

## Introduction générale

---

Essentielle pour la vie, l'eau douce se trouve en quantité limitée sur terre et sa qualité est constamment menacée. Aujourd'hui, selon l'OMS, une personne sur trois dans le monde n'a pas assez d'eau pour répondre à ses besoins quotidiens [1].

L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ 1 million de km<sup>3</sup>. Mais, la répartition de cette eau est très inégale [2].

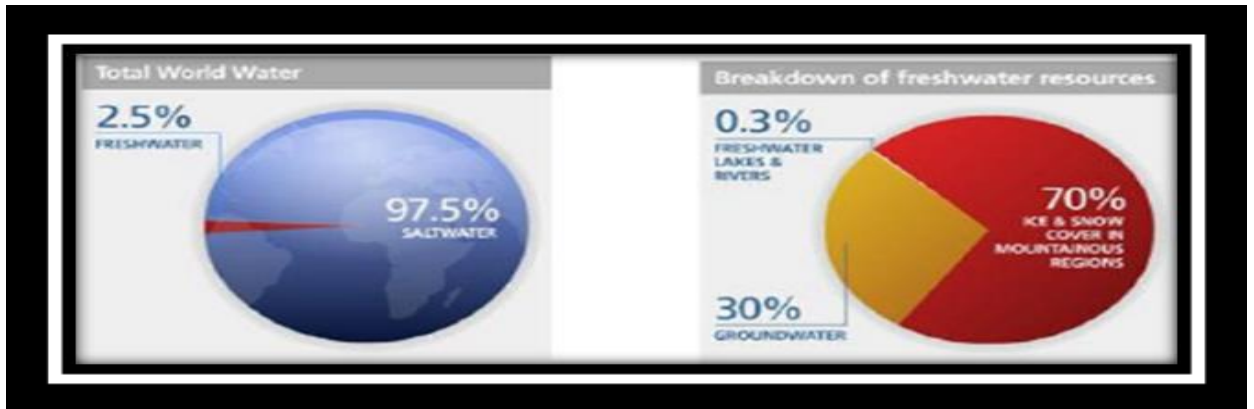


Figure 1: Répartition de l'eau sur la planète [2].

Les statistiques prévoient que dans les prochaines décennies, un tiers de la population mondiale n'aura pas accès à l'eau [3].

À l'échelle mondiale, le problème s'aggrave à mesure que les villes grandissent, que la population augmente et que l'agriculture, l'industrie et les ménages ont besoin d'eau en quantités toujours plus grandes. Cela risque de mettre gravement en péril le ravitaillement en eau douce d'une grande partie de l'humanité et par voie de conséquence d'aggraver les conflits entre pays voisins ayant des ressources communes [1].

Face à cette situation, le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres constitue ainsi une des réponses possibles pour s'adapter à la pénurie croissante des ressources en eau [1].

Le dessalement de l'eau de mer est désormais un principe envisageable pour obtenir de l'eau potable du fait du nombre croissant d'êtres humains sur terre et de l'élévation du niveau de vie et de la rareté de cette ressource [4].

En dessalement le principal procédé membranaire est l'osmose inverse (OI) qui représente à l'heure actuelle 53 % des capacités mondiales d'eau produites par dessalement et a ainsi dépassé les procédés de distillation depuis 2001 [5].

# Introduction générale

---

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

Le travail se décompose principalement en 2 parties : (partie A théorique), (partie B expérimentale)

La première partie (partie A) : qui est relatif à l'étude bibliographique, contient trois chapitres:

Chapitre I : Une étude bibliographique qui explique les différentes propriétés des eaux et leurs paramètres de qualités (physique, thermique, électrique) , ainsi que le contrôle de la qualité des eaux.

Chapitre II : Il est consacré à la présentation des différentes techniques de dessalement.

Chapitre III : Une étude bibliographique sur la filière de dessalement de l'eau de mer par le procédé d'osmose inverse.

La deuxième partie (partie B) :

Chapitre I : Matériels et méthodes.

Chapitre II : Résultats et interprétations.

**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. Les besoins d'eau douce sont de plus en plus croissants. 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 [6].

**I.2. Sources d'eau :**

L'eau est abondante sur terre ; Elle représente 1,4 milliards de km<sup>3</sup>. Toutefois, l'essentiel est constitué d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) directement inutilisables.

L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km<sup>3</sup>. Mais, la répartition de cette eau est très inégale. En effet, dix pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et vingt neuf autres principalement en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. Dans ces pays, selon le Water Resources Institute, 250 millions d'individus, ne disposent pas aujourd'hui du minimum vital d'eau, défini à 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an. Quatre cent (400) millions de personnes vivent en situation de stress hydrique, estimé entre 1000 et 2000 m<sup>3</sup> par habitant et par an. On estime également que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau [7].

Les principales ressources en eau distribuées dans le monde entier représentent dans le tableau suivant : [8]

**Tableau I.1 : Les principales ressources en eau distribuées dans le monde [8].**

Ressources	Volume en (m <sup>3</sup> )	Total pour cent de l'eau	Pour cent de l'eau Douce
Eau atmosphérique	12900	0.001	0.01
Glaciers	24064000	1.72	68.7
La glace de sol	300000	0.021	0.86
Rivières	2120	0.0002	0.006
Lacs	176400	0.013	0.026
Marais	11470	0.0008	0.03
l'humidité du sol	16500	0.0012	0.05
Aquifères	10530000	0.75	30.1
Lithosphère	23400000	1.68	
Océans	1338000000	95.81	
<b>Totale</b>	<b>1396513390</b>		

**I.3. Origine de l'eau sur la terre :**

L'eau existe dans notre système solaire, très probablement, depuis le début, et a pour origine le processus de fusion thermonucléaire qui a produit les éléments du système périodique et leurs composés. On admet généralement que la majeure partie de l'eau formant l'hydrosphère provient d'un dégazage du manteau par l'intermédiaire des éruptions volcaniques et des laves qui se sont épanchées à la surface (basaltes) au cours des 5 milliards d'années d'existence de la terre. Cependant, on sait que la terre est également exposée aux collisions avec du matériel cosmique dont les comètes de glace. Ainsi, une origine extraterrestre d'au moins une partie de l'eau terrestre est probable [9].

Il existe trois réserves disponibles d'eaux naturelles :

**I.3.a) les eaux souterraines (aquifère, nappe phréatique, infiltration) :**

Les eaux souterraines sont contenues dans des aquifères de natures très variées, définies par la porosité et la structure du terrain. Ces paramètres déterminent le type de nappe et le mode de circulation de l'eau [10].

**I.3.b) les eaux de surfaces captives ou en écoulement (lacs, étangs, rivières, fleuves) :**

Les eaux de surface ont pour origines soit les eaux souterraines (par une résurgence, source), soit les eaux de ruissellements. Ces eaux se regroupent en cours d'eau et sont caractérisées par une surface libre, surface de contact entre l'eau et l'atmosphère, toujours en mouvement, avec une vitesse variable. Les eaux de surface peuvent se retrouver stockées dans des réservoirs naturels (lacs) ou artificiels (barrages), de profondeur variable. La surface d'échange se retrouve alors quasiment immobile [10].

**I.3.c) les eaux de mer et eaux saumâtres :**

Ces eaux sont caractérisées par une salinité importante. Selon leurs origines (pleine mer, estran, estuaire) les caractéristiques physiques sont très variables : turbidité, matières en suspension, présence de plancton, teneur en sable, pollution par des rejets urbains ou industrielle, influence des fleuves, influence de la marée, température de l'eau,...

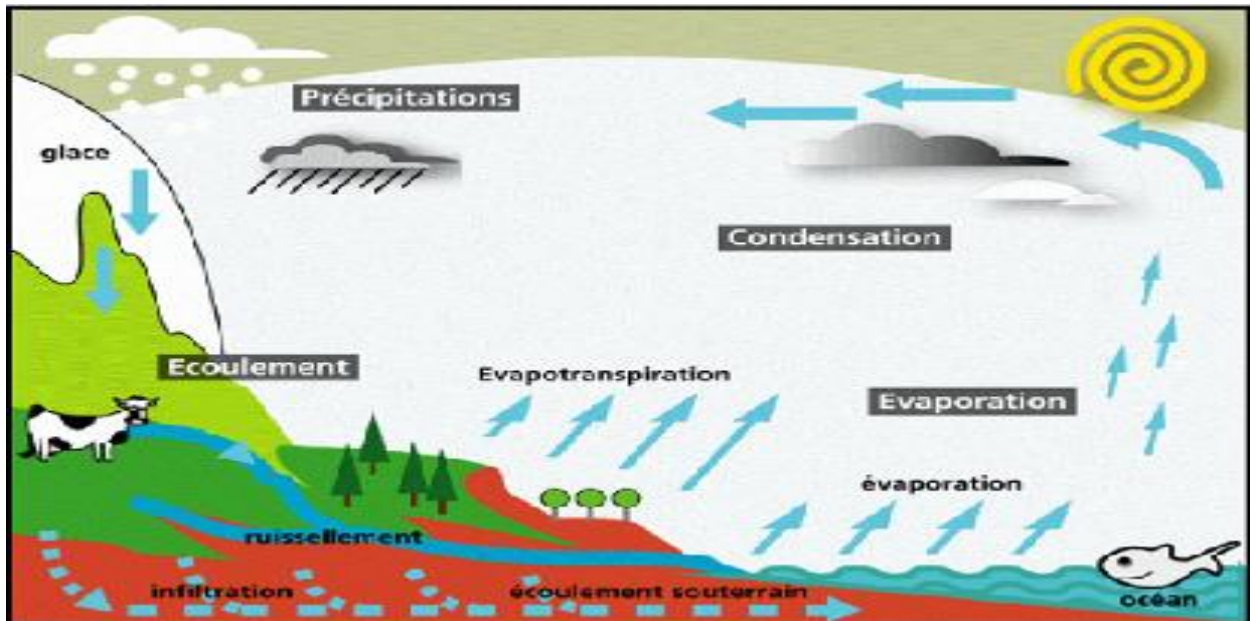
À cause de sa forte concentration en sels, l'eau de mer n'est pas potable et nécessite une importante désalinisation [10].

**I.4.Cycle de l'eau :**

La masse d'eau totale de l'hydrosphère n'évolue pas au cours des années, elle reste toujours constante : l'eau s'évapore, forme la vapeur d'eau qui, en se transformant en pluie, va alimenter les mers, les cours d'eau et les nappes souterraines.

L'eau change d'état au cours de son cycle, passant de l'état gazeux à l'état liquide ou à l'état solide. Cependant, sa quantité globale est restée inchangée depuis trois milliards d'années, date de son apparition sur terre.

On peut appliquer au cycle de l'eau la fameuse phrase de Lavoisier : { rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme } [11].



**Figure I.1: Représentation schématique du cycle hydrologique global [12]**

### I.5. La répartition de l'eau dans la planète :

Dans l'optique de son utilisation par l'homme, les aspects quantitatifs et qualitatifs de l'eau sont étroitement liés :

- 97% de l'eau se trouve dans l'océan..., mais elle est salée ;
  - L'atmosphère, qui retient seulement un cent millième de l'eau douce, joue cependant un rôle clé dans le cycle hydrologique par le recyclage rapide qu'elle assure ;
  - Les calottes polaires, notamment celle de l'antarctique, stockent les trois quarts de l'eau douce de la planète, cette réserve étant malheureusement inaccessible ;
  - L'eau que nous utilisons provient principalement des lacs et des cours d'eau, soit 3% du réservoir d'eau douce ;
  - Les nappes souterraines constituent un lieu important de stockage, probablement sous-estimé. Leur exploitation, déjà entamée, présente les mêmes risques que celle des énergies fossiles, car les réserves ne se renouvellent pas à l'échelle humaine. Elles peuvent, en outre, devenir inutilisables soit par suite d'intrusion saline (exemple de la nappe éocène en aquitaine) soit par suite d'une pollution (cas des nitrates par exemple).
- [13]
- Les eaux sont réparties sur le globe de la façon présentée au tableau ci dessous :

**Tableau I.2. Répartition des eaux sur le globe [14].**

Provenance de l'eau	Quantité (%)
Eau douce de lacs	0.009
Eau de rivières	0.0001
Eau souterraine (près de la surface)	0.005
Eau souterraine (en profondeur)	0.61
Eau dans les glaciers et les calottes glaciaires	2.15
Eau salée de lacs ou de mers intérieures	0.008
Eau dans l'atmosphère	0.0001
Eau des océans	97.2

**I.6. Classification des eaux :**

Lorsqu' on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au **tableau (I.3)**.

Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 à 10000 mg/L de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration (traitement biologique) contient environ 750 mg/L de matières dissoutes [15].

**Tableau I.3 : classification des eaux selon la salinité [15]**

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

**I.7. Les différents états de l'eau :**

La structure de l'eau dépend de son état physique, Sur notre planète, l'eau H<sub>2</sub>O est très abondante :

Elle est présente sous les trois états

- **Liquide** : l'eau salée des mers et des océans, ou l'eau douce des lacs, rivières ... ;

- **Solide** : le neige ou la glace ;
- **Gazeux** : la vapeur d'eau [16].

Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère

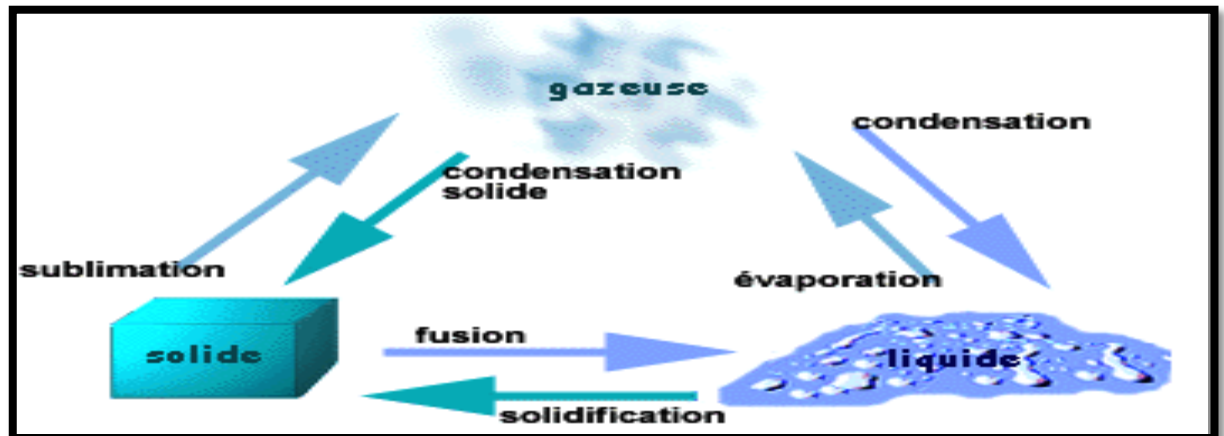


Figure I.2. : Les phases de l'eau [17].

### I.8.Eau potable :

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément ce qu'est une eau potable, des normes ont été établies pour fixer notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau [18].

Les standards de référence dans ce domaine diffèrent selon les époques et les pays (et selon l'autorité en charge de cette définition dans certains pays). Le concept de « **potabilité** » varie à travers le monde, fruit d'un contexte historique, scientifique et culturel local. Il détermine la question de l'accès à l'eau, puisqu'une eau de bonne qualité est essentielle au développement économique et humain [19].

#### I.8.1.Qualité :

##### I.8.1.a) Qualité physique et chimique :

Une eau de consommation ne doit être ni trouble, ni colorée. Cependant à part les eaux souterraines et celles de certaines sources, la couleur et la turbidité sont des conditions qu'on trouve généralement dans l'eau brute et qui ne peuvent être modifiées que par traitement. Le consommateur exige ainsi que l'eau n'ait ni goût ni odeur pouvant être décelées. Ceux-ci sont



due à la présence de certaines substances chimiques ; leur correction entre dans le domaine du traitement [20].

#### I.8.1.b) Qualité bactériologique :

L'eau contaminée par les excréta est susceptible de transmettre des maladies gastro-intestinales. La qualité bactériologique se mesure donc par la présence, d'organismes indicateurs de pollution, vivant normalement dans l'intestin. Ce sont le groupe des coliformes totaux, les coliformes thermotolérants, les entérocoques [20].

#### I.8.2. Contrôle de la qualité des eaux :

A tous les stades de la production, de l'adduction et de la distribution, la qualité de l'eau fait l'objet de nombreux contrôles :

- Physico-chimique.
- Bactériologique.
- Biologique [21].

#### I.8.3. Paramètres de qualité des eaux :

- Des paramètres organoleptiques : ceux qu'on perçoit par les sens : le goût, l'odeur, la couleur et la transparence
- Des paramètres physico-chimiques : le pH, la dureté, l'oxygène dissous, les minéraux, etc...
- Des paramètres concernant des substances indésirables : nitrates, nitrites, matières en suspension...
- Des paramètres concernant des substances toxiques : métaux lourds, pesticides...
- Des paramètres microbiologiques : bactéries, coliformes, streptocoques..[22]

**I.8.3.1. Paramètres organoleptiques :****➤ 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 NTU [23].

**➤ Turbidité :**

La turbidité traduit la présence de matières étrangères en suspension dans l'eau et éveille la méfiance et la répugnance du consommateur. En outre, elle nuit au taux de filtration et risque de diminuer l'efficacité de la désinfection, le contact entre les germes pathogènes et l'agent désinfectant étant défavorisé. L'un des buts primordiaux du traitement est de réduire la turbidité.

D'après les normes la turbidité maximale acceptable est de 5 NTU (car elle est alors perceptible) et l'objectif est égal ou inférieur à 1 [24].

**➤ Goûts et Odeurs :**

- **Goûts :** Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation [25].
- **Odeurs :** Propriété organoleptique par l'organe olfactif en <<flairant>> certaines substances volatiles [26].

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur « non désagréable ». La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur [27].

**I.8.3.1.a) Paramètres affectant la qualité organoleptique :**

1. Ammonium : ( $\text{NH}_4$ )
2. Nitrates et Nitrites : ( $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ )
3. Matières organiques
4. Fer et manganèse
5. Phosphates

6. Gaz dissous
7. Sulfates: ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
8. Chlorures
9. Chlore : ( $\text{Cl}_2$ )
10. pH
11. Solvants chlorés
12. Phénols et dérivés
13. Hydrocarbures
14. Pesticides ou herbicides
15. Impuretés de nature biologique [28].

#### **I.8.3.2. Les paramètres microbiologiques :**

L'eau contaminée par les excréta est susceptible de transmettre des maladies gastro-intestinales. La qualité bactériologique se mesure donc par la présence d'organismes indicateurs de pollution, vivant normalement dans l'intestin. Ce sont le groupe des coliformes totaux, les coliformes thermotolérants, les Entérocoques [29].

Un grand nombre de micro-organismes peuvent proliférer dans l'eau, dans les aliments et dans le milieu naturel grâce aux conditions favorables que leur crée l'homme, l'eau sert d'habitat naturel ou un simple moyen de transport. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites, les champignons et les algues. La grande majorité de ces microorganismes nocifs, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables, diffusent dans l'environnement hydrique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales [30].

#### **I.8.4.Des seuils pour certain paramètre :**

- le pH :  
Doit être supérieur à 6.5 et inférieur à 9.
- Le TH :

Soit la dureté de l'eau, qui correspond à la mesure de la teneur d'une eau en ions calcium et magnésium, doit être supérieur à 15 degrés français. Autrement dit, une eau ne doit pas posséder moins de 60 mg/l de calcium ou 36 mg/l de magnésium, sinon elle sera jugée trop douce : pour ne pas corroder les canalisations, elle devra faire l'objet de minéralisation et/ou de neutralisation pour retrouver un équilibre calco-carbonique.

- La quantité de résidus secs, après déshydratation (dessiccation) à 180°C :

Doit être inférieure ou égale à 1500mg/l.

- La teneur en sulfate :

Doit être inférieure à 250 mg/l.

- la teneur en potassium :

Doit être inférieure à 12 mg/l

- la teneur en fluor :

Qui doit être inférieure à 1.5 mg/l

- les micropolluants tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium ainsi que certains hydrocarbures sont soumis à des normes très sévères à cause de leur toxicité : Leur teneur tolérée est de l'ordre du millionième du gramme [31].

#### **I.8.5. Les problèmes reliés à l'eau potable :**

Il y a plusieurs problèmes reliés à l'eau potable mais les plus connus sont la pollution et l'épuisement de l'eau potable [32].

##### **I.8.5.1. La pollution de l'eau potable :**

Il y a plusieurs formes de pollution d'eau potable:

- **Pollution industrielle :**

Où les industries libèrent une immense quantité de polluants comme des matières organiques, des métaux, des acides, des bases, des matières radioactives, etc [32].

- **Pollution agricole :**

Où les activités agricoles polluent les eaux (surtout à cause des insecticides, pesticides et autres produits chimiques qui seront absorbés par la terre et ensuite transmis dans l'eau) [32].

- **Pollution domestique :**

Par activités humaines, provenant des utilisations quotidiennes de l'être humain comme les eaux de toilettes, les bains, les vaisselles, les produits versés dans les égouts, etc [32].

**I.8.5.2. Infections transmises par l'eau :**

- **Choléra** : Il s'agit d'une pathologie transmise par *Vibrio Cholera*
- **Typhoïde** : due à *Salmonella enterica*
- **Dysenterie bacillaire** : due au *Shigella*.
- **Salmonelloses** : Comportent à peu près 2300 sérotypes différents [32].

**I.9. Propriétés de l'eau**

## I.9.1.a) Masse volumique:

La masse volumique de l'eau diminue avec la température et augmente un peu avec la pression. Une modélisation linéaire donne de bons résultats, dès lors qu'on ne se trouve pas au voisinage de la saturation [33].

**Tableau I.4 : Masse volumique de l'eau en fonction de sa température [34].**

T (°C)	Masse volumique (kg /m <sup>3</sup> )
0	999,87
4	1000,00
10	999,73
15	999,13
20	998,28
100	958,38

## I.9.1.b) Viscosité dynamique:

La viscosité dynamique de l'eau varie fortement dans la gamme de température 0 à 100 °C (plus d'un facteur 6). Toute modélisation ou essai doit tenir compte de ce phénomène comme par exemple les maquettes testées en analogie de Reynolds [33].

**I.9.2. Propriétés thermique :**

## I.9.2.a) Conductivité thermique:

La conductivité thermique augmente avec la température jusque vers 130 °C et diminue ensuite. Elle augmente avec la pression. Une interpolation linéaire sur des plages de température et pression d'une centaine de °C et de bar donne de bons résultats [33].

**I.9.3. Propriétés électriques :**

I.9.3.a) Constante diélectrique: La constante diélectrique de l'eau, de l'ordre de 80 farads stéradian par mètre, est l'une des plus élevées que l'on connaisse ; c'est pourquoi l'eau possède un pouvoir ionisant très important [35].

I.9.3.b) Conductivité électrique de l'eau: L'eau est légèrement conductrice. La conductivité de l'eau la plus pure que l'on ait obtenue est de 4,2 micros siemens par mètre à 20°C. Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et varie avec la température [36].

### **I.10. Conclusion :**

L'eau est la source de vie, elle est de toutes les matières la plus importante pour l'existence de l'homme, indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne.

Elle est non seulement nécessaire en quantité suffisante mais sa qualité est aussi un paramètre très important.

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

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pour ça, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée [37].

### II.1.Introduction :

Devant une crise d'eau certaine qui commence à se faire sentir à travers le monde, en plus des contraintes économiques pour un développement durable, des solutions appropriées nécessitent d'être élaborées afin de se préparer à faire face à ce défi qui menace même l'existence de l'homme. Notre pays qui dispose de ressources hydriques salines considérables et d'un gisement solaire tout aussi important, doit utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer, en les associant à des sources d'énergies renouvelables. Cette solution constitue un moyen assez fiable pour produire de l'eau potable. Il faut cependant signaler que ce moyen reste économiquement fiable seulement pour des unités de petites capacités allant de quelques m<sup>3</sup> à des dizaines (voire centaines) de m<sup>3</sup> d'eau potable par jour.

Pour de grandes capacités, l'association des procédés de dessalement avec les énergies renouvelables nécessitent des coûts d'investissement élevés et la fiabilité de tels systèmes n'est pas toujours assurée [8].

### II.2.Caractéristiques des eaux marines et saumâtres :

#### II.2.1.Les eaux marines :

La caractéristique la plus importante des eaux marines est leur salinité, C'est-à-dire leur teneur globale en sels. (Chlorures de sodium et de magnésium, sulfates et carbonates.)

Le sel de mer est un composé dont le nom complet en chimie est chlorure de Sodium. Il tend à se dissoudre dans l'eau jusqu'à une concentration de saturation variant de 33 à 37g/l [38].

**Tableau II.1 : la salinité moyenne des mers [39].**

Mer	La salinité moyenne (g.L <sup>-1</sup> )
mer Méditerranée	36 à 39
mer rouge	40
mer Caspienne	13
mer morte	270
Golfe Arabo-Persique	36 à 39

Le PH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4, l'eau de mer est un milieu légèrement basique [38].

**II.2.2. Les eaux saumâtres :**

On appelle eau saumâtre, une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissouts sont;  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCO}_3$  et  $\text{Na Cl}$  [38].

**II.3. Le dessalement :**

Le dessalement est une ressource alternative, complémentaire.

S'assurer que le recours au dessalement est plus compétitif que d'autres alternatives ; Le dessalement d'eau répond à des besoins spécifiques et identifiés.

Le dessalement d'eau est un des leviers de la stratégie nationale du secteur de l'eau, basée sur le principe de la gestion intégrée et durable des ressources en eau [40].

Le choix de la solution « dessalement » doit faire l'objet d'une comparaison technico-économique avec le transfert de l'eau douce ; Le dessalement permet :

- Le renforcement des ressources en eau
- L'amélioration de la qualité de l'eau distribuée [41].

**II.3.1. Schéma général d'une installation de dessalement :**

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 4 postes :

- Une prise d'eau de mer ;
- Un poste de prétraitement ;
- L'installation de dessalement proprement dite ;
- Un poste de traitement [42].

**II.3.1.a) Prise d'eau de mer :**

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une eau de la meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matières en suspension. Cette prise en compte de la qualité de l'eau est d'autant plus importante que le procédé de dessalement choisi sera l'osmose inverse [42].

**II.3.1.b) Un poste de prétraitement :**

- ❖ **Chloration** : Bloque la prolifération des organismes vivants. Evite l'obstruction des conduites.
- ❖ **Filtration** : Protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs.



- ❖ **Antitartre** : La distillation favorise précipitation du carbonate de calcium qui se dépose sur la paroi des échangeurs et réduit le transfert de chaleur [43].

### II.3.1.c) L'installation de dessalement proprement dite :

- ❖ Procédés de distillation : L'eau de mer chauffée produit de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pur obtenir de l'eau pure.
- ❖ Procédés membranaires : L'eau et les sels dissous sont séparés au moyen de membranes sélectives [43].

### II.3.1.d) Un poste de traitement :

Le post-traitement permet de potabilité l'eau en 2 étapes (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée).

- ❖ Correction de la corrosivité : le traitement consiste à ajouter du  $\text{Ca(OH)}_2$  ou du  $\text{CaCO}_3$ .
- ❖ Désinfection finale : bien que certain procédés (osmose inverse) retiennent tous les microorganismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine [43]

### II.3.2. Les différents procédés de dessalement :

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué, on distingue :

- ❖ Les procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse et l'électrodialyse.
- ❖ Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phase : la congélation et la distillation.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent [44].

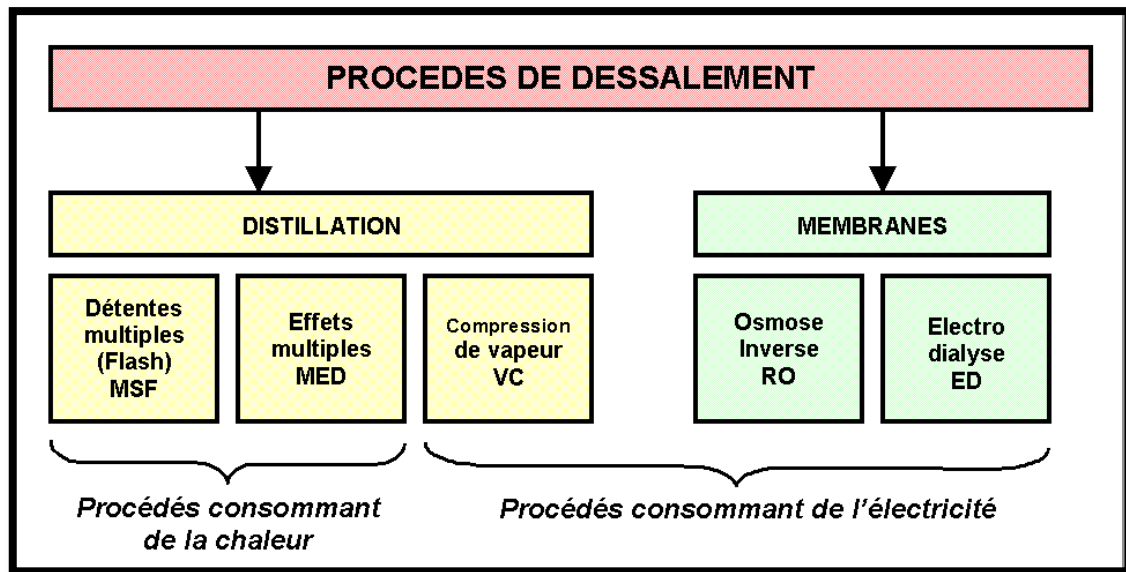


Figure II.1: Les différents procédés de dessalement [45].

### II.3.2.1. Les procédés de distillation :

Dans ces procédés, il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de la condenser pour obtenir de l'eau douce liquide, on retrouve le cycle naturel de l'eau. En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur de ce type de 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 vapeur à la même température, il faut environ 2250 kilojoules (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.

Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique, le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF) et le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effet Distillation MED) [44].

#### II.3.2.1.a) La Distillation multiples effets (Multi-Effect distillation MED) :

Ce procédé est basé sur l'évaporation d'une partie de l'eau de mer chauffée à une température de 70 à 80°. L'évaporation a lieu sur une surface d'échanges où une chaudière fait bouillir l'eau. La vapeur produite dans le premier bassin est condensée et s'évapore vers le tuyau qui passe vers le second bassin et va le réchauffer et faire évaporer l'eau du second bassin qui va

faire de même avec le troisième bassin. Les vapeurs contenues dans les tuyaux sont récupérées dans un autre bassin. Un tuyau amène continuellement de l'eau dans les bassins au fur et à mesure de l'évaporation. La saumure est évacuée vers l'extérieur. Cette technique est peu coûteuse car seul le premier bassin nécessite une source de chaleur extérieure pour faire évaporer l'eau [46].

