

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية  
الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة سعد دحلب البليدة  
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT DE MÉCANIQUE  
PROJET DE FIN D'ETUDES**

POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME de Master en Génie Mécanique  
**Option : ingénierie thermique et solaire**

**Optimisation et étude la consommation spécifique  
d'énergie en dessalement**

**Présenté par :**

- AMMAD FATEH
- BOUDARDARA DJALLaL

**Encadre par :**

- Mr : MOHAMED ABBAS

Promotion: 2015 - 2016

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions " **ALLAH**" notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur '**Dr.MOHAMED ABBAS**' Qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance

Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à tout ce qui participe de réaliser ce mémoire. Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.

### Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : procédés de dessalement.....	7
<b>Figure I.2</b> : phénomène de distillation de l'eau de mer.....	8
<b>Figure I.3</b> : phénomène d'osmose (l'eau pure va naturellement vers l'eau salée).....	9
<b>Figure I.4</b> : l'application de pression osmotique.....	10
<b>Figure I.5</b> : L'électrodialyse .....	11
<b>Tableau I.1</b> : Différents types de technologie .....	12
<b>Figure I.6</b> : principe d'osmose inverse.....	13
<b>Figure I.7</b> : Le passage des solides à travers la membrane.....	14
<b>Figure I.8</b> : Schéma d'un système à osmose inverse utilisé pour la désalinisation .....	14
<b>Figure I.9</b> : Module plan .....	16
<b>Figure I.10</b> : Module tubulaire .....	17
<b>Figure I.11</b> : Module spiralé.....	18
<b>Figure I.12</b> : Le module en fibres creuses.....	18
<b>Figure I.13</b> : colmatage des membranes.....	20
<b>Figure I.14</b> : La roue Pelton.....	22
<b>Figure I.15</b> : Récupération directe avec l'échangeur de pression.....	23
<b>Figure I.16</b> : Une unité Turbo Charger.....	25

---

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure I.17 :</b> Récupérateur.....	26
<b>Figure I.18:</b> Le Système Aqualyng™.....	27
<b>Figure I.19:</b> Piston pour Assurer Mélange de Minimum de Saumure et Alimentation d'Eau de mer.....	28
<b>Figure I.20 :</b> Le DWEER™ Échanges.....	28
<b>Figure I.21 :</b> Intégration de l'échangeur de travail dans un système RO Dessalement.....	29
<b>Figure I.22 :</b> Diagramme schématique du double système DWEER Echangeur travail.....	30
<b>Figure II.1 :</b> procédé d'osmose inverse sans récupération d'énergie.....	34
<b>Figure II.2:</b> récupération d'énergie par un échangeur de pression.....	36
<b>Figure II.3 :</b> récupération d'énergie par une turbine Pelton