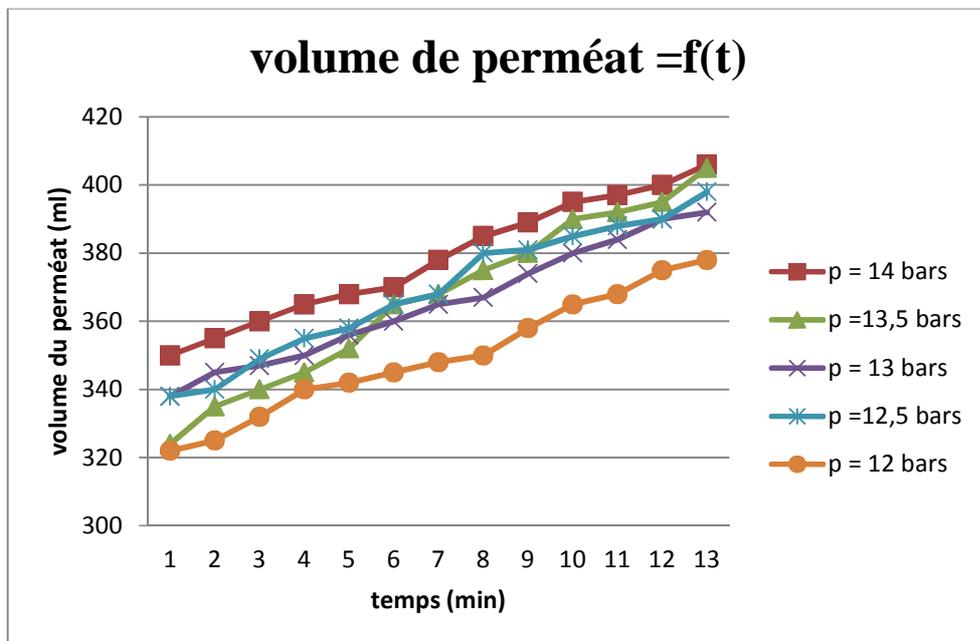


Figure V.18: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6 g/l)

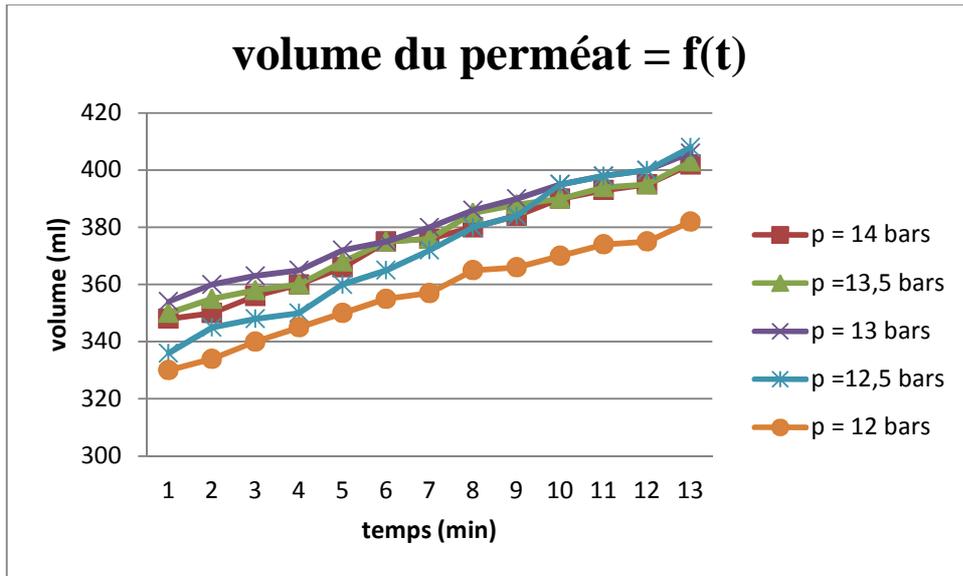


Figure V.19: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6,5 g/l)

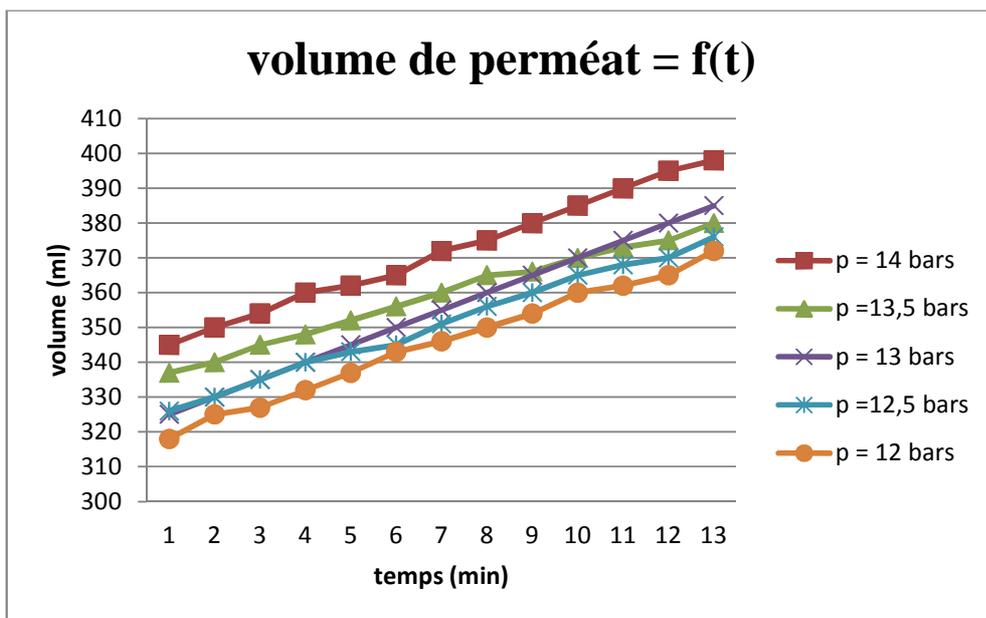


Figure V.20: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 7 g/l)

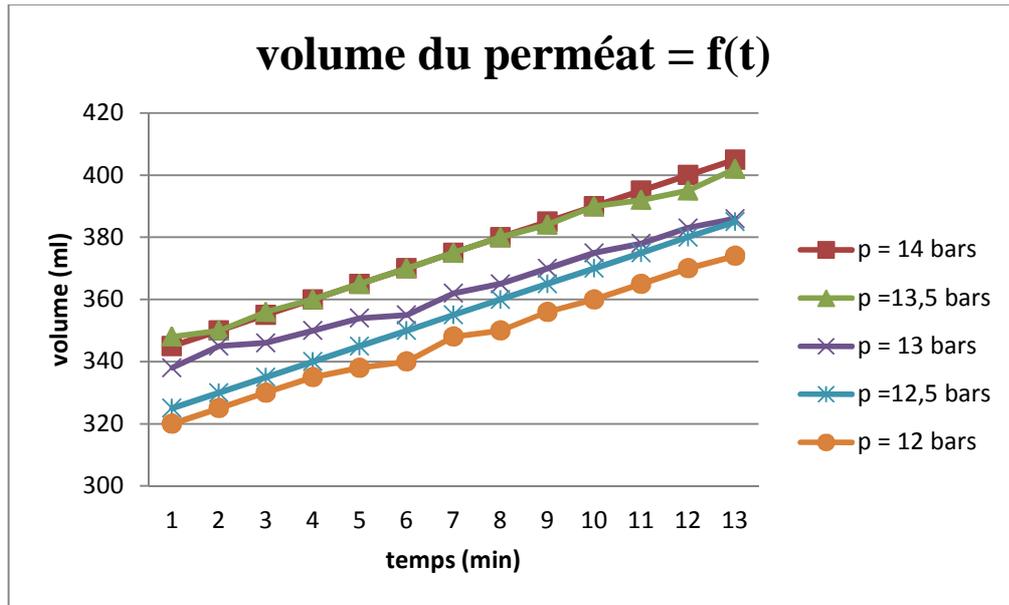


Figure V.21: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 7,5 g/l)

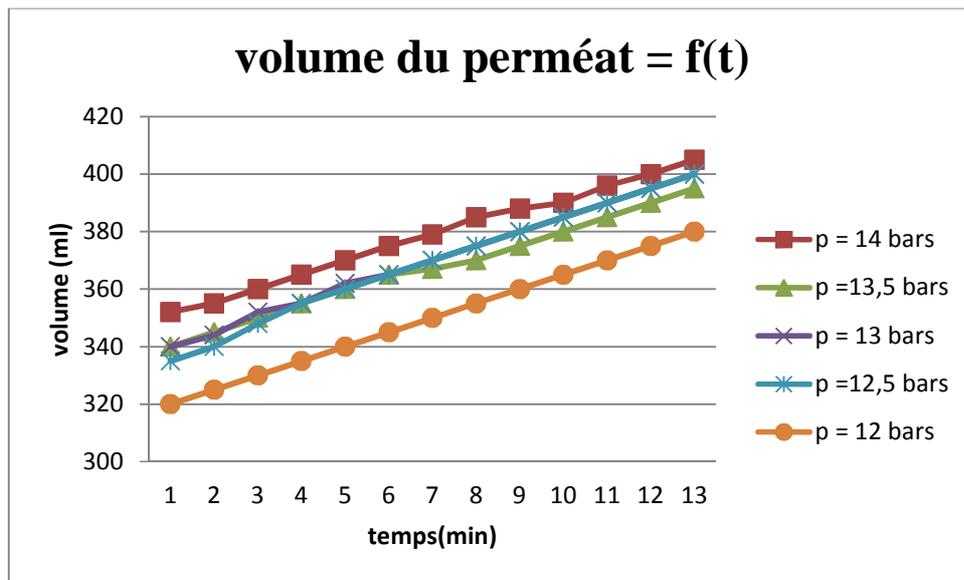


Figure V.22: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 8 g/l)

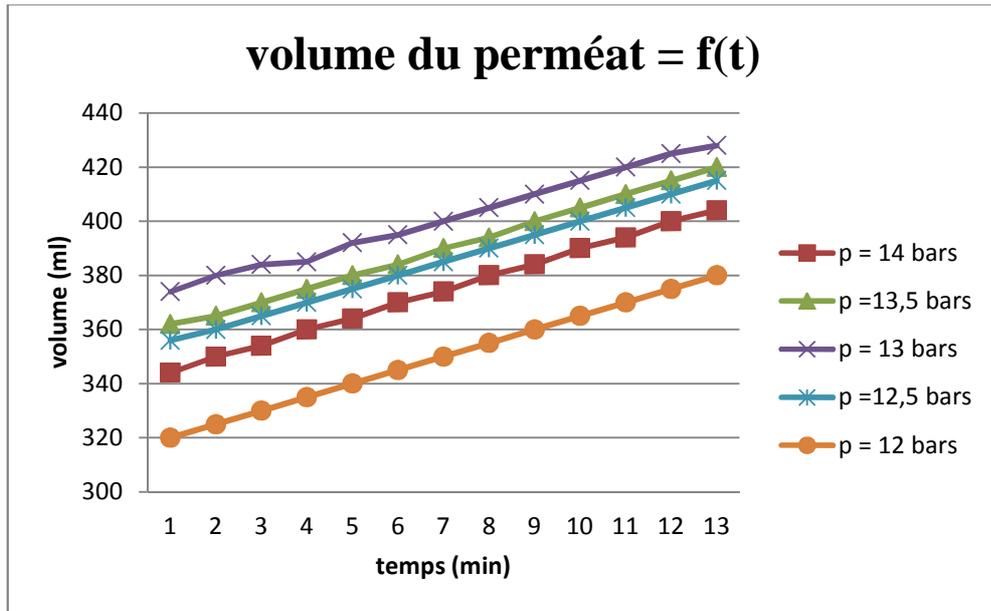


Figure V.23: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 8,5 g/l)

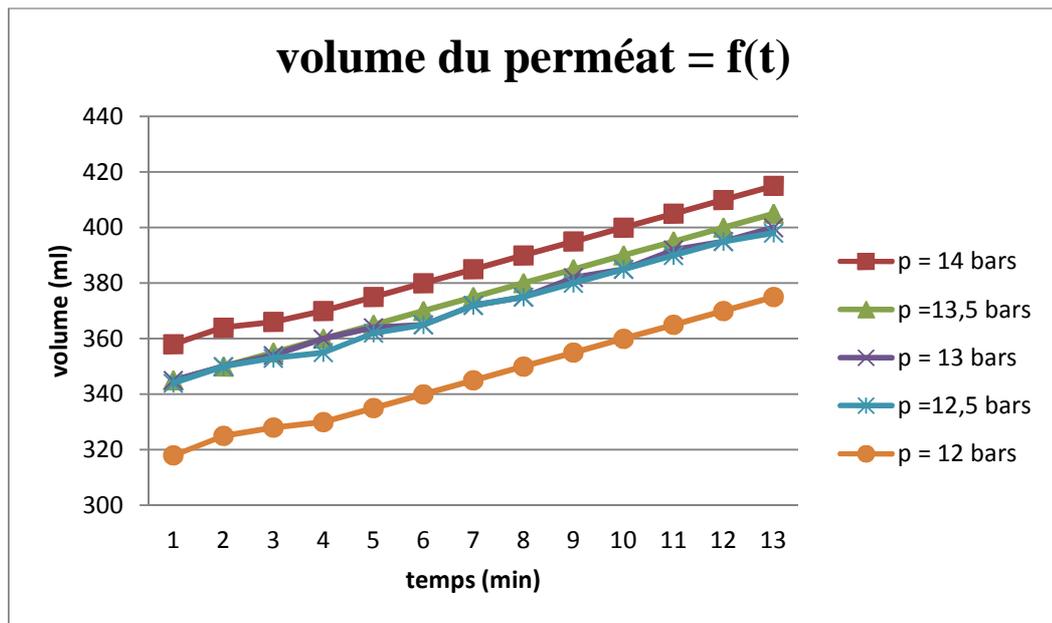


Figure V.24: Variation du volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 9 g/l)

c) Effet de la pression d'entrée sur la membrane sur la variation avec le temps du volume du perméat pour les différentes pressions de sortie :