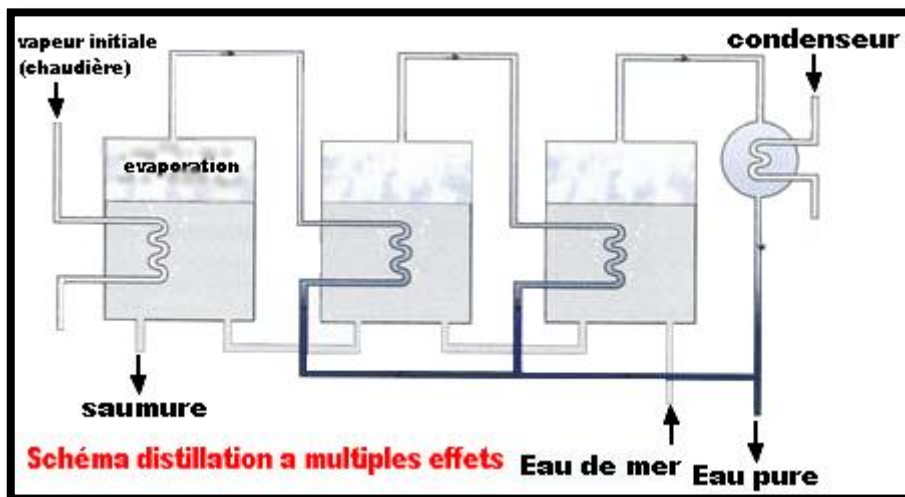


Figure II.2: schéma distillation a multiple effets [46].

### II.3.2.1.b) Le procédé à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation, MSF) :

Cette technique est quasiment identique à la précédente. Ce procédé a pour but de maintenir la pression durant la durée du chauffage. Une fois que la température est arrivée à  $120^{\circ}$ , elle est introduite dans un "étage" où la pression est faible. Instantanément, une vaporisation par détente a lieu, appelée flash. Une partie de l'eau s'évapore et va se placer dans les tubes condenseurs en haut de l'étage. L'eau de mer chaude se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Ce phénomène sera réutilisé dans le second étage où la pression est plus faible et ainsi de suite. Dans une unité MSF industrielle, on peut retrouver jusqu'à 40 étages. De même que pour la distillation multiples effets, le coût est réduit et seule la chaudière nécessite une énergie extérieure [46].

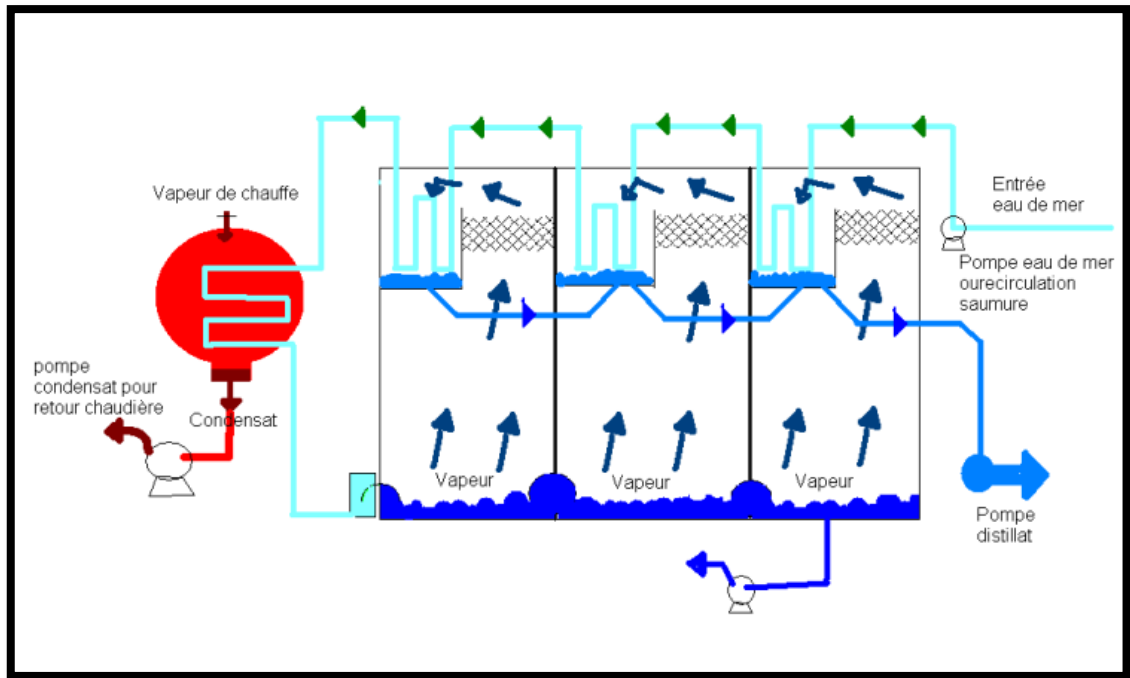


Figure II.3 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes Successives (MSF) à 3 étages [46].

### II.3.2.1.c) Distillation par compression de vapeur :

Lors de la distillation par compression de vapeur, 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. Ce procédé permet d'obtenir une production maximum 5 000 m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup> avec une salinité de 1 à 50 mg.L<sup>-1</sup> pour une consommation énergétique de 12 à 17 kWh.m<sup>-3</sup> d'eau produite [47].

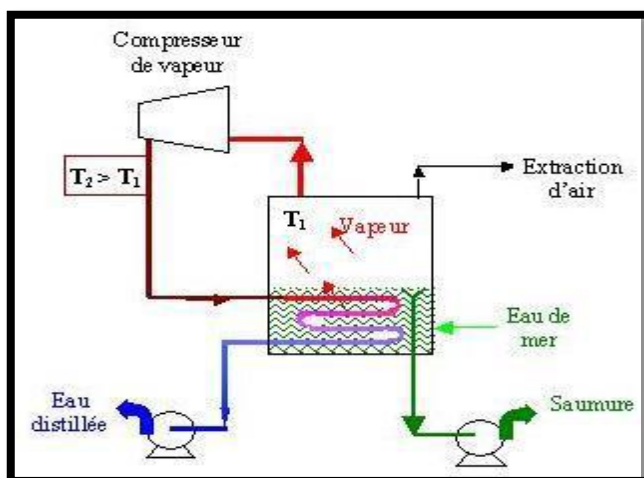


Figure II.4 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur [44].

### II.3.2.2. Les procédés membranaires :

#### II.3.2.2.a) Electrodialyse à membrane sélective :

L'électrodialyse est un procédé électro membranaire permettant la concentration et la déminéralisation de solutions contenant des espèces chargées. La force motrice est un gradient de potentiel appliqué entre deux électrodes. Entre ces électrodes, sont placées alternativement des membranes échangeuses d'anions et des membranes échangeuses de cations. Le champ électrique provoque un déplacement des ions présents dans l'eau. Ces ions se concentrent dans un compartiment (concentrât) tandis que l'autre est appauvri en sel.

En raison de sa consommation électrique, l'électrodialyse n'est compétitive (face à l'osmose inverse) et donc utilisée que pour le traitement des eaux saumâtres de concentration inférieure à 3 g.L<sup>-1</sup> [47].

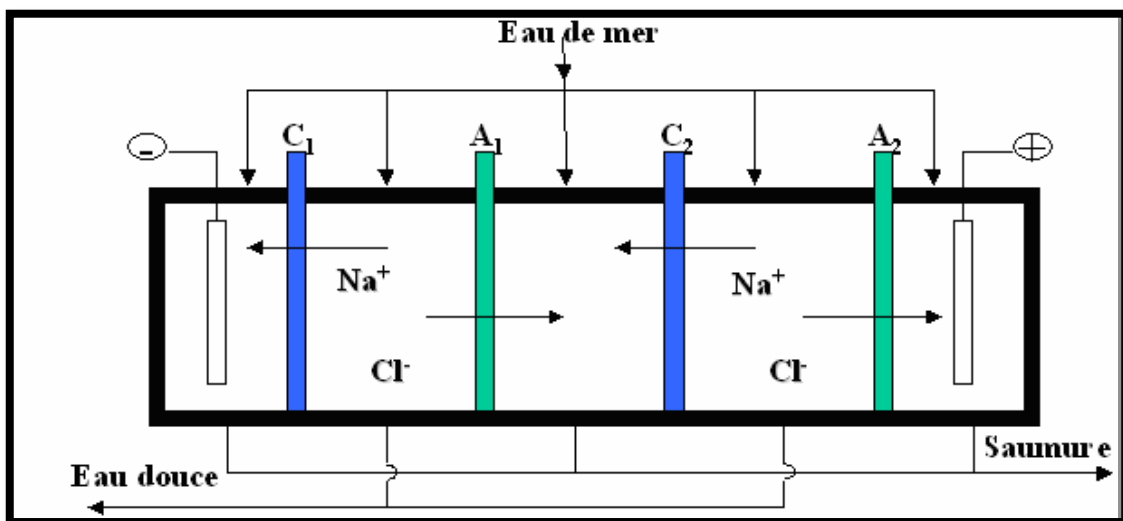


Figure II.5: Schéma De Principe d'une électrodialyse [48].

En fait, l'électrodialyse a été surtout envisagée jusqu'ici pour le dessalement d'eaux saumâtres, dont la salinité n'excède pas 1%, le procédé n'étant pas rentable pour des teneurs en sels supérieures, les membranes étant en effet très sensibles, la moindre impureté en solution ou en suspension peut les endommager. Pour prolonger la vie des membranes, il peut être nécessaire d'effectuer un pré traitement, parfois coûteux. L'électrodialyse n'est pas non plus pratiquée pour traiter les eaux à moins de 0.04% de sels. Malgré ces limitations, plusieurs petites usines de dessalement par électrodialyse sont exploitées dans le monde sur des bases commerciales [14].

❖ **Principe de fonctionnement:**

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes les ions  $\text{Na}^+$  sont attirés vers l'électrode négative et les ions  $\text{Cl}^-$  vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes; les ions  $\text{Na}^+$  peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et les ions  $\text{Cl}^-$  les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments. Voir figure [44].

**II.3.2.2.b) L'osmose inverse :**

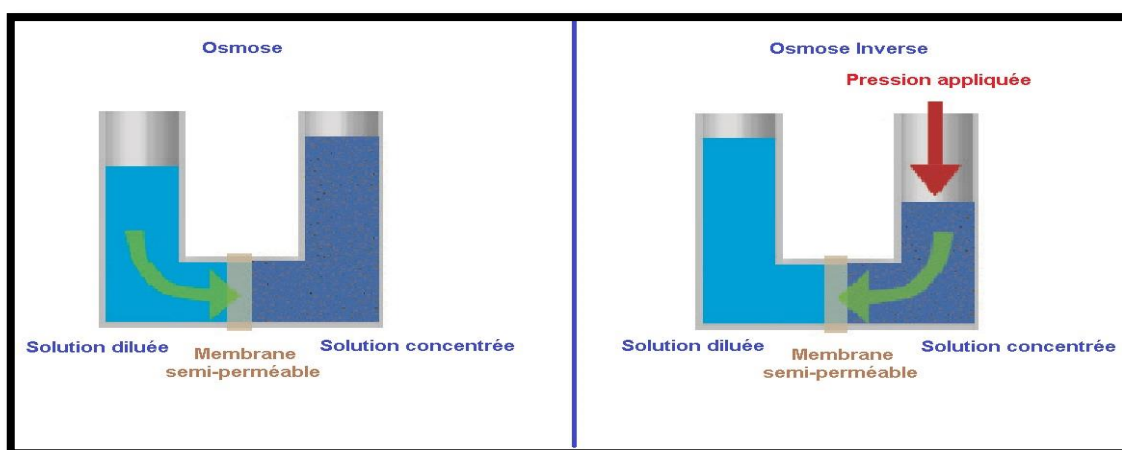
L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer l'eau et arrêtent tous les sels.

Cette technique est utilisée pour :

- ❖ Le dessalement des eaux de mer ;
- ❖ Le dessalement des eaux saumâtres ;
- ❖ La production d'eau ultra pure ;

Le phénomène d'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en solutés de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. Le phénomène d'osmose est un phénomène naturel courant, notamment à travers les membranes cellulaires.

La membrane semi-perméable laissera passer le solvant (le soluté ne passe pas) pour équilibrer la concentration. La différence de concentration crée une pression, appelée Pression osmotique. Pour inverser le passage du solvant et augmenter la différence de concentration, il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique [49].



**Figure II.6 : Principe de l'osmose et l'osmose inverse [50].**

**Tableau II.2 : avantage et inconvénients de l'osmose inverse [51].**

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

**II.3.2.3. Autres procédés :****II.3.2.3.a) La Congélation :****❖ Principe du dessalement par congélation :**

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce.

Les opérations unitaires d'un procédé de dessalement par congélation sont :

1. le prétraitement de l'eau de mer (élimination des solides en suspension, élimination des gaz dissouts pour les procédés sous vide),
2. la formation des cristaux de glace à partir de la solution saline (pour les procédés en suspension, des cristaux de grande taille sont souhaités pour faciliter le lavage),
3. le lavage et/ou ressuage des cristaux de glace (pour les procédés continus, lavage dans une colonne par environ 5% de l'eau produite),
4. la fusion des cristaux de glace [52].

**❖ Avantages et inconvénients :****• Les avantages:**

- 1) 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
- 2) il n'y a pas de problèmes d'entartrage car les sels restent dissous à faible température
- 3) l'eau douce obtenue est bien minéralisée et bien aérée ce qui constitue une excellente boisson.

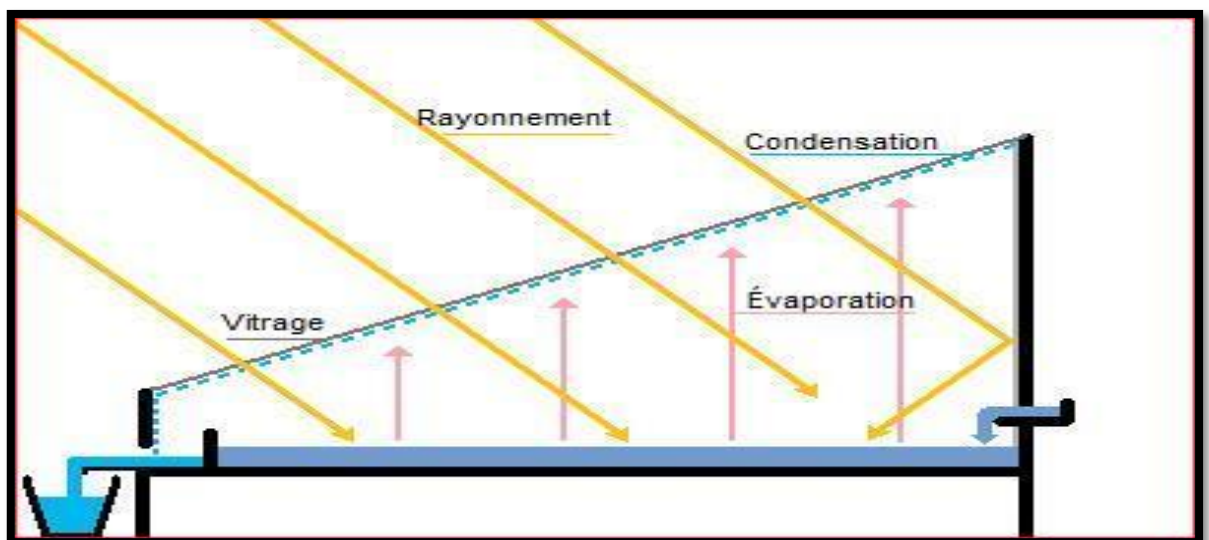
- **Les inconvénients:**

- 1) cette technique est généralement plus onéreuse que l'évaporation de l'eau : la chaleur nécessaire pour congeler de l'eau est plus coûteuse que celle utilisée pour son évaporation
- 2) il existe une difficulté majeure concernant la séparation des cristaux de glace et de la saumure qui nécessite des opérations complexes : il reste une couche limite de saumure collée aux cristaux [53].

### II.3.2.3.b) La distillation solaire à effet de serre :

Ce procédé consiste à chauffer l'eau directement par le rayonnement solaire dans une enceinte fermée recouverte de vitrage. La vapeur produite, qui se condense sur le vitrage plus froid et légèrement incliné, est recueillie sous forme de condensât dans des gouttières.

Le principe est très simple, fiable et ne nécessite aucun entretien. Mais son rendement est relativement faible, 5 litres/jour.m<sup>2</sup>



FigureII.7 : Système de distillation solaire [54].



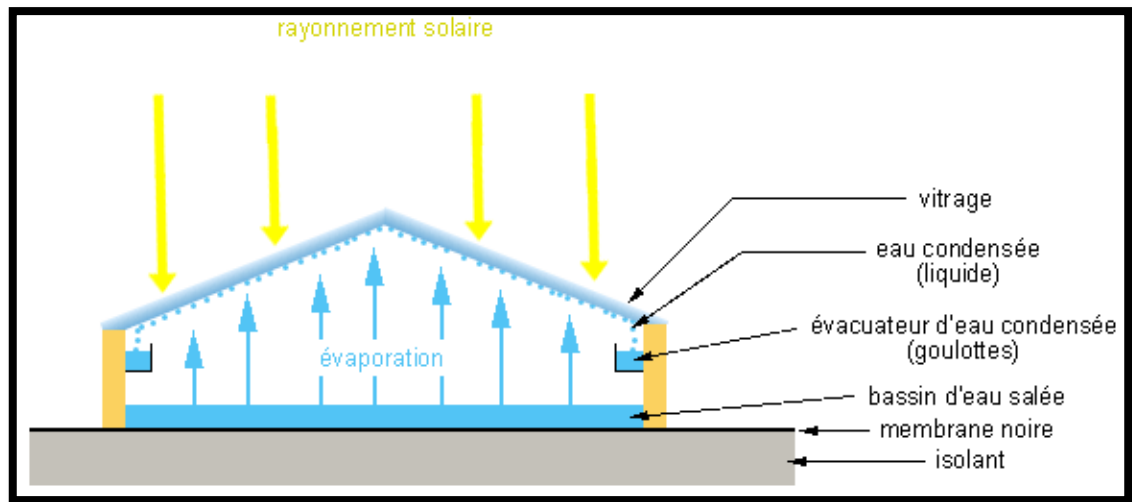


Figure II.8. Le distillateur solaire à l'énergie solaire [55]

### II.3.2.3.c) L'échange d'ions :

Les atomes et molécules électriquement chargés sont des ions. Le traitement connu sous le nom d'échange d'ions emploie des résines spéciales pour éliminer les contaminants minéraux tels que l'arsenic, le chrome, le calcium, le radium, l'uranium et des anions tels que les nitrates et les fluorures excédentaires de l'eau.

Ce traitement fonctionne au mieux dans une eau débarrassée des particules en suspension qui peuvent s'agglutiner sur la résine et limiter son efficacité [56].

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  $\text{CaCO}_3$  par gramme ou par litre d'échangeur. La capacité totale d'échange n'est en pratique jamais atteinte [57].

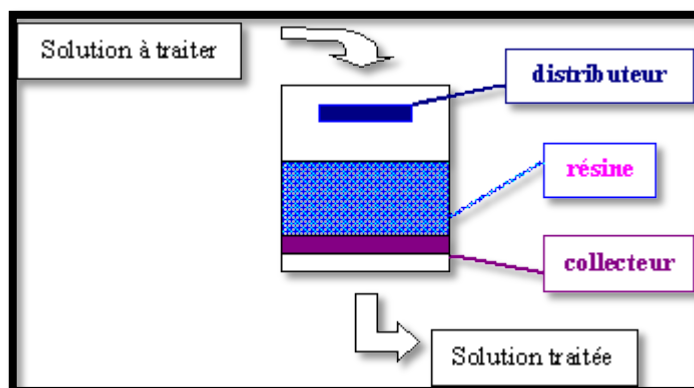


Figure II.9 : colonne échangeur d'ions [58].

Tableau II.3: Les différentes méthodes de dessalement [8].

La technique de dessalement	Caractéristiques de système de dessalement	Energie consommé (KWh/m <sup>3</sup> )
Osмосe Inverse	-une production faible : 500 à 5000 m <sup>3</sup> /jour - applique pour l'eau saumatre (une salinite inférieure à 10 g/l) - séparation des molécules organiques de 10 <sup>-7</sup> mm de taille Une qualite d'eau de salinite d'ordre de 0.5 g/l	4-5
Electrodialyse	- la quantite d'energie consommée dépend de la concentration de sel. -une quantite d'eau produit faible - eau saumâtre de salinité inférieure à 10g/l	5
Distillation par Dépression	eau très pure	2-3
Multi-Stage (Flash distillation MSF)	- grande capacité : supérieure à 5000 m <sup>3</sup> /jour - eau de mer de salinité supérieure à 30 g/l	15
Multi-Effect (distillation MED).	- grande capacité - eau de mer	15
Dessalement sous vide	-grande capacité - eau de mer	5
Dessalement par congélation	- grande capacité - eau de mer	5
Distillation solaire	2250 kj (si le changement d'état se fait à 100°C) - méthode très économique - rendement relativement faible : 4 à 5 l/m <sup>2</sup> .jour	Energie gratuit est Propre

**II.3.3. Les avantages et inconvénients de dessalement :**

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

- 1) 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.
- 2) D'autre part, l'irrigation à base d'eau dessalée est bénéfique pour l'environnement car elle permet une salinisation réduite du sol [59].

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

- 1) Besoins énergétiques importants ;
- 2) Rejet des saumures concentrées en mer ou injectées dans le sol ;
- 3) Emplois de produits chimiques pour nettoyer les membranes ;
- 4) Traces des métaux lourds échappés des installations ;
- 5) Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau
- 6) issue de ces traitements [60].
- 7) Un volume d'eau produite insuffisant comparé au volume d'eau de mer prélevé.
- 8) La dégradation de l'environnement marin due à l'extraction et au rejet d'eau avec une quantité de sels très élevés (rejet des concentrât) [61].

**II.3.4. 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 [62].

### III.1.Introduction:

Dans la nature, l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques. Mais le procédé industriel est qualifié d'«osmose inverse» car, à l'aide d'une forte pression  $P$  (supérieure à la pression osmotique), de l'ordre de 80 bars, on force l'eau salée à passer du compartiment le plus concentré en sel au compartiment d'eau douce. Comme les deux compartiments sont séparés par une membrane, le compartiment d'eau douce s'enrichit en fait en eau douce. Dans la réalité, si on avait laissé faire la nature, sans imposer ni membrane ni pression, l'eau douce se serait chargée en sel et l'eau salée se serait diluée [63].

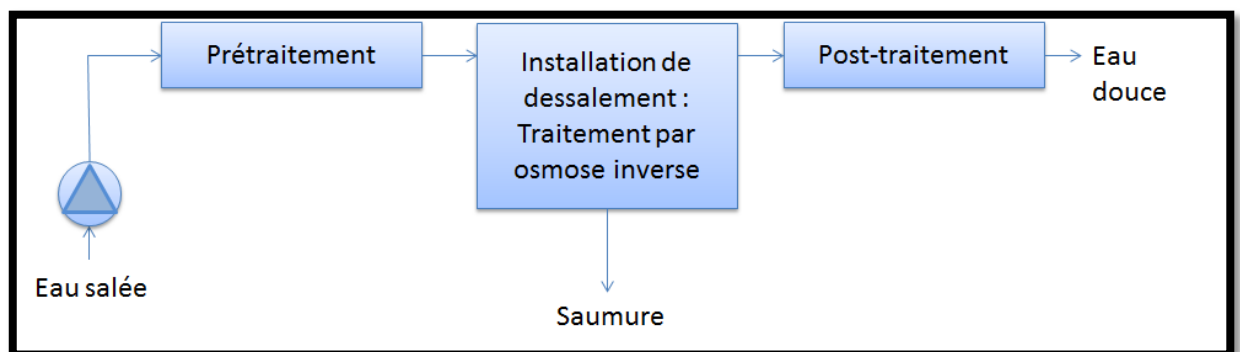
### III.2.Osmose inverse :

#### III.2.1.Définitions:

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression [64].

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

- une partie (débit  $Q_p$ ) passe à travers la membrane (perméat)
- une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat) [65].



**Figure III.1: Installation de dessalement par osmose inverse [66]**

#### III.2.2: Principes de l'osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane

semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler : cette pression est nommée la pression osmotique  $P$  (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse [67].

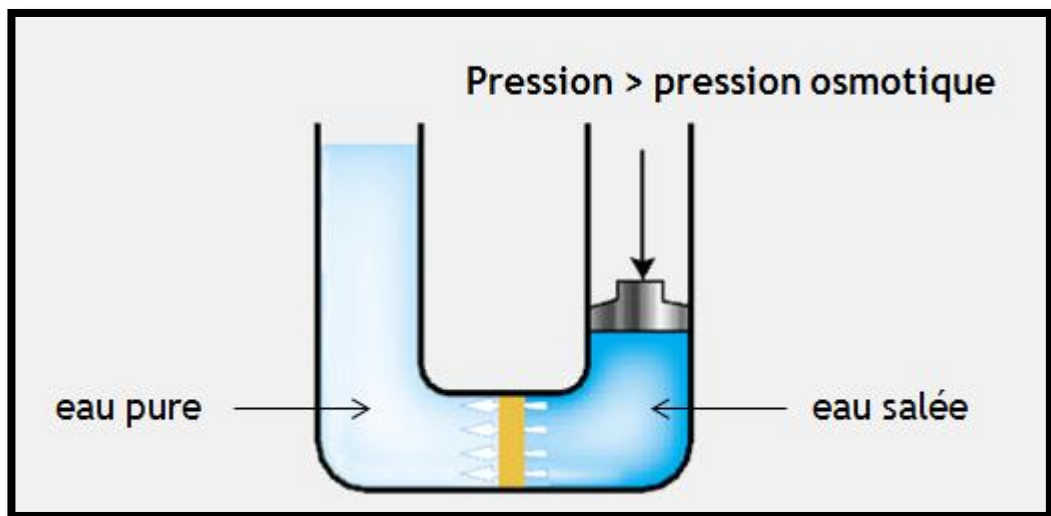


Figure III.2 : le principe d'osmose inverse [68]

### III.2.2.a) La pression osmotique :

Est donnée par la relation suivante:

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

$i$  : est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté.

$C$  : la concentration molaire du soluté ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

$T$  : la température (K).

$R$  : la constante des gaz parfaits ( $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

$\Pi$  : est exprimée en pascals [67].

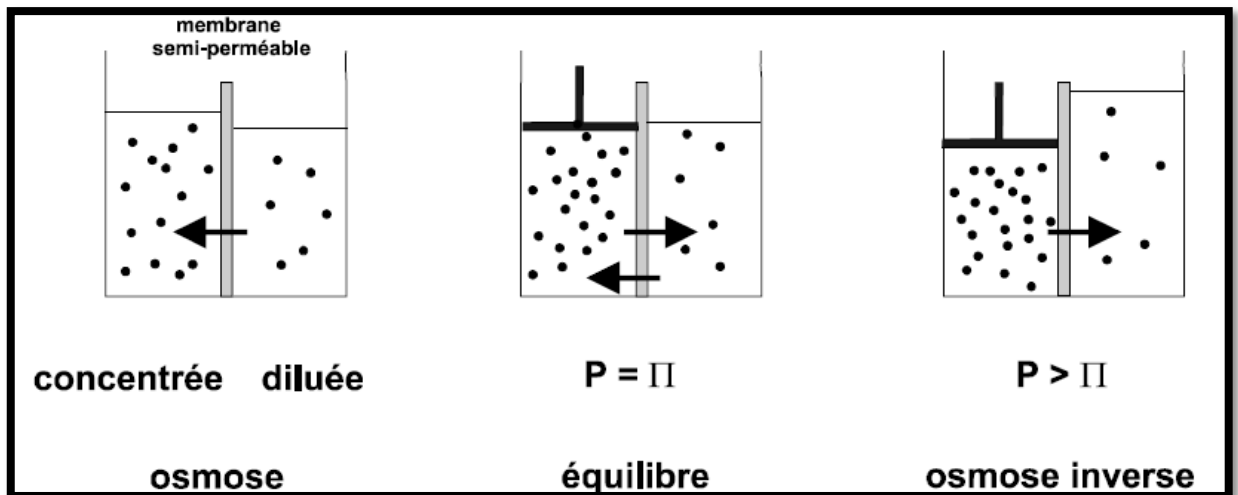


Figure III.3. : L'osmose et l'osmose inverse [46]

### III.2.2.b) La force ionique :

La force ionique, notée  $I$  (ou  $F_I$  de manière à la distinguer de l'intensité), est un des principaux facteurs influençant l'activité des ions en solution aqueuse. Elle s'exprime en  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  et est calculée de la manière suivante :

$$I = \frac{1}{2} \sum_i C_i z_i^2$$

Où  $C_i$  représente la concentration de l'ion  $i$  et  $z_i$  sa valence [19].

### III.3. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse :

#### ❖ Taux de conversion :

Le taux de conversion ( $Y$ ) est, par définition, la fraction du débit de liquide qui travers la membrane :

$$Y = Q_P / Q_0$$

$Q_P$ : débit de permeat\_

$Q_0$ : la solution à traiter [69].

**❖ Sélectivité :**

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

Le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (Na Cl), compte tenu du fait que la déminéralisation des eaux est l'application la plus importante de l'osmose inverse. On trouve ainsi couramment des membranes qui ont été développés soit pour le dessalement De l'eau de mer et qui ont un taux de rejet au Na Cl de 99% environ, soit pour le dessalement des eaux saumâtres et qui ont un taux de rejet au Na Cl de 96% et ceci pour des conditions opératoires déterminées (pression, température, taux de conversion...) [69].

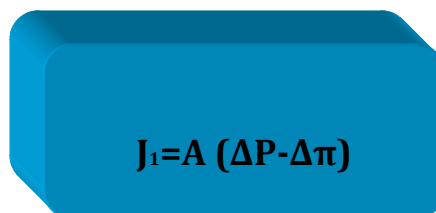
**❖ Débit spécifique ou densité du flux volumique :**

Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité par flux volumique) Doit être la plus élevé possible de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par là même investissement [69].

**❖ 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 comme à travers un solide ou un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression.

Les flux de solvant et de soluté à travers la membrane sont donnés par les deux relations suivant :


$$J_1 = A (\Delta P - \Delta \pi)$$

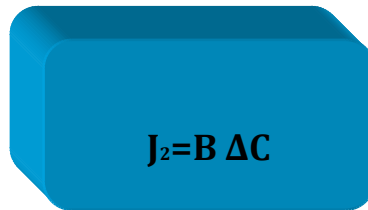
Avec :

**J<sub>1</sub>** (kg.m<sup>-2</sup>.S<sup>-1</sup>) : flux d'eau à travers la membrane,

**A** (kg .s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>) : 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,



$$J_2 = B \Delta C$$

Avec :

$J_2$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) : flux de sel à travers la membrane,

$B$  ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) : perméabilité de la membrane au sel,

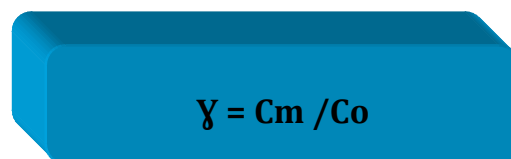
$\Delta C$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) : différence de concentration en sel de part et d'autre de la membrane [69].

### III.4. Phénomène de polarisation :

#### III.4.1. Nature du phénomène :

Les membranes utilisées ayant la propriété d'effectuer des séparations à l'échelle moléculaire, il va y avoir accumulation progressive des espèces arrêtées à la surface de la membrane. C'est le phénomène de polarisation de concentration.

Si on appelle  $C_m$  la concentration du soluté arrêté près de la membrane et  $C_o$  la concentration moyenne du soluté dans la solution, le facteur de polarisation est défini par la relation :



$$\gamma = C_m / C_o$$

La polarisation est un phénomène réversible qui disparaît si le vecteur de transfert est annulé [93]

#### III.4.2. Les conséquences :

##### III.4.2.a) Diminution du flux de perméat :

Une augmentation de la concentration près de la membrane va se traduire par une augmentation de la pression osmotique  $\pi$  de la solution et une diminution de la pression efficace ( $\Delta P - \Delta\pi$ ). Le flux de perméat étant directement proportionnel à la pression efficace,



va donc diminuer. On peut avoir aussi une diminution du flux à cause de la résistance supplémentaire à la filtration provenant des dépôts résultants d'une augmentation de la concentration [70].

#### **III.4.3.b) Diminution de la sélectivité :**

Une augmentation de la concentration près de la membrane se traduit par une augmentation de la concentration dans le perméat, le flux de sel étant proportionnel à la différence de concentration de part et d'autre de la membrane soit  $(C_m - C_p)$  et non  $(C_o - C_p)$  [93].

#### **III.4.3.c) Colmatage dû à des précipitations :**

Des phénomènes secondaires peuvent se produire lorsque la concentration  $C_m$  atteint la limite de solubilités des sels en peut alors avoir formation de «tarte» ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_3$  par exemple) [70].

### **III.5. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse:**

#### **III.5.1. Pompe haute pression :**

Avant d'entrer dans les membranes d'osmose inverse, l'eau de mer clarifiée est pressurisée au moyen de la pompe haute pression généralement entre 55 et 85 bars, en fonction de la température et de la salinité de l'eau [71].

#### **III.5.2. Système de récupération d'énergie :**

La perte de charge à travers les membranes d'OI est d'environ 1.5 à 2 bar, en fonction du nombre d'éléments par tube de pression, le concentrât sort donc à haute pression. Grâce au système de récupération d'énergie, il est possible de réutiliser l'énergie du concentrât. Le concentrât est dirigé vers le système de récupération d'énergie, où il transmet directement son énergie à une partie de l'eau d'alimentation.

Il existe deux principaux concepts de récupération d'énergie:

- ❖ Turbine à récupération d'énergie
- ❖ Echangeur de pression [71].

Tableau III.1: Présente le coût de chaque système de récupération d'énergie [71]

Système	Récupération d'énergie	Coût
Turbine à récupération d'énergie	30-40%	+
Echangeur de pression	50-60%	+++

### III.5.3. Modules d'Osмосe Inverse à spirales bobinées :

Les membranes OI les plus fréquemment utilisées en dessalement sont les "spiral wound Thin Film Composite". Elles consistent en des feuilles plates scellées telles des enveloppes et bobinées en spirales [71].

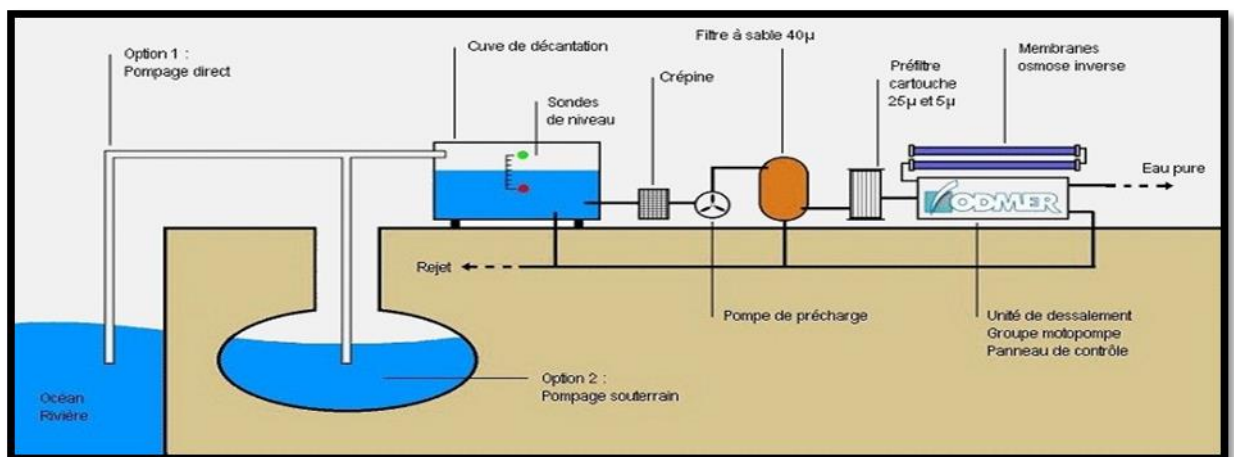


Figure III.4: Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse [68]

### III.6. Les membranes :

#### III.6.1. Définition :

Est une mince paroi permettant une séparation sélective d'espèces chimiques, ioniques, moléculaires ou biologiques : un « nano filtre ». Les pores d'une membrane sont de l'ordre de grandeur du nanomètre et varient de 1 à 100 suivant l'emploi que l'on destine à ces membranes [72].

Les membranes sont le plus souvent fabriquées :

- En acétate de cellulose ;
- ou en polymères de synthèse (polyamides, polysulfones) [72].

Elles peuvent être :

- **les membranes tubulaires** : En pratique, la désignation de membranes tubulaires est réservée aux plus gros tubes (diamètre intérieur supérieur à 6 mm) [74]

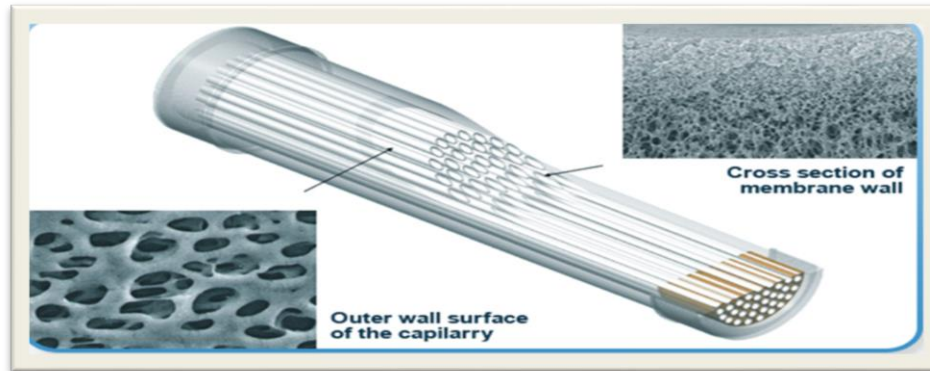


Figure III.5: Membranes tubulaires [73]

- **Les membranes Planes :**

Les membranes sous formes de plaque plate sont appelées membranes pillow-shaped. Ce nom provient du fait que lorsque deux membranes sont assemblées dans une unité on obtient une forme d'oreiller.

A l'intérieur du module, plusieurs "pillow" sont placés avec une certaine distance entre eux, qui dépend de la quantité de solide dissout dans l'eau. Lorsque le traitement est fait le perméat est collecté dans l'espace entre les membranes d'où il est emporté par des drains [74].

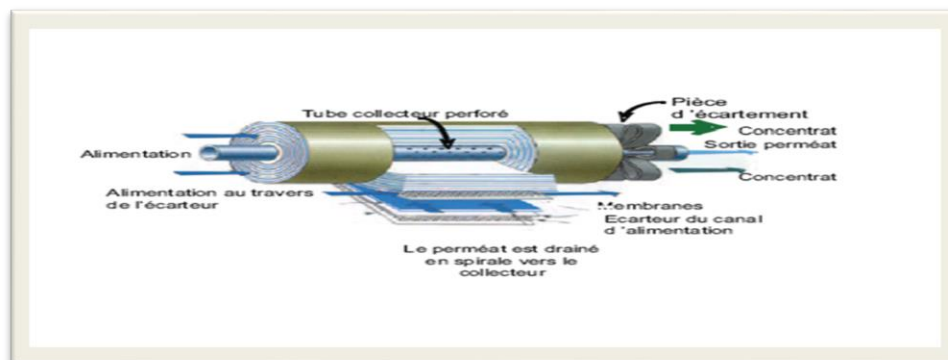
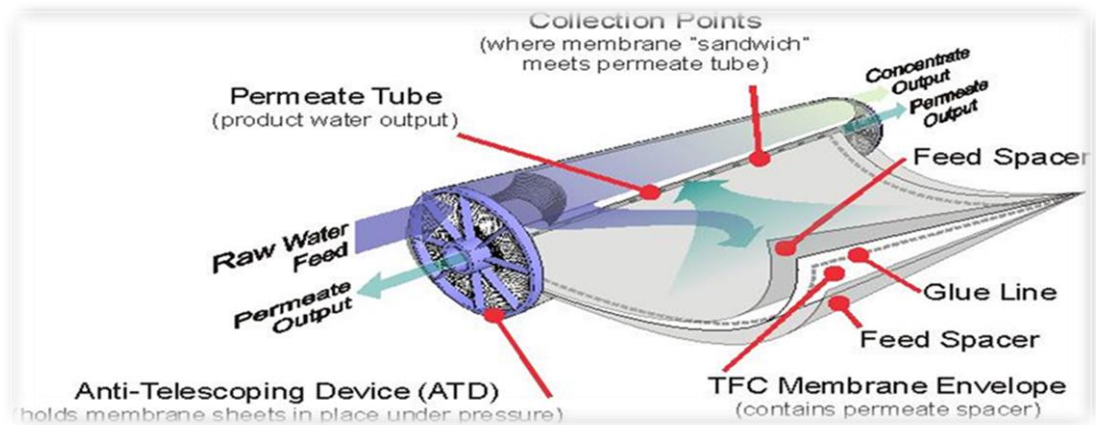


Figure III.6: Membranes planes [73]

- **Les membranes composites** : (*Thin Film Composite, TFC*)

Sont constituées d'une couche superficielle très mince (0,1 à 0,5  $\mu\text{m}$  d'épaisseur) de très fine porosité et d'une sous-couche plus épaisse de porosité beaucoup plus large. La

séparation a lieu dans la couche superficielle tandis que la sous-couche confère une résistance mécanique à la membrane. Les deux couches peuvent être faites de différents matériaux comme c'est le cas pour les membranes composites [74].



FigureIII.7: Les membranes composites [73]

### III.7. Les caractéristiques des membranes :

Les membranes sont caractérisées par :

- qualités de stabilité chimique (pH, oxydants, dichlore ...),
- stabilité thermique (important facteur pour les utilisations biologiques où il y a stérilisation en autoclave),
- de stabilité microbiologique : (Dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose)
- de résistance mécanique [75].

### III.8. Types de membranes :

**III.8.1) les membranes semi-perméables :** qui sont perméables à l'eau et à certains solutés mais imperméables à la très grande majorité des produits habituellement dissous dans l'eau, en particulier les molécules de la chimie organique. Ce sont les membranes utilisées en osmose inverse [76].

**III.8.2) les membranes microporeuses :** qui agissent comme un tamis ou une passoire. Elles retiennent les particules de taille supérieure à celle de leurs pores. Ces nanomembranes sont perforées à l'aide d'un bombardement d'électrons. La taille des trous et les caractéristiques

électrostatiques des polymères qui les composent permettent de contrôler la filtration de nombreux polluants [76].

### III.9. Classification des membranes :

Sont généralement classés suivant 4 catégories

#### Microfiltration(MF) :

Met en œuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$ [77]



Figure III.8 : Microfiltration(MF) [73]

#### Ultrafiltration(UF) :

Utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm [77]

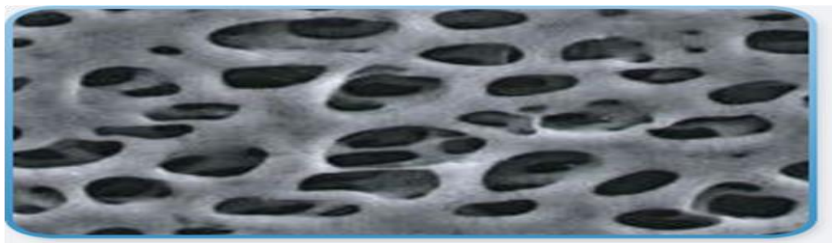


Figure III.9 : Ultrafiltration(UF) [73]

#### Nano filtration(NF)

Les membranes utilisées ont un seuil de coupure, variant de 1 à 5 nm mettant en perméation les ions monovalents et molécules de diamètre équivalent [77]

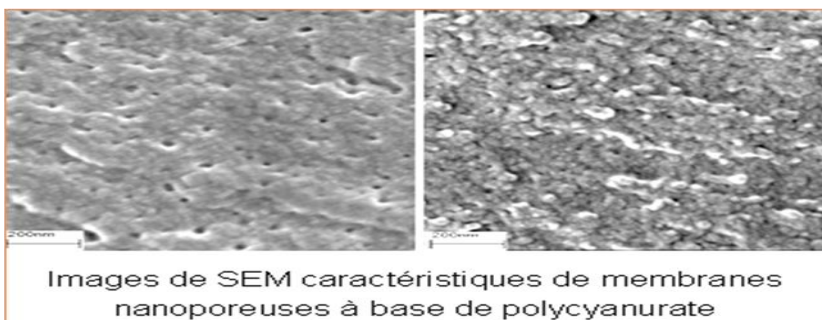


Figure III.10 : Nano filtration(NF) [73]

Osmose inverse(OI) :



Figure III.11 : Osmose inverse(OI) [73]

Et voilà quelques propriétés des membranes sont présentées au tableau.

Tableau III.2 : Les ordres de grandeur des tailles des pores des membranes d'OI, de NF, d'UF et de MF

Propriété	MF	UF	NF	OI
Taille des pores (couche superficielle)	0,05 à quelques $\mu\text{m}$	quelques nm à 100 nm	$\sim 1$ nm	$< 1$ nm <sup>(a)</sup>
Perméabilité à l'eau déminéralisée à 25°C ( $\text{m s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ )	$10^{-8}$ à $10^{-9}$	$10^{-9}$ à $10^{-10}$	$\sim 10^{-11}$	$10^{-11}$ à $10^{-12}$

<sup>(a)</sup> La notion de pores dans le domaine de l'OI est difficile à définir, ce qui explique pourquoi certains auteurs considèrent ces membranes comme non poreuses.

### III.10.Mise en œuvre des membranes

#### III.10.1.Modes de filtration

**III.10.1.a) Filtration frontale** : crée un dépôt de produit sur la surface membranaire qui peut endommager le produit [73].

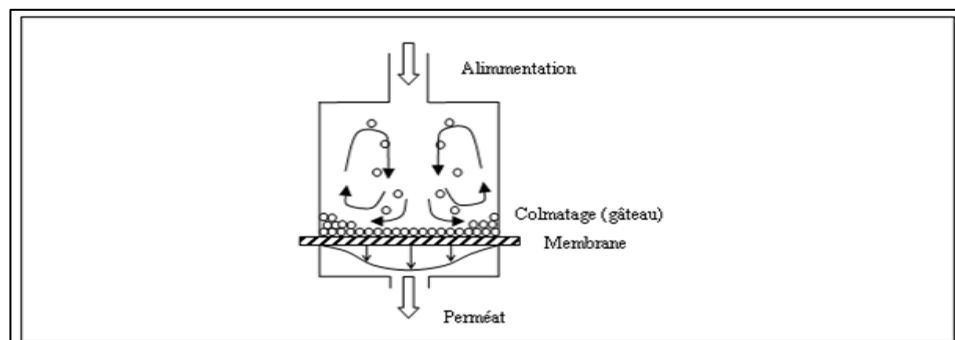


Figure III.12: Cellule de Filtration Frontale [73]

### III.10.1.b) Filtration tangentielle :

La Filtration à Flux Tangentiel implique une nouvelle circulation du rétentat au travers de la surface membranaire. Ce doux flux tangentiel agit pour réduire l'encrassement de la membrane, maintenir un haut taux de filtration et fournir de meilleurs rendements des produits recherchés à partir des échantillons introduits dans la solution [73]

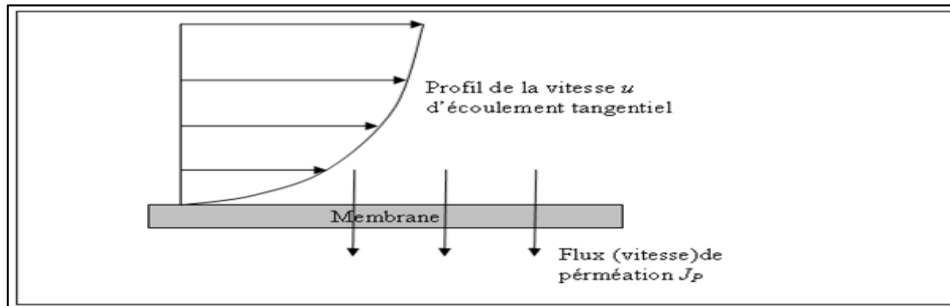


Figure III.13: Écoulement tangentiel [73]

### III.11. Les modules :

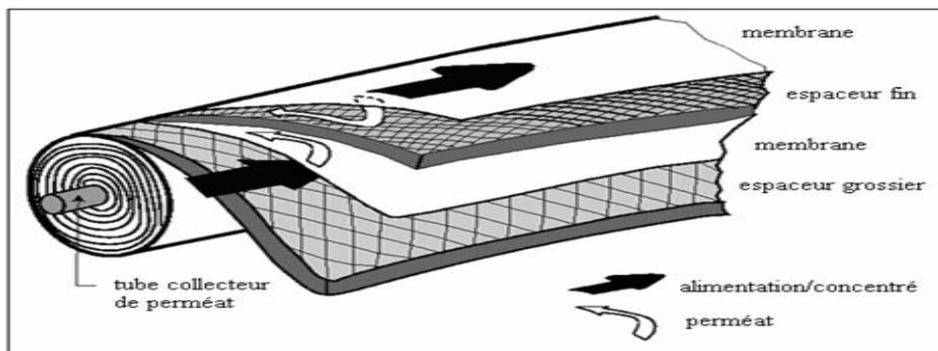
Pour être mises en œuvre les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules.



Figure III.14: exemple des modules [73]

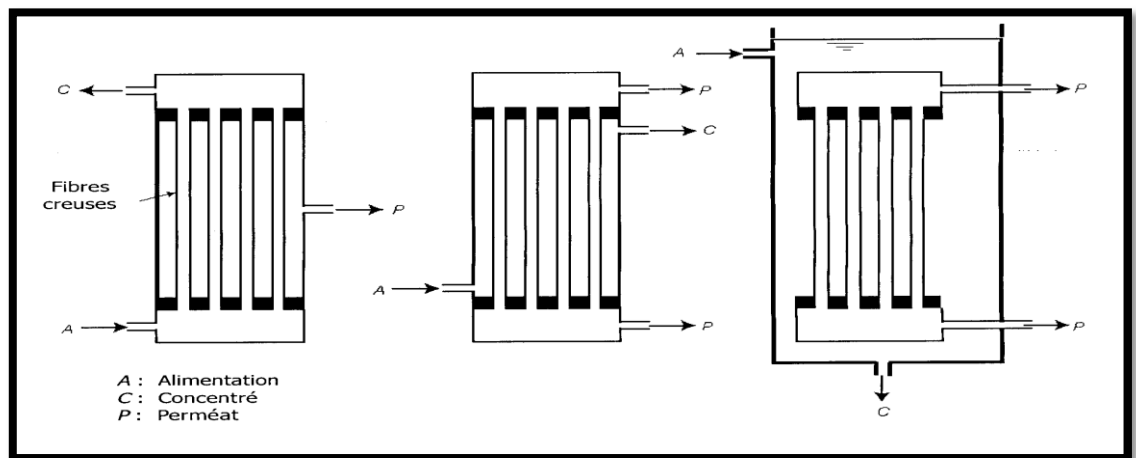
Les deux types de modules les plus fréquemment utilisés dans le domaine de la production d'eau potable sont les modules à fibres creuses et les modules spiralés [78]

**III.11.a) module spirale:** une membrane plane est enroulée autour d'un tube creux collecteur de perméat [78].



**Figure III.15: module spirale [73]**

**III.11.b) module à fibres creuses :** peuvent être considérés comme des modules tubulaires composés de tube petit diamètre compris entre quelques millimètres et quelques dizaines de microns. Mais à la différence des modules tubulaires qui sont constitués d'une membrane et d'un support inerte, les fibres creuses jouent à la fois le rôle d'une membrane et de support [78]



**Figure III.16 : Modules à fibres creuse [73]**

**III.12. Mécanismes généraux des traitements par osmose inverse :**

**III.12.1. Le choix de membrane :**

**III.12.1.a) Qualités :**

La membrane devra :

- avoir un haut pouvoir de rétention des sels tout en permettant un flux d'eau le plus grand possible avec une pression d'utilisation la plus faible possible.



- Être compatible chimiquement avec les sels dissous présents dans les eaux à traiter.
- posséder une bonne résistance à la compaction [79].

#### **III.12.1.b) Matériaux utilise:**

L'ensemble des qualités qui sont demandées aux membranes nécessite l'utilisation de matériaux adaptés, afin de résister aux contraintes qu'impose l'utilisation industrielle de l'osmose inverse [79].

Les matériaux utilisés pour leur conception sont actuellement les suivants :

##### **❖ L'acétate de cellulose :**

Ces membranes acceptent des pH allant de 4 à 7. Elles peuvent être dégradées biologiquement et résistent à une eau chlorée [79].

##### **❖ Les polyamides aromatiques :**

Elles autorisent des pH allant de 4 à 11. Le contact avec les oxydants forts doit être évité.

##### **❖ Les composites :**

Ce nom vient du fait que les deux couches constitutives de la membrane sont faites de matériaux différents. Ces membranes plus récentes sont caractérisées par une couche active très fine. (0.04 à 0.1 nm) Elles permettent ainsi le passage d'un flux plus important que les membranes précédentes et autorisent une large gamme de pH (de 2 à 11) [79].

### **III.13. Les paramètres qui influe sur la performance :**

#### **III.13.1. Facteur physique :**

##### **❖ La température**

Nous avons déjà vu que le débit s'accroît avec la température.

Dans la pratique, la température maximale acceptable est entre 40 et 50°C [79].

##### **❖ Les matières en suspension dans l'eau à traiter**

Les membranes perdent toute leur efficacité si le dépôt est trop important et empêche le passage de l'eau. Il faudra donc éliminer ces particules, dans le cas d'une eau très chargée, par l'utilisation de prétraitements (floculation, filtration...) [79].

#### **III.13.2. Facteurs chimiques :**

##### **❖ Le pH**

Il peut provoquer des hydrolyses dans ses valeurs extrêmes.

On maintient donc un pH entre 4 et 7, voire de 2 à 11 avec les membranes composites [79].

### ❖ La précipitation

Certains sels peu solubles tels les sulfates de calcium ou de baryum peuvent précipiter et boucher les pores de la membrane. Là encore, des prétraitements tels la décarbonatation, le désiliciage ou la désertisation peuvent être mis en œuvre avant le traitement par osmose inverse [79]

### III.14.Presentation d'une unité d'osmose inverse :

Le principe d'une unité de traitement est la juxtaposition de différents postes élémentaires, selon un ordre choisi suivant les contraintes et la qualité voulue.

Il existe deux montages principaux :

- ❖ Le montage en parallèle
- ❖ Le montage série-rejet [79].

#### III.14.1.Le montage en parallèle :

Ce montage est le plus simple. Tous les postes élémentaires opèrent dans les mêmes conditions (même pression, même eau en entrée) [73].

Le taux de conversion est suivi grâce aux deux manomètres branchés sur le rejet et sur la sortie d'eau traitée.

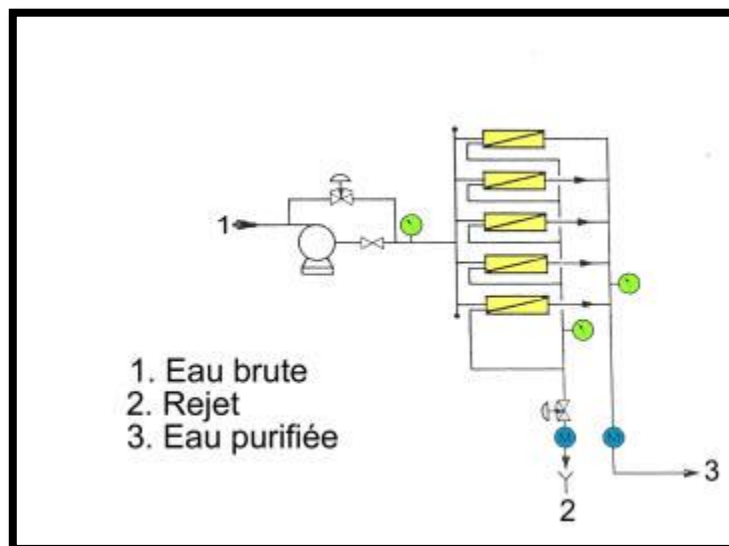
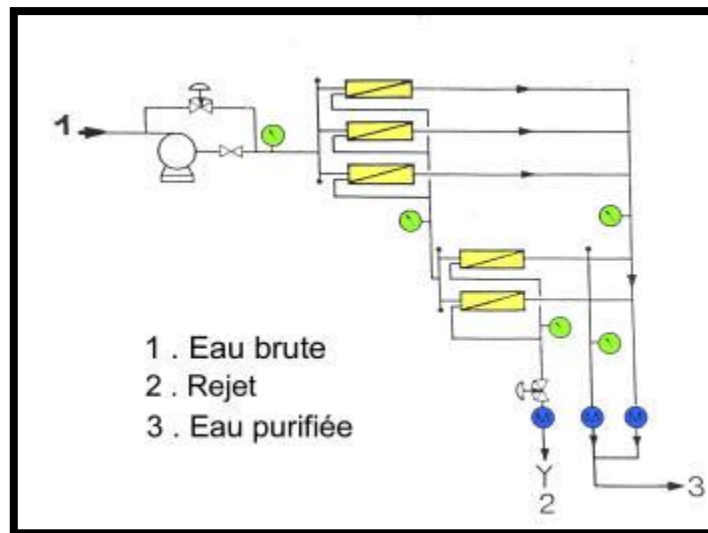


Figure III.17.montage en parallèle [79]

#### III.14.2.Le montage en série :

Ce modèle est utilisé pour augmenter le taux de conversion pour la production d'une eau de plus haute qualité [73].



**Figure III.18 : montage en série [79]**

Ce poste se compose de deux étages de modules élémentaires. La caractéristique est l'alimentation du deuxième étage par les rejets du premier étage. Ce processus a pour effet d'augmenter le taux de conversion qui peut atteindre 70 à 90% pour des séries de 2 ou 3 étages [79].

### **III.15.Fabrication, installation et procédé :**

L'osmose inverse est utilisée pour le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre.

Il s'agit du procédé nécessitant la plus basse mise de fond et les coûts d'opération les plus faibles puisque sa consommation d'énergie est plus basse, sa construction plus facile et le procédé plus simple que la distillation.

Tel que mentionné plus tôt c'est un procédé largement répandu qui est par le fait même bien connu, étudié et maîtrisé ce qui élimine une partie de l'incertitude liée à sa mise en place et son opération [80].

### **III.16.Enjeux techniques :**

#### **III.16.1.Le colmatage :**

Le principal problème rencontré lors de l'utilisation de l'osmose inverse c'est le **colmatage** des membranes : peut constituer un élément limitant important dans l'application des procédés membranaires à la production d'eau potable [80].

Il existe deux principales catégories de colmatage :

**III.16.1.a) le colmatage microbiologique** : des microorganismes peuvent s'attacher, croître à la surface des membranes et produire suffisamment le développement d'un biofilm à la surface des membranes [73].

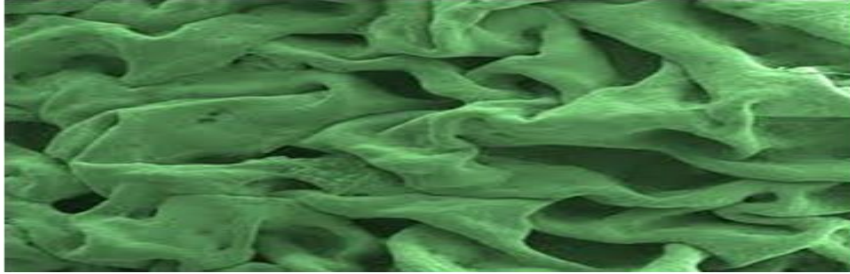


Figure III.19:biofilm [73]

**III.16.1.b) le colmatage abiotique** : par le dépôt de matière à l'intérieur des pores de la membrane et par le dépôt de matière à sa surface [73].