Afin d'étudier l'effet de pression d'entrée ($P_{entrée}$) sur la variation, avec le temps, du volume du perméat pour les différentes concentrations en sel étudiées (5.5 à 6.5 g/L), on a travaillé cette fois ci avec une pression d'entrée constante sur la membrane ($P_{entrée} = 12$ bars) et on a fait varier la pression à la sortie de la membrane de 12 à 14 bars avec une progression

constante de 0,5 bar. Les résultats obtenus pour ce cas d'expériences sont présentés sur les figures V.25, V.26 et V.27 ci-après:

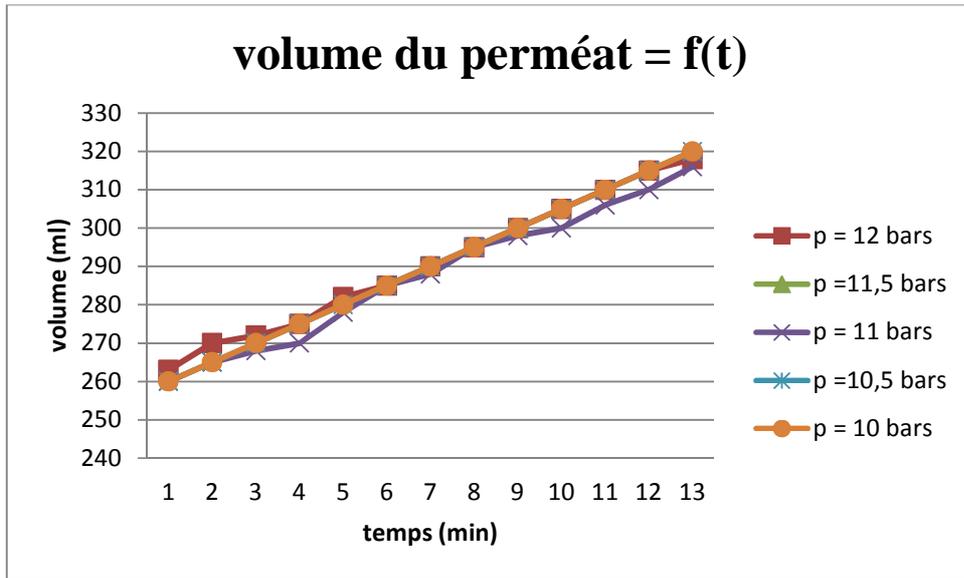


Figure V.25: Variation de volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 5.5 g/l)

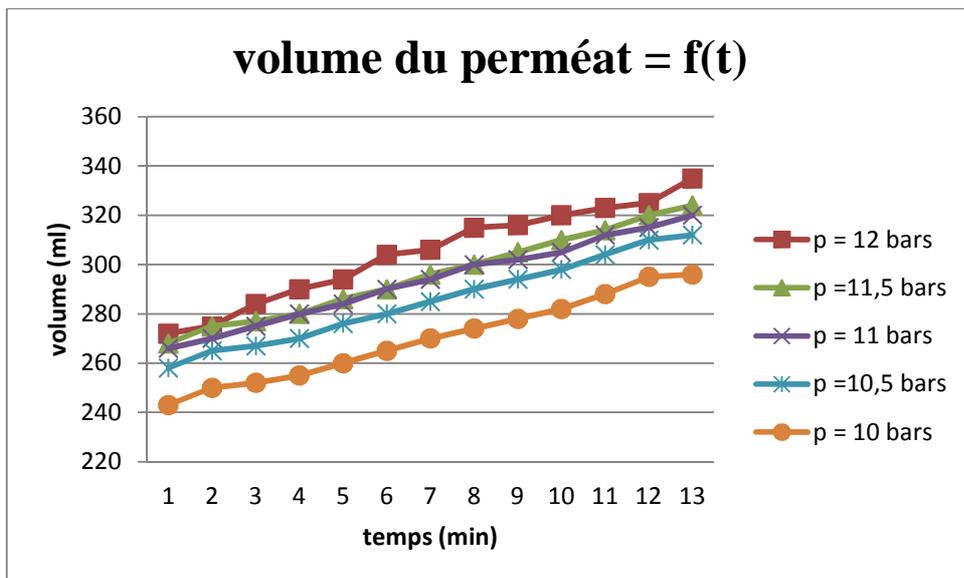


Figure V.26: Variation de volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6 g/l)

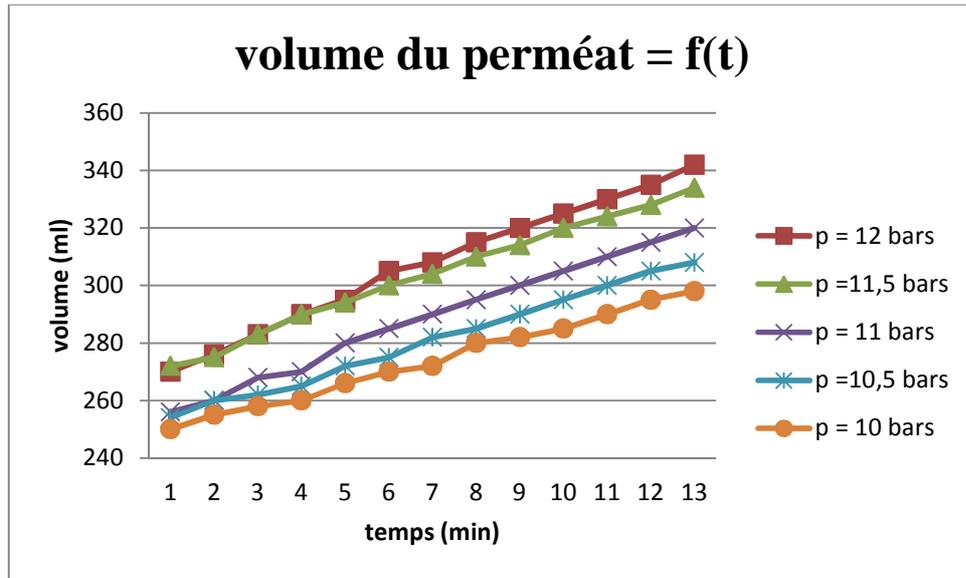


Figure V.27: Variation de volume du perméat en fonction de temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6.5 g/l)

Les courbes des figures (Fig. V.17 jusqu'à V.27) montre bien l'effet de la pression d'entrée ou de sortie de la membrane sur le volume du perméat. Selon les résultats indiqués sur les courbes, on remarque clairement que plus la pression de sortie augmente, plus le volume du perméat augmente et ceci pour les deux cas des pressions d'entrée étudiés ($P_{entré} = 14$ ou $P_{entré} = 12$ bar). En outre, plus le temps de dessalement augmente plus le volume du perméat croît systématiquement.

d) Variation du taux de rejet en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie et à différentes concentrations en sel:

Le taux de rejet (R_m) de la membrane a été calculé en utilisant l'équation suivante :

$$R_m = (C_0 - C_p) / C_0 = 1 - C_p / C_0 \quad \text{Avec}$$

R_m : taux de rétention (%)

C_0 : concentration de l'espèce retenue dans la solution (mg/l).

C_p : concentration de la même espèce dans le perméat (mg/l)

1^{er} cas : Conditions opératoires :

- Pression d'entrée sur la membrane constante $P_{entré} = 14$ bars ;
- Pression de sortie P_{sortie} variable : 12 ; 12.5 ; 13 ; 13.5 ; 14 bars

Les résultats trouvés pour ce cas d'étude sont représentés graphiquement sur les figures suivantes :

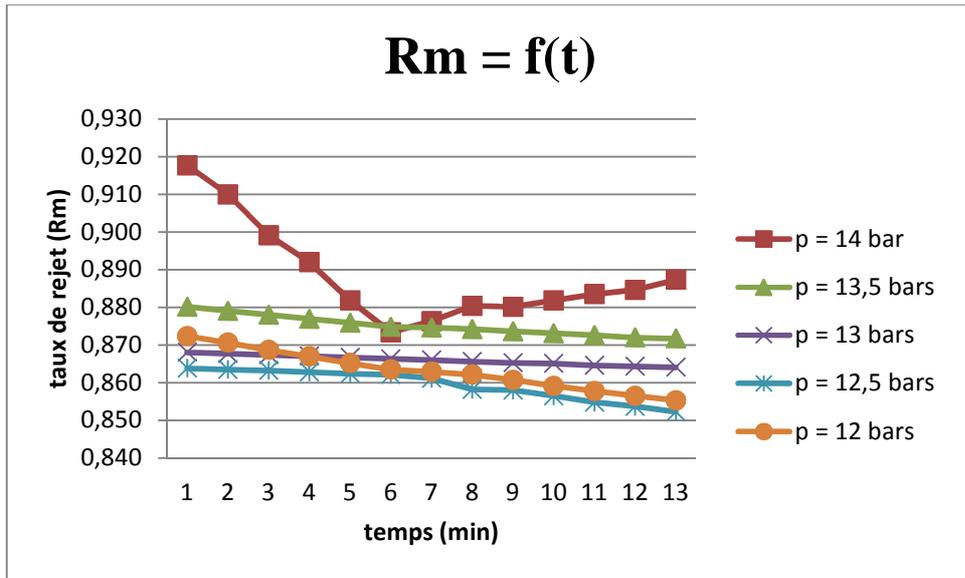


Figure V.28: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour les différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 5.5 g/l)

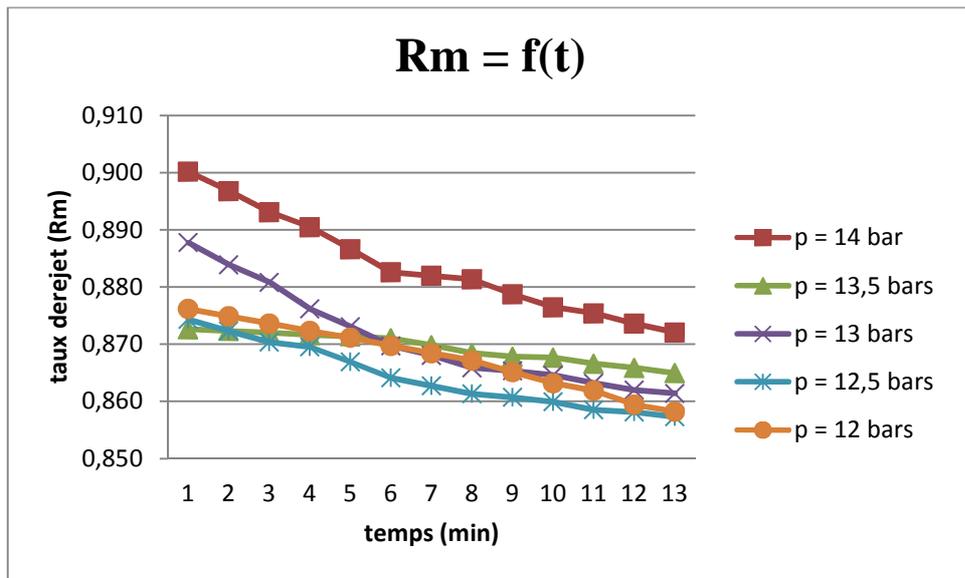


Figure V.29: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour les différentes pressions (Concentration en sel : 6 g/l)

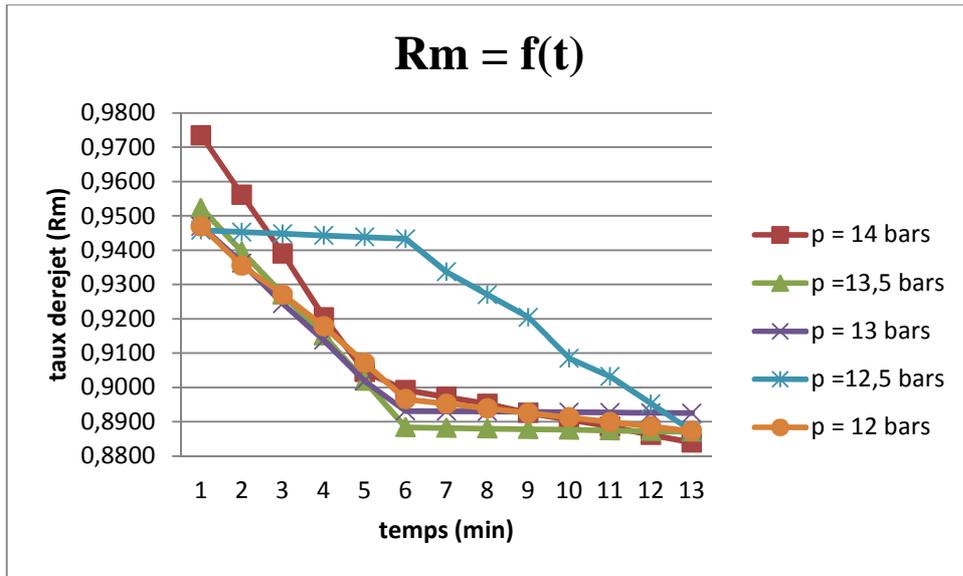


Figure V.30: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7 g/l)