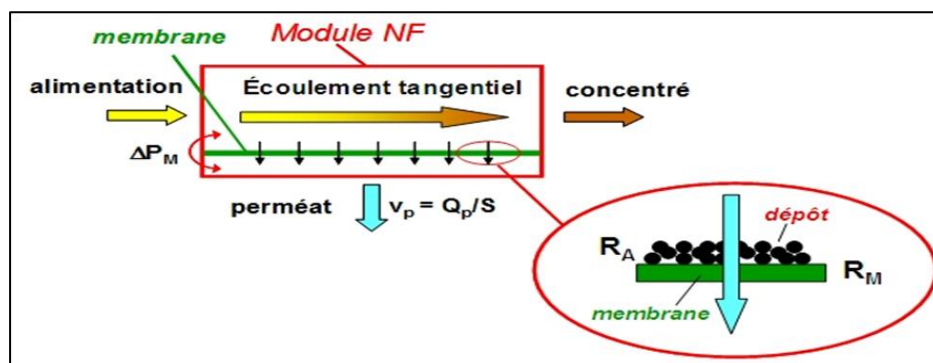


Figure III.20: Scénarios de colmatage d'une membrane [73]

### III.16.2.Prévention du colmatage :

Il existe plusieurs façons de prévenir le colmatage des membranes et l'obstruction des canaux d'écoulement tangentiels des modules membranaires :

- 1) préconiser est un enlèvement préalable des matières comatantes soit par une préfiltration soit par un traitement conventionnel. La préfiltration peut s'effectuer par une autre étape de filtration membranaire de porosité plus grossière. Par exemple, il serait possible d'utiliser une étape de MF comme prétraitement à la NF. Pour les modules spiralés de NF et d'OI, le seuil de coupure de la préfiltration varie généralement de 1 à 25 $\mu$ m.

- 2) la deuxième solution, une manière simple mais qui peut s'avérer coûteuse de prévenir le colmatage irréversible des membranes est d'effectuer de fréquents nettoyages [73].

### III.17. Caractérisation du procédé d'osmose inverse

L'osmose inverse présente les avantages suivants par rapport à la distillation:

- ❖ faible consommation énergétique,
- ❖ coût d'investissement plus faible,
- ❖ gamme étendue de capacités allant jusqu'à la production de plus de 100 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour,
- ❖ salinité de l'eau produite qui convient bien aux usages domestiques [80].

### III.18. Conclusion :

Comme pour les autres technologies de dessalement, (le rejet d'eau) et (la consommation d'énergie) constituent les principaux impacts environnementaux. La nature de l'eau rejetée varie selon l'étape de traitement correspondant à sa provenance. Ainsi, l'eau rejetée suite au prétraitement lors du nettoyage des unités de filtration a une haute teneur de matières en suspension biologique, organique et minérale tandis que l'eau de rinçage du procédé a une salinité et une acidité plus grande et que l'eau provenant du nettoyage des membranes est alcaline ou acide avec une grande charge de matières en suspension. C'est sans compter les rejets d'eaux saumâtres suite au dessalement qui ont elles aussi une très grande salinité comparée au milieu récepteur.

De plus, les usines d'osmose inverse utilisent (des pompes à haute pression et des turbines) qui sont bruyantes et qui contribuent à la pollution sonore.

D'un autre point de vue, (les membranes de filtration ont une durée de vie limitée) et il faut prendre en considération que celles-ci deviennent des déchets à la fin de leur vie utile [47].

**IV.1. Dispositif expérimental :**

Cette étude expérimentale qui consiste à mettre en évidence l'efficacité d'une membrane mince de type spiralé pour le dessalement des eaux saumâtres a été menée sur un pilote TE 200 existant dans le laboratoire de traitement des eaux de la faculté de technologie université de Tlemcen, Le pilote TE 200 utilisé pour cette étude expérimentale est un appareil qui consiste en un bac d'alimentation doté de membrane semi- perméable et en un système de pompage destiné à assurer la pression requise. Les essais ont été réalisés sur des échantillons d'eaux saumâtres préparés par la dissolution de sel avec l'eau de robinet et dissolution de NaCl avec l'eau distillé.

**Objectif 1 :**

- L'utilisation du pilote doit montrer le fonctionnement d'un module d'osmose inverse.
- Les expérimentations vérifient la performance de la membrane pour divers débits et diverses Pressions.

**Objectif 2:**

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

- Etude du procédé d'osmose inverse pour une solution de Na Cl.
- Eude sur l'effet de la force ionique sur le procédé d'osmose inverse pour une eau de robinet avec sel et l'eau distillée Na Cl.

**IV.2. Présentation du pilote TE200 :**

Le rôle principale de pilot TE 200 dessaler des solutions peu concentrées en Na Cl ou dessaler les eaux saumâtres [81]

**IV.2.1. Description du pilot :**

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

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

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

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

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

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

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

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

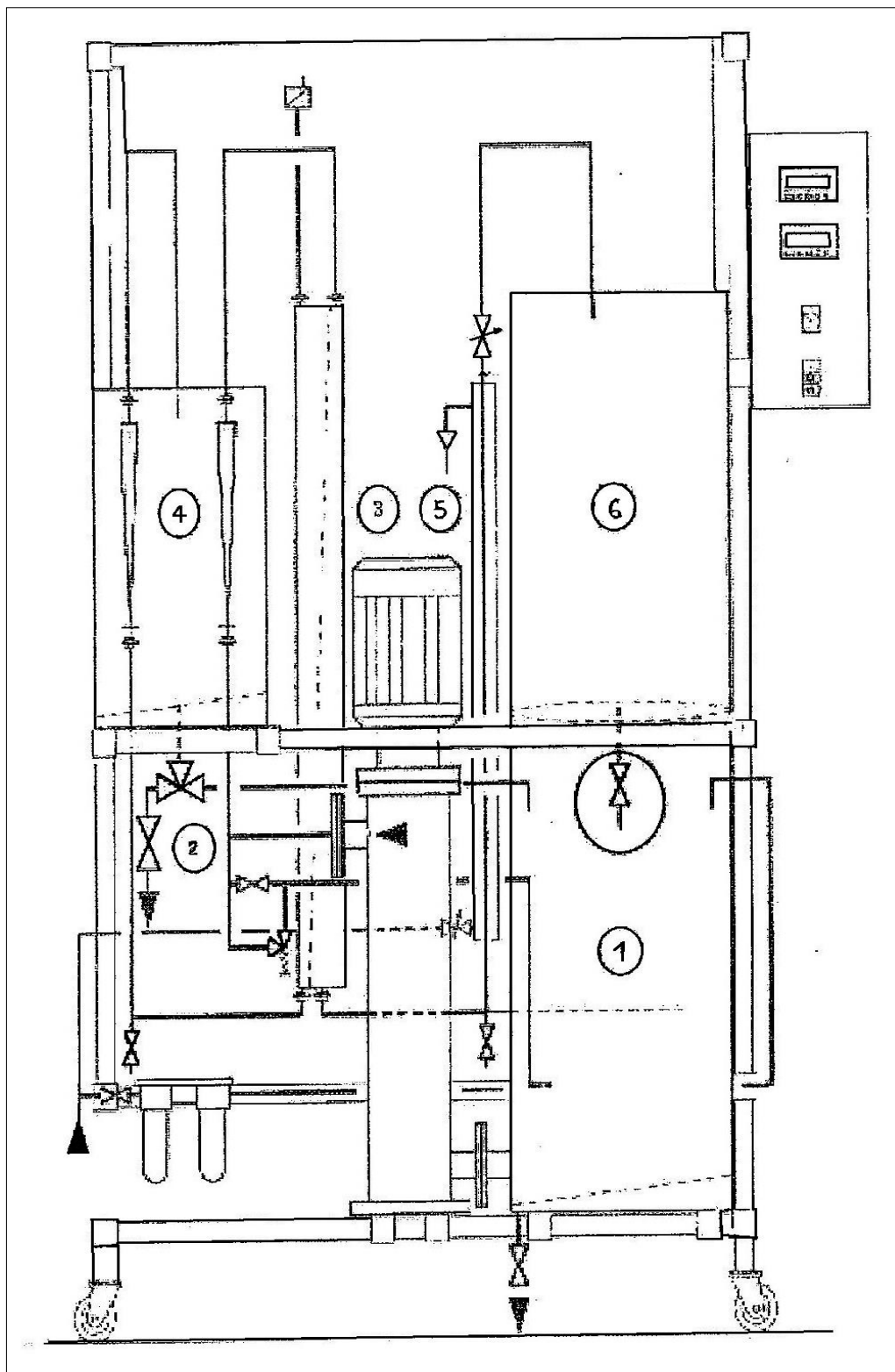


Figure IV. 1 : Construction de pilot TE 200 [82].





**Figure IV.2** : photo de pilot TE 200 (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

**IV.2.2. Liste des vannes dans le pilot :**

VA1: Vanne manuelle d'arrêt alimentation eau naturelle.

VA2 : Vanne manuelle d'arrêt échangeur concentrât.

VA3 : Vanne manuelle d'arrêt sortie perméat.

VS1 : Vanne manuelle sortie cuve alimentation.

VS2 : Vanne manuelle sortie cuve perméat.

VS3 : Vanne manuelle sortie cuve concentrât.

VS4 : Vanne manuelle vidange canalisation concentrât.

VS5 : Vanne manuelle vidange canalisation perméat.

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

VR2 : Vanne manuelle de réglage sortie concentrât **[83]**

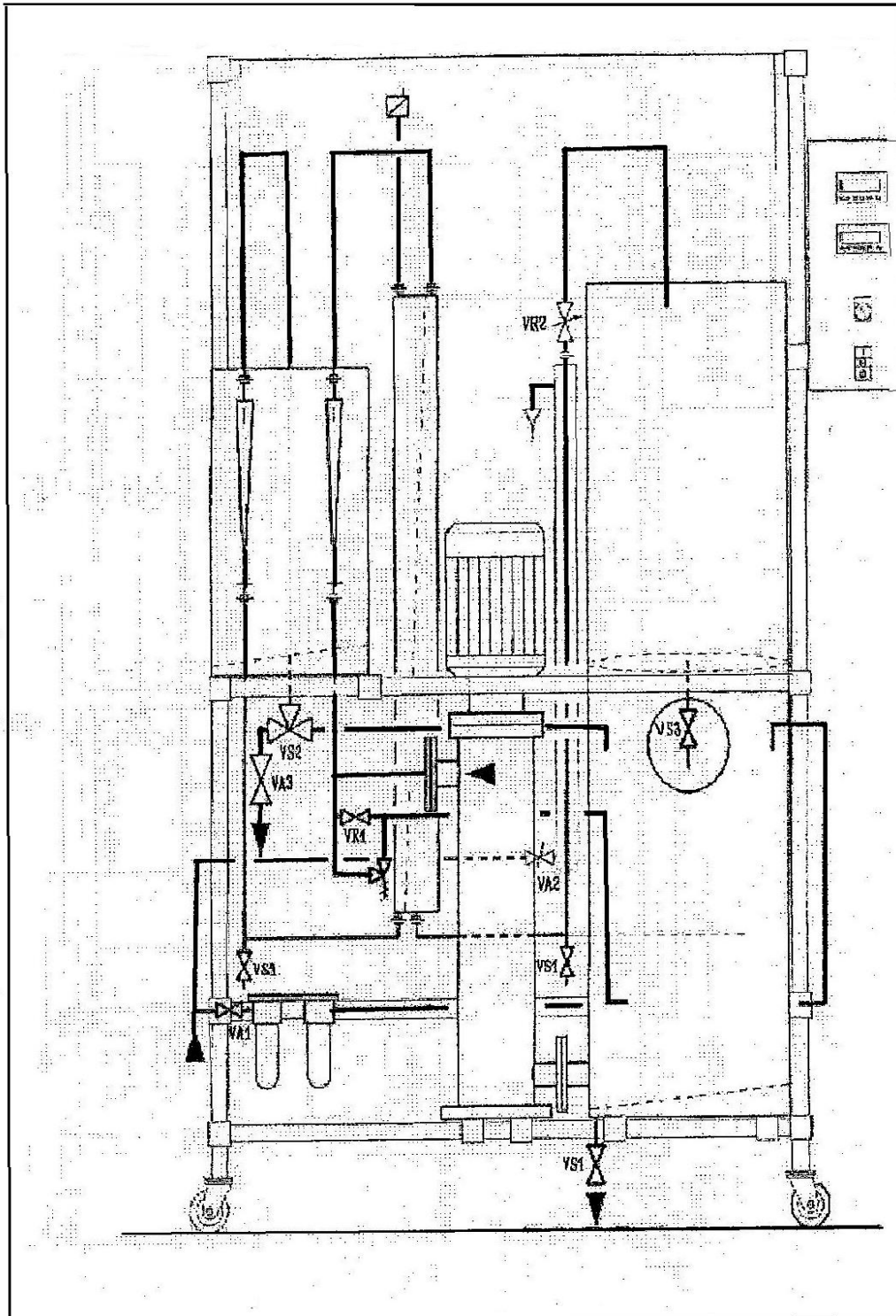


Figure IV.3: Liste des vannes [83].

**IV.3. Expériences :****IV.3.1. Procédure de démarrage du pilote:**

- Raccorder le câble d'alimentation électrique général sur une prise de courant électrique 220 V, monophasé, 50 Hz, 10 A,
- Raccorder un tuyau souple à la vidange de la cuve d'alimentation vers une évacuation de laboratoire pourvue de traitements d'effluents ;
- Raccorder un tuyau souple d'évacuation de l'échangeur du concentrât a une évacuation de laboratoire;
- Raccorder un tuyau souple à la sortie de la soupape de sécurité située sur le circuit de recyclage de la cuve d'alimentation vers une évacuation de laboratoire pourvue de traitements d'effluents ;
- Raccorder un tuyau souple d'alimentation d'eau brute du réseau sur le pilote ;
- Raccorder un tuyau souple à la vidange de la cuve de réception du perméat ;
- Mettre sous tension le pilote par le contacteur général sur la position "MARCHE" ;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation VS1 ;
- Fermer la vanne de remplissage d'eau brute de la cuve d'alimentation VA1 ;
- Ouvrir la vanne de vidange de la cuve de réception, du concentrât VS3 ;
- Ouvrir vanne d'alimentation générale d'eau brute,
- Ouvrir en plein la vanne de réglage de débit de recyclage de l'alimentation VR1 ;
- Ouvrir à moitié la vanne de réglage de débit de sortie du concentrât VR2,
- Positionner la vanne trois voies de sortie de la cuve de réception du perméat VS2 de manière à recycler celui-ci vers la cuve d'alimentation (L orienté à droite) ;
- Ouvrir la vanne d'alimentation de l'eau de refroidissement de l'échangeur du circuit concentrât VA2 ;
- Le pilote est prêt pour une manipulation [83]

**IV.3.2. Production d'eau osmosée:**

- Mettre en marche le pilote ;
- Positionner le tuyau de sortie de la cuve de réception du perméat dans un bidon de stockage d'eau osmosée ;
- Ouvrir VA1 faiblement de manière à faire passer l'eau brute d'alimentation à travers le filtre lentement ;
- Lorsque la cuve d'alimentation est pleine fermer VA1 ;

- Mettre en marche la pompe d'alimentation ;
- Régler la pression d'alimentation de la cartouche à 8 bars en fermant VA1;
- Régler le débit d'alimentation à 500 l/h avec VR2 ;
- Ajuster à nouveau la pression d'alimentation avec VR1 à 10 bars ;
- Ajuster à nouveau le débit d'alimentation avec VR2 à 500 l/h ;
- Procéder par étapes successives avec les vannes de réglage VR1 et VR2 pour obtenir les paramètres de fonctionnement correctes (alimentation 10 bars, 500 l/h) ;
- Le perméat et le concentrât sont recyclés pendant cette période de réglage ;
- Lorsque la conductivité du perméat ( $CI2 < 10 \mu\text{s/cm}$ ), il convient de le prélever ;
- Positionner VS2 de manière à prélever l'eau osmosée ;
- Lorsque la conductivité du perméat remonte ( $CI2 > 10 \mu\text{s/cm}$ ), il convient de le recycler ;
- Positionner VS2 de manière à recycler l'eau osmosée vers la cuve d'alimentation ;
- Ouvrir au maximum VRI et VR2 ;
- Arrêter la pompe d'alimentation ;
- Vidanger la cuve d'alimentation par VS1;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation VS1;
- Si la quantité d'eau osmosée produite n'est pas suffisante, il convient de recharger la cuve d'alimentation en eau brute ;
- Remplir à nouveau la cuve d'alimentation d'eau brute par VA1
  
- Lorsque la cuve d'alimentation est pleine, fermer VA1;
- Recommencer les opérations décrites ci-dessus jusqu'à obtention de la quantité d'eau osmosée nécessaire ;
- Lorsque la quantité d'eau osmosée nécessaire est obtenue, il convient d'arrêter le pilote [83]

### IV.3.3. Procédure générale d'arrêt:

- Ouvrir au maximum VR1 et VR2 ;
- Arrêter la pompe d'alimentation ;
- Fermer la vanne d'alimentation d'eau de refroidissement VA2 ;
- Fermer VA1 ;
- Vidanger la cuve d'alimentation par VS1;
- Vidanger si nécessaire la cuve de réception du concentrât par VS3 dans la cuve d'alimentation ;
- Vidanger si nécessaire la cuve de réception du perméat par VS2 (L orienté à gauche) ;

- Positionner le tuyau d'évacuation de la sortie de la cuve de réception du perméat vers l'égout du laboratoire ;
- Nettoyer les cuves d'alimentation et de réception ;
- Rincer les cuves avec de l'eau déminéralisée ;
- Fermer les vannes VS1, VS3 et VA1 et à trios voies (L orienté à droite)
- Arrêter le coffret général électrique « ARRET » ;
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau ;
- Le pilote est prêt pour une autre manipulation. [83]

#### IV.4. Description des appareillages de mesure :

##### IV.4.1 La conductivité :



**Figure IV.4 :** Photo de conductimètre (laboratoire de chimie université Abou Bakr Belkaid – TLEMCEN-)

**IV.4.2. Agitateur :**

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

**IV.4.3. La balance électronique :**

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

### IV.5. Détermination de la perméabilité de la membrane :

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

**Mode opératoire :**

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

- Remplir le bac d'alimentation avec une solution de 1.5 g/l de NaCl.
- Régler la pression à l'entrée du module d'osmose à une pression fixe de 6 bars.

Noter les débits d'entrée et de perméat.

- Renouveler l'opération pour des pressions de 7, 8, 9,10 ,11 ,12 ,13 et 14 bars.
- Tracer la courbe  $Q_p=f(\Delta p)$ .

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

Nous rappelons que le flux massique de solvant est:

$$J_m = A * \Delta P$$

**Jm:** Kg. m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>  
Ou dans notre cas:

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

**Jm:** Kg. s<sup>-1</sup>;

**S:** m<sup>2</sup>;

**$\Delta p$ :** Pa ;

**A:** s.m<sup>-1</sup>.

A partir de la courbe nous déduisons la valeur du produit A\*S en (m. s). [37]



## Sommaire

Table des matières .....	I
Liste des tableaux .....	VIII
Liste des figures .....	XIII
Liste des abréviations.....	XVII
Introduction générale .....	1

### Partie I : Partie théorique

#### Chapitre I : Généralité sur l'eau

I.1. Introduction .....	3
I.2. Sources d'eau.....	3
I.3. Origine de l'eau sur la terre.....	4
I.3.a) les eaux souterraines (aquifère, nappe phréatique, infiltration).....	4
I.3.b) les eaux de surfaces captives ou en écoulement .....	5
I.3.c) les eaux de mer et eaux saumâtres .....	5
I.4.Cycle de l'eau .....	5
I.5.La répartition de l'eau dans la planète.....	6
I.6.Classification des eaux .....	7
I.7.Les différents états de l'eau.....	7
I.8.Eau potable .....	8
I.8.1.Qualité.....	8
I.8.1.a) Qualité physique et chimique.....	8
I.8.1.b) Qualité bactériologique .....	9
I.8.2.Contrôle de la qualité des eaux .....	9
I.8.3. Paramètres de qualité des eaux .....	9

I.8.3.1.Paramètres organoleptiques .....	10
I.8.3.1.a) Paramètres affectant la qualité organoleptique .....	10
I.8.3.2. Les paramètres microbiologiques .....	11
I.8.4.Des seuils pour certain paramètre .....	11
I.8.5.Les problèmes reliés à l'eau potable .....	12
I.8.5.1.La pollution de l'eau potable .....	12
I.8.5.2.Infections transmises par l'eau .....	13
I.9. Propriétés de l'eau .....	13
I.9.1.Propriétés physiques .....	13
I.9.1.a) Masse volumique .....	13
I.9.1.b) Viscosité dynamique .....	13
I.9.2.Propriétés thermique .....	13
I.9.2.a) Conductivité thermique .....	13
I.9.3.Propriétés électriques .....	14
I.9.3.a) Constante diélectrique .....	14
I.9.3.b) Conductivité électrique de l'eau .....	14
I.10.Conclusion .....	14

## **Chapitre II : les différents procédés de dessalement**

II.1.Introduction .....	15
II.2.Caractéristiques des eaux marines et saumâtres.....	15
II.2.1.Les eaux marines .....	15
II.2.2.Les eaux saumâtres.....	16
II.3.Le dessalement .....	16
II.3.1.Schéma général d'une installation de dessalement .....	16
II.3.1.a) Prise d'eau de mer .....	16
II.3.1.b) Un poste de prétraitement.....	16
II.3.1.c) L'installation de dessalement proprement dite .....	17

II.3.1.d) Un poste de traitement.....	17
II.3.2. Les différents procédés de dessalement .....	17
II.3.2.1. Les procédés de distillation.....	18
II.3.2.2. Les procédés membranaires .....	21
II.3.2.3. Autres procédés.....	23
II.3.3. Les avantages et inconvénients de dessalement .....	27
II.3.4. Conclusion .....	27

### **Chapitre III : Osmose inverse**

III.1. Introduction.....	28
III.2. Osmose inverse .....	28
III.2.1. Définitions.....	28
III.2.2: Principes de l'osmose inverse.....	29
III.2.2.a) La pression osmotique.....	29
III.2.2.b) La force ionique .....	30
III.3. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse .....	30
III.4. Phénomène de polarisation .....	32
III.4.1. Nature du phénomène .....	32
III.4.2. Les conséquences .....	32
III.4.2.a) Diminution du flux de perméat .....	32
III.4.3.b) Diminution de la sélectivité .....	33
III.4.3.c) Colmatage dû à des précipitations.....	33
III.5. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse .....	33
III.5.1. Système de récupération d'énergie .....	33
III.5.2. Pompe haute pression.....	33
III.5.3. Modules d'Osmose Inverse à spirales bobinées .....	34
III.6. Les membranes .....	34
III.6.1. Définition .....	34

III.7.Les caractéristiques des membranes .....	36
III.8.Types de membranes .....	36
III.8.1) les membranes semi-perméables .....	36
III.8.2) les membranes microporeuses .....	36
III.9.Classification des membranes.....	37
III.10.Mise en œuvre des membranes .....	38
III.10.1.Modes de filtration .....	38
III.10.1.a) Filtration frontale.....	38
III.10.1.b) Filtration tangentiel .....	39
III.11.Les modules .....	39
III.11.a) module spirale .....	39
III.11.b) module à fibres creuses.....	40
III.12.Mecanismes généraux des traitements par osmose inverse .....	40
III.12.1.Le choix de membrane .....	40
III.12.1.a) Qualités.....	40
III.12.1.b) Matériaux utilise.....	41
III.13.Les paramètres qui influe sur la performance.....	41
III.13.1.Facteur physique .....	41
III.13.2.Facteurs chimiques .....	41
III.14.Presentation d'une unité d'osmose inverse.....	42
III.14.1.Le montage en parallèle .....	42
III.14.2.Le montage en série .....	42
III.15.Fabrication, installation et procédé.....	43
III.16.Enjeux techniques .....	43
III.16.1.Le colmatage .....	43
III.16.1.a) le colmatage microbiologique .....	44
III.16.1.b) le colmatage abiotique.....	44

III.16.2.Prévention du colmatage .....	44
III.17. Caractérisation du procédé d'osmose inverse.....	45
III.18.Conclusion .....	45

## **Partie II : Partie expérimentale**

### **Chapitre IV : Matériels et méthodes**

IV.1. Dispositif expérimental.....	46
IV.2. Présentation du pilote TE200 .....	46
IV.2.1. Description du pilot.....	46
IV.2.2. Liste des vannes dans le pilot.....	50
IV.3. Expériences.....	52
IV.3.1. Procédure de démarrage du pilote.....	52
IV.3.2. Production d'eau osmosée .....	52
IV.3.3. Procédure générale d'arrêt .....	53
IV.4. Description des appareillages de mesure.....	54
IV.4.1 La conductivité.....	54
IV.4.2. Agitateur .....	55
IV.4.3. La balance électronique .....	55
IV.5. Détermination de la perméabilité de la membrane .....	56

### **Chapitre V : Résultats et interprétations**

V.1. Perméabilité de la membrane au solvant .....	57
V.2. Etude de la rétention globale du module.....	58
❖ Solution : eau de robinet + sel commerciale	
V.2.1. Pour une concentration de 1 g/L .....	58
V.2.1.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps.....	63
V.2.1.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction du temps .....	64

V.2.1.3. La variation de la rétention globale du module .....	69
V.2.2. Pour une concentration de 3 g/L .....	70
V.2.2.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	74
V.2.2.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps.....	75
V.2.2.3. La variation de la rétention globale du module .....	80
V.2.3. Pour une concentration de 5 g/L .....	81
V.2.3.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	85
V.2.3.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps.....	86
V.2.3.3. La variation de la rétention globale du module .....	91
❖ Solution : eau distillé + NaCl du laboratoire	
V.2.4. Pour une concentration de 1 g/L .....	92
V.2.4.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	96
V.2.4.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps .....	97
V.2.4.3. La variation de la rétention globale du module .....	102
V.2.5. Pour une concentration de 3 g/L .....	103
V.2.5.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	107
V.2.5.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps .....	108
V.2.5.3. La variation de la rétention globale du module .....	113
V.2.6. Pour une concentration de 5 g/L .....	114
V.2.6.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	118
V.2.6.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps .....	119
V.2.6.3. La variation de la rétention globale du module .....	120
V.3. Interprétations des résultats .....	125

V.4. Conclusion .....	126
Conclusion générale.....	127

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

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

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

Pression (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Pression alimentation *10 <sup>6</sup> (Pascal)	Débit perméat *10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /s
6	210	100	6	0.6	0.16668
7	250	115	6.9	0.7	0.19167
8	275	130	7.8	0.8	0.21667
9	300	140	8.4	0.9	0.23333
10	310	170	10.2	1.00	0.28333
11	340	180	10.8	1.1	0.3
12	349	225	13.5	1.2	0.375
13	350	235	14.1	1.3	0.39167
14	351	262	15.72	1.4	0.43667

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

$Q_p$  (m<sup>3</sup>/s) = JV1 (flux volumique de solvant).

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

On ne connaît pas la surface de la membrane

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

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

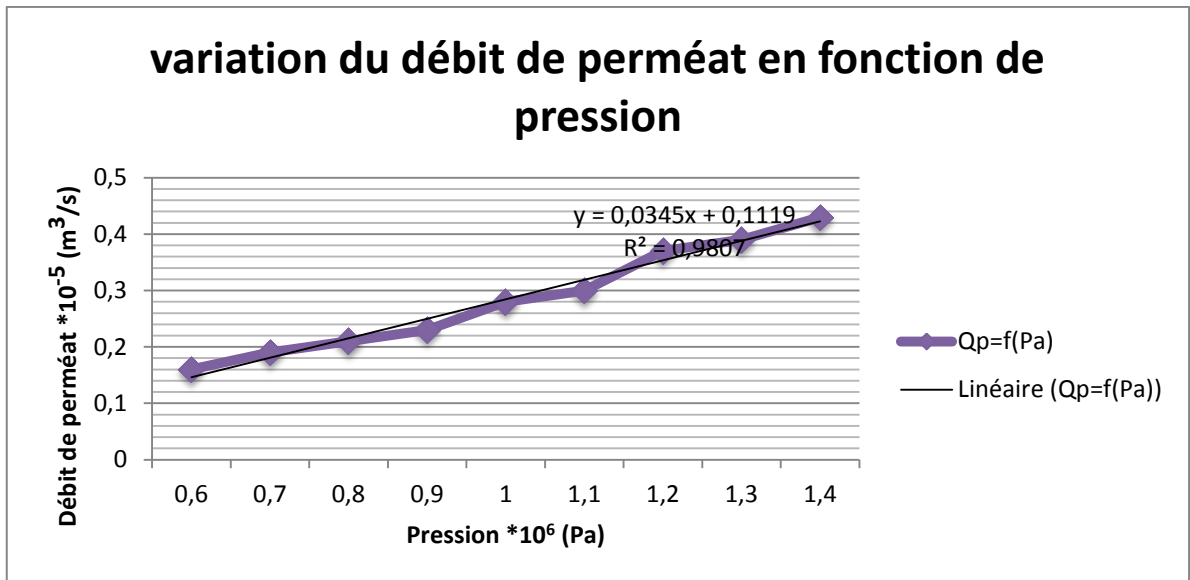
P en sortie du perméat = 0 car la pression de sortie de la membrane est à l'atmosphère et les manomètres indiquent des pressions relatives.

Donc  $\Delta P = P$  en sortie du concentrât.

L'équation de la droite donne :

$$A*S = 0,0345 * 10^{-8} \text{ m*s}$$





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

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

Pour cette étude nous utiliserons des concentrations de NaCl de 1g/L ; 3g/L et 5 g/L on fait changer la différence de pression de part et d'autre de la membrane  $\Delta P$ .

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

La durée de chaque manipulation est de 10 minutes.

### ❖ Solution : eau de robinet + sel commerciale

#### V.2.1. Pour une concentration de 1 g/L :

##### Manipulation n° 1 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 893 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Température avant : 18 °C. Température après : 26°C.

Calcule de la pression osmotique :

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

$$C = 1 \text{ g/L} = 17.09 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 17.09 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

$$\text{Donc : } \pi = 0.8342 * 10^5 \text{ Pa.}$$

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

**Tableau V.2:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (mL)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	10	330	270	16.20	1156	610
2	10	10	330	270	16.20	1157	685
3	10	10	330	275	16.50	1159	741
4	10	10	330	280	16.80	1162	773
5	10	10	330	285	17.10	1165	794
6	10	10	330	290	17.40	1169	809
7	10	10	330	295	17.70	1175	822
8	10	10	330	300	18.00	1182	832
9	10	10	330	305	18.30	1191	836
10	10	10	330	310	18.60	1203	838

**Manipulation n° 2 :** Conductivité de la solution d'alimentation : 893 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18 °C. Température après : 24°C.

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

**Tableau V.3 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9.5	690	265	15.90	1184	590
2	10	9.5	690	270	16.20	1186	660
3	10	9.5	690	270	16.20	1188	713
4	10	9.5	690	275	16.50	1191	746
5	10	9.5	690	280	16.80	1195	769
6	10	9.5	690	285	17.10	1201	787
7	10	9.5	690	295	17.70	1208	801
8	10	9.5	690	300	18.00	1217	810
9	10	9.5	690	305	18.30	1228	817
10	10	9.5	690	310	18.60	1241	819

### Manipulation n° 3 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 893 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.4:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9	910	255	15.30	1208	579
2	10	9	910	260	15.60	1210	649
3	10	9	910	265	15.90	1213	691
4	10	9	910	270	16.20	1216	730
5	10	9	910	280	16.80	1220	751
6	10	9	910	285	17.10	1225	768
7	10	9	910	290	17.40	1232	782
8	10	9	910	295	17.70	1241	792
9	10	9	910	300	18.00	1252	799
10	10	9	910	305	18.30	1267	803

#### Manipulation n° 4 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 893 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.5:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	8.5	940	255	15.30	1217	573
2	10	8.5	940	260	15.60	1218	645
3	10	8.5	940	265	15.90	1220	698
4	10	8.5	940	270	16.20	1224	724
5	10	8.5	940	275	16.50	1229	745
6	10	8.5	940	280	16.80	1235	760
7	10	8.5	940	285	17.10	1243	772
8	10	8.5	940	290	17.40	1252	781
9	10	8.5	940	295	17.70	1263	788
10	10	8.5	940	300	18.00	1279	792

#### Manipulation n° 5 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 893 ( $\mu\text{s/cm}$ )

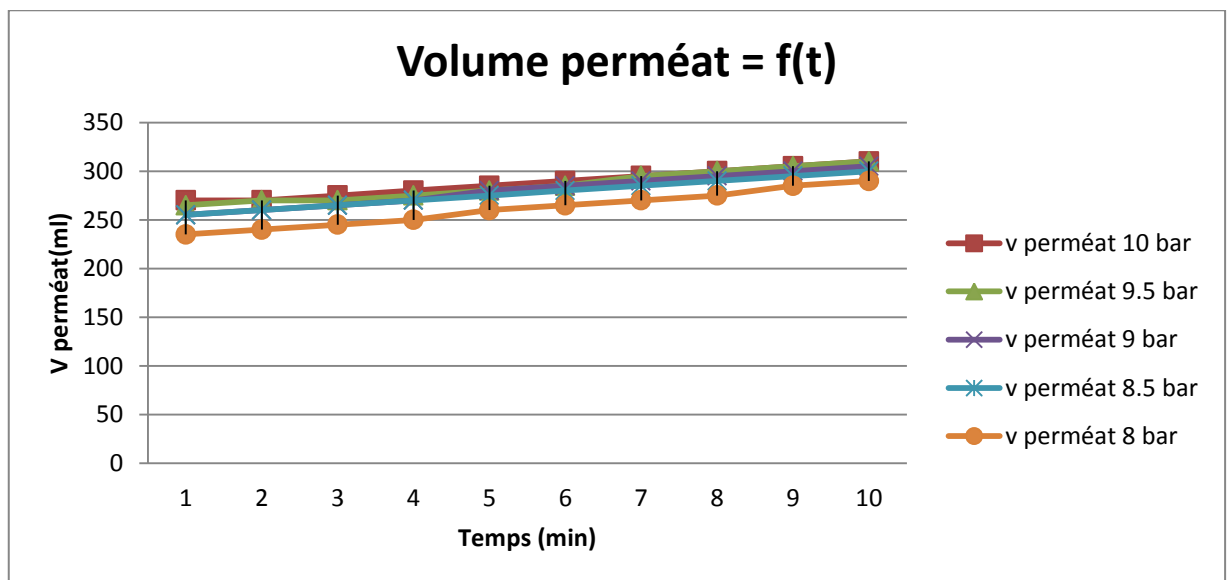
Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.6:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ;  $C=1$ g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu$ s/cm)	Conductivité perméat ( $\mu$ s/cm)
1	10	8	940	235	14.10	1223	571
2	10	8	940	240	14.40	1225	627
3	10	8	940	245	14.70	1228	674
4	10	8	940	250	15.00	1231	715
5	10	8	940	260	15.60	1236	742
6	10	8	940	265	15.90	1243	758
7	10	8	940	270	16.20	1251	771
8	10	8	940	275	16.50	1261	778
9	10	8	940	285	17.10	1273	784
10	10	8	940	290	17.40	1288	787

### V.2.1.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps :

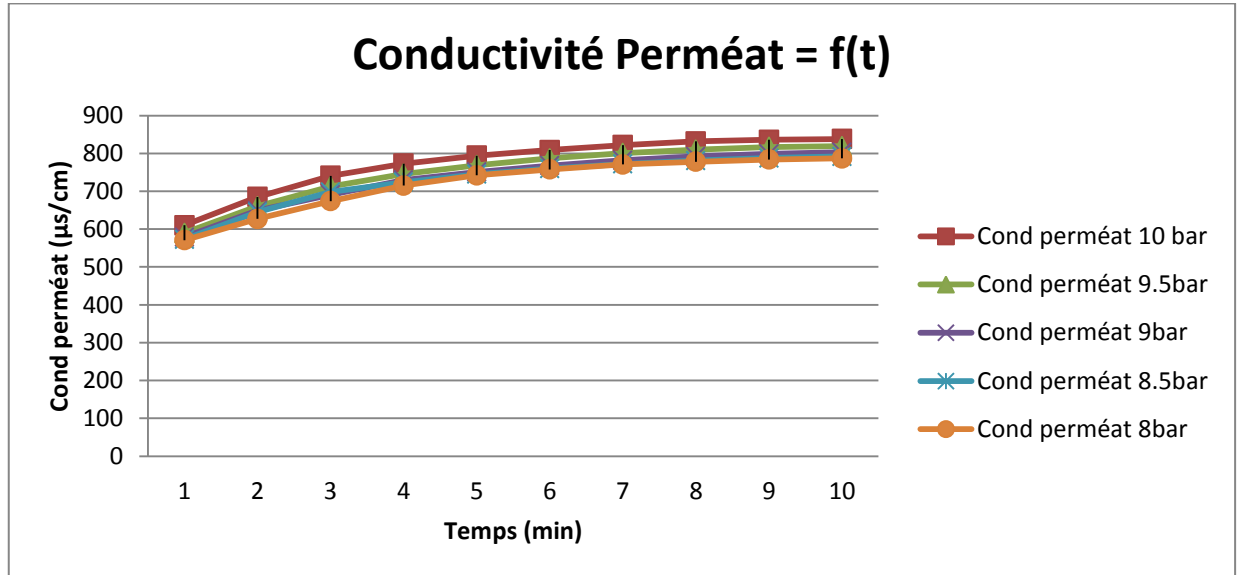


**Figure V.2 :** La variation de volume de perméat en fonction de temps

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

### V.2.1.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction du temps :

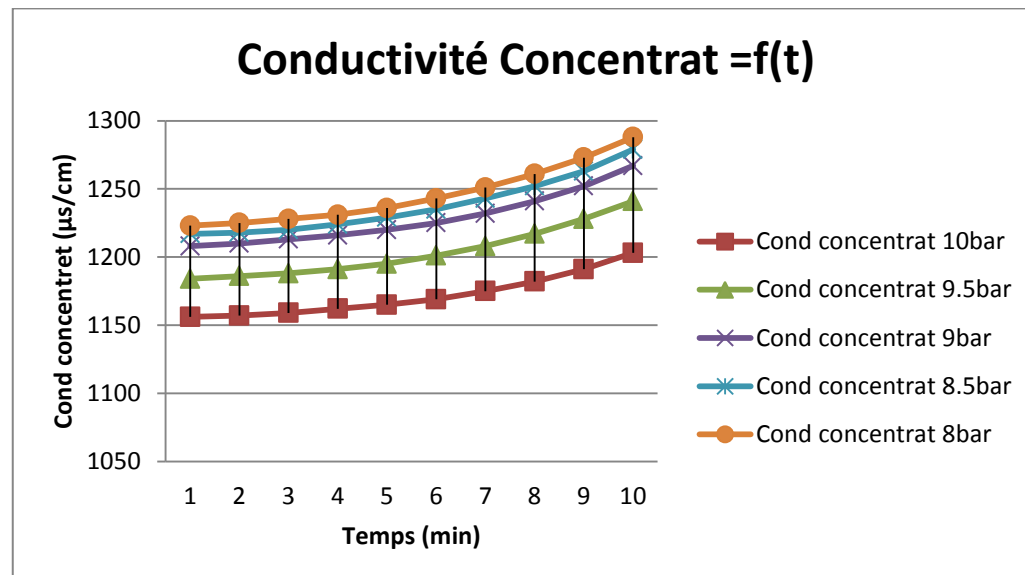
#### ➤ La variation de conductivité de perméat :



**Figure V.3 : La variation de conductivité de perméat**

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

#### ➤ La variation de conductivité du concentrât :



**Figure V.4 : La variation de conductivité du concentrât**

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

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

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

$$\text{Conductivité} = (C_{\text{Na}^+} * Z_{\text{Na}^+} * \lambda_0 \text{Na}^+) + (C_{\text{Cl}^-} * Z_{\text{Cl}^-} * \lambda_0 \text{Cl}^-)$$

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

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

Donc :

$$\text{Conductivité} = C_{\text{NaCl}} * (\lambda_0 \text{Na}^+ + \lambda_0 \text{Cl}^-)$$

$$\lambda_0 \text{Na}^+ + \lambda_0 \text{Cl}^- = 126.$$

**Manipulation n°01 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.7 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	4.841	0.2832	0.7167
2	5.436	0.3180	0.6819
3	5.880	0.3440	0.6559
4	6.134	0.3589	0.6410
5	6.301	0.3686	0.6313
6	6.420	0.3756	0.6243
7	6.523	0.3816	0.6183
8	6.603	0.3863	0.6136
9	6.634	0.3881	0.6118
10	6.650	0.3891	0.6108

**Manipulation n°02 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :



**Tableau V.8** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0.5\text{bar}$  ;  $C=1\text{g/L}$ ).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	4.682	0.2739	0.7260
2	5.238	0.3064	0.6935
3	5.658	0.3310	0.6689
4	5.920	0.3464	0.6535
5	6.103	0.3571	0.6428
6	6.246	0.3654	0.6345
7	6.357	0.3719	0.6280
8	6.428	0.3761	0.6238
9	6.484	0.3794	0.6205
10	6.500	0.3803	0.6196

**Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

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

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	4.595	0.2688	0.7311
2	5.150	0.3013	0.6986
3	5.484	0.3208	0.6791
4	5.793	0.3389	0.6610
5	5.960	0.3487	0.6512
6	6.095	0.3566	0.6433
7	6.206	0.3631	0.6368
8	6.285	0.3677	0.6322
9	6.341	0.3710	0.6289
10	6.373	0.3729	0.6270

**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

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

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	4.547	0.2660	0.7339
2	5.119	0.2995	0.7004
3	5.539	0.3241	0.6758
4	5.746	0.3362	0.6637
5	5.912	0.3459	0.6540
6	6.031	0.3528	0.6471
7	6.126	0.3584	0.6415
8	6.198	0.3626	0.6373
9	6.253	0.3658	0.6341
10	6.285	0.3677	0.6322

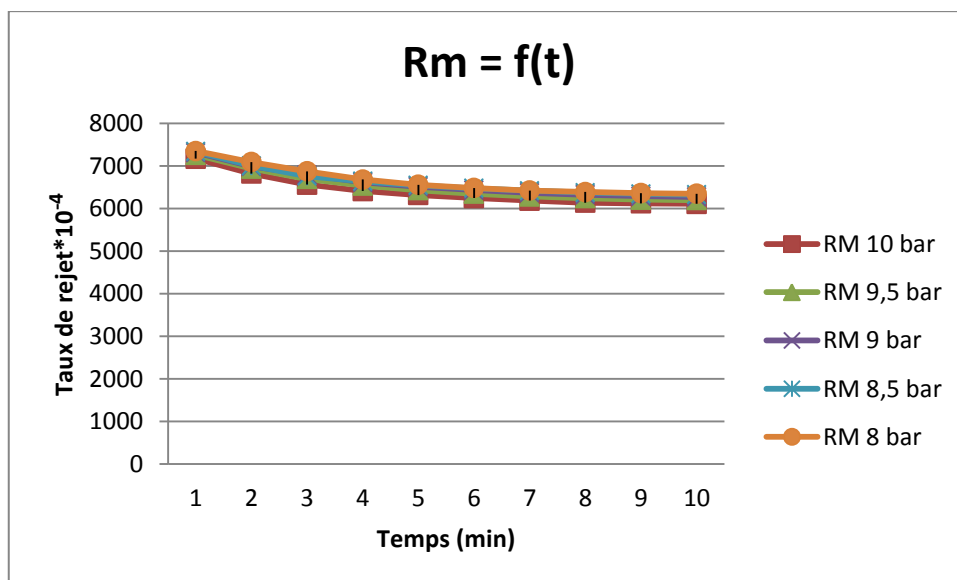
**Manipulation n°05 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.11** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 2$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	4.531	0.2651	0.7348
2	4.976	0.2911	0.7088
3	5.349	0.3129	0.6870
4	5.674	0.3320	0.6679
5	5.888	0.3445	0.6554
6	6.015	0.3519	0.6480
7	6.119	0.3580	0.6419
8	6.174	0.3612	0.6387
9	6.222	0.3640	0.6359
10	6.246	0.3654	0.6345

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



**Figure V.5:** La variation de taux de rejet en fonction du temps (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ; C=1g/l).

**V.2.2. Pour une concentration de 3 g/L****Manipulation n° 1 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : **975** ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 24°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

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

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

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

**Tableau V.12:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=3g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
1	10	10	375	280	16.80	1621	662
2	10	10	375	280	16.80	1623	734
3	10	10	375	285	17.10	1627	791
4	10	10	375	290	17.40	1633	842
5	10	10	375	295	17.70	1642	873
6	10	10	375	300	18.00	1654	887
7	10	10	380	305	18.30	1668	896
8	10	10	380	310	18.60	1685	902
9	10	10	380	315	18.90	1704	907
10	10	10	380	320	19.20	1728	909

**Manipulation n° 2 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 975 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 26°C.

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

**Tableau V.13:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
1	10	9.5	720	270	16.20	1670	645
2	10	9.5	720	270	16.20	1671	708
3	10	9.5	720	275	16.50	1674	758
4	10	9.5	720	280	16.80	1679	801
5	10	9.5	720	280	16.80	1687	831
6	10	9.5	720	285	17.10	1698	845
7	10	9.5	720	290	17.40	1710	855
8	10	9.5	720	295	17.70	1725	861
9	10	9.5	720	300	18.00	1743	866
10	10	9.5	720	305	18.30	1765	869

**Manipulation n° 3 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 975 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Température avant : 17.5°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.14:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=10$  bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C=3\text{g/L}$ ).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9	940	255	15.30	1696	631
2	10	9	940	260	15.60	1698	692
3	10	9	940	265	15.90	1702	744
4	10	9	940	270	16.20	1708	786
5	10	9	940	275	16.50	1716	819
6	10	9	940	280	16.80	1727	835
7	10	9	940	280	16.80	1740	846
8	10	9	940	285	17.10	1755	853
9	10	9	940	290	17.40	1774	857
10	10	9	940	290	17.40	1796	859

#### Manipulation n° 4 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 975 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 19°C. Température après : 27°C.

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

**Tableau V.15:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	8.5	940	258	15.48	1708	623
2	10	8.5	940	255	15.30	1710	683
3	10	8.5	940	260	15.60	1713	731
4	10	8.5	940	265	15.90	1718	770
5	10	8.5	940	267	16.02	1725	797
6	10	8.5	940	270	16.20	1735	813
7	10	8.5	940	275	16.50	1749	824
8	10	8.5	940	280	16.80	1768	831
9	10	8.5	940	285	17.10	1791	836
10	10	8.5	940	290	17.40	1819	839

#### Manipulation n° 5 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 975 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 17°C. Température après : 24°C.

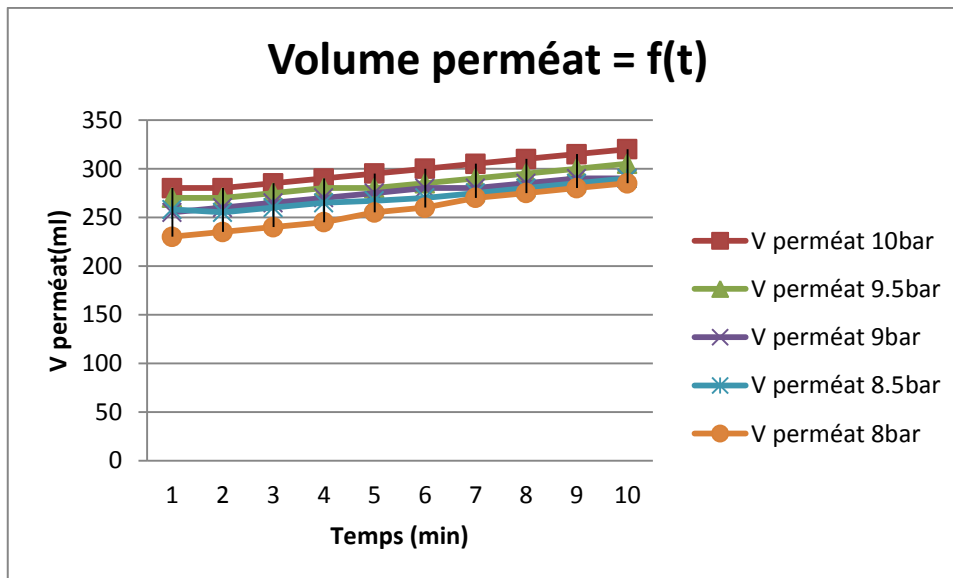
Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau ci-dessous :



**Tableau V.16:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ;  $C=3$ g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu$ s/cm)	Conductivité perméat ( $\mu$ s/cm)
1	10	8	940	230	13.80	1714	619
2	10	8	940	235	14.10	1716	676
3	10	8	940	240	14.40	1719	721
4	10	8	940	245	14.70	1724	758
5	10	8	940	255	15.30	1732	776
6	10	8	940	260	15.60	1741	795
7	10	8	940	270	16.20	1754	809
8	10	8	940	275	16.50	1773	821
9	10	8	940	280	16.80	1799	829
10	10	8	940	285	17.10	1831	831

### V.2.2.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps :



**Figure V.6 :** La variation de volume de perméat en fonction de temps

( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3$ g/L).

### V.2.2.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

#### ➤ La variation de conductivité de perméat :

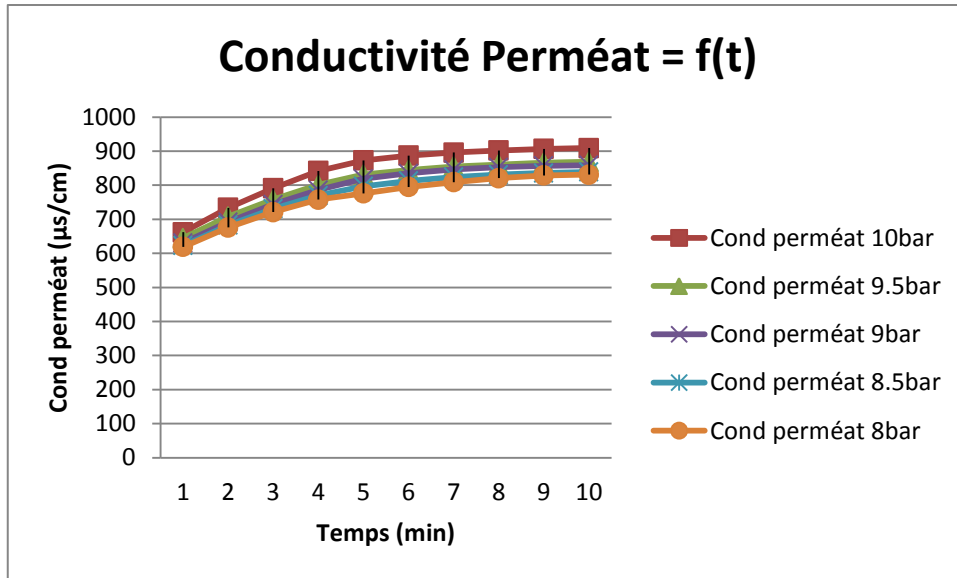


Figure V.7 : La variation de conductivité de perméat

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=3\text{g/L}$ ).

#### ➤ La variation de conductivité du concentrât :

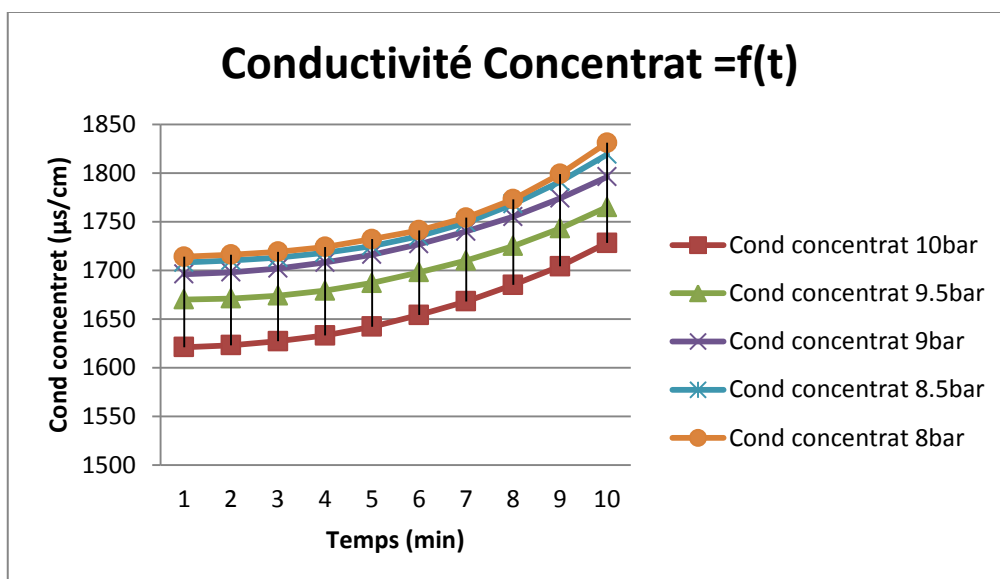


Figure V.8 : La variation de conductivité du concentrât

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ; C=3g/l).

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

#### Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.17:** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	5.253	0.102	0.897
2	5.825	0.113	0.886
3	6.277	0.122	0.877
4	6.682	0.130	0.869
5	6.928	0.135	0.864
6	7.039	0.137	0.862
7	7.111	0.138	0.861
8	7.158	0.139	0.860
9	7.198	0.1403	0.8596
10	7.214	0.1406	0.8593

#### Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.18 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0.5\text{bar}$  ;  $C=3\text{g/L}$ ).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	5.119	0.099	0.900
2	5.619	0.109	0.890
3	6.015	0.117	0.882
4	6.357	0.123	0.876
5	6.595	0.128	0.871
6	6.706	0.130	0.869
7	6.785	0.132	0.867
8	6.833	0.133	0.866
9	6.873	0.1340	0.8659
10	6.896	0.1344	0.8655

**Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.19:** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	5.007	0.0976	0.9023
2	5.492	0.1070	0.8929
3	5.904	0.115	0.884
4	6.238	0.121	0.878
5	6.500	0.1267	0.8732
6	6.626	0.1292	0.8707
7	6.714	0.1309	0.8690
8	6.769	0.1320	0.8679
9	6.801	0.1326	0.8673
10	6.817	0.1329	0.8670

**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.20 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1.5$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	4.944	0.096	0.903
2	5.420	0.105	0.894
3	5.801	0.113	0.886
4	6.111	0.119	0.880
5	6.325	0.123	0.876
6	6.452	0.125	0.874
7	6.539	0.127	0.872
8	6.595	0.1286	0.8713
9	6.634	0.1293	0.8706
10	6.658	0.1298	0.8701

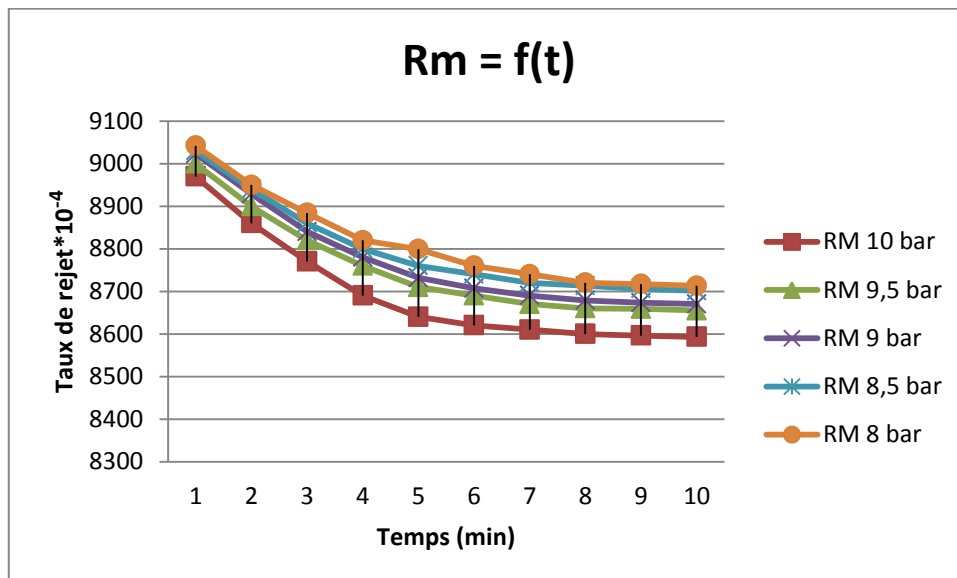
**Manipulation n°05 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.21 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 2$  bar ;  $C=3$ g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	4.912	0.0957	0.9042
2	5.365	0.104	0.895
3	5.722	0.1115	0.8884
4	6.015	0.117	0.882
5	6.158	0.1200	0.8799
6	6.309	0.123	0.876
7	6.420	0.125	0.874
8	6.515	0.127	0.872
9	6.579	0.1282	0.8717
10	6.595	0.128	0.8713

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



**Figure V.9:** La variation de taux de rejet en fonction du temps

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=3$ g/l)

**V.2.3. Pour une concentration de 5 g/L :****Manipulation n° 1 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 1063 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 19°C. Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

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

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

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

**Tableau V.22:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0 \text{ bar}$  ; C=5g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	10	390	295	17.70	1926	719
2	10	10	390	295	17.70	1933	876
3	10	10	390	300	18.00	1945	1004
4	10	10	390	305	18.30	1962	1095
5	10	10	390	306	18.36	1987	1141
6	10	10	390	310	18.60	2023	1163
7	10	10	390	315	18.90	2077	1181
8	10	10	390	315	18.90	2154	1195
9	10	10	390	320	19.20	2241	1204
10	10	10	390	323	19.38	2335	1209

**Manipulation n° 2 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 1063 ( $\mu\text{s/cm}$ )



Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.23:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9.5	750	268	16.08	1963	700
2	10	9.5	750	270	16.20	1968	892
3	10	9.5	750	275	16.50	1981	1005
4	10	9.5	750	280	16.80	2004	1087
5	10	9.5	750	284	17.04	2038	1119
6	10	9.5	750	285	17.10	2081	1142
7	10	9.5	750	290	17.40	2134	1158
8	10	9.5	750	295	17.70	2197	1169
9	10	9.5	750	300	18.00	2271	1177
10	10	9.5	750	303	18.18	2368	1181

### Manipulation n° 3 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1063 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 24°C.

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

**Tableau V.24:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9	940	249	14.94	1992	691
2	10	9	940	255	15.30	1998	834
3	10	9	940	260	15.60	2009	942
4	10	9	940	265	15.90	2031	1041
5	10	9	940	268	16.08	2065	1103
6	10	9	940	270	16.20	2107	1122
7	10	9	940	275	16.50	2164	1137
8	10	9	940	280	16.80	2231	1147
9	10	9	940	285	17.10	2312	1154
10	10	9	940	288	17.28	2407	1158

#### Manipulation n° 4 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1063 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 24.5°C.

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

**Tableau V.25:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=5g/L)

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	8.5	940	236	14.16	2011	685
2	10	8.5	940	240	14.40	2019	857
3	10	8.5	940	245	14.70	2037	981
4	10	8.5	940	250	15.00	2058	1057
5	10	8.5	940	256	15.36	2093	1093
6	10	8.5	940	260	15.60	2141	1112
7	10	8.5	940	265	15.90	2198	1126
8	10	8.5	940	270	16.20	2262	1136
9	10	8.5	940	275	16.50	2330	1143
10	10	8.5	940	279	16.74	2421	1147

#### Manipulation n° 5 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 1063 ( $\mu\text{s/cm}$ )

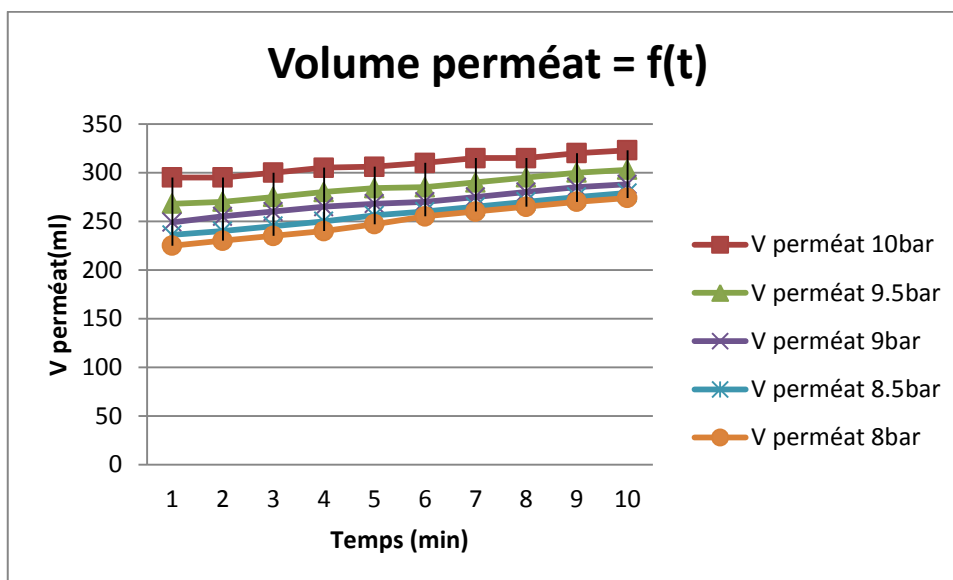
Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.26:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ;  $C=5$ g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu$ s/cm)	Conductivité perméat ( $\mu$ s/cm)
1	10	8	940	225	13.50	2019	682
2	10	8	940	230	13.80	2026	846
3	10	8	940	235	14.10	2037	956
4	10	8	940	240	14.40	2058	1038
5	10	8	940	247	14.82	2091	1089
6	10	8	940	255	15.30	2135	1108
7	10	8	940	260	15.60	2191	1122
8	10	8	940	265	15.90	2256	1132
9	10	8	940	270	16.20	2329	1140
10	10	8	940	274	16.44	2426	1144

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



**Figure V.10 :** La variation de volume de perméat en fonction de temps

( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5$ g/l).