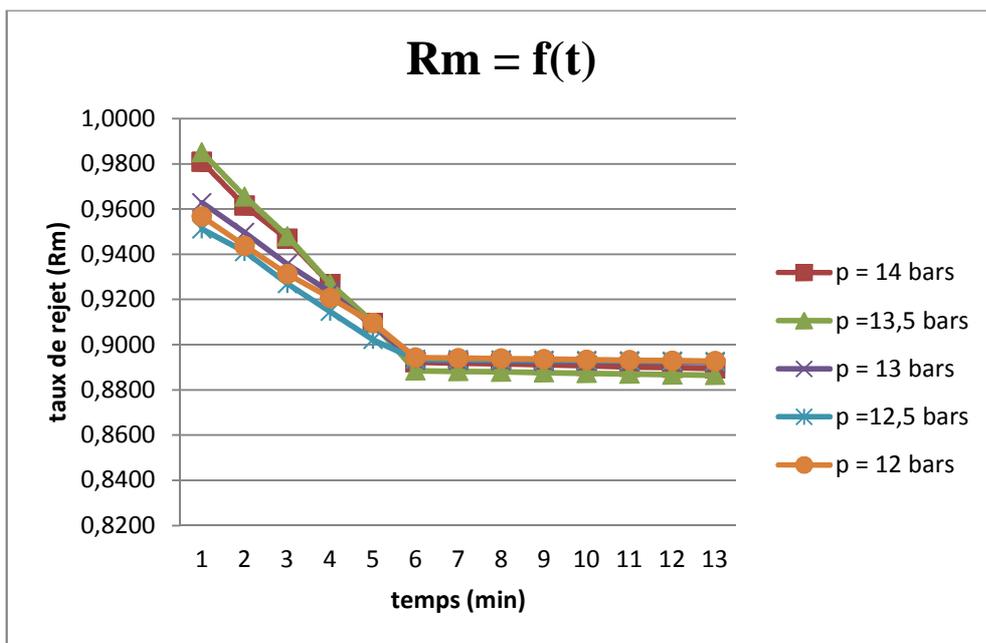


Figure V.31: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 7.5 g/l)

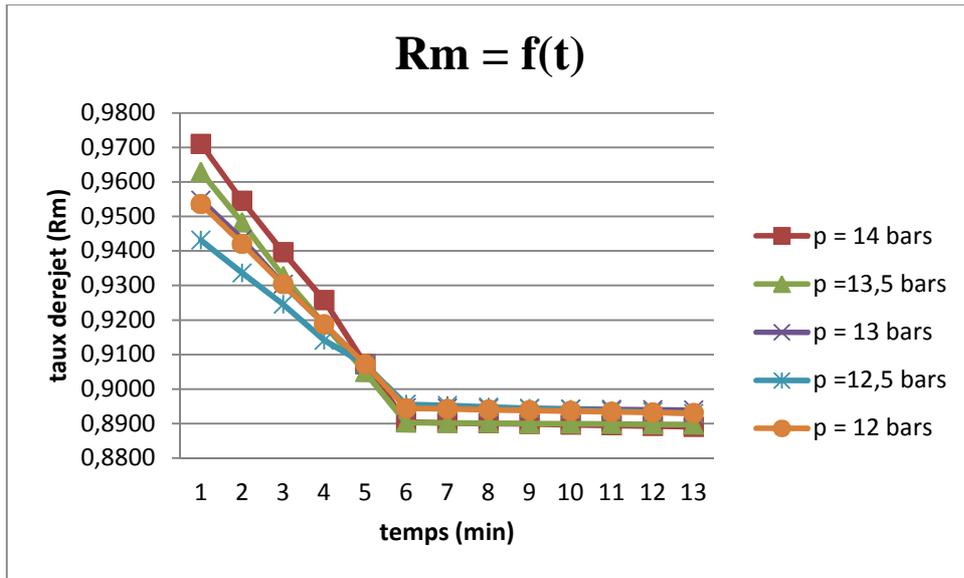


Figure V.32: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8 g/l)

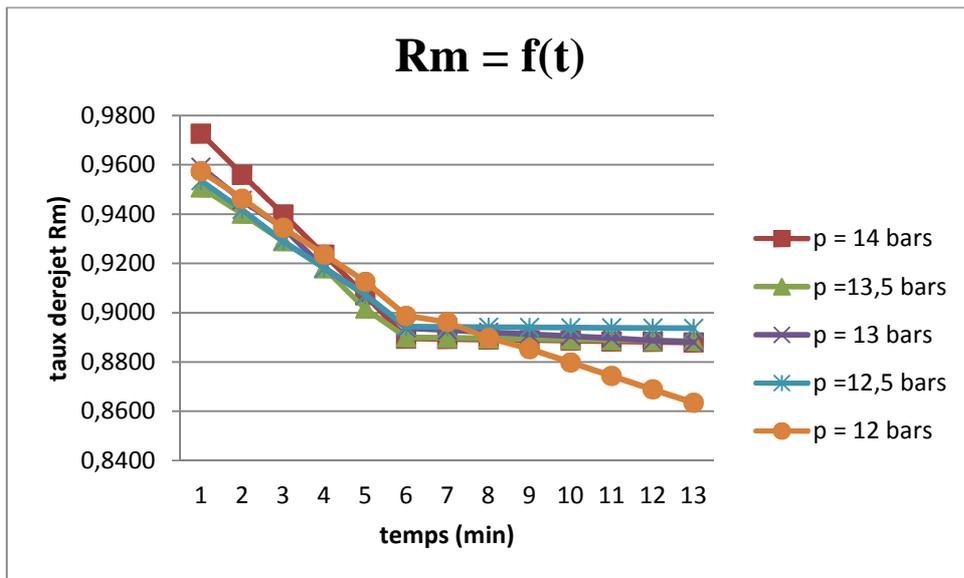


Figure V.33: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 8.5 g/l)

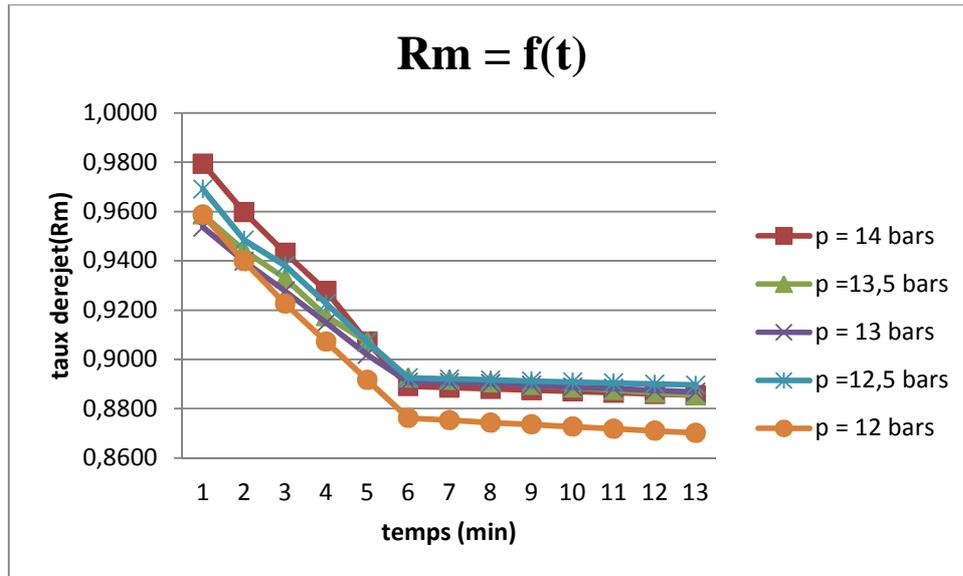


Figure V.34: Variation du taux de rejet en fonction du temps pour différentes pressions de sortie (Concentration en sel : 9 g/l)

Les figures V.28 à V.29 correspondantes aux concentrations 5.5 et 6 montrent que plus le temps de service de la membrane augmente plus le taux de rejet diminue. En revanche, on constate que plus la pression de sortie de la membrane augmente plus le taux de rejet augmente en parallèle.

A partir de la concentration en sel $C_{\text{NaCl}} = 7.5 ; 8 ; 8.5 ; 9 \text{ g/l}$ (figures V.31 jusqu'à V.34) nous constatons que les variations du taux de rejet en fonction du temps et de la pression restent les mêmes seulement il y a une très grande modification dans l'allure des courbes où le taux de rejet descend rapidement jusqu'à la sixième minute puis les courbes se stabilisent avec une faible diminution. Notons aussi que dans ce cas-là, c'est-à-dire à partir de la sixième minute les courbes sont plus entassées et le taux de rejet ne varie pas beaucoup.

V.3. Conclusion

Cette étude nous a permis de comprendre expérimentalement l'influence de la salinité de l'eau, des pressions d'entrée et de sortie de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât ainsi que le volume du perméat produit. Les obtenus ont bien montré que plus la pression de sortie de la membrane augmente, plus le volume du perméat augmente et ceci quel que soit les pressions d'entrée étudiées ($P_{\text{entrée}} = 14$ ou $P_{\text{entrée}} = 12$ bar). Par ailleurs, le volume du perméat croît systématiquement avec l'augmentation du temps de service de la membrane.

Le taux de rejet de la membrane diminue avec l'augmentation du temps et de la pression de sortie de la membrane (P_{sortie}).

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse est une solution qui a prouvé son intérêt pour subvenir au besoin en eau potable dans certaines régions. Ses performances et son coût énergétique la rendent aujourd'hui compétitive face aux procédés thermiques de dessalement. Cependant, ce procédé possède encore des limites.

La principale limitation est due à la pression qui doit être appliquée pour dépasser la pression osmotique. Cette pression osmotique est d'autant plus importante que la concentration en sels augmente. Parmi les autres limitations de l'osmose inverse, il faut noter le phénomène de colmatage qui rend le procédé très sensible à la qualité des prétraitements.

A partir de cette étude expérimentale sur l'efficacité d'une membrane mince (type spiralé) pour le dessalement des eaux fortement saumâtres (salinité de: 5,5 à 9 g/L), Les conclusions suivantes ont été tirées :

- Pour une concentration en sel donnée, la conductivité du perméat et du concentrât varie avec la variation de la pression de sortie de la membrane;
- La conductivité dans le perméat augmente avec le temps quelque soit la pression d'entrée, de sortie ou la concentration en sel dans l'eau d'alimentation ;
- Le taux de rejet diminue au cours du temps ;
- Le taux de rejet de la membrane diminue avec l'augmentation du temps de service de la membrane et de la pression de sortie.

ANNEXES

Annexes 1 : Résultats expérimentaux trouvés

a) Effet de la pression de sortie sur la variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps pour les différentes concentrations en sel étudiées

Tableau 1 : influence de différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14$ bars ; $P_{\text{sortie}} = 14$ bars ; Concentration en sel : 5.5 g/l)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	14	560	20,76	3960	975	346
1	14	14	550	21	3913	1067	350
2	14	14	550	21,36	3930	1195	356
3	14	14	550	21,6	3953	1280	360
4	14	14	550	21,96	3973	1400	366
5	14	14	550	22,2	3993	1500	370
6	14	14	550	22,5	4013	1465	375
7	14	14	550	23,1	4037	1417	385
8	14	14	550	23,04	4040	1420	384
9	14	14	550	23,4	4077	1400	390
10	14	14	550	23,64	4100	1380	394
11	14	14	550	23,7	4120	1367	395
12	14	14	550	24,24	4140	1335	404

Tableau 2 : influence de différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14$ bars ; $P_{\text{sortie}} = 13.5$ bars ; Concentration en sel : 5.5 g/l)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	Conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13,5	940	21,96	4050	1420	366
1	14	13,5	940	22,2	4073	1433	370
2	14	13,5	940	22,32	4110	1445	372
3	14	13,5	940	22,5	4147	1458	375
4	14	13,5	940	22,68	4183	1470	378
5	14	13,5	940	22,8	4183	1483	380
6	14	13,5	940	23,1	4250	1485	385
7	14	13,5	940	23,28	4283	1490	388
8	14	13,5	940	23,46	4317	1497	391
9	14	13,5	940	23,7	4333	1503	395
10	14	13,5	940	23,82	4370	1509	397
11	14	13,5	940	24	4393	1517	400
12	14	13,5	940	24,24	4417	1520	404

Tableau 3 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 5.5\text{g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	Conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13	940	19,92	4257	1563	332
1	14	13	940	20,1	4277	1567	335
2	14	13	940	20,52	4293	1571	342
3	14	13	940	21	4323	1575	350
4	14	13	940	21,12	4350	1579	352
5	14	13	940	21,6	4380	1583	360
6	14	13	940	21,84	4410	1587	364
7	14	13	940	22,2	4437	1592	370
8	14	13	940	22,44	4460	1596	374
9	14	13	940	22,8	4490	1598	380
10	14	13	940	23,1	4513	1604	385
11	14	13	940	23,4	4533	1607	390
12	14	13	940	23,76	4560	1610	396

Tableau 4 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12.5\text{bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 5.5\text{g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	Conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12,5	940	19,5	4340	1613	325
1	14	12,5	940	19,68	4333	1617	328
2	14	12,5	940	19,92	4373	1620	332
3	14	12,5	940	20,1	4420	1625	335
4	14	12,5	940	20,4	4453	1630	340
5	14	12,5	940	20,7	4487	1633	345
6	14	12,5	940	20,88	4527	1645	348
7	14	12,5	940	21,12	4557	1680	352
8	14	12,5	940	21,36	4583	1682	356
9	14	12,5	940	21,6	4613	1700	360
10	14	12,5	940	21,84	4640	1720	364
11	14	12,5	940	22,08	4667	1733	368
12	14	12,5	940	22,32	4693	1750	372