### V.2.3.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

#### ➤ La variation de conductivité de perméat :

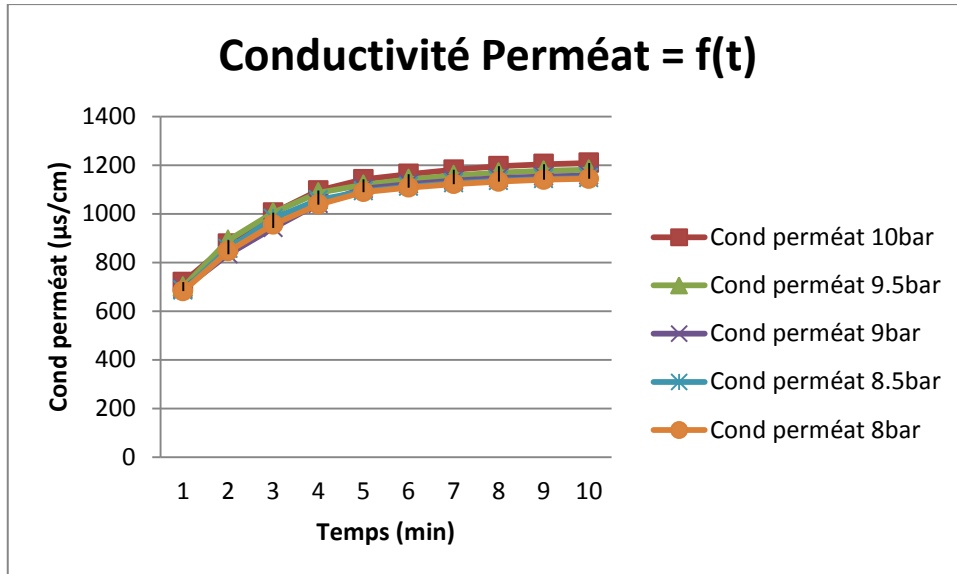


Figure V.11 : La variation de la conductivité de perméat

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=5g/L$ ).

#### ➤ La variation de conductivité du concentrât :

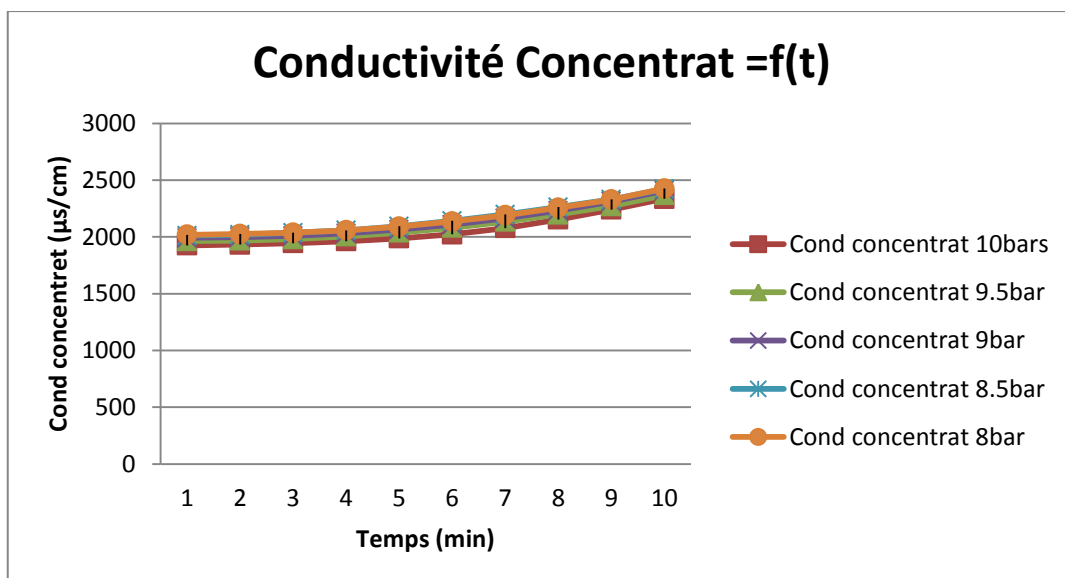


Figure V.12 : La variation de la conductivité du concentrât

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=5g/L$ ).

**V.2.3.3. La variation de la rétention globale du module :****Manipulation n°01 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.27 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0$  bar ; C=5g/l).

<b>Temps (min)</b>	<b>Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Sp=Cp/C<sub>0</sub></b>	<b>Rm=1-Sp</b>
1	5.706	0.0667	0.9332
2	6.952	0.0813	0.9186
3	7.968	0.0932	0.9067
4	8.690	0.1016	0.8983
5	9.055	0.1059	0.8940
6	9.230	0.1079	0.8920
7	9.373	0.1096	0.8903
8	9.484	0.1109	0.8890
9	9.555	0.1117	0.8882
10	9.595	0.1122	0.8877

**Manipulation n°02 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.28 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0.5\text{bar}$  ;  $C=5\text{g/L}$ ).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	5.555	0.0649	0.9350
2	7.079	0.0828	0.9171
3	7.976	0.0933	0.9066
4	8.626	0.1009	0.8990
5	8.880	0.1038	0.8961
6	9.063	0.1060	0.8939
7	9.190	0.1075	0.8924
8	9.277	0.1085	0.8914
9	9.341	0.1092	0.8907
10	9.373	0.1096	0.8903

**Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.29 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	5.484	0.0641	0.9358
2	6.619	0.0774	0.9225
3	7.476	0.0874	0.9125
4	8.261	0.0966	0.9033
5	8.753	0.1024	0.8975
6	8.904	0.1041	0.8958
7	9.023	0.1055	0.8944
8	9.103	0.1065	0.8934
9	9.158	0.1071	0.8928
10	9.190	0.1075	0.8924

**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :



**Tableau V.30 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1.5$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	5.436	0.0636	0.9363
2	6.801	0.0795	0.9204
3	7.785	0.0910	0.9089
4	8.388	0.0981	0.9018
5	8.674	0.1014	0.8985
6	8.825	0.1032	0.8967
7	8.936	0.1045	0.8954
8	9.015	0.1054	0.8945
9	9.071	0.1061	0.8938
10	9.103	0.1065	0.8934

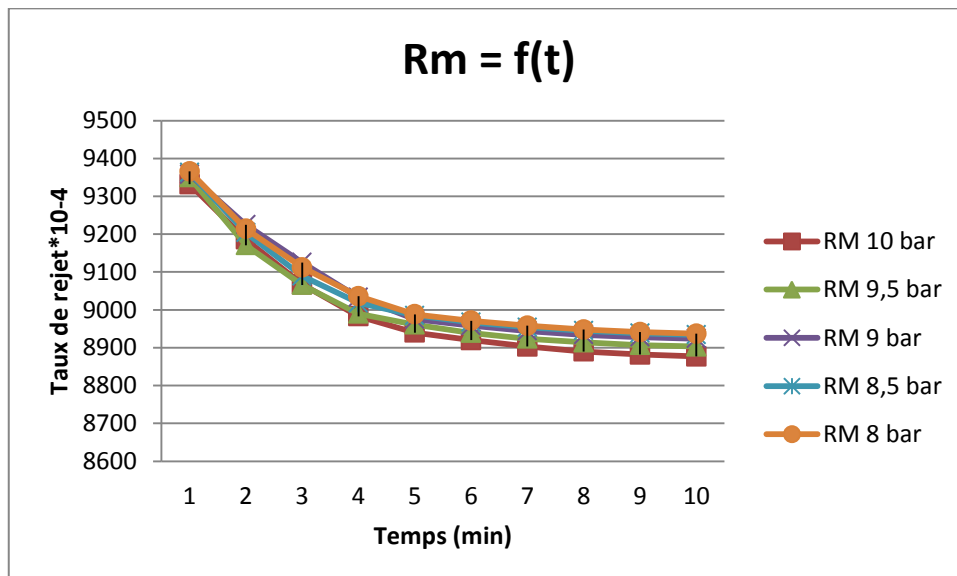
**Manipulation n°05 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.31 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 2$  bar ;  $C=5$ g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	5.412	0.0633	0.9366
2	6.714	0.0785	0.9814
3	7.587	0.0887	0.9112
4	8.238	0.0963	0.9036
5	8.642	0.1011	0.8988
6	8.793	0.1028	0.8971
7	8.904	0.1041	0.8958
8	8.984	0.1051	0.8948
9	9.047	0.1058	0.8941
10	9.079	0.1062	0.8937

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



**Figure V.13:** La variation de taux de rejet en fonction du temps

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=5$ g/L).

❖ **Solution : eau distillé + NaCl du laboratoire****V.2.4. Pour une concentration de 1 g/L****Manipulation n° 1 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 448 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Température avant : 18 °C. Température après : 26°C.

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

**Tableau V.32 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
1	10	10	360	300	18.00	749	191
2	10	10	360	305	18.30	751	266
3	10	10	360	310	18.60	753	318
4	10	10	360	315	18.90	756	354
5	10	10	360	320	19.20	760	375
6	10	10	360	325	19.50	765	385
7	10	10	360	335	20.10	771	393
8	10	10	360	340	20.40	779	398
9	10	10	360	345	20.70	788	401
10	10	10	360	350	21.00	802	403

**Manipulation n° 2 :** Conductivité de la solution d'alimentation : 448 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Température avant : 18 °C. Température après : 24°C.

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

**Tableau V.33 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9.5	720	285	17.10	764	186
2	10	9.5	720	290	17.40	765	252
3	10	9.5	720	295	17.70	767	309
4	10	9.5	720	300	18.00	771	343
5	10	9.5	720	305	18.30	777	362
6	10	9.5	720	310	18.60	784	372
7	10	9.5	720	320	19.20	792	379
8	10	9.5	720	330	19.80	800	384
9	10	9.5	720	335	20.10	809	388
10	10	9.5	720	340	20.40	822	391

### Manipulation n° 3 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 448 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.34 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9	940	275	16.50	777	182
2	10	9	940	280	16.80	779	249
3	10	9	940	285	17.10	782	302
4	10	9	940	290	17.40	786	336
5	10	9	940	295	17.70	791	352
6	10	9	940	305	18.30	797	363
7	10	9	940	315	18.90	805	372
8	10	9	940	320	19.20	815	379
9	10	9	940	325	19.50	826	382
10	10	9	940	330	19.80	838	384

**Manipulation n° 4 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 448 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.35:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	8.5	940	265	15.90	789	181
2	10	8.5	940	270	16.20	791	253
3	10	8.5	940	275	16.50	794	311
4	10	8.5	940	280	16.80	798	335
5	10	8.5	940	285	17.10	804	351
6	10	8.5	940	290	17.40	812	363
7	10	8.5	940	300	18.00	821	372
8	10	8.5	940	310	18.60	831	377
9	10	8.5	940	315	18.90	842	380
10	10	8.5	940	320	19.20	856	381

#### Manipulation n° 5 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 448 ( $\mu\text{s/cm}$ )

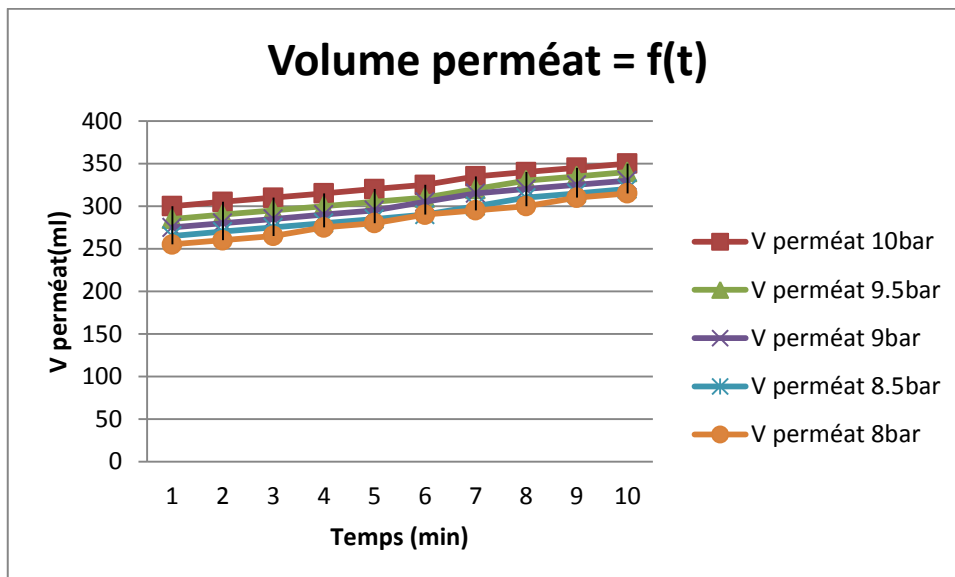
Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.36:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=10 \text{ bars}$  ;  $\Delta P = 2 \text{ bar}$  ;  $C=1 \text{ g/L}$ ).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	8	940	255	15.30	794	180
2	10	8	940	260	15.60	796	243
3	10	8	940	265	15.90	799	286
4	10	8	940	275	16.50	803	319
5	10	8	940	280	16.80	808	342
6	10	8	940	290	17.40	815	358
7	10	8	940	295	17.70	823	369
8	10	8	940	300	18.00	833	374
9	10	8	940	310	18.60	844	377
10	10	8	940	315	18.90	858	379

**V.2.4.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps :**



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

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

### V.2.4.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

#### ➤ La variation de conductivité de perméat :

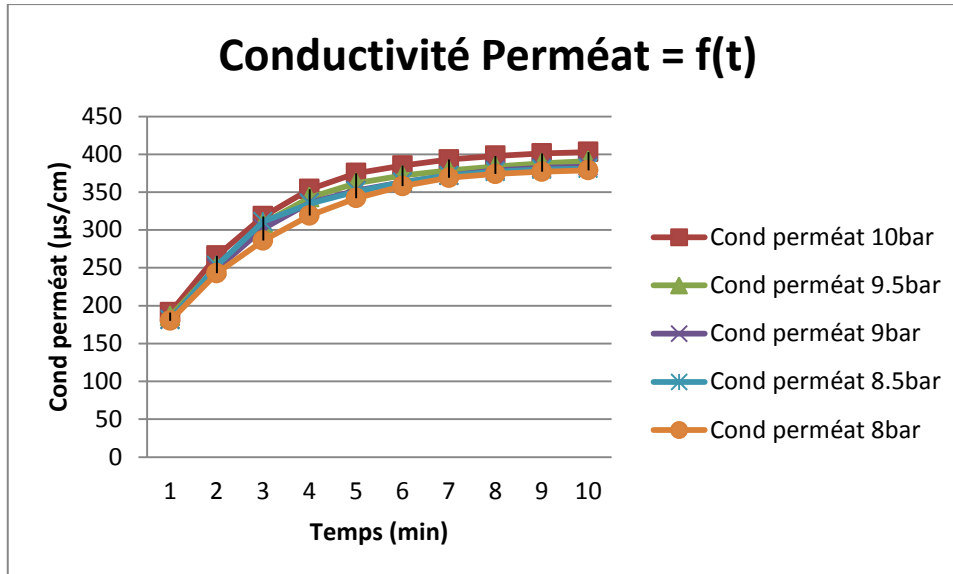


Figure V.15 : La variation de conductivité de perméat

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

#### ➤ La variation de conductivité du concentrât :

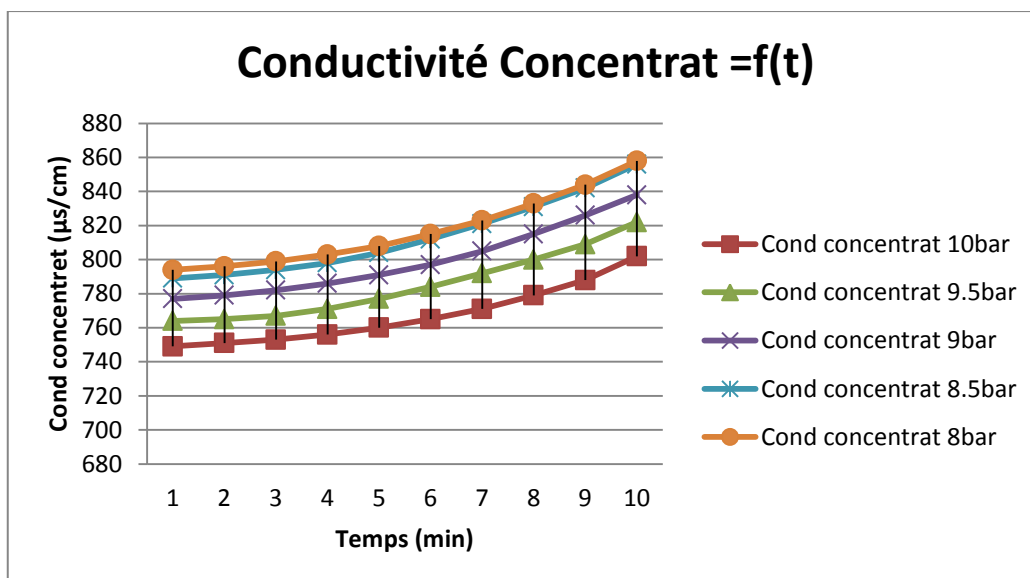


Figure V.16: La variation de conductivité du concentrât

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



**V.2.4.3. La variation de la rétention globale du module :****Manipulation n°01 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.37 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0$  bar ; C=1g/L).

<b>Temps (min)</b>	<b>Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Sp=Cp/C<sub>0</sub></b>	<b>Rm=1-Sp</b>
1	1.515	0.0886	0.9113
2	2.111	0.1235	0.8765
3	2.523	0.1476	0.8523
4	2.809	0.1643	0.8356
5	2.976	0.1741	0.8258
6	3.055	0.1787	0.8212
7	3.119	0.1825	0.8174
8	3.158	0.1847	0.8152
9	3.182	0.1861	0.8138
10	3.198	0.1871	0.8128

**Manipulation n°02 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.38 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0.5\text{bar}$  ;  $C=1\text{g/L}$ ).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	1.476	0.0863	0.9136
2	2.00	0.1170	0.8829
3	2.452	0.1434	0.8565
4	2.722	0.1592	0.8407
5	2.873	0.1681	0.8318
6	2.952	0.1727	0.8272
7	3.007	0.1759	0.8240
8	3.047	0.1782	0.8217
9	3.079	0.1801	0.8198
10	3.103	0.1815	0.8184

**Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

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

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	1.444	0.0844	0.9155
2	1.976	0.1156	0.8843
3	2.396	0.1401	0.8598
4	2.666	0.1559	0.8440
5	2.793	0.1634	0.8365
6	2.880	0.1685	0.8314
7	2.952	0.1727	0.8272
8	3.007	0.1759	0.8240
9	3.031	0.1773	0.8226
10	3.047	0.1782	0.8217

**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.40** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1.5$  bar ; C=1g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	1.436	0.0840	0.9159
2	2.007	0.1174	0.8825
3	2.468	0.1444	0.8555
4	2.658	0.1555	0.8444
5	2.785	0.1629	0.8370
6	2.880	0.1685	0.8314
7	2.952	0.1727	0.8272
8	2.992	0.1750	0.8249
9	3.015	0.1764	0.8235
10	3.023	0.1768	0.8231

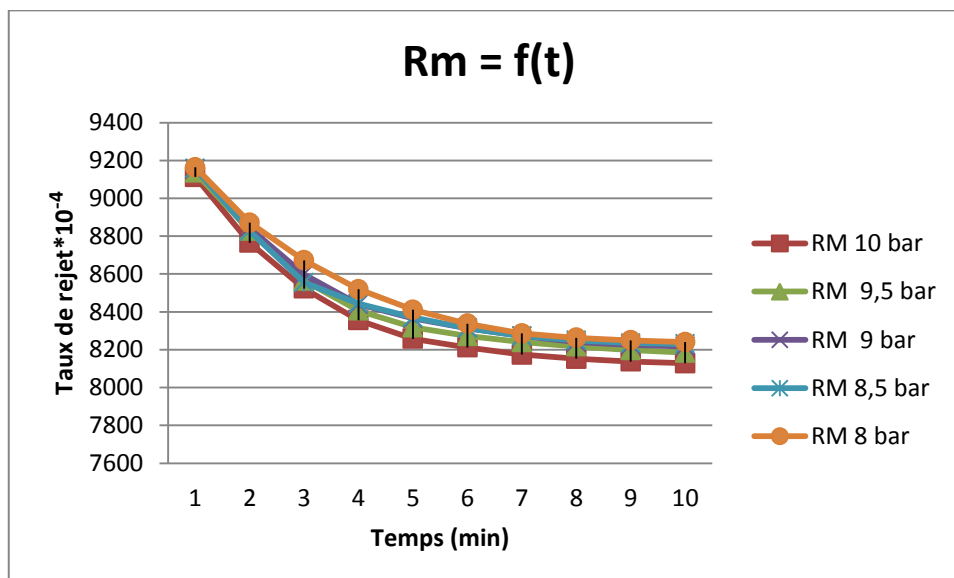
**Manipulation n°05 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.41** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 2$  bar ;  $C=1$ g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	1.428	0.0835	0.9164
2	1.928	0.1128	0.8871
3	2.269	0.1327	0.8672
4	2.531	0.1480	0.8519
5	2.714	0.1588	0.8411
6	2.841	0.1662	0.8337
7	2.928	0.1713	0.8286
8	2.968	0.1736	0.8263
9	2.992	0.1750	0.8249
10	3.007	0.1759	0.8240

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



**Figure V.17** : La variation de taux de rejet en fonction du temps (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=1$ g/L).

**V.2.5. Pour une concentration de 3 g/L****Manipulation n° 1 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 522 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 24°C.

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

**Tableau V.42:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P_{\text{entrée}}=10$  bars ;  $\Delta P = 0$  bar ;  $C=3\text{g/L}$ ).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
1	10	10	395	310	18.60	890	287
2	10	10	395	315	18.90	891	363
3	10	10	395	320	19.20	894	429
4	10	10	395	325	19.50	899	468
5	10	10	395	335	20.10	906	480
6	10	10	395	345	20.70	914	487
7	10	10	395	350	21.00	925	493
8	10	10	395	355	21.30	937	497
9	10	10	395	360	21.60	951	500
10	10	10	395	365	21.90	972	502

**Manipulation n° 2 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 522 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 26°C.

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

**Tableau V.43:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9.5	770	290	17.40	908	278
2	10	9.5	770	295	17.70	909	352
3	10	9.5	770	300	18.00	913	415
4	10	9.5	770	310	18.60	918	443
5	10	9.5	770	315	18.90	925	461
6	10	9.5	770	325	19.50	933	471
7	10	9.5	770	335	20.10	944	477
8	10	9.5	770	340	20.40	957	482
9	10	9.5	770	345	20.70	971	485
10	10	9.5	770	350	21.00	993	487

### Manipulation n° 3 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 522 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 17.5°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.44:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9	940	275	16.50	923	273
2	10	9	940	280	16.80	925	351
3	10	9	940	285	17.10	928	412
4	10	9	940	295	17.70	933	433
5	10	9	940	305	18.30	941	449
6	10	9	940	315	18.90	950	460
7	10	9	940	325	19.50	961	468
8	10	9	940	330	19.80	974	474
9	10	9	940	335	20.10	991	477
10	10	9	940	340	20.40	1012	478

#### Manipulation n° 4 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 522 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 19°C. Température après : 27°C.

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



**Tableau V.45:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	8.5	940	265	15.90	937	270
2	10	8.5	940	270	16.20	938	349
3	10	8.5	940	275	16.50	941	406
4	10	8.5	940	285	17.10	947	424
5	10	8.5	940	295	17.70	955	439
6	10	8.5	940	305	18.30	963	451
7	10	8.5	940	315	18.90	973	458
8	10	8.5	940	320	19.20	985	464
9	10	8.5	940	325	19.50	1001	468
10	10	8.5	940	330	19.80	1025	470

#### Manipulation n° 5 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 522 ( $\mu\text{s/cm}$ )

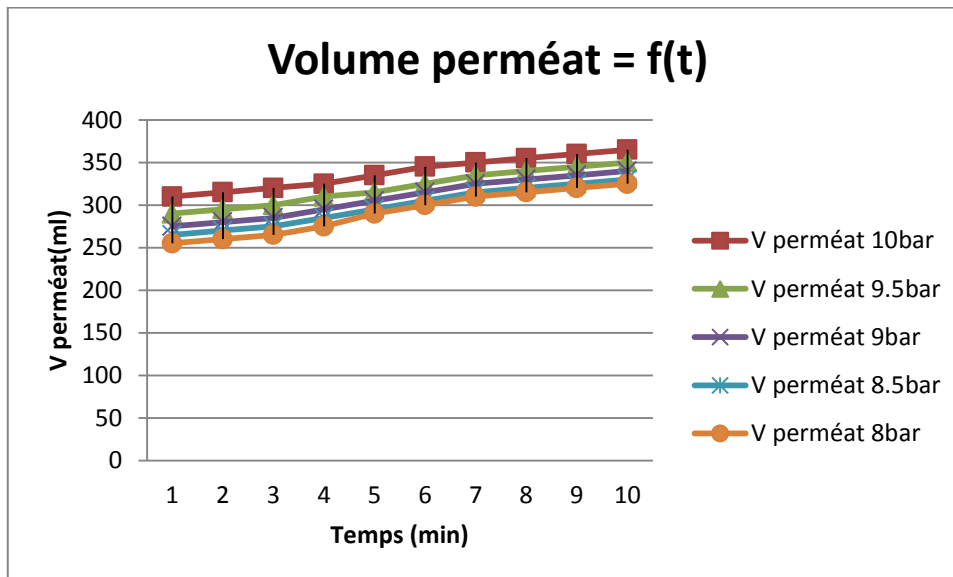
Température avant : 17°C. Température après : 24°C.

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

**Tableau V.46:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ;  $C=3$ g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu$ s/cm)	Conductivité perméat ( $\mu$ s/cm)
1	10	8	940	255	15.30	944	268
2	10	8	940	260	15.60	945	336
3	10	8	940	265	15.90	948	387
4	10	8	940	275	16.50	953	419
5	10	8	940	290	17.40	960	431
6	10	8	940	300	18.00	968	444
7	10	8	940	310	18.60	979	454
8	10	8	940	315	18.90	992	461
9	10	8	940	320	19.20	1009	465
10	10	8	940	325	19.50	1030	467

### V.2.5.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps :



**Figure V.18 :** La variation de volume de perméat en fonction de temps

( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2 ; C=3$ g/L).

### V.2.5.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

#### ➤ La variation de conductivité de perméat :

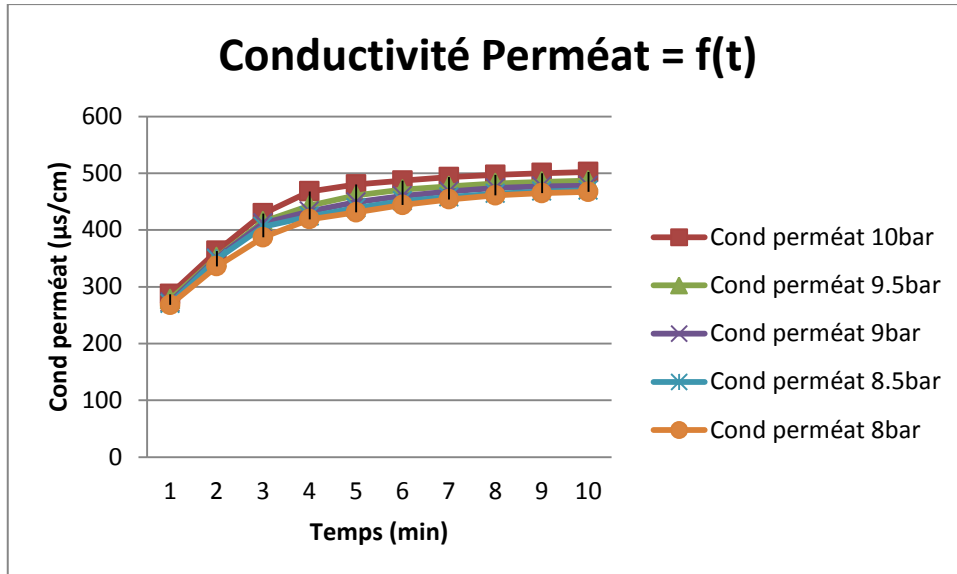


Figure V.19 : La variation de conductivité de perméat

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ; C=3g/L).

#### ➤ La variation de conductivité du concentrât :

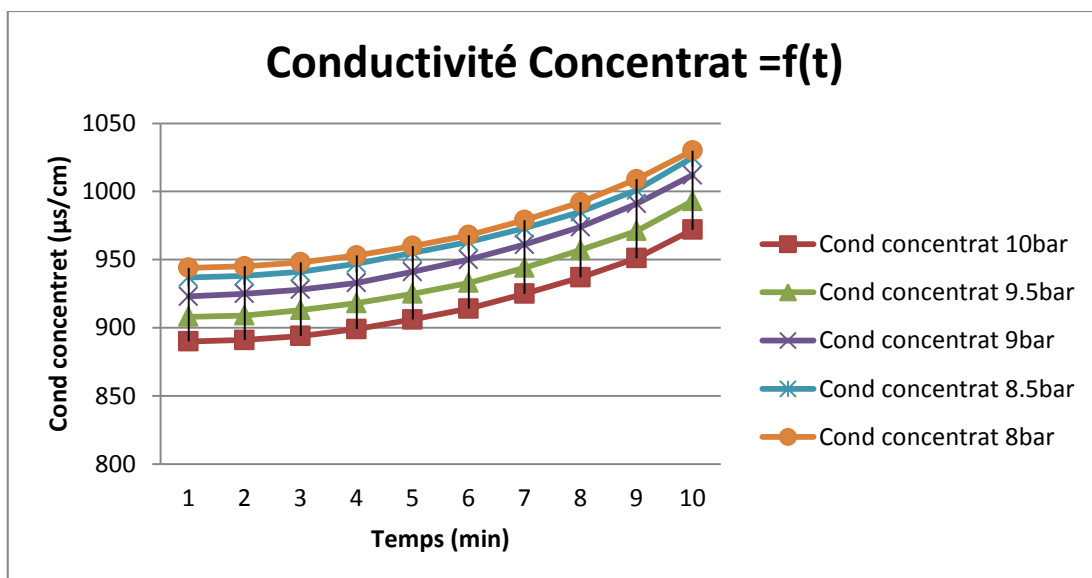


Figure V.20 : La variation de conductivité du concentrât

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ; C=3g/L).

**V.2.5.3. La variation de la rétention globale du module :****Manipulation n°01 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.47 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	2.277	0.0444	0.9555
2	2.880	0.0561	0.9438
3	3.404	0.0663	0.9336
4	3.714	0.0724	0.9275
5	3.809	0.0742	0.9257
6	3.865	0.0753	0.9246
7	3.912	0.0762	0.9237
8	3.944	0.0769	0.9230
9	3.968	0.0773	0.9226
10	3.984	0.0776	0.9223

**Manipulation n°02 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.48 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0.5\text{bar}$  ;  $C=3\text{g/L}$ ).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	2.206	0.0430	0.9569
2	2.793	0.0544	0.9455
3	3.293	0.0642	0.9357
4	3.515	0.0685	0.9314
5	3.658	0.0713	0.9286
6	3.738	0.0728	0.9271
7	3.785	0.0738	0.9261
8	3.825	0.0745	0.9254
9	3.849	0.0750	0.9249
10	3.865	0.0753	0.9246

**Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.49** : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	2.166	0.0422	0.9577
2	2.785	0.0543	0.9456
3	3.269	0.0637	0.9362
4	3.436	0.0670	0.9329
5	3.563	0.0694	0.9305
6	3.650	0.0711	0.9288
7	3.714	0.0724	0.9275
8	3.761	0.0733	0.9266
9	3.785	0.0738	0.9261
10	3.793	0.0739	0.9260

**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.50 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1.5$  bar ; C=3g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	2.142	0.0417	0.9582
2	2.769	0.0539	0.9460
3	3.222	0.0628	0.9371
4	3.365	0.0656	0.9343
5	3.484	0.0679	0.9320
6	3.579	0.0697	0.9302
7	3.634	0.0708	0.9291
8	3.682	0.0718	0.9281
9	3.714	0.0724	0.9275
10	3.730	0.0727	0.9272

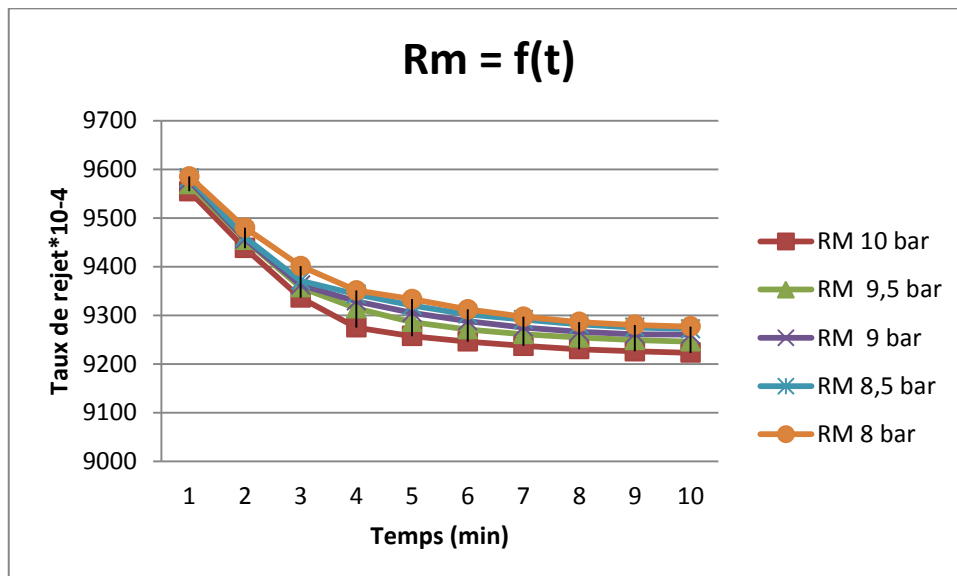
**Manipulation n°05 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.51 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 2$  bar ;  $C=3$ g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	2.126	0.0414	0.9585
2	2.666	0.0519	0.9480
3	3.071	0.0598	0.9401
4	3.325	0.0648	0.9351
5	3.420	0.0666	0.9333
6	3.523	0.0687	0.9312
7	3.603	0.0702	0.9297
8	3.658	0.0713	0.9286
9	3.690	0.0719	0.9280
10	3.706	0.0722	0.9277

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



**Figure V.21:** La variation de taux de rejet en fonction du temps

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



**V.2.6. Pour une concentration de 5 g/L****Manipulation n° 1 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 673 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 19°C. Température après : 27°C.

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

**Tableau V.52:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=5g/L).

Temp s (min)	Pressio n entrée (bar)	Pressio n sortie (bar)	Débit alimentatio n (l/h)	Volum e perméa t (ml)	Débit perméa t (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	10	410	320	19.20	1130	418
2	10	10	410	325	19.50	1132	481
3	10	10	410	330	19.80	1137	525
4	10	10	410	335	20.10	1146	556
5	10	10	410	345	20.70	1161	580
6	10	10	410	355	21.30	1187	597
7	10	10	410	365	21.90	1219	609
8	10	10	410	370	22.20	1257	616
9	10	10	410	380	22.80	1302	620
10	10	10	410	385	23.10	1356	622

**Manipulation n° 2 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 673 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.53:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9.5	790	300	18.00	1152	405
2	10	9.5	790	305	18.30	1155	462
3	10	9.5	790	310	18.60	1161	511
4	10	9.5	790	315	18.90	1172	543
5	10	9.5	790	325	19.50	1191	567
6	10	9.5	790	335	20.10	1219	580
7	10	9.5	790	345	20.70	1248	589
8	10	9.5	790	355	21.30	1281	596
9	10	9.5	790	365	21.90	1324	600
10	10	9.5	790	370	22.20	1385	603

### Manipulation n° 3 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 673 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 24°C.

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

**Tableau V.54:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	9	940	285	17.10	1170	393
2	10	9	940	290	17.40	1173	454
3	10	9	940	295	17.70	1178	501
4	10	9	940	300	18.00	1189	528
5	10	9	940	310	18.60	1206	549
6	10	9	940	320	19.20	1229	563
7	10	9	940	330	19.80	1258	572
8	10	9	940	340	20.40	1291	579
9	10	9	940	345	20.70	1338	583
10	10	9	940	355	21.30	1405	585

#### Manipulation n° 4 :

Conductivité de la solution d'alimentation : 673 ( $\mu\text{s/cm}$ )

Température avant : 18°C. Température après : 24.5°C.

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

**Tableau V.55:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (L/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (L/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )
1	10	8.5	940	270	16.20	1181	386
2	10	8.5	940	275	16.50	1184	464
3	10	8.5	940	280	16.80	1189	511
4	10	8.5	940	290	17.40	1202	533
5	10	8.5	940	300	18.00	1219	547
6	10	8.5	940	315	18.90	1242	558
7	10	8.5	940	325	19.50	1269	565
8	10	8.5	940	335	20.10	1298	571
9	10	8.5	940	340	20.40	1351	574
10	10	8.5	940	345	20.70	1418	575

**Manipulation n° 5 :**

Conductivité de la solution d'alimentation : 673 ( $\mu\text{s/cm}$ )

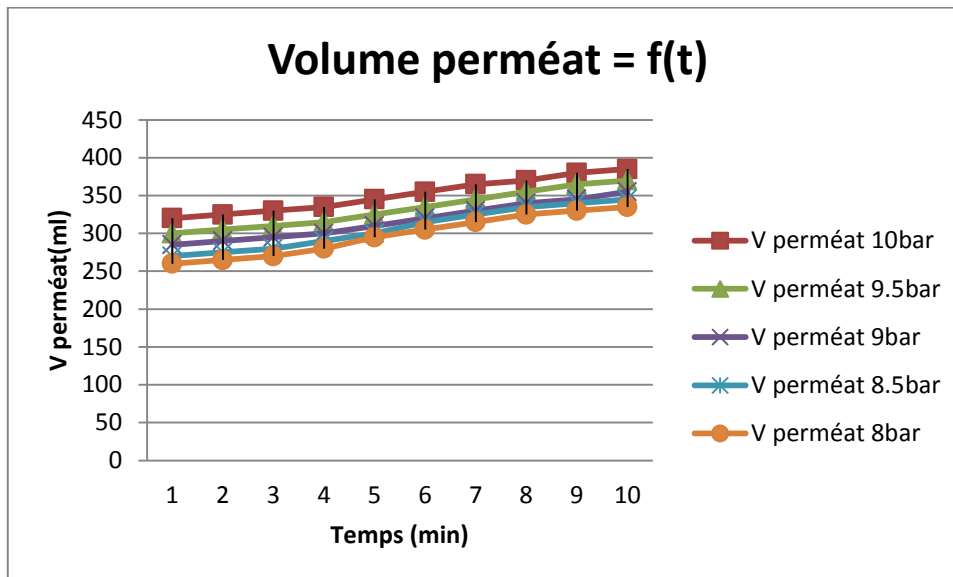
Température avant : 18°C. Température après : 25°C.

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

**Tableau V.56:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ;  $C=5$ g/L).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu$ s/cm)	Conductivité perméat ( $\mu$ s/cm)
1	10	8	940	260	15.60	1186	384
2	10	8	940	265	15.90	1189	441
3	10	8	940	270	16.20	1195	482
4	10	8	940	280	16.80	1208	513
5	10	8	940	295	17.70	1225	534
6	10	8	940	305	18.30	1249	551
7	10	8	940	315	18.90	1277	562
8	10	8	940	325	19.50	1311	568
9	10	8	940	330	19.80	1356	571
10	10	8	940	335	20.10	1424	572

#### V.2.6.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps :



**Figure V.22 :** La variation de volume de perméat en fonction de temps

( $P$  entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5$ g/L).

### V.2.6.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps :

#### ➤ La variation de la conductivité de perméat :

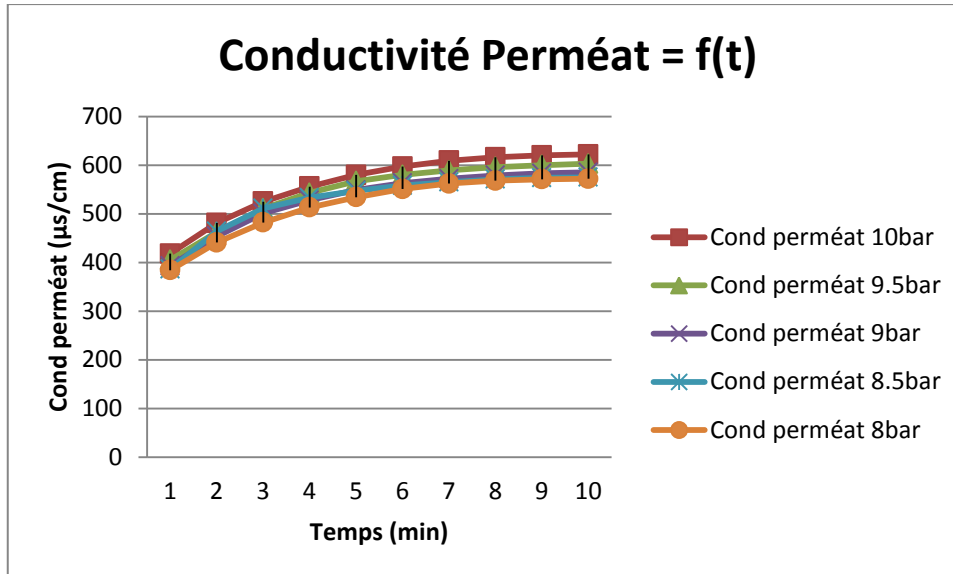


Figure V.23 : La variation de la conductivité de perméat

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ; C=5g/L).

#### ➤ La variation de la conductivité du concentrât :

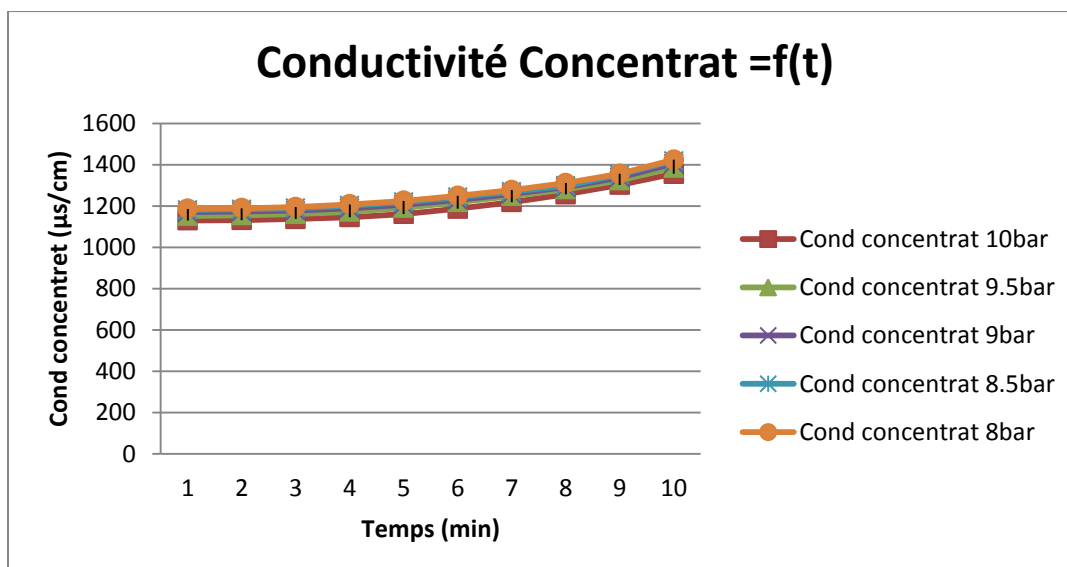


Figure V.24 : La variation de la conductivité du concentrât

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ; C=5g/L).

**V.2.6.3. La variation de la rétention globale du module :****Manipulation n°01 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.57 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	3.317	0.0388	0.9611
2	3.817	0.0446	0.9553
3	4.166	0.0487	0.9512
4	4.412	0.0516	0.9483
5	4.603	0.0538	0.9461
6	4.738	0.0554	0.9445
7	4.833	0.0565	0.9434
8	4.888	0.0571	0.9428
9	4.920	0.0575	0.9424
10	4.936	0.0577	0.9422

**Manipulation n°02 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.58 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0.5\text{bar}$  ;  $C=5\text{g/L}$ ).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	3.214	0.0376	0.9623
2	3.666	0.0428	0.9571
3	4.055	0.0474	0.9525
4	4.309	0.0504	0.9495
5	4.500	0.0526	0.9473
6	4.603	0.0538	0.9461
7	4.674	0.0546	0.9453
8	4.730	0.0553	0.9446
9	4.761	0.0557	0.9442
10	4.785	0.0559	0.9440

**Manipulation n°03 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :



**Tableau V.59 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	3.119	0.0364	0.9635
2	3.603	0.0421	0.9578
3	3.976	0.0465	0.9534
4	4.190	0.0490	0.9509
5	4.357	0.0509	0.9490
6	4.468	0.0522	0.9477
7	4.539	0.0531	0.9468
8	4.595	0.0537	0.9462
9	4.626	0.0541	0.9458
10	4.642	0.0543	0.9456

**Manipulation n°04 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.60 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 1.5$  bar ; C=5g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	3.063	0.0358	0.9641
2	3.682	0.0430	0.9569
3	4.055	0.0474	0.9525
4	4.230	0.0494	0.9505
5	4.341	0.0507	0.9492
6	4.428	0.0518	0.9481
7	4.484	0.0524	0.9475
8	4.531	0.0530	0.9469
9	4.555	0.0532	0.9467
10	4.563	0.0533	0.9466

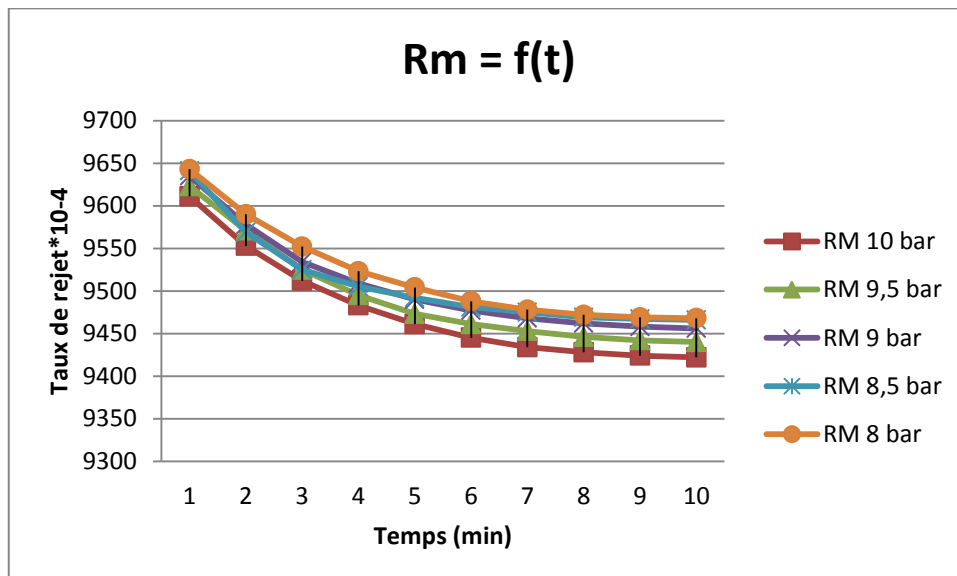
**Manipulation n°05 :**

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.61 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 2$  bar ;  $C=5$ g/L).

Temps (min)	Cp= conductivité de perméat / 126 (mol/m <sup>3</sup> )	Sp=Cp/C <sub>0</sub>	Rm=1-Sp
1	3.047	0.0356	0.9643
2	3.500	0.0409	0,9590
3	3.825	0.0447	0.9552
4	4.071	0.0476	0.9523
5	4.238	0.0495	0.9504
6	4.373	0.0511	0.9488
7	4.460	0.0521	0.9478
8	4.507	0.0527	0.9472
9	4.531	0.0530	0.9469
10	4.539	0.0531	0.9468

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



**Figure V.25:** La variation de taux de rejet en fonction du temps

(P entrée=10 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=5$ g/L).

### V.3. Interprétations des résultats :

❖ **Interprétation quand on a une solution d'eau de robinet + sel commerciale et une solution d'eau distillée + NaCl du laboratoire**

D'après les courbes (V.3 ; V.7 ; V.11 ; V.15 ; V.19 ; V.23) de Conductivité Perméat =  $f(t)$  et les courbes (V.4 ; V.8 ; V.12 ; V.16 ; V.20 ; V.24) de Conductivité Concentrât =  $f(t)$  on observe que la conductivité de perméat et la conductivité concentrât augmente quand nous augmentons la concentration du sel de la solution d'alimentation, en remarque que le volume de perméat augmente un peu.

Plus la pression de sortie du module démunie plus que la conductivité de perméat et le volume de perméat diminue et la conductivité de concentrât augmente.

La conductivité du perméat varie d'une manière forte entre 0 et 6 min et d'après 5min nous constatons une certaine stabilité de la conductivité du perméat, par contre la conductivité de concentrât présente une certaine stabilité entre 0 et 6 min et une croissance d'après la 5 minutes.

La variation du taux de rejet en fonction du temps présente une grande décroissance entre 0 et 5min puis une toute petite décroissance entre 5 et 8 min ; après cela c'est-à-dire après 8min les courbes se stabilisent et se stagne.

On constate que plus la pression de sortie de la membrane démunie plus le taux de rejet augmente.

D'après les courbes (V.5 ; V.9 ; V.13 ; V.17 ; V.21 ; V.25)  $RM = f(t)$  on observe que la représentation de l'évolution de taux de rejet n'est pas changée par rapport à la concentration de la solution de l'alimentation.

#### **Comparaison :**

Nous remarquons une petite différence entre les deux solutions (eau de robinet + sel commerciale) et (eau distillé + NaCl du laboratoire) qui se traduit par l'augmentation de la conductivité de la première solution. Nous constatons aussi que cette différence de conductivité augmente avec l'augmentation de la concentration des eaux saumâtres. Puisque nous travaillons à des solutions très diluées l'effet magnétique des cations et des anions est faible. Donc la force ionique intervient peut pour la solution de 1g /L. donc le rendement de

Dessalement est meilleur pour les solutions de faible force ionique.

**Conclusion :**

Cette étude nous a permis de comprendre expérimentalement l'influence de la force ionique de l'eau salée, des pressions de sortie de la membrane sur la conductivité du perméat et du concentrât et le volume de perméat produite. Les résultats obtenus ont bien montré que plus la pression de sortie de la membrane augmente, plus le volume de perméat augmente et ceci quel que soit les solutions utilisées (une solution d'eau de robinet + sel commerciale) ou (une solution d'eau distillé + NaCl du laboratoire).

Le taux de rejet de la membrane diminue avec l'augmentation du temps et de la pression de sortie.

## Conclusion générale

---

Le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres par le procédé d'osmose inverse est une solution qui a prouvé son intérêt pour subvenir au besoin en eau potable dans certaines régions qui souffrent d'une pénurie d'eau douce.

Le procédé d'osmose inverse est une technique de filtration membranaire. Ce procédé permet l'élimination des sels et des substances organiques présentes dans l'eau à traiter ainsi qu'une partie des virus et des bactéries.

Notre étude théorique et pratique sur l'influence de la force ionique sur le dessalement par le procédé d'osmose inverse des eaux faiblement saumâtres des concentrations de 1g/l ; 3g/l ; 5g/l en utilisant le pilot TE200

L'objectif de cette étude est de faire une comparaison de la force ionique entre une solution de l'eau de robinet et le NaCl et une autre solution de l'eau distillée et le NaCl pure.

A partir de cette étude expérimentale et des résultats trouvés et après plusieurs manipulations ; des conclusions suivantes ont été tirées :

- ✚ Une augmentation de la concentration en NaCl de la solution d'alimentation provoque une augmentation de la pression osmotique ce qui nécessite une augmentation de la pression d'entrée du module ;
- ✚ Plus le temps augmente plus la conductivité du concentrât augmente;
- ✚ Plus le temps augmente plus le volume de perméat augmente jusqu'à ce qu'il atteigne un équilibre ;
- ✚ Plus la concentration en sel augmente plus la conductivité de perméat augmente et plus le débit du perméat diminue ;
- ✚ Nous remarquons qu'on a un meilleur rendement dans la solution (eau distillée+ NaCl de laboratoire) ;
- ✚ Nous remarquons aussi une augmentation dans la conductivité de la solution (eau de robinet +sel commerciale) avec diminution de la conductivité de la solution (eau distillée +NaCl de laboratoire) ;
- ✚ la force ionique intervient peut dans (eau distillée + NaCl du laboratoire) donc on a un meilleur rendement.

# Introduction général

# ***PARTIE I***

## ***ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***



***Chapitre I :***  
***Généralités sur les eaux***

***Chapitre II :***  
***Les différents procédés de dessalement***

***Chapitre III :***  
***Osmose inverse***

***Partie II :***  
***Etude expérimentale***

***Chapitre IV :***  
***Matériels et méthodes***

***Chapitre V :***  
***Résultat et interprétation***

# *Conclusion générale*

## ***Bibliographies***

[1] FATHALLI Bilel (2011) : « Influence des paramètres opératoire sur les performances d'un système de dessalement par osmose inverse » école national des ingénieurs de Tunis ; Master professionnel source alternatives en eau.

[2] T.Tahri, A.Bettahar, M.Douani, S.A.Abdul Wahab, H.AlHinai, Y.AlMulla (2009) : « Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole ».

[3] [http://www.univ-chlef.dz/uahbc/seminaires\\_2010/Article-Tahri\\_C13](http://www.univ-chlef.dz/uahbc/seminaires_2010/Article-Tahri_C13). PDF consulté le 20/03/2014

[4] RENAUDIN Viviane, Maitre de conférences au Département Génie Chimique, 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> PDF consulté le 24/03/2014

[5] ZEMALI Sofiane (2004) : « comparaison entre l'osmose inverse et ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de forte concentration en sel » PFE pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[6] Mr Ait khaldoun Ibrahim (2011) : « optimisation du transport des cations Cu ,Zn ,cd par le tri-n-butylphosphate (tbp) à travers les membranes d'affinité » mémoire pour obtenir diplôme de magister en chimie de l'environnement, universités mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[7] CHERIF Lamia (2012) : « L'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le Prétraitement des eaux saumâtres ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de Diplôme de Master en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[8]ZEROUALI MEKKI (2012) : « Contribution à l'optimisation des performances d'un distillateur solaire » mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister en physique, Université hadj Lakhdar – Batna.



- [9] <http://www.medecine-et-sante.com/nutrition.html> consulté le 30/02/2013.
- [10] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Production\\_d'eau\\_potable](http://fr.wikipedia.org/wiki/Production_d'eau_potable) consulté le 28/02/2013.
- [11] ALAIN Maurel (2006): « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 2<sup>ème</sup> édition 11, rue Lavoisier, Paris.
- [12]Source : <http://tpe-leaupotable.e-monsite.com/pages/i-definitions/>  
Consulté le 11/03/2014
- [13] ALAIN Maurel (2001): « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 1<sup>ème</sup> édition 11, rue Lavoisier, Paris. France.
- [14] Rahmani Rym (2007) : « Rendement d'un distillateur solaire à film capillaire à plusieurs étages, effet de certains paramètres thermo physiques sur le rendement » Mémoire présente pour l'obtention diplôme de magister en génie climatique.
- [15]HALLOUFI Ouahid (2010) : « Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de préchauffage solaire de l'eau saumâtre» mémoire présente pour l'obtention du diplôme de magister en génie climatique, université Mentouri Constantine faculté de science d'ingénieur, département de génie climatique.
- [16] Jacques Bordet (2007) :« l'eau dans son environnement rural » Editions JOHANET
- [17] <http://galileo.cyberscol.qc.ca/> consulté le 11/04/2014
- [18] <http://www.guerir.org/dossiers/eau-potable-et-cancer/les-differentes-eaux.htm> consulté le 15/03/2014
- [19] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau\\_potable](http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_potable). Consulté le 11/04/2014
- [20] AFNOR (1999) : « Qualité biochimique et micro biologique de l'eau » Tome 4. .  
Consulté le 22 /04/2014
- [21] Article Office National de l'Eau Potable  
<http://culturesciences.chimie.ens.fr/> consulté le 21/01/2014.
- [22] <http://www.cieau.com/tout-sur-l-eau/> consulté le 26/03/2014.

- [23] Dégrémont (1984) : « Mémento et technique de l'eau ». 9ème Edition France. Tome 1.
- [24] Jean Juc Celleric (2002) : « La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau » Paris
- [25] Association Française de Normalisation (1999) : « Qualité physique et chimique de l'eau » Tome 4. Consulté le 22 /04/2014
- [26] AFNOR (1999) : « Qualité biochimique et micro biologique de l'eau » Tome 5. Consulté le 22 /04/2014
- [27] Monique Henry (1991) : «Les eaux naturelles et les eaux de consommation » Saint Laurent.
- [28] Jean Juc Celleric (2002) : « La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau » Paris.
- [29] G. Menant – M.Oria – J. Raffin (1984) : «Anatomie, physiologie, hygiène » 3ème élément de Médecine Tropicale, Janvier.
- [30] THEBAULT P (1978) : « Elimination des matières organiques et des micros- polluants dans les eaux de surface » Lorraine.
- [31] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/i-l-eau-potable/i-b-les-normes-de-potabilite/>
- [32]<http://sciencepasteur.pbworks.com/w/page/47768207/Les%20diff%C3%A9rents%20probl%C3%A8mes%20relatifs%20%C3%A0%20l'eau%20potable.>
- [34] DEGEMENT (2005) « Mémento technique de l'eau ». Tome I, Lavoisier, Paris. France.
- [35]<http://energie2maison.wordpress.com/2009/02/05/dimensionnement-vase-expansion/> consulté le 27 /02/2014.
- [36] LOUNNAS Amel (2009) : « Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station HAMADI-KROMA de SKIKDA». Mémoire de Magister, université du 20 Août 1995 Skikda.
- [37] Dégrément (1940) : « Mémento et technique de l'eau ». Edition France.
- [38] BENAÏSSA Fatima Zohra (2013) : « Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres » Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de Diplôme de Master en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[39] Souad KAROUT (2009) : « estimation des pertes thermiques dans des systèmes de dessalement par voie solaire » mémoire présente pour obtenir le diplôme de magister en physique, université Mentouri de Constantine faculté des sciences exactes, département de physique.

[40] <http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/le-dessalement-de-leau-de-mer-et-des-eaux-saumatres-840>.

[41] Selma Jariri 01 octobre 2009 : « LE DESSALEMENT D'EAU » un levier du développement durable au Maroc, office national de l'eau potable, expo Andalousie Maroc – Casablanca. Consulté le 03/03/2014.

[42] HEDI BELHADJ 12à15 novembre2012 : « état des lieux et perspectives de développement du dessalement en Tunisie » République Tunisienne ; ministère de l'agriculture ; société nationale d'exploitation et de distribution des eaux ; [http://www.aedyr.com/presentaciones\\_pdf/2\\_REPUBLIQUE\\_TUNISSIENE.pdf](http://www.aedyr.com/presentaciones_pdf/2_REPUBLIQUE_TUNISSIENE.pdf)

[43] ALAIN Maurel (2006): « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 2<sup>ème</sup> édition 11, rue Lavoisier, Paris.