Tableau 5: L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 5.5\text{g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	Conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12	940	18,6	4443	1512	310
1	14	12	940	19,2	4610	1533	320
2	14	12	940	19,5	4513	1556	325
3	14	12	940	19,8	4653	1576	330
4	14	12	940	20,4	4600	1597	340
5	14	12	940	20,7	4640	1617	345
6	14	12	940	21,3	4683	1624	355
7	14	12	940	21,6	4717	1633	360
8	14	12	940	22,2	4753	1650	370
9	14	12	940	21,9	4787	1669	365
10	14	12	940	23,1	4817	1685	385
11	14	12	940	23,7	4850	1700	395
12	14	12	940	24	4880	1714	400

Tableau 6 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 14\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité deconcentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	14	480	21	4377	1290	350
1	14	14	480	21,3	4370	1333	355
2	14	14	480	21,6	4390	1381	360
3	14	14	480	21,9	4400	1415	365
4	14	14	480	22,08	4420	1465	368
5	14	14	480	22,2	4433	1517	370
6	14	14	480	22,68	4457	1525	378
7	14	14	480	23,1	4470	1533	385
8	14	14	480	23,34	4490	1567	389
9	14	14	480	23,7	4513	1596	395
10	14	14	480	23,82	4540	1610	397
11	14	14	480	24	4563	1633	400
12	14	14	480	24,36	4683	1653	406

Tableau7: L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13,5	940	19,44	4690	1646	324
1	14	13,5	940	20,1	4637	1650	335
2	14	13,5	940	20,4	4663	1654	340
3	14	13,5	940	20,7	4680	1659	345
4	14	13,5	940	21,12	4697	1662	352
5	14	13,5	940	21,9	4717	1667	365
6	14	13,5	940	22,08	4740	1682	368
7	14	13,5	940	22,5	4767	1700	375
8	14	13,5	940	22,8	4790	1708	380
9	14	13,5	940	23,4	4823	1710	390
10	14	13,5	940	23,52	4843	1724	392
11	14	13,5	940	23,7	4880	1733	395
12	14	13,5	940	24,3	4900	1745	405

Tableau 8: L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13	940	20,28	4713	1450	338
1	14	13	940	20,7	4707	1500	345
2	14	13	940	20,82	4743	1540	347
3	14	13	940	21	4770	1600	350
4	14	13	940	21,36	4800	1640	356
5	14	13	940	21,6	4827	1683	360
6	14	13	940	21,9	4857	1705	365
7	14	13	940	22,02	4883	1733	367
8	14	13	940	22,44	4913	1740	374
9	14	13	940	22,8	4940	1750	380
10	14	13	940	23,04	4963	1768	384
11	14	13	940	23,4	4983	1783	390
12	14	13	940	23,52	5007	1791	392

Tableau 9 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12,5	940	20,28	4730	1624	338
1	14	12,5	940	20,4	4747	1650	340
2	14	12,5	940	20,94	4787	1675	349
3	14	12,5	940	21,3	4827	1686	355
4	14	12,5	940	21,48	4857	1720	358
5	14	12,5	940	21,9	4890	1756	365
6	14	12,5	940	22,08	4927	1774	368
7	14	12,5	940	22,8	4957	1792	380
8	14	12,5	940	22,86	4993	1800	381
9	14	12,5	940	23,1	5030	1810	385
10	14	12,5	940	23,28	5067	1828	388
11	14	12,5	940	23,4	5090	1833	390
12	14	12,5	940	23,88	5117	1844	398

Tableau 10 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12	940	19,32	4690	1600	322
1	14	12	940	19,5	4720	1617	325
2	14	12	940	19,92	4800	1633	332
3	14	12	940	20,4	4847	1650	340
4	14	12	940	20,52	4883	1665	342
5	14	12	940	20,7	4920	1683	345
6	14	12	940	20,88	4963	1700	348
7	14	12	940	21	5000	1717	350
8	14	12	940	21,48	5037	1743	358
9	14	12	940	21,9	5070	1768	365
10	14	12	940	22,08	5107	1785	368
11	14	12	940	22,5	5137	1817	375
12	14	12	940	22,68	5163	1832	378

Tableau 11 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 14\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	14	740	20,88	4587	1646	348
1	14	14	740	21	4573	1650	350
2	14	14	740	21,36	4593	1654	356
3	14	14	740	21,6	4577	1658	360
4	14	14	740	21,96	4603	1660	366
5	14	14	740	22,5	4610	1667	375
6	14	14	740	22,56	4617	1700	376
7	14	14	740	22,8	4630	1733	380
8	14	14	740	23,04	4643	1750	384
9	14	14	740	23,4	4653	1780	390
10	14	14	740	23,58	4673	1810	393
11	14	14	740	23,7	4675	1833	395
12	14	14	740	24,12	501	1860	402

Tableau 12 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13.5\text{ ; bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13,5	940	21	4907	1560	350
1	14	13,5	940	21,3	4867	1600	355
2	14	13,5	940	21,48	4903	1640	358
3	14	13,5	940	21,6	4930	1680	360
4	14	13,5	940	22,08	4957	1720	368
5	14	13,5	940	22,5	4983	1767	375
6	14	13,5	940	22,56	5010	1780	376
7	14	13,5	940	23,1	5037	1800	385
8	14	13,5	940	23,28	5070	1804	388
9	14	13,5	940	23,4	5093	1810	390
10	14	13,5	940	23,64	5127	1830	394
11	14	13,5	940	23,7	5150	1833	395
12	14	13,5	940	24,18	5170	1846	403

Tableau 13 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13	940	21,24	4937	1704	354
1	14	13	940	21,6	4963	1717	360
2	14	13	940	21,78	4997	1728	363
3	14	13	940	21,9	5033	1740	365
4	14	13	940	22,32	5067	1754	372
5	14	13	940	22,5	5090	1767	375
6	14	13	940	22,8	5123	1775	380
7	14	13	940	23,16	5153	1783	386
8	14	13	940	23,4	5187	1785	390
9	14	13	940	23,7	5213	1790	395
10	14	13	940	23,88	5247	1796	398
11	14	13	940	24	5280	1800	400
12	14	13	940	24,36	5307	1805	406

Tableau 14 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12,5	940	20,16	4863	1792	336
1	14	12,5	940	20,7	4910	1800	345
2	14	12,5	940	20,88	4953	1808	348
3	14	12,5	940	21	4997	1816	350
4	14	12,5	940	21,6	5033	1825	360
5	14	12,5	940	21,9	5070	1833	365
6	14	12,5	940	22,32	5110	1845	372
7	14	12,5	940	22,8	5147	1867	380
8	14	12,5	940	23,04	5187	1882	384
9	14	12,5	940	23,7	5220	1900	395
10	14	12,5	940	23,88	5257	1916	398
11	14	12,5	940	24	5287	1933	400
12	14	12,5	940	24,48	5313	1948	408

Tableau 15 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 6.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12	940	19,8	4690	1808	330
1	14	12	940	20,04	5420	1817	334
2	14	12	940	20,4	4800	1825	340
3	14	12	940	20,7	4847	1833	345
4	14	12	940	21	4883	1842	350
5	14	12	940	21,3	4920	1850	355
6	14	12	940	21,42	4963	1872	357
7	14	12	940	21,9	5000	1900	365
8	14	12	940	21,96	5037	1904	366
9	14	12	940	22,2	5070	1920	370
10	14	12	940	22,44	5107	1938	374
11	14	12	940	22,5	5137	1950	375
12	14	12	940	22,92	5163	1968	382

Tableau 16 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 14\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	14	460	20,7	3827	400	345
1	14	14	460	21	3600	662	350
2	14	14	460	21,24	3620	920	354
3	14	14	460	21,6	3637	1200	360
4	14	14	460	21,72	3657	1440	362
5	14	14	460	21,9	3673	1520	365
6	14	14	460	22,32	3693	1550	372
7	14	14	460	22,5	3710	1580	375
8	14	14	460	22,8	3733	1620	380
9	14	14	460	23,1	3757	1650	385
10	14	14	460	23,4	3780	1680	390
11	14	14	460	23,7	3797	1717	395
12	14	14	460	23,88	3823	1750	398

Tableau 17 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entré (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13,5	900	20,22	3570	720	337
1	14	13,5	900	20,4	3637	912	340
2	14	13,5	900	20,7	3663	1100	345
3	14	13,5	900	20,88	3680	1280	348
4	14	13,5	900	21,12	3697	1480	352
5	14	13,5	900	21,36	3713	1683	356
6	14	13,5	900	21,6	3740	1686	360
7	14	13,5	860	21,9	3760	1689	365
8	14	13,5	860	21,96	3790	1692	366
9	14	13,5	860	22,2	3810	1694	370
10	14	13,5	860	22,38	3833	1697	373
11	14	13,5	860	22,5	3853	1700	375
12	14	13,5	860	22,8	3880	1703	380

Tableau 18: L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entré (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13	940	19,5	3787	800	325
1	14	13	940	19,8	3637	962	330
2	14	13	940	20,1	3653	1140	335
3	14	13	940	20,4	3673	1300	340
4	14	13	940	20,7	3693	1480	345
5	14	13	940	21	3720	1612	350
6	14	13	940	21,3	3747	1613	355
7	14	13	940	21,6	3767	1614	360
8	14	13	940	21,9	3793	1615	365
9	14	13	940	22,2	3820	1617	370
10	14	13	940	22,5	3843	1618	375
11	14	13	940	22,8	3867	1620	380
12	14	13	940	23,1	3893	1621	385

Tableau 19 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12,5	940	19,56	3633	817	326
1	14	12,5	940	19,8	3350	825	330
2	14	12,5	940	20,1	3723	832	335
3	14	12,5	940	20,4	3757	840	340
4	14	12,5	940	20,58	3790	847	343
5	14	12,5	940	20,7	3817	855	345
6	14	12,5	940	21,06	3847	1000	351
7	14	12,5	940	21,36	3873	1100	356
8	14	12,5	940	21,6	3900	1200	360
9	14	12,5	940	21,9	3927	1380	365
10	14	12,5	940	22,08	3950	1460	368
11	14	12,5	940	22,2	3973	1580	370
12	14	12,5	940	22,56	3997	1700	376

Tableau 20 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12	940	19,08	3747	800	318
1	14	12	940	19,5	3757	973	325
2	14	12	940	19,62	3800	1100	327
3	14	12	940	19,92	3847	1240	332
4	14	12	940	20,22	3883	1400	337
5	14	12	940	20,58	3917	1560	343
6	14	12	940	20,76	3953	1580	346
7	14	12	940	21	3987	1600	350
8	14	12	940	21,24	4017	1620	354
9	14	12	940	21,6	4050	1640	360
10	14	12	940	21,72	4077	1660	362
11	14	12	940	21,9	4103	1680	365
12	14	12	940	22,32	4133	1700	372

Tableau 21 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 14\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	14	450	20,7	4380	310	345
1	14	14	450	21	3867	622	350
2	14	14	450	21,3	3867	860	355
3	14	14	450	21,6	3877	1180	360
4	14	14	450	21,9	3900	1460	365
5	14	14	450	22,2	3913	1742	370
6	14	14	450	22,5	3933	1747	375
7	14	14	450	22,8	3953	1753	380
8	14	14	450	23,1	3977	1760	385
9	14	14	450	23,4	4000	1766	390
10	14	14	450	23,7	4023	1774	395
11	14	14	450	24	4043	1780	400
12	14	14	450	24,3	4067	1786	405

Tableau 22 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13,5	940	20,88	3910	240	348
1	14	13,5	940	21	3910	557	350
2	14	13,5	940	21,36	3933	840	356
3	14	13,5	940	21,6	3960	1180	360
4	14	13,5	940	21,9	3990	1460	365
5	14	13,5	940	22,2	4017	1802	370
6	14	13,5	940	22,5	4043	1806	375
7	14	13,5	940	22,8	4073	1810	380
8	14	13,5	940	23,04	4100	1815	384
9	14	13,5	940	23,4	4130	1820	390
10	14	13,5	940	23,52	4160	1825	392
11	14	13,5	940	23,7	4190	1830	395
12	14	13,5	940	24,12	4220	1834	402

Tableau 23 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13	940	20,28	3847	600	338
1	14	13	940	20,7	3840	813	345
2	14	13	940	20,76	3873	1040	346
3	14	13	940	21	3907	1240	350
4	14	13	940	21,24	3937	1480	354
5	14	13	940	21,3	3960	1728	355
6	14	13	940	21,72	3990	1730	362
7	14	13	940	21,9	4017	1732	365
8	14	13	940	22,2	4047	1734	370
9	14	13	940	22,5	4073	1736	375
10	14	13	940	22,68	4100	1738	378
11	14	13	940	22,98	4123	1740	383
12	14	13	940	23,16	4153	1742	386

Tableau 24 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12,5	940	19,5	3873	790	325
1	14	12,5	940	19,8	3883	952	330
2	14	12,5	940	20,1	3927	1180	335
3	14	12,5	940	20,4	3963	1380	340
4	14	12,5	940	20,7	4000	1580	345
5	14	12,5	940	21	4033	1720	350
6	14	12,5	940	21,3	4067	1722	355
7	14	12,5	940	21,6	4100	1724	360
8	14	12,5	940	21,9	4130	1726	365
9	14	12,5	940	22,2	4160	1728	370
10	14	12,5	940	22,5	4190	1731	375
11	14	12,5	940	22,8	4217	1733	380
12	14	12,5	940	23,1	4247	1735	385

Tableau 25 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 7.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12	940	19,2	1928	700	320
1	14	12	940	19,5	1942	908	325
2	14	12	940	19,8	1963	1110	330
3	14	12	940	20,1	1983	1280	335
4	14	12	940	20,28	2000	1460	338
5	14	12	940	20,4	2018	1708	340
6	14	12	940	20,88	2035	1712	348
7	14	12	940	21	2052	1715	350
8	14	12	940	21,36	2068	1719	356
9	14	12	940	21,6	20585	1723	360
10	14	12	940	21,9	2100	1726	365
11	14	12	940	22,2	2115	1730	370
12	14	12	940	22,44	2132	1733	374

Tableau 26: L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 14\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité deconcentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	14	460	21,12	4380	500	352
1	14	14	460	21,3	4097	783	355
2	14	14	460	21,6	4157	1040	360
3	14	14	460	21,9	4180	1280	365
4	14	14	460	22,2	4217	1600	370
5	14	14	460	22,5	4233	1888	375
6	14	14	460	22,74	4263	1892	379
7	14	14	460	23,1	4290	1895	385
8	14	14	460	23,28	4320	1898	388
9	14	14	460	23,4	4347	1902	390
10	14	14	460	23,76	4377	1905	396
11	14	14	460	24	4400	1908	400
12	14	14	460	24,3	4427	1912	405

Tableau 27 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13.5 \text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8 \text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13,5	940	20,4	4253	640	340
1	14	13,5	940	20,7	4137	892	345
2	14	13,5	940	21	4177	1160	350
3	14	13,5	940	21,3	4200	1400	355
4	14	13,5	940	21,6	4230	1640	360
5	14	13,5	940	21,9	4260	1892	365
6	14	13,5	940	22,02	4290	1893	367
7	14	13,5	940	22,2	4313	1894	370
8	14	13,5	940	22,5	4347	1896	375
9	14	13,5	940	22,8	4370	1897	380
10	14	13,5	940	23,1	4400	1898	385
11	14	13,5	940	23,4	4423	1900	390
12	14	13,5	940	23,7	445	1901	395

Tableau 28: l'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13 \text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8 \text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13	940	20,64	4120	780	344
1	14	13	940	21	4157	977	350
2	14	13	940	21,12	4197	1200	352
3	14	13	940	21,3	4227	1400	355
4	14	13	940	21,72	4263	1600	362
5	14	13	940	21,9	4290	1817	365
6	14	13	940	22,2	4323	1818	370
7	14	13	940	22,5	4353	1820	375
8	14	13	940	22,8	4383	1821	380
9	14	13	940	23,1	4417	1823	385
10	14	13	940	23,4	4440	1825	390
11	14	13	940	23,7	4467	1827	395
12	14	13	940	24	4497	1828	400

Tableau 29 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12,5	940	20,1	4167	980	335
1	14	12,5	940	20,4	4200	1143	340
2	14	12,5	940	20,88	4243	1300	348
3	14	12,5	940	21,3	4277	1480	355
4	14	12,5	940	21,6	4310	1600	360
5	14	12,5	940	21,9	4343	1800	365
6	14	12,5	940	22,2	4370	1805	370
7	14	12,5	940	22,5	4400	1813	375
8	14	12,5	940	22,8	4433	1820	380
9	14	12,5	940	23,1	4463	1825	385
10	14	12,5	940	23,4	4487	1832	390
11	14	12,5	940	23,7	4517	1838	395
12	14	12,5	940	24	4547	1845	400

Tableau 30: L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12	940	19,2	4000	800	320
1	14	12	940	19,5	4067	998	325
2	14	12	940	19,8	4100	1200	330
3	14	12	940	20,1	4133	1400	335
4	14	12	940	20,4	4173	1600	340
5	14	12	940	20,7	4210	1820	345
6	14	12	940	21	4247	1823	350
7	14	12	940	21,3	4277	1827	355
8	14	12	940	21,6	4313	1830	360
9	14	12	940	21,9	4343	1833	365
10	14	12	940	22,2	4377	1837	370
11	14	12	940	22,5	4407	1840	375
12	14	12	940	22,8	4440	1844	380

Tableau 31 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 14\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	14	440	20,64	4673	500	344
1	14	14	440	21	4233	805	350
2	14	14	440	21,24	4253	1100	354
3	14	14	440	21,6	4267	1400	360
4	14	14	440	21,84	4297	1700	364
5	14	14	440	22,2	4310	2022	370
6	14	14	440	22,44	4340	2025	374
7	14	14	440	22,8	4360	2030	380
8	14	14	440	23,04	4387	2034	384
9	14	14	440	23,4	4403	2037	390
10	14	14	440	23,64	4433	2043	394
11	14	14	440	24	4457	2047	400
12	14	14	440	24,24	4483	2051	404

Tableau 32 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13,5	850	21,72	4410	900	362
1	14	13,5	850	21,9	4400	1095	365
2	14	13,5	850	22,2	4453	1300	370
3	14	13,5	850	22,5	4477	1500	375
4	14	13,5	850	22,8	4500	1800	380
5	14	13,5	850	23,04	4530	2013	384
6	14	13,5	850	23,4	4553	2017	390
7	14	13,5	850	23,64	4583	2022	394
8	14	13,5	850	24	4610	2025	400
9	14	13,5	850	24,3	4633	2030	405
10	14	13,5	850	24,6	4660	2034	410
11	14	13,5	850	24,9	4693	2038	415
12	14	13,5	850	25,2	4720	2042	420

Tableau 33 : l'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13	940	22,44	4690	750	374
1	14	13	940	22,8	4453	997	380
2	14	13	940	23,04	4493	1200	384
3	14	13	940	23,1	4527	1500	385
4	14	13	940	23,52	4557	1700	392
5	14	13	940	23,7	4587	1945	395
6	14	13	940	24	4620	1960	400
7	14	13	940	24,3	4647	1976	405
8	14	13	940	24,6	4677	1990	410
9	14	13	940	24,9	4707	2004	415
10	14	13	940	25,2	4740	2020	420
11	14	13	940	25,5	4767	2037	425
12	14	13	940	25,68	4793	2050	428

Tableau 34 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12,5	940	21,36	4470	850	356
1	14	12,5	940	21,6	4460	1065	360
2	14	12,5	940	21,9	4500	1300	365
3	14	12,5	940	22,2	4540	1500	370
4	14	12,5	940	22,5	4573	1700	375
5	14	12,5	940	22,8	4607	1935	380
6	14	12,5	940	23,1	4643	1936	385
7	14	12,5	940	23,4	4680	1938	390
8	14	12,5	940	23,7	4713	1940	395
9	14	12,5	940	24	4747	1941	400
10	14	12,5	940	24,3	4773	1943	405
11	14	12,5	940	24,6	4803	1945	410
12	14	12,5	940	24,9	4837	1946	415

Tableau 35 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 8.5\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12	940	19,2	4450	780	320
1	14	12	940	19,5	4497	983	325
2	14	12	940	19,8	4557	1200	330
3	14	12	940	20,1	4610	1400	335
4	14	12	940	20,4	4530	1600	340
5	14	12	940	20,7	4697	1853	345
6	14	12	940	21	4743	1900	350
7	14	12	940	21,3	4787	2018	355
8	14	12	940	21,6	4830	2100	360
9	14	12	940	21,9	4867	2200	365
10	14	12	940	22,2	4900	2300	370
11	14	12	940	22,5	4940	2400	375
12	14	12	940	22,8	4973	2500	380

Tableau 36 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entrée}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 14\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 9\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	14	475	21,48	4600	400	358
1	14	14	475	21,84	4440	780	364
2	14	14	470	21,96	4473	1100	366
3	14	14	470	22,2	4490	1400	370
4	14	14	470	22,5	4520	1800	375
5	14	14	470	22,8	4537	2148	380
6	14	14	470	23,1	4570	2160	385
7	14	14	470	23,4	4590	2170	390
8	14	14	470	23,7	4623	2180	395
9	14	14	470	24	4650	2190	400
10	14	14	470	24,3	4683	2200	405
11	14	14	470	24,6	4707	2210	410
12	14	14	470	24,9	4733	2220	415

Tableau 37 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13.5\text{bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 9 \text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13,5	800	20,7	4767	800	345
1	14	13,5	800	21	4480	1083	350
2	14	13,5	800	21,3	4517	1300	355
3	14	13,5	800	21,6	4547	1600	360
4	14	13,5	800	21,9	4577	1800	365
5	14	13,5	800	22,2	4603	2083	370
6	14	13,5	800	22,5	4637	2100	375
7	14	13,5	800	22,8	4667	2120	380
8	14	13,5	800	23,1	4700	2140	385
9	14	13,5	800	23,4	4727	2160	390
10	14	13,5	800	23,7	4760	2180	395
11	14	13,5	800	24	4787	2200	400
12	14	13,5	800	24,3	4820	2220	405

Tableau 38: L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 13 \text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 9 \text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	13	940	20,7	4577	900	345
1	14	13	940	21	4473	1167	350
2	14	13	940	21,24	4510	1400	354
3	14	13	940	21,6	4543	1650	360
4	14	13	940	21,84	4580	1900	364
5	14	13	940	21,9	4607	2117	365
6	14	13	940	22,32	4640	2120	372
7	14	13	940	22,5	4673	2127	375
8	14	13	940	22,92	4707	2140	382
9	14	13	940	23,1	4737	2156	385
10	14	13	940	23,52	4767	2166	392
11	14	13	940	23,7	4797	2183	395
12	14	13	940	24	4830	2195	400

Tableau 39 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12.5\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 9\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12,5	940	20,64	4523	600	344
1	14	12,5	940	21	4547	1000	350
2	14	12,5	940	21,18	4590	1200	353
3	14	12,5	940	21,3	4627	1500	355
4	14	12,5	940	21,72	4660	1800	362
5	14	12,5	940	21,9	4680	2083	365
6	14	12,5	940	22,32	4730	2092	372
7	14	12,5	940	22,5	4760	2100	375
8	14	12,5	940	22,8	4797	2108	380
9	14	12,5	940	23,1	4827	2116	385
10	14	12,5	940	23,4	4857	2124	390
11	14	12,5	940	23,7	4887	2132	395
12	14	12,5	940	23,88	4920	2140	398

Tableau 40 : L'influence de la différence de pression de part et d'autre de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps
($P_{\text{entré}} = 14\text{bars}$; $P_{\text{sortie}} = 12\text{ bars}$; $C_{\text{NaCl}} = 9\text{ g/l}$)

Temps (min)	Pression d'entrée (bar)	Pression de sortie (bar)	Q alimentation (l/h)	Q perméat (l/h)	conductivité concentrat ($\mu\text{s/cm}$)	conductivité du perméat ($\mu\text{s/cm}$)	Volume perméat (ml)
0	14	12	940	19,08	5073	800	318
1	14	12	940	19,5	5137	1167	325
2	14	12	940	19,68	5190	1500	328
3	14	12	940	19,8	5240	1800	330
4	14	12	940	20,1	5290	2100	335
5	14	12	940	20,4	5333	2400	340
6	14	12	940	20,7	5383	2416	345
7	14	12	940	21	5427	2436	350
8	14	12	940	21,3	5473	2450	355
9	14	12	940	21,6	5510	2468	360
10	14	12	940	21,9	5553	2484	365
11	14	12	940	22,2	5597	2500	370
12	14	12	940	22,5	5637	2516	375

b) **La variation du taux de rejet pour les différentes pressions de sortie :**

Tableau 41: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 14$ bar ; $C = 5.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
0	7,738	0,082	0,918
1	8,466	0,090	0,910
2	9,484	0,101	0,899
3	10,159	0,108	0,892
4	11,111	0,118	0,882
5	11,905	0,127	0,873
6	11,627	0,124	0,876
7	11,243	0,120	0,880
8	11,270	0,120	0,880
9	11,111	0,118	0,882
10	10,952	0,116	0,884
11	10,847	0,115	0,885
12	10,595	0,113	0,887

Tableau 42 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13.5$ bar ; $C = 5.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
0	11,270	0,120	0,880
1	11,373	0,121	0,879
2	11,468	0,122	0,878
3	11,571	0,123	0,877
4	11,667	0,124	0,876
5	11,772	0,125	0,875
6	11,786	0,125	0,875
7	11,825	0,126	0,874
8	11,881	0,126	0,874
9	11,929	0,127	0,873
10	11,976	0,127	0,873
11	12,037	0,128	0,872
12	12,063	0,128	0,872

Tableau 43 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13$ bar ; $C = 5.5$ g/l)

$y=Qp/Qa$	Cp (mol/m ³)	$Sp=Cp/C_0$	$Rm=1-Sp$
0	12,405	0,132	0,868
1	12,437	0,132	0,868
2	12,468	0,133	0,867
3	12,500	0,133	0,867
4	12,532	0,133	0,867
5	12,566	0,134	0,866
6	12,595	0,134	0,866
7	12,635	0,134	0,866
8	12,667	0,135	0,865
9	12,683	0,135	0,865
10	12,730	0,135	0,865
11	12,754	0,136	0,864
12	12,778	0,136	0,864

Tableau 44 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12.5$ bar ; $C = 5.5$ g/l)

$y=Qp/Qa$	Cp (mol/m ³)	$Sp=Cp/C_0$	$Rm=1-Sp$
0	12,802	0,136	0,864
1	12,833	0,137	0,863
2	12,857	0,137	0,863
3	12,897	0,137	0,863
4	12,937	0,138	0,862
5	12,963	0,138	0,862
6	13,056	0,139	0,861
7	13,333	0,142	0,858
8	13,349	0,142	0,858
9	13,492	0,144	0,856
10	13,651	0,145	0,855
11	13,754	0,146	0,854
12	13,889	0,148	0,852

Tableau 45 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=12$ bar ; $C = 5.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	12,000	0,128	0,872
1	12,167	0,129	0,871
2	12,349	0,131	0,869
3	12,508	0,133	0,867
4	12,675	0,135	0,865
5	12,833	0,137	0,863
6	12,889	0,137	0,863
7	12,960	0,138	0,862
8	13,095	0,139	0,861
9	13,246	0,141	0,859
10	13,373	0,142	0,858
11	13,492	0,144	0,856
12	13,603	0,145	0,855

Tableau 46 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=14$ bar ; $C = 6$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	10,238	0,100	0,900
1	10,582	0,103	0,897
2	10,960	0,107	0,893
3	11,230	0,109	0,891
4	11,627	0,113	0,887
5	12,040	0,117	0,883
6	12,103	0,118	0,882
7	12,167	0,119	0,881
8	12,437	0,121	0,879
9	12,667	0,124	0,876
10	12,778	0,125	0,875
11	12,963	0,126	0,874
12	13,119	0,128	0,872

Tableau 47: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13.5$ bar ; $C = 6$ g/l).

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	13,063	0,127	0,873
1	13,095	0,128	0,872
2	13,127	0,128	0,872
3	13,167	0,128	0,872
4	13,190	0,129	0,871
5	13,228	0,129	0,871
6	13,349	0,130	0,870
7	13,492	0,132	0,868
8	13,556	0,132	0,868
9	13,571	0,132	0,868
10	13,683	0,133	0,867
11	13,757	0,134	0,866
12	13,849	0,135	0,865

Tableau 48 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13$ bar ; $C = 6$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	11,508	0,112	0,888
1	11,905	0,116	0,884
2	12,222	0,119	0,881
3	12,698	0,124	0,876
4	13,016	0,127	0,873
5	13,360	0,130	0,870
6	13,532	0,132	0,868
7	13,757	0,134	0,866
8	13,810	0,135	0,865
9	13,889	0,135	0,865
10	14,032	0,137	0,863
11	14,153	0,138	0,862
12	14,214	0,139	0,861

Tableau 49 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12.5$ bar ; $C = 6$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	12,889	0,126	0,874
1	13,095	0,128	0,872
2	13,294	0,130	0,870
3	13,381	0,130	0,870
4	13,651	0,133	0,867
5	13,937	0,136	0,864
6	14,079	0,137	0,863
7	14,222	0,139	0,861
8	14,286	0,139	0,861
9	14,365	0,140	0,860
10	14,508	0,141	0,859
11	14,550	0,142	0,858
12	14,635	0,143	0,857

Tableau 50 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12$ bar ; $C = 6$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	12,698	0,124	0,876
1	12,831	0,125	0,875
2	12,960	0,126	0,874
3	13,095	0,128	0,872
4	13,214	0,129	0,871
5	13,360	0,130	0,870
6	13,492	0,132	0,868
7	13,624	0,133	0,867
8	13,833	0,135	0,865
9	14,032	0,137	0,863
10	14,167	0,138	0,862
11	14,418	0,141	0,859
12	14,540	0,142	0,858

Tableau 51 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 14$ bar $C = 6.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
0	13,063	0,1176	0,8824
1	13,095	0,1179	0,8821
2	13,127	0,1181	0,8819
3	13,159	0,1184	0,8816
4	13,175	0,1186	0,8814
5	13,228	0,1190	0,8810
6	13,492	0,1214	0,8786
7	13,757	0,1238	0,8762
8	13,889	0,1250	0,8750
9	14,127	0,1271	0,8729
10	14,365	0,1293	0,8707
11	14,550	0,1310	0,8690
12	14,762	0,1329	0,8671

Tableau 52 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13.5$ bar ; $C = 6.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
0	12,381	0,1114	0,8886
1	12,698	0,1143	0,8857
2	13,016	0,1171	0,8829
3	13,333	0,1200	0,8800
4	13,651	0,1229	0,8771
5	14,021	0,1262	0,8738
6	14,127	0,1271	0,8729
7	14,286	0,1286	0,8714
8	14,317	0,1289	0,8711
9	14,365	0,1293	0,8707
10	14,524	0,1307	0,8693
11	14,550	0,1310	0,8690
12	14,651	0,1319	0,8681

Tableau 53 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13$ bar ; $C = 6.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	13,524	0,1217	0,8783
1	13,624	0,1226	0,8774
2	13,714	0,1234	0,8766
3	13,810	0,1243	0,8757
4	13,921	0,1253	0,8747
5	14,024	0,1262	0,8738
6	14,087	0,1268	0,8732
7	14,151	0,1274	0,8726
8	14,167	0,1275	0,8725
9	14,206	0,1279	0,8721
10	14,254	0,1283	0,8717
11	14,286	0,1286	0,8714
12	14,325	0,1289	0,8711

Tableau 54 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12.5$ bar ; $C = 6.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	14,222	0,1280	0,8720
1	14,286	0,1286	0,8714
2	14,349	0,1291	0,8709
3	14,413	0,1297	0,8703
4	14,484	0,1304	0,8696
5	14,550	0,1310	0,8690
6	14,643	0,1318	0,8682
7	14,815	0,1333	0,8667
8	14,937	0,1344	0,8656
9	15,079	0,1357	0,8643
10	15,206	0,1369	0,8631
11	15,344	0,1381	0,8619
12	15,460	0,1391	0,8609

Tableau 55 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12$ bar ; $C = 6.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	8,4127	0,0757	0,9243
1	9,0873	0,0818	0,9182
2	9,6825	0,0871	0,9129
3	10,3175	0,0929	0,9071
4	10,9524	0,0986	0,9014
5	11,7778	0,1060	0,8940
6	11,8095	0,1063	0,8937
7	11,8333	0,1065	0,8935
8	11,8492	0,1066	0,8934
9	11,8730	0,1069	0,8931
10	11,8889	0,1070	0,8930
11	11,9180	0,1073	0,8927
12	11,9365	0,1074	0,8926

Tableau 56 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 14$ bar ; $C = 7$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	3,1746	0,0265	0,9735
1	5,2513	0,0439	0,9561
2	7,3016	0,0610	0,9390
3	9,5238	0,0796	0,9204
4	11,4286	0,0955	0,9045
5	12,0635	0,1008	0,8992
6	12,3016	0,1028	0,8972
7	12,5397	0,1048	0,8952
8	12,8571	0,1074	0,8926
9	13,0952	0,1094	0,8906
10	13,3333	0,1114	0,8886
11	13,6243	0,1139	0,8861
12	13,8889	0,1161	0,8839

Tableau 57 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=13.5$ bar ; $C=7$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	5,7143	0,0478	0,9522
1	7,2354	0,0605	0,9395
2	8,7302	0,0730	0,9270
3	10,1587	0,0849	0,9151
4	11,7460	0,0982	0,9018
5	13,3598	0,1116	0,8884
6	13,3810	0,1118	0,8882
7	13,4048	0,1120	0,8880
8	13,4286	0,1122	0,8878
9	13,4444	0,1124	0,8876
10	13,4683	0,1126	0,8874
11	13,4921	0,1128	0,8872
12	13,5159	0,1130	0,8870

Tableau 58 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=13$ bar ; $C=7$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	6,3492	0,0531	0,9469
1	7,6323	0,0638	0,9362
2	9,0476	0,0756	0,9244
3	10,3175	0,0862	0,9138
4	11,7460	0,0982	0,9018
5	12,7910	0,1069	0,8931
6	12,8016	0,1070	0,8930
7	12,8095	0,1071	0,8929
8	12,8175	0,1071	0,8929
9	12,8333	0,1073	0,8927
10	12,8413	0,1073	0,8927
11	12,8571	0,1074	0,8926
12	12,8651	0,1075	0,8925

Tableau 59 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12.5$ bar ; $C = 7$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	6,4841	0,0542	0,9458
1	6,5476	0,0547	0,9453
2	6,6032	0,0552	0,9448
3	6,6667	0,0557	0,9443
4	6,7222	0,0562	0,9438
5	6,7857	0,0567	0,9433
6	7,9365	0,0663	0,9337
7	8,7302	0,0730	0,9270
8	9,5238	0,0796	0,9204
9	10,9524	0,0915	0,9085
10	11,5873	0,0968	0,9032
11	12,5397	0,1048	0,8952
12	13,4921	0,1128	0,8872

Tableau 60 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12$ bar ; $C = 7$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	6,3492	0,0531	0,9469
1	7,7249	0,0646	0,9354
2	8,7302	0,0730	0,9270
3	9,8413	0,0822	0,9178
4	11,1111	0,0929	0,9071
5	12,3810	0,1035	0,8965
6	12,5397	0,1048	0,8952
7	12,6984	0,1061	0,8939
8	12,8571	0,1074	0,8926
9	13,0159	0,1088	0,8912
10	13,1746	0,1101	0,8899
11	13,3333	0,1114	0,8886
12	13,4921	0,1128	0,8872

Tableau 61 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=14$ bar ; $C = 7.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	2,4603	0,0192	0,9808
1	4,9339	0,0385	0,9615
2	6,8254	0,0532	0,9468
3	9,3651	0,0730	0,9270
4	11,5873	0,0904	0,9096
5	13,8228	0,1078	0,8922
6	13,8651	0,1081	0,8919
7	13,9127	0,1085	0,8915
8	13,9683	0,1090	0,8910
9	14,0159	0,1093	0,8907
10	14,0794	0,1098	0,8902
11	14,1270	0,1102	0,8898
12	14,1746	0,1106	0,8894

Tableau 62 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=13.5$ bar ; $C = 7.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	1,9048	0,0149	0,9851
1	4,4180	0,0345	0,9655
2	6,6667	0,0520	0,9480
3	9,3651	0,0730	0,9270
4	11,5873	0,0904	0,9096
5	14,2989	0,1115	0,8885
6	14,3333	0,1118	0,8882
7	14,3651	0,1120	0,8880
8	14,4048	0,1124	0,8876
9	14,4444	0,1127	0,8873
10	14,4841	0,1130	0,8870
11	14,5238	0,1133	0,8867
12	14,5556	0,1135	0,8865

Tableau 63 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13$ bar ; $C = 7.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	4,7619	0,0371	0,9629
1	6,4550	0,0503	0,9497
2	8,2540	0,0644	0,9356
3	9,8413	0,0768	0,9232
4	11,7460	0,0916	0,9084
5	13,7169	0,1070	0,8930
6	13,7302	0,1071	0,8929
7	13,7460	0,1072	0,8928
8	13,7619	0,1073	0,8927
9	13,7778	0,1075	0,8925
10	13,7937	0,1076	0,8924
11	13,8095	0,1077	0,8923
12	13,8254	0,1078	0,8922

Tableau 64 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12.5$ bar ; $C = 7.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	6,2698	0,0489	0,9511
1	7,5529	0,0589	0,9411
2	9,3651	0,0730	0,9270
3	10,9524	0,0854	0,9146
4	12,5397	0,0978	0,9022
5	13,6508	0,1065	0,8935
6	13,6667	0,1066	0,8934
7	13,6825	0,1067	0,8933
8	13,6984	0,1068	0,8932
9	13,7143	0,1070	0,8930
10	13,7381	0,1072	0,8928
11	13,7566	0,1073	0,8927
12	13,7698	0,1074	0,8926

Tableau 65 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12$ bar ; $C = 7.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	5,5556	0,0433	0,9567
1	7,2090	0,0562	0,9438
2	8,8095	0,0687	0,9313
3	10,1587	0,0792	0,9208
4	11,5873	0,0904	0,9096
5	13,5582	0,1058	0,8942
6	13,5873	0,1060	0,8940
7	13,6111	0,1062	0,8938
8	13,6429	0,1064	0,8936
9	13,6746	0,1067	0,8933
10	13,6984	0,1068	0,8932
11	13,7302	0,1071	0,8929
12	13,7540	0,1073	0,8927

Tableau 66 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 14$ bar ; $C = 8$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	3,9683	0,0290	0,9710
1	6,2169	0,0455	0,9545
2	8,2540	0,0604	0,9396
3	10,1587	0,0743	0,9257
4	12,6984	0,0929	0,9071
5	14,9841	0,1096	0,8904
6	15,0159	0,1098	0,8902
7	15,0397	0,1100	0,8900
8	15,0635	0,1102	0,8898
9	15,0952	0,1104	0,8896
10	15,1190	0,1106	0,8894
11	15,1429	0,1107	0,8893
12	15,1746	0,1110	0,8890

Tableau 67 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13.5$ bar ; $C = 8$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	5,0794	0,0371	0,9629
1	7,0794	0,0518	0,9482
2	9,2063	0,0673	0,9327
3	11,1111	0,0813	0,9187
4	13,0159	0,0952	0,9048
5	15,0159	0,1098	0,8902
6	15,0238	0,1099	0,8901
7	15,0317	0,1099	0,8901
8	15,0476	0,1100	0,8900
9	15,0556	0,1101	0,8899
10	15,0635	0,1102	0,8898
11	15,0794	0,1103	0,8897
12	15,0873	0,1103	0,8897

Tableau 68 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13$ bar ; $C = 8$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	6,1905	0,0453	0,9547
1	7,7513	0,0567	0,9433
2	9,5238	0,0696	0,9304
3	11,1111	0,0813	0,9187
4	12,6984	0,0929	0,9071
5	14,4180	0,1054	0,8946
6	14,4286	0,1055	0,8945
7	14,4444	0,1056	0,8944
8	14,4524	0,1057	0,8943
9	14,4683	0,1058	0,8942
10	14,4841	0,1059	0,8941
11	14,4974	0,1060	0,8940
12	14,5079	0,1061	0,8939

Tableau 69 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12.5$ bar ; $C = 8$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	7,7778	0,0569	0,9431
1	9,0741	0,0664	0,9336
2	10,3175	0,0754	0,9246
3	11,7460	0,0859	0,9141
4	12,6984	0,0929	0,9071
5	14,2857	0,1045	0,8955
6	14,3254	0,1048	0,8952
7	14,3915	0,1052	0,8948
8	14,4444	0,1056	0,8944
9	14,4841	0,1059	0,8941
10	14,5397	0,1063	0,8937
11	14,5873	0,1067	0,8933
12	14,6429	0,1071	0,8929

Tableau 70 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12$ bar ; $C = 8$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	6,3492	0,0464	0,9536
1	7,9233	0,0579	0,9421
2	9,5238	0,0696	0,9304
3	11,1111	0,0813	0,9187
4	12,6984	0,0929	0,9071
5	14,4444	0,1056	0,8944
6	14,4683	0,1058	0,8942
7	14,5000	0,1060	0,8940
8	14,5238	0,1062	0,8938
9	14,5476	0,1064	0,8936
10	14,5794	0,1066	0,8934
11	14,6032	0,1068	0,8932
12	14,6349	0,1070	0,8930

Tableau 71: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=14$ bar ; $C = 8.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	3,9683	0,0273	0,9727
1	6,3889	0,0440	0,9560
2	8,7302	0,0601	0,9399
3	11,1111	0,0765	0,9235
4	13,4921	0,0929	0,9071
5	16,0450	0,1104	0,8896
6	16,0714	0,1106	0,8894
7	16,1111	0,1109	0,8891
8	16,1429	0,1111	0,8889
9	16,1667	0,1113	0,8887
10	16,2143	0,1116	0,8884
11	16,2434	0,1118	0,8882
12	16,2778	0,1120	0,8880

Tableau 72 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=13.5$ bar ; $C = 8.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	7,1429	0,0492	0,9508
1	8,6905	0,0598	0,9402
2	10,3175	0,0710	0,9290
3	11,9048	0,0819	0,9181
4	14,2857	0,0983	0,9017
5	15,9788	0,1100	0,8900
6	16,0079	0,1102	0,8898
7	16,0450	0,1104	0,8896
8	16,0714	0,1106	0,8894
9	16,1111	0,1109	0,8891
10	16,1429	0,1111	0,8889
11	16,1746	0,1113	0,8887
12	16,2063	0,1115	0,8885

Tableau 73 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=13$ bar ; $C=8.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	5,9524	0,0410	0,9590
1	7,9101	0,0544	0,9456
2	9,5238	0,0655	0,9345
3	11,9048	0,0819	0,9181
4	13,4921	0,0929	0,9071
5	15,4365	0,1062	0,8938
6	15,5556	0,1071	0,8929
7	15,6825	0,1079	0,8921
8	15,7937	0,1087	0,8913
9	15,9048	0,1095	0,8905
10	16,0317	0,1103	0,8897
11	16,1667	0,1113	0,8887
12	16,2698	0,1120	0,8880

Tableau 74 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}}=12.5$ bar ; $C=8.5$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	6,7460	0,0464	0,9536
1	8,4524	0,0582	0,9418
2	10,3175	0,0710	0,9290
3	11,9048	0,0819	0,9181
4	13,4921	0,0929	0,9071
5	15,3571	0,1057	0,8943
6	15,3651	0,1057	0,8943
7	15,3810	0,1059	0,8941
8	15,3968	0,1060	0,8940
9	15,4048	0,1060	0,8940
10	15,4206	0,1061	0,8939
11	15,4365	0,1062	0,8938
12	15,4444	0,1063	0,8937

Tableau 75: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12$ bar ; $C = 8.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	6,1905	0,0426	0,9574
1	7,8042	0,0537	0,9463
2	9,5238	0,0655	0,9345
3	11,1111	0,0765	0,9235
4	12,6984	0,0874	0,9126
5	14,7090	0,1012	0,8988
6	15,0794	0,1038	0,8962
7	16,0185	0,1102	0,8898
8	16,6667	0,1147	0,8853
9	17,4603	0,1202	0,8798
10	18,2540	0,1256	0,8744
11	19,0476	0,1311	0,8689
12	19,8413	0,1366	0,8634

Tableau 76 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 14$ bar ; $C = 9$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	3,1746	0,0206	0,9794
1	6,1905	0,0402	0,9598
2	8,7302	0,0567	0,9433
3	11,1111	0,0722	0,9278
4	14,2857	0,0929	0,9071
5	17,0503	0,1108	0,8892
6	17,1429	0,1114	0,8886
7	17,2222	0,1119	0,8881
8	17,3016	0,1125	0,8875
9	17,3810	0,1130	0,8870
10	17,4603	0,1135	0,8865
11	17,5397	0,1140	0,8860
12	17.619	0.1145	0.855

Tableau 77: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13.5$ bar ; $C = 9$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	6,3492	0,0413	0,9587
1	8,5979	0,0559	0,9441
2	10,3175	0,0671	0,9329
3	12,6984	0,0825	0,9175
4	14,2857	0,0929	0,9071
5	16,5344	0,1075	0,8925
6	16,6667	0,1083	0,8917
7	16,8254	0,1094	0,8906
8	16,9841	0,1104	0,8896
9	17,1429	0,1114	0,8886
10	17,3016	0,1125	0,8875
11	17,4603	0,1135	0,8865
12	17,6190	0,1145	0,8855

Tableau 78 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 13$ bar ; $C = 9$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	7,1429	0,0464	0,9536
1	9,2593	0,0602	0,9398
2	11,1111	0,0722	0,9278
3	13,0952	0,0851	0,9149
4	15,0794	0,0980	0,9020
5	16,7989	0,1092	0,8908
6	16,8254	0,1094	0,8906
7	16,8810	0,1097	0,8903
8	16,9841	0,1104	0,8896
9	17,1111	0,1112	0,8888
10	17,1905	0,1117	0,8883
11	17,3254	0,1126	0,8874
12	17,4206	0,1132	0,8868

Tableau 79 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12.5$ bar ; $C = 9$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	4,7619	0,0310	0,9690
1	7,9365	0,0516	0,9484
2	9,5238	0,0619	0,9381
3	11,9048	0,0774	0,9226
4	14,2857	0,0929	0,9071
5	16,5344	0,1075	0,8925
6	16,6032	0,1079	0,8921
7	16,6667	0,1083	0,8917
8	16,7302	0,1087	0,8913
9	16,7937	0,1092	0,8908
10	16,8571	0,1096	0,8904
11	16,9206	0,1100	0,8900
12	16,9841	0,1104	0,8896

Tableau 80 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}}=14$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 12$ bar ; $C = 9$ g/l)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p=C_p/C_0$	$R_m=1-S_p$
0	6,3492	0,0413	0,9587
1	9,2593	0,0602	0,9398
2	11,9048	0,0774	0,9226
3	14,2857	0,0929	0,9071
4	16,6667	0,1083	0,8917
5	19,0476	0,1238	0,8762
6	19,1746	0,1246	0,8754
7	19,3333	0,1257	0,8743
8	19,4444	0,1264	0,8736
9	19,5873	0,1273	0,8727
10	19,7143	0,1281	0,8719
11	19,8413	0,1290	0,8710
12	19,9683	0,1298	0,8702

Tableau 81: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 12 \text{ bar}$; $C = 5.5 \text{ g/l}$)

Temps (min)	Cp (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
0	2,7778	0,0295	0,9705
1	4,2328	0,0450	0,9550
2	5,7143	0,0608	0,9392
3	7,2222	0,0768	0,9232
4	8,7302	0,0929	0,9071
5	10,4497	0,1111	0,8889
6	10,5159	0,1119	0,8881
7	10,5820	0,1126	0,8874
8	10,6508	0,1133	0,8867
9	10,7143	0,1140	0,8860
10	10,7778	0,1146	0,8854
11	10,8413	0,1153	0,8847
12	10,9048	0,1160	0,8840

Tableau 82 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 11.5 \text{ bar}$; $C = 5.5 \text{ g/l}$)

Temps (min)	Cp (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
0	4,0476	0,0431	0,9569
1	5,2910	0,0563	0,9437
2	6,5079	0,0692	0,9308
3	7,1429	0,0760	0,9240
4	8,8095	0,0937	0,9063
5	10,3175	0,1097	0,8903
6	10,3810	0,1104	0,8896
7	10,4497	0,1111	0,8889
8	10,5079	0,1118	0,8882
9	10,5714	0,1124	0,8876
10	10,6349	0,1131	0,8869
11	10,6984	0,1138	0,8862
12	10,7619	0,1145	0,8855

Tableau 83 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 11$ bar ; $C = 5.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
0	5,5556	0,0591	0,9409
1	6,4815	0,0689	0,9311
2	7,1587	0,0761	0,9239
3	7,9683	0,0848	0,9152
4	8,7619	0,0932	0,9068
5	10,1852	0,1083	0,8917
6	10,2540	0,1091	0,8909
7	10,3175	0,1097	0,8903
8	10,3492	0,1101	0,8899
9	10,3810	0,1104	0,8896
10	10,4127	0,1108	0,8892
11	10,4497	0,1111	0,8889
12	10,5000	0,1117	0,8883

Tableau 84 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12$ bar ; $P_{\text{sortie}} = 10.5$ bar ; $C = 5.5$ g/l)

Temps (min)	Cp (mol/m ³)	Sp=Cp/C ₀	Rm=1-Sp
0	6,0317	0,0642	0,9358
1	6,8783	0,0732	0,9268
2	7,7778	0,0827	0,9173
3	8,6349	0,0918	0,9082
4	9,3651	0,0996	0,9004
5	10,1852	0,1083	0,8917
6	10,2540	0,1091	0,8909
7	10,3175	0,1097	0,8903
8	10,3810	0,1104	0,8896
9	10,4444	0,1111	0,8889
10	10,5079	0,1118	0,8882
11	10,5714	0,1124	0,8876
12	10,6349	0,1131	0,8869

Tableau 85 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 10 \text{ bar}$; $C = 5.5 \text{ g/l}$)

Temps (min)	$C_p \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	6,7460	0,0718	0,9282
1	7,4074	0,0788	0,9212
2	8,0952	0,0861	0,9139
3	8,7302	0,0929	0,9071
4	9,5238	0,1013	0,8987
5	10,1852	0,1083	0,8917
6	10,2063	0,1086	0,8914
7	10,2302	0,1088	0,8912
8	10,2540	0,1091	0,8909
9	10,2698	0,1092	0,8908
10	10,2937	0,1095	0,8905
11	10,3175	0,1097	0,8903
12	10,3333	0,1099	0,8901

Tableau 86 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 12 \text{ bar}$; $C = 6 \text{ g/l}$)

Temps (min)	$C_p \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	1,7460	0,0170	0,9830
1	3,7037	0,0361	0,9639
2	5,4365	0,0530	0,9470
3	7,3016	0,0712	0,9288
4	9,5238	0,0929	0,9071
5	11,2434	0,1096	0,8904
6	11,3095	0,1103	0,8897
7	11,3757	0,1109	0,8891
8	11,4286	0,1114	0,8886
9	11,4921	0,1120	0,8880
10	11,5556	0,1127	0,8873
11	11,6190	0,1133	0,8867
12	11,6825	0,1139	0,8861

Tableau 87 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 11.5 \text{ bar}$; $C = 6 \text{ g/l}$)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	4,7619	0,0464	0,9536
1	6,0847	0,0593	0,9407
2	7,1429	0,0696	0,9304
3	8,3333	0,0813	0,9187
4	9,5238	0,0929	0,9071
5	10,8466	0,1058	0,8942
6	10,9127	0,1064	0,8936
7	10,9524	0,1068	0,8932
8	10,9921	0,1072	0,8928
9	11,0317	0,1076	0,8924
10	11,0714	0,1079	0,8921
11	11,1111	0,1083	0,8917
12	11,1508	0,1087	0,8913

Tableau 88 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 11 \text{ bar}$; $C = 6 \text{ g/l}$)

Temps (min)	C_p (mol/m ³)	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	5,5556	0,0542	0,9458
1	6,6138	0,0645	0,9355
2	7,8571	0,0766	0,9234
3	8,8095	0,0859	0,9141
4	9,8413	0,0960	0,9040
5	11,1111	0,1083	0,8917
6	11,1349	0,1086	0,8914
7	11,1587	0,1088	0,8912
8	11,1746	0,1090	0,8910
9	11,2063	0,1093	0,8907
10	11,2222	0,1094	0,8906
11	11,2434	0,1096	0,8904
12	11,2698	0,1099	0,8901

Tableau 89 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 10.5 \text{ bar}$; $C = 6 \text{ g/l}$)

Temps (min)	$C_p \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	1,9841	0,0193	0,9807
1	3,8492	0,0375	0,9625
2	5,5556	0,0542	0,9458
3	7,2222	0,0704	0,9296
4	9,2063	0,0898	0,9102
5	10,9392	0,1067	0,8933
6	11,0000	0,1073	0,8927
7	11,0714	0,1079	0,8921
8	11,1429	0,1086	0,8914
9	11,2063	0,1093	0,8907
10	11,2698	0,1099	0,8901
11	11,3492	0,1107	0,8893
12	11,4127	0,1113	0,8887

Tableau 90 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 10 \text{ bar}$; $C = 6 \text{ g/l}$)

Temps (min)	$C_p \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	7,1429	0,0696	0,9304
1	7,8836	0,0769	0,9231
2	8,6111	0,0840	0,9160
3	9,3651	0,0913	0,9087
4	10,0000	0,0975	0,9025
5	10,7011	0,1043	0,8957
6	10,7619	0,1049	0,8951
7	10,8254	0,1055	0,8945
8	10,8889	0,1062	0,8938
9	10,9524	0,1068	0,8932
10	11,0159	0,1074	0,8926
11	11,0847	0,1081	0,8919
12	11,1429	0,1086	0,8914

Tableau 91 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 12 \text{ bar}$; $C = 6.5 \text{ g/l}$)

Temps (min)	$C_p \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	1,5079	0,0136	0,9864
1	3,5714	0,0321	0,9679
2	5,5556	0,0500	0,9500
3	7,7778	0,0700	0,9300
4	9,6825	0,0871	0,9129
5	11,8386	0,1065	0,8935
6	11,8571	0,1067	0,8933
7	11,8783	0,1069	0,8931
8	11,9206	0,1073	0,8927
9	11,9524	0,1076	0,8924
10	11,9841	0,1079	0,8921
11	12,0106	0,1081	0,8919
12	12,0397	0,1084	0,8916

Tableau 92 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 11.5 \text{ bar}$; $C = 6.5 \text{ g/l}$)

Temps (min)	$C_p \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	3,1746	0,0286	0,9714
1	4,9868	0,0449	0,9551
2	6,3492	0,0571	0,9429
3	7,9365	0,0714	0,9286
4	9,6825	0,0871	0,9129
5	11,6138	0,1045	0,8955
6	11,6825	0,1051	0,8949
7	11,7460	0,1057	0,8943
8	11,8095	0,1063	0,8937
9	11,8889	0,1070	0,8930
10	11,9524	0,1076	0,8924
11	12,0238	0,1082	0,8918
12	12,0952	0,1089	0,8911

Tableau 93 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 11 \text{ bar}$; $C = 6.5 \text{ g/l}$)

Temps (min)	$C_p \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	0,7937	0,0071	0,9929
1	3,0423	0,0274	0,9726
2	5,0794	0,0457	0,9543
3	7,3016	0,0657	0,9343
4	9,5238	0,0857	0,9143
5	11,9312	0,1074	0,8926
6	12,0000	0,1080	0,8920
7	12,0238	0,1082	0,8918
8	12,0556	0,1085	0,8915
9	12,0952	0,1089	0,8911
10	12,1190	0,1091	0,8909
11	12,1429	0,1093	0,8907
12	12,1825	0,1096	0,8904

Tableau 94 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entré}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 10.5 \text{ bar}$; $C = 6.5 \text{ g/l}$)

Temps (min)	$C_p \text{ (mol/m}^3\text{)}$	$S_p = C_p/C_0$	$R_m = 1 - S_p$
0	6,7460	0,0607	0,9393
1	7,7910	0,0701	0,9299
2	8,7302	0,0786	0,9214
3	9,8810	0,0889	0,9111
4	11,0317	0,0993	0,9007
5	11,8651	0,1068	0,8932
6	11,8968	0,1071	0,8929
7	11,9312	0,1074	0,8926
8	11,9444	0,1075	0,8925
9	11,9683	0,1077	0,8923
10	12,0000	0,1080	0,8920
11	12,0238	0,1082	0,8918
12	12,0476	0,1084	0,8916

Tableau 95: La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat ($P_{\text{entrée}} = 12 \text{ bar}$; $P_{\text{sortie}} = 10 \text{ bar}$; $C = 6.5 \text{ g/l}$)

Temps (min)	Cp (mol/m³)	Sp=Cp/C₀	Rm=1-Sp
0	8,4127	0,0757	0,9243
1	9,0873	0,0818	0,9182
2	9,6825	0,0871	0,9129
3	10,3175	0,0929	0,9071
4	10,9524	0,0986	0,9014
5	11,7778	0,1060	0,8940
6	11,8095	0,1063	0,8937
7	11,8333	0,1065	0,8935
8	11,8492	0,1066	0,8934
9	11,8730	0,1069	0,8931
10	11,8889	0,1070	0,8930
11	11,9180	0,1073	0,8927
12	11,9365	0,1074	0,8926

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographies

[1] 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 du doctorat de l'université de Toulouse, consulté le 19/02/2013.

[2] 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.
<http://bu.umc.edu.dz/theses/physique/KAR5622.pdf>.

[3] RENAUDIN Viviane, (Maître de conférences au Département Génie Chimique, Génie des Procédés de l'IUT de Nancy Brabois, Université Henri Poincaré et chercheur au LSGC (Laboratoire des Sciences du Génie Chimique), CNRS, Nancy), relu par Guillaume Champion (professeur agrégé à l'ENS). Cet article fait partie du dossier pluridisciplinaire sur l'eau.
<http://culturesciences.chimie.ens.fr/category/eau-51>

[4] PAJON-PERRAULT Nathalie (2010), Les techniques de désalinisation. [acces.ens-lyon.fr](http://www.acces.ens-lyon.fr).

[5] CHENAOUI BAKHTA, « 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/uhbc/seminaires_2010/chenaoui_bakhta_OUARGLA_2010.pdf
Consulté le 05/03/2013.

[6] Mr AIT KHALDOUN Ibrahim, (2011), « Optimisation du transport des cations Cu (II), Zn(II) et Cd(II) par le tri-n-butylphosphate (tbp) à travers les membranes d'affinité », mémoire pour obtenir diplôme de magister en chimie de l'environnement, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[7] <http://www.ac-grenoble.fr/>

[8] Ressources en eau, Résumé du deuxième Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau.pdf. www.greenfacts.org/fr/ressources-eau/7

[9] AMEL LOUNNAS (2009), « Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda », Mémoire de Magister en chimie, l'université du 20 Août 1955 Skikda.

[10] www.eau-seine-normandie.fr .

[11] www.web-libre.org

[12] Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse PDF, 26/02/2013

[13] <http://culturesciences.chimie.ens.fr/category/eau-51>

[14] <http://www.notre-planete.info/>

[15] PIERRE CHEVALIER, 2003, Groupe scientifique sur l'eau, Turbidité. Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Institut national de santé publique du Québec.

[16] Alpha Sidiki MAIGA, (2005) « Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'edm.sa dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière », thèse pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie. (Diplôme d'état), université de Bamako,

[17] AISSAOUI Sid Ahmed (septembre 2011), « dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux de distribution », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du master en hydraulique, université Aboubakr Belkaid-Tlemcen,

[18] L'eau potable en France 2005-2006, rapport publié par Délégation à l'information et à la communication, Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative
14 avenue Duquesne - 75007 Paris, 2008 ; <http://www.sante.gouv.fr>

[19] DE VILLERS Juliette, SQUILBIN Marianne, YOURASSOWSKY Catherine, (novembre 2005), « Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général », Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, ,
http://www.ibgebim.be/uploadedFiles/Contenu_du_site/Centre_de_documentation/Fiche_Eau_02_FR.pdf

[20] Dégréement (1940) : « Mémento et technique de l'eau ». Edition France.

[21] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/995/8/CHAPITRE04.pdf> consulté le 15/06/2013

[22] Santé Canada, « Document de conseils sur le potassium provenant des adoucisseurs d'eau », comité fédérale-provincial-territorial sur l'eau potable, Ottawa (Ontario), mai 2008.

[23] <http://www.cpepesc.org/>

[24] <http://www.medecine-et-sante.com/> consulté le 14/07/2013.

[25] lenr.pagesperso-orange.fr

[26] Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse PDF, 26/02/2013

[27] Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes Farid TATA-DUCRU, Janvier 2009 consulté le 20/02/2013

[28] <http://www.techniques-ingenieur.fr> ; consulté le (05/03/2010).

[29] Chatkaew Tansakul, (2009), « Procédés hybrides a membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant Dessalement par osmose inverse » thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, <http://eprint.insa-toulouse.fr/archive/00000305/01/Tansakul.pdf> consulté le (21/01/2013).

[30] BECHKI Djamel, (2011), « étude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes », thèse pour obtenir le diplôme de doctorat en génie mécanique, université Hadj Lakhdar Batna,

[31] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/> consulté le 24/04/2013.

[32] R. Desjardins Le traitement des eaux; deuxième édition : Presses internationales polytechnique; janvier 1990; Montréal.

[34] Patrick. DANIS, Dessalement de l'eau de mer, Techniques de l'ingénieur traité Génie des Procédés, J2700, (2003).

[35] Simon NISAN, (DESSALEMENT DE L'EAU DE MER PAR LES REACTEURS NUCLEAIRES, CEA, DEN/CAD/DER/SESI, CEN Cadarache, 13108, Saint Paul-Lez-Durance, simon.nisan@cea.fr) pdf (20/02/2013)

[36] Alain MAUREL (2001), « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce ».Lavoisier, paris.

[37] : FECIH Abla, (2012) «L'influence de la filtration sur sable sur le traitement des eaux saumâtres », Mémoire de projet de fin d'Etudes, pour l'obtention du Diplôme de mastère en hydraulique, université Tlemcen.

[38] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles, Systèmes communs de traitement des eaux et gaz résiduaux dans l'industrie chimique Février 2003.pdf

[39] Le Dessalement de l'eau de mer ,<http://www.Oboulo.com>,

[40] Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril 2012 consulté le 19/02/2013.

[41] W.J.Masschelien, traduit par H.Chevolet, « Processus unitaires du traitement de l'eau potable », Lavoisier 1997,

[42] Loren BERTHET, Isabelle JACQUET, Audrey PROVASI Ethique des Affaires master 2 (2005-2006) « l'eau gratuite c'est fini ? », Grenoble I.A.E.

[43] <http://dessalement.blogspot.com>,

[44] 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 de doctorat en génie des procédés et de l'environnement, Insa Toulouse. <http://eprint.insa-toulouse.fr/archive/00000233/01/Mendret.pdf> (24/06/2013).

[45] Patrice BACCHIN, « Principes De Bases De La Filtration Membranaire » Université Paul Sabatier Laboratoire de génie Chimique 31 062 TOULOUSE ; <http://patricebacchin.fr/>

[46] Jean-Marc BERLAND Et Catherine Juery Décembre 2002, « Les procédés membranaires pour le Traitement de l'eau » Document technique Fndae N°14, Fonds national pour le Développement des Adductions d'eau Office international de l'eau Snide Nouvelle version Consulté le 26/02/2013.

[47] http://www.kochmembrane.com/sep_uf.html

[48] http://perso.wanadoo.fr/jose.braun/separation/uf_et_oi.htm – consulté en octobre 2002).

[49] www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/menuRessour.html consulté le 14/07/2013.

[50] Les techniques membranaires : Différences et usages. Article rédigé par C. Cun (Centre de recherche et de contrôle des eaux de Paris (CRECEP), Paris), relu par H. Soyer (professeur agrégée à l'ENS, Paris) consulté le 18/03/2013.

[51] www.gea_ltration.com

[52] www.safewater.org

[53] ALAM Ibtissem ; Kerroum Amina (2008), « Optimisation de fonctionnement d'une unité de traitement des eaux à IN SALAH », mémoire pour l'obtention du diplôme DEAU en hydraulique, université de Tlemcen.

[54] eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/osmose_inverse.pdf 20/02/2013pdf

[55] <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers>.

[56] SAIDOU NOUROU DIOP, (2010), « élimination partielle du fluor et de la salinité des eaux souterraines du bassin arachidier par nanofiltration et par adsorption sur argile », These de doctorat, Spécialité : chimie, microbiologie et traitement de l'eau, Université cheikh Anta Diop de Dakar.

[57] <http://doxa.u-pec.fr/theses/th0238066-These.pdf> (20/05/2013).

[58] Degremont, 2005, mémento technique de l'eau, Lavoisier, France, p1041,1042. [107].

[59] EL KHABBAZE Hatim, (2008) « traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nanofiltration et d'osmose inverse », thèse de doctorat Université Mohammed V-AGDAL, faculté des sciences, Rabat, consulté le 26/06/2013

[60] Jean-Baptiste CASTAING, (2011), « Procédés de traitement de l'eau de mer en conchyliculture pour la sauvegarde et le maintien de la qualité des mollusques bivalves », thèse de doctorat en Génie des procédés, université de Nantes.

[61] Alfa Arzate, Ph.D (2008) : « procédés de séparation membranaire et leur application dans l'industrie alimentaire ». 142, Rang Lainesse Saint-Norbert d'Arthabaska Québec.

[62] HAMITI Omar, (2010), titre « 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 en hydraulique urbaine, université Aboubakr Belkaid- Tlemcen.

[63] Techniques séparatives à membranes, Considérations théoriques par Alain MAUREL Ingénieur ENSIGC (École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Génie Chimique de Toulouse) Licencié ès Sciences Ingénieur au Centre d'Études Nucléaires de Cadarache J 2790.

[64] SAOUDI Ali Abdenour, Hakmi Habib (2011), « l'influence de la filtration sur sable sur la qualité des eaux potables » mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, université de Tlemcen.

[65] 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-.

[66] Bulletin Technique : « Osmose Inverse TE 200 ». DELTALAB. 38340 VOREPPE. France.