[44] Farid TATA-DUCRU Janvier 2009 : « Dessalement de l'eau de mer bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes » Agence Française de Développement.

[45] BOUTRIAA ABDELOUAHAB (2009) : « Effet des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un distillateur solaire ».

[46] Youssef Mandri **13 décembre 2011** : « Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide » l'université Claude Bernard Lyon 1 et préparée en cotutelle avec l'université Mohammed v- Agdal de Rabat pour l'obtention du Diplôme de Doctorat en Génie des procédés, Lyon.

[47] <http://www.lycee-kerichen.org/dossiers/ProjetInde/page5.html> consulté le 25/04/2014.

[48] Jean-Pierre Méricq **le 9 décembre 2009** : « Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire » THÈSE En vue de l'obtention du Doctorat de l'université de Toulouse ; Génie des Procédés et de l'Environnement.

- [49] [http://www.ulb.ac.be/sciences/intra/inforsc\\_archives/nrj/vico.htm](http://www.ulb.ac.be/sciences/intra/inforsc_archives/nrj/vico.htm) consulté le 17/04/2014
- [50] Jean-Marc BERLAND et Catherine JUERY Décembre 2002 : « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau » Office International de l'Eau SNIDE.
- [51] <http://www.elessia.com/fr/explication-de-fonctionnement-de-losmose-inverse.html> consulté le **20/04/2014**.
- [52] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1281> Consulté le 24/04/2014
- [53] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles Février 2003 : « systèmes communs de traitement des eaux et gaz résiduaires dans l'industrie chimique »; PDF consulté le 13/03/2014.
- [54] Energies renouvelables et environnement ; bureau d'études industrielles ; <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/congelation> consulté le 29/02/2014.
- [55] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Distillateur\\_solaire](http://fr.wikipedia.org/wiki/Distillateur_solaire) consulté le 28/02/2014.
- [56] <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11178/le-distillateur-solaire> consulté le 18/02/2014.
- [57] BELKHARCHOUCHE Djanet (2010) : « adsorption du bore par les alumines modifiées » Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de MAGISTERE en Chimie Analytique Physique et Environnement, UNIVERSITE Mentouri – Constantine, Faculté des Sciences Exactes, Département de CHIMIE.
- [58] W.J.Masschelien, traduit par H.Chevolet (1997) : « Processus unitaire du traitement de l'eau potables » Lavoisier.
- [59] [http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich8\\_3.htm](http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich8_3.htm) consulté le 31/04/2014
- [60] Loren BERTHET, Isabelle JACQUET, Audrey PROVASI Ethique des Affaires master2 (2005-2006) : « l'eau gratuite c'est fini ? » Grenoble I.A.E. consulté le 01/05/2014.
- [61] Dossier thématique-La Cité de la Mer-Technopole Cherbourg-Normandie/Avril 2012.
- [62] <http://dessalement.blogspot.com> consulté le 05/05/2014.

[63] SI MOHAMED Fatima(2014) : « Etude expérimentale de l'efficacité d'une membrane en film mince de type spirale pour le dessalement des eaux saumâtres » mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université ABOUBAKR BELKAID-TLEMCCEN.

[64] ZAHAF Benyounes (2003) : « L'osmose inverse pour les faibles concentration en sels ». Mémoire de Fin d'Etude pour l'Obtention du Diplôme DEUA en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[65] Mme. CHENAOUI BAKHTA (2005) : « Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement » Département d'hydraulique. Université de CHLEF.

[66] Allard G.B. (1984) : « L'osmose inverse « description et principe de fonctionnement » Centre de recherche, de développement et de transfert technologique en acériculture.

[67] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1280> consulté le 02/05/2014.

[68] Danis P. (2003) : « Dessalement de l'eau de mer » Techniques de l'Ingénieur, J 2700

[69] <http://www.ecotoxicologie.fr/Dessalement.php> consulté le 7/04/2014.

[70] ALAM Ibtissem et KERROUM Amina (2008) : « Optimisation de fonctionnement d'une unité de traitement des eaux a IN SALAH » Mémoire pour l'obtention du Diplôme DEUA en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[71] Les cours de professeur monsieur CHIBOUB FELALH de la licence 2012.

[72] <http://www.lenntech.fr/procedes/dessalement/osmose-inverse/dessalement/osmose-inverse-procede-de-dessalement.htm#ixzz2xlj4eYjy> consulté le 08/04/2014.

[73] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Filtration\\_sur\\_membrane#Les\\_diff.C3.A9rents\\_types\\_de\\_membrane](http://fr.wikipedia.org/wiki/Filtration_sur_membrane#Les_diff.C3.A9rents_types_de_membrane)

[74] Cours de Dr BESSEDIK master1 hydraulique technologie et traitement des eaux 2013.

[75] <http://www.lenntech.fr/francais/membrane-technologie.htm>

[76] Lebleu N (2007) : « Désinfection des eaux par procédés membranaires : étude des mécanismes de transfert des bactéries » Thèse Présentée en vue de l'obtention du Doctorat de l'Université de Toulouse.

[77] <http://www.didier-pol.net/1MEMBRA1.html>

[78] Maxime PONTTIE (2008) : « La nano filtration pour un dessalement sélectif»

[http://www.info.univ-angers.fr/~gh/Tools/gap/dessalementCFM\\_M.\\_Pontie.pdf](http://www.info.univ-angers.fr/~gh/Tools/gap/dessalementCFM_M._Pontie.pdf) consulté le **19/05/2013**.

[79] COMBESCURE Mathieu, FAGES An, NIEZBORALA Cécile, VAUR Mathieu Février (2002) : « l'eau ultrapure obtention et applications, office international de l'eau » Service National d'Information et de Documentation sur l'Eau.

[80] Annie Bissonnette Janvier (2008) : « utilisation de nano membranes pour le dessalement de l'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation » Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, centre universitaire de formation en environnement université de sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.

[81] LACHHABE Ahmed le 1 juillet 2004 : « comparaison entre l'osmose inverse et ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de faible concentration en sel » PFE pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique ; université de Tlemcen.

[82] ZEMALI Sofiane (2004) : « Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de fortes concentrations en sel ». Mémoire de Projet de Fin d'Etude Pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.

[83] Bulletin technique : « osmose inverse TE200 ». DELTALAB. 38340 VOREPPE. France.

## *Liste des abréviations*

**A** : Perméabilité au solvant.a

**B** : La perméabilité de la membrane au sel

**C** : Concentration.

**C<sub>0</sub>**: La concentration moyenne de soluté dans la solution

**C<sub>i</sub>** : Concentration d'ion

**C<sub>m</sub>** : La concentration du soluté arrêté près de la membrane

**C<sub>p</sub>** : Concentration du perméat

**ΔC**: la différence de la concentration en sel de part et d'autre de la membrane

**I** : la force ionique

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

**J<sub>1</sub>** : le flux d'eau à travers la membrane

**J<sub>2</sub>** : le flux de sel à travers la membrane

**MED**: multi-effet distillation

**MES** : Matière en suspension.

**MF** : Microfiltration.

**MSF**: multi-stage flash

**NF** : Nanofiltration.

**OI** : Osmose Inverse.

**P entrée** : la pression d'entrée de la membrane.

**PH** : Potentiel d'Hydrogène.

**$\Delta P$**  : La différence de pression de part et d'autre de la membrane

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

**$\Pi$**  : Pression osmotique.

**$Q_0$**  : Débit d'alimentation.

**$Q_c$**  : Débit de concentrât.

**$Q_p$**  : Débit de perméat.

**$R$**  : Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) .

**$R_m$** : Rétenion globale du module.

**$S$**  : Surface.

**$T$**  : Température.

**TFC** : thin film composite (les membranes composites)

**TH** : titre hydramétrique

**UF** : Ultrafiltration.

**V** : Volume.

**Y** : Taux de conversion.

**$\gamma$**  : Facteur de polarisation.

**$Z_i$**  : la valence d'ion



## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Répartition de l'eau sur la planète .....	1
<b>Figure I.1:</b> Représentation schématique du cycle hydrologique globale.....	5
<b>Figure I.2 :</b> Les phases de l'eau.....	8
<b>Figure II.1:</b> Les différents procédés de dessalement .....	9
<b>Figure II.2:</b> schéma distillation a multiple effets.....	20
<b>Figure II.3 :</b> Principe de fonctionnement d'un système par détentes Successives (MSF) à 3 étages .....	21
<b>Figure II.4 :</b> Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur.....	21
<b>Figure II.5:</b> Schéma De Principe d'une électrodialyse.....	22
<b>Figure II.6 :</b> Principe de l'osmose et l'osmose inverse .....	23
<b>Figure II.7 :</b> Système de distillation solaire.....	25
<b>Figure II.8 :</b> Le distillateur solaire a l'énergie solaire .....	26
<b>Figure II.9 :</b> colonne échangeur d'ions.....	26
<b>Figure III.1:</b> Installation de dessalement par osmose inverse .....	29
<b>Figure III.2 :</b> le principe d'osmose inverse .....	30
<b>Figure III.3 :</b> L'osmose et l'osmose invers .....	31
<b>Figure III.4:</b> Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.....	35
<b>Figure III.5:</b> Membranes tubulaires.....	36
<b>Figure III.6:</b> Membranes planes .....	36
<b>Figure III.7:</b> Les membranes composites .....	37
<b>Figure III.8 :</b> Microfiltration(MF) .....	38
<b>Figure III.9 :</b> Ultrafiltration(UF) .....	38

<b>Figure III.10 :</b> Nano filtration(NF).....	39
<b>Figure III.11 :</b> Osmose inverse(OI).....	39
<b>Figure III.12:</b> Cellule de Filtration Frontale.....	40
<b>Figure III.13:</b> Écoulement tangentielle .....	40
<b>Figure III.14:</b> exemple des modules.....	41
<b>Figure III.15 :</b> module spirale.....	41
<b>Figure III.16 :</b> Modules à fibres creuse .....	42
<b>Figure III.17 :</b> montage en parallèle.....	44
<b>Figure III.18 :</b> montage en série .....	44
<b>Figure III.19:</b> biofilm .....	45
<b>Figure III.20:</b> Scénarios de colmatage d'une membrane .....	46
<b>Figure IV.1 :</b> Construction de pilot TE 200.....	48
<b>Figure IV.2 :</b> photo de pilot TE 200 (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen) .....	49
<b>Figure IV.3 :</b> Liste des vannes .....	51
<b>Figure IV.4 :</b> Photo de conductimètre (laboratoire de chimie université Abou Bakr Belkaid – TLEMEN-).....	54
<b>Figure IV.5 :</b> Photo de l'agitateur (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen) .....	55
<b>Figure IV.6 :</b> Photo de balance électronique (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen) .....	55
<b>Figure V.1 :</b> perméabilité de la membrane au solvant .....	57
<b>Figure V.2 :</b> La variation de volume de perméat en fonction de temps (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1g/L$ ).....	63
<b>Figure V.3 :</b> La variation de conductivité de perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1g/L$ ).....	64
<b>Figure V.4 :</b> La variation de conductivité du concentrât (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1g/L$ ).....	64

<b>Figure V.5:</b> La variation de taux de rejet en fonction du temps (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1\text{g/L}$ ).....	69
<b>Figure V.6 :</b> La variation de volume de perméat en fonction de temps (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/L}$ ).....	74
<b>Figure V.7 :</b> La variation de conductivité de perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/L}$ ).....	75
<b>Figure V.8 :</b> La variation de conductivité du concentrât (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/L}$ ).....	75
<b>Figure V.9:</b> La variation de taux de rejet en fonction du temps (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3\text{g/L}$ ).....	80
<b>Figure V.10 :</b> La variation de volume de perméat en fonction de temps (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5\text{g/L}$ ).....	85
<b>Figure V.11 :</b> La variation de la conductivité de perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5\text{g/L}$ ).....	86
<b>Figure V.12 :</b> La variation de la conductivité du concentrât (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5\text{g/L}$ ).....	86
<b>Figure V.13:</b> La variation de taux de rejet en fonction du temps (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5\text{g/L}$ ).....	91
<b>Figure V.14 :</b> La variation de volume de perméat en fonction de temps (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1\text{g/L}$ ).....	96
<b>Figure V.15 :</b> La variation de conductivité de perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1\text{g/L}$ ).....	97
<b>Figure V.16 :</b> La variation de conductivité du concentrât (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1\text{g/L}$ ).....	97
<b>Figure V.17:</b> La variation de taux de rejet en fonction du temps (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=1\text{g/L}$ ).....	102
<b>Figure V.18 :</b> La variation de volume de perméat en fonction de temps	

(P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3g/L$ ).....	107
<b>Figure V.19 :</b> La variation de conductivité de perméat	
(P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3g/L$ ).....	108
<b>Figure V.20 :</b> La variation de conductivité du concentrât	
(P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3g/L$ ).....	108
<b>Figure V.21:</b> La variation de taux de rejet en fonction du temps	
(P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=3g/L$ ).....	113
<b>Figure V.22 :</b> La variation de volume de perméat en fonction de temps	
(P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5g/L$ ).....	118
<b>Figure V.23 :</b> La variation de la conductivité de perméat	
(P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5g/L$ ).....	119
<b>Figure V.24 :</b> La variation de la conductivité du concentrât	
(P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5g/L$ ).....	119
<b>Figure V.25:</b> La variation de taux de rejet en fonction du temps	
(P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=5g/L$ ).....	124

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1 :</b> Les principales ressources en eau distribuées dans le monde.....	4
<b>Tableau I.2 :</b> Répartition des eaux sur le globe .....	6
<b>Tableau I.3 :</b> classification des eaux selon la salinité .....	7
<b>Tableau I.4 :</b> Masse volumique de l'eau en fonction de sa température .....	14
<b>Tableau II.1 :</b> la salinité moyenne des mers.....	16
<b>Tableau II.2 :</b> avantage et inconvénients de l'osmose inverse .....	24
<b>Tableau II.3:</b> Les différentes méthodes de dessalement .....	27
<b>Tableau III.1:</b> Présente le cout de chaque système de récupération d'énergi .....	35
<b>Tableau III.2 :</b> Les ordres de grandeur des tailles des pores des membranes d'OI, de NF, d'UF et de MF .....	39
<b>Tableau V.1 :</b> résultats des débits de perméat en fonction des pressions.....	57
<b>Tableau V.2:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0$ bar ; C=1g/L).....	59
<b>Tableau V.3 :</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; C=1g/L). .....	60
<b>Tableau V.4:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1$ bar ; C=1g/L).....	61
<b>Tableau V.5:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; C=1g/L).....	62
<b>Tableau V.6:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 2$ bar ; C=1g/L).....	63
<b>Tableau V.7 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0$ bar ; C=1g/L) .....	65

<b>Tableau V.8 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0.5\text{bar}$ ; C=1g/L) .....	66
<b>Tableau V.9 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1\text{ bar}$ ; C=1g/L) .....	67
<b>Tableau V.10 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1.5\text{ bar}$ ; C=1g/L) .....	68
<b>Tableau V.11 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 2\text{ bar}$ ; C=1g/L). .....	69
<b>Tableau V.12:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0\text{ bar}$ ; C=3g/L).....	70
<b>Tableau V.13:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0.5\text{ bar}$ ; C=3g/L).....	71
<b>Tableau V.14:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1\text{ bar}$ ; C=3g/L).....	72
<b>Tableau V.15:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1.5\text{ bar}$ ; C=3g/L).....	73
<b>Tableau V.16:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 2\text{ bar}$ ; C=3g/L).....	74
<b>Tableau V.17:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0\text{ bar}$ ; C=3g/L) .....	76
<b>Tableau V.18 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0.5\text{bar}$ ; C=3g/L) .....	77
<b>Tableau V.19:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1\text{ bar}$ ; C=3g/L) .....	78
<b>Tableau V.20 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1.5\text{ bar}$ ; C=3g/L) .....	79
<b>Tableau V.21 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 2\text{ bar}$ ; C=3g/L). .....	80
<b>Tableau V.22:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0\text{ bar}$ ; C=5g/L).....	81

<b>Tableau V.23:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; C=5g/L).....	82
<b>Tableau V.24:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1$ bar ; C=5g/L).....	83
<b>Tableau V.25:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; C=5g/L).....	84
<b>Tableau V.26:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 2$ bar ; C=5g/L).....	85
<b>Tableau V.27 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0$ bar ; C=5g/L) .....	87
<b>Tableau V.28 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0.5$ bar ; C=5g/L). .....	88
<b>Tableau V.29 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1$ bar ; C=5g/L). .....	89
<b>Tableau V.30 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; C=5g/L) .....	90
<b>Tableau V.31 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 2$ bar ; C=5g/L) .....	91
<b>Tableau V.32 :</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0$ bar ; C=1g/L).....	92
<b>Tableau V.33 :</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; C=1g/L).....	93
<b>Tableau V.34:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1$ bar ; C=1g/L).....	94
<b>Tableau V.35:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; C=1g/L).....	95
<b>Tableau V.36:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 2$ bar ; C=1g/L).....	96
<b>Tableau V.37 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0$ bar ; C=1g/L). .....	98

<b>Tableau V.38 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0.5\text{bar}$ ; $C=1\text{g/L}$ ) .....	99
<b>Tableau V.39 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1\text{ bar}$ ; $C=1\text{g/L}$ ) .....	100
<b>Tableau V.40 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1.5\text{ bar}$ ; $C=1\text{g/L}$ ). .....	101
<b>Tableau V.41 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 2\text{ bar}$ ; $C=1\text{g/L}$ ). .....	102
<b>Tableau V.42:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ).....	103
<b>Tableau V.43:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0.5\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ).....	104
<b>Tableau V.44:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ).....	105
<b>Tableau V.45:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1.5\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ).....	106
<b>Tableau V.46:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 2\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ).....	107
<b>Tableau V.47:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ) .....	109
<b>Tableau V.48 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0.5\text{bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ) .....	110
<b>Tableau V.49:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ). .....	111
<b>Tableau V.50 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1.5\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ) .....	112
<b>Tableau V.51 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 2\text{ bar}$ ; $C=3\text{g/L}$ ) .....	113
<b>Tableau V.52:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0\text{ bar}$ ; $C=5\text{g/L}$ ).....	114



<b>Tableau V.53:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; C=5g/L).....	115
<b>Tableau V.54:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1$ bar ; C=5g/L).....	116
<b>Tableau V.55:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; C=5g/L).....	117
<b>Tableau V.56:</b> L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10 bars ; $\Delta P = 2$ bar ; C=5g/L).....	118
<b>Tableau V.57 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0$ bar ; C=5g/L). ....	120
<b>Tableau V.58 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 0.5$ bar ; C=5g/L). ....	121
<b>Tableau V.59 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1$ bar ; C=5g/L). ....	122
<b>Tableau V.60 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 1.5$ bar ; C=5g/L). ....	123
<b>Tableau V.61 :</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat (P entrée=10 bars ; $\Delta P= 2$ bar ; C=5g/L). ....	124

## **Remerciement**

*Le présent travail a été réalisé au Département d'Hydraulique de la Faculté de technologie de l'Université Abou Bakr Belkaid de TLEMCEM.*

*Nous remercions tout d'abord Dieu, le tout puissant pour la volonté, la patience et le courage de nous avoir donné pour mener à terme ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères reconnaissances à **Mr A. CHIBOUB FELLAH** enseignant à l'université de TLEMCEM, pour son aide et ses conseils précieux.*

*Nous voudrions ensuite remercier tous les membres du jury qui vont juger ce modeste travail et nous faire profiter de leurs connaissances et remarques constructives :*

***Mr ZEA. CHERIF** qui nous a fait l'honneur de présider le jury.*

***Mr T. TERKI HASSAINE** et **Mme F. BOUCHELKIA** qui ont spontanément eu la volonté et l'honneur d'examiner ce travail et l'intérêt qu'ils ont porté pour nous faire profiter de leurs expériences. Leurs critiques et commentaires seront bénéfique pour enrichir nos connaissances dans ce domaine.*

*Nous remercions **M<sup>LLE</sup> BENAÏSSA Fatima Zohra** de nous avoir beaucoup aidés à la réalisation de ce modeste travail.*

*Nos sincères remerciements à tous les responsables et agents de laboratoire de traitement des eaux de département d'Hydraulique au niveau de la faculté qui nous ont beaucoup aidés aux cours des expériences.*

*Tous nos remerciements et nos estimations vont à tous les enseignants du département d'Hydraulique.*

*Nos remerciements vont aussi à tous qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*



## Résumé :

Le dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer peut faire face à la problématique de pénurie d'eau qui menace certains pays.

Actuellement, la technique la plus utilisée pour le dessalement des eaux saumâtres est l'osmose inverse.

L'objectif de ce travail est de faire une étude expérimentale sur l'influence de la force ionique à l'aide de pilote TE200 au niveau de laboratoire de TTE.

Les résultats obtenus ont montrés l'influence de la force ionique et des conductivités de perméat et du concentrât et le taux de rejet pour le dessalement des eaux saumâtres faiblement salées à des concentrations en sel variable de 1g/l , 3g/l et de 5g/l de deux solution , la première d'eau de robinet et de sel commerciale et la deuxième d'eaux distillée et de Na Cl de laboratoire.

**Mots clés :** osmose inverse, Dessalement, Eaux saumâtres, Force ionique, Conductivité de perméat et de concentrât, taux de rejet.

## ABSTRACT:

Desalination of brackish water and seawater is the best solution to confront the problem of water shortage that threatens many countries.

Currently, the most common technique used for the desalination of brackish water is reverse osmosis. The main purpose of this work is to make an experimental study on the influence of ionic strength using TE200 driver at laboratory TTE.

The results have shown the influence of the ionic strength and conductivity of the permeate and the concentrate and the rejection rate for the desalination of brackish water with low salt with the concentration's variations from 1g / l, 3 g / l and 5 g / l of two solutions, the first is tap water and commercial salt and the second is distilled water and Na Cl laboratory.

**Keywords:** reverse osmosis, Desalination, Brackish, ionic strength, conductivity permeate

## الخلاصة:

تحلية المياه المالحة ومياه البحر يمكن ان تكون حل لمشكلة نقص المياه التي تهدد بعض البلدان .

حاليا، الأسلوب الأكثر شيوعا الي يستخدم لتحلية المياه المالحة هو التناضح العكسي.

الهدف من هذا العمل هو القيام بدراسة تجريبية حول تأثير القوة الأيونية بواسطة جهاز TE200 في مختبر تقنيات معالجة المياه.

وقد أظهرت النتائج المتحصل عليها تأثير القوة الأيونية و الناقلية لتحلية المياه المالحة بتركيزات منخفضة الملح من 1غ/ل و3غ/ل و5غ/ل باستخدام مياه الحنفية مع الملح التجاري و الماء المقطر مع ملح المختبر.

**الكلمات المفتاحية :** التناضح العكسي، تحلية المياه المالحة، القوة الأيونية، الناقلية.

## Table des matières

Table des matières .....	I
Liste des tableaux .....	VIII
Liste des figures .....	XIII
Liste des abréviations.....	XVII
Introduction générale .....	1

### Partie I : Partie théorique

#### Chapitre I : Généralité sur l'eau

I.1. Introduction .....	3
I.2. Sources d'eau.....	3
I.3. Origine de l'eau sur la terre.....	4
I.3.a) les eaux souterraines (aquifère, nappe phréatique, infiltration).....	4
I.3.b) les eaux de surfaces captives ou en écoulement .....	5
I.3.c) les eaux de mer et eaux saumâtres .....	5
I.4.Cycle de l'eau .....	5
I.5.La répartition de l'eau dans la planète.....	6
I.6.Classification des eaux .....	7
I.7.Les différents états de l'eau.....	7
I.8.Eau potable .....	8
I.8.1.Qualité.....	8
I.8.1.a) Qualité physique et chimique.....	8
I.8.1.b) Qualité bactériologique .....	9
I.8.2.Contrôle de la qualité des eaux .....	9
I.8.3. Paramètres de qualité des eaux .....	9

I.8.3.1.Paramètres organoleptiques .....	10
I.8.3.1.a) Paramètres affectant la qualité organoleptique .....	10
I.8.3.2. Les paramètres microbiologiques .....	11
I.8.4.Des seuils pour certain paramètre .....	11
I.8.5.Les problèmes reliés à l'eau potable .....	12
I.8.5.1.La pollution de l'eau potable .....	12
I.8.5.2.Infections transmises par l'eau .....	13
I.9. Propriétés de l'eau .....	13
I.9.1.Propriétés physiques .....	13
I.9.1.a) Masse volumique .....	13
I.9.1.b) Viscosité dynamique .....	13
I.9.2.Propriétés thermique .....	13
I.9.2.a) Conductivité thermique .....	13
I.9.3.Propriétés électriques .....	14
I.9.3.a) Constante diélectrique .....	14
I.9.3.b) Conductivité électrique de l'eau .....	14
I.10.Conclusion .....	14

## **Chapitre II : les différents procédés de dessalement**

II.1.Introduction .....	15
II.2.Caractéristiques des eaux marines et saumâtres.....	15
II.2.1.Les eaux marines .....	15
II.2.2.Les eaux saumâtres.....	16
II.3.Le dessalement .....	16
II.3.1.Schéma général d'une installation de dessalement .....	16
II.3.1.a) Prise d'eau de mer .....	16
II.3.1.b) Un poste de prétraitement.....	16
II.3.1.c) L'installation de dessalement proprement dite .....	17

II.3.1.d) Un poste de traitement.....	17
II.3.2. Les différents procédés de dessalement .....	17
II.3.2.1. Les procédés de distillation.....	18
II.3.2.2. Les procédés membranaires .....	21
II.3.2.3. Autres procédés.....	23
II.3.3. Les avantages et inconvénients de dessalement .....	27
II.3.4. Conclusion .....	27

### **Chapitre III : Osmose inverse**

III.1. Introduction.....	28
III.2. Osmose inverse .....	28
III.2.1. Définitions.....	28
III.2.2: Principes de l'osmose inverse.....	29
III.2.2.a) La pression osmotique.....	29
III.2.2.b) La force ionique .....	30
III.3. Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse .....	30
III.4. Phénomène de polarisation .....	32
III.4.1. Nature du phénomène .....	32
III.4.2. Les conséquences .....	32
III.4.2.a) Diminution du flux de perméat .....	32
III.4.3.b) Diminution de la sélectivité .....	33
III.4.3.c) Colmatage dû à des précipitations.....	33
III.5. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse .....	33
III.5.1. Système de récupération d'énergie .....	33
III.5.2. Pompe haute pression.....	33
III.5.3. Modules d'Osmose Inverse à spirales bobinées .....	34
III.6. Les membranes .....	34
III.6.1. Définition .....	34

III.7.Les caractéristiques des membranes .....	36
III.8.Types de membranes .....	36
III.8.1) les membranes semi-perméables .....	36
III.8.2) les membranes microporeuses .....	36
III.9.Classification des membranes.....	37
III.10.Mise en œuvre des membranes .....	38
III.10.1.Modes de filtration .....	38
III.10.1.a) Filtration frontale.....	38
III.10.1.b) Filtration tangentiel .....	39
III.11.Les modules .....	39
III.11.a) module spirale .....	39
III.11.b) module à fibres creuses.....	40
III.12.Mécanismes généraux des traitements par osmose inverse .....	40
III.12.1.Le choix de membrane .....	40
III.12.1.a) Qualités.....	40
III.12.1.b) Matériaux utilise.....	41
III.13.Les paramètres qui influe sur la performance.....	41
III.13.1.Facteur physique .....	41
III.13.2.Facteurs chimiques .....	41
III.14.Presentation d'une unité d'osmose inverse.....	42
III.14.1.Le montage en parallèle .....	42
III.14.2.Le montage en série .....	42
III.15.Fabrication, installation et procédé.....	43
III.16.Enjeux techniques .....	43
III.16.1.Le colmatage .....	43
III.16.1.a) le colmatage microbiologique .....	44
III.16.1.b) le colmatage abiotique.....	44



III.16.2.Prévention du colmatage .....	44
III.17. Caractérisation du procédé d'osmose inverse.....	45
III.18.Conclusion .....	45

## **Partie II : Partie expérimentale**

### **Chapitre IV : Matériels et méthodes**

IV.1. Dispositif expérimental.....	46
IV.2. Présentation du pilote TE200 .....	46
IV.2.1. Description du pilot.....	46
IV.2.2. Liste des vannes dans le pilot.....	50
IV.3. Expériences.....	52
IV.3.1. Procédure de démarrage du pilote.....	52
IV.3.2. Production d'eau osmosée .....	52
IV.3.3. Procédure générale d'arrêt .....	53
IV.4. Description des appareillages de mesure.....	54
IV.4.1 La conductivité.....	54
IV.4.2. Agitateur .....	55
IV.4.3. La balance électronique .....	55
IV.5. Détermination de la perméabilité de la membrane .....	56

### **Chapitre V : Résultats et interprétations**

V.1. Perméabilité de la membrane au solvant .....	57
V.2. Etude de la rétention globale du module.....	58
❖ Solution : eau de robinet + sel commerciale	
V.2.1. Pour une concentration de 1 g/L .....	58
V.2.1.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps.....	63
V.2.1.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction du temps .....	64

V.2.1.3. La variation de la rétention globale du module .....	69
V.2.2. Pour une concentration de 3 g/L .....	70
V.2.2.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	74
V.2.2.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps.....	75
V.2.2.3. La variation de la rétention globale du module .....	80
V.2.3. Pour une concentration de 5 g/L .....	81
V.2.3.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	85
V.2.3.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps.....	86
V.2.3.3. La variation de la rétention globale du module .....	91
❖ Solution : eau distillé + NaCl du laboratoire	
V.2.4. Pour une concentration de 1 g/L .....	92
V.2.4.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	96
V.2.4.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps .....	97
V.2.4.3. La variation de la rétention globale du module .....	102
V.2.5. Pour une concentration de 3 g/L .....	103
V.2.5.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	107
V.2.5.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps .....	108
V.2.5.3. La variation de la rétention globale du module .....	113
V.2.6. Pour une concentration de 5 g/L .....	114
V.2.6.1. La variation de volume de perméat en fonction de temps .....	118
V.2.6.2. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât en fonction de temps .....	119
V.2.6.3. La variation de la rétention globale du module .....	120
V.3. Interprétations des résultats .....	125

V.4. Conclusion .....	126
Conclusion générale.....	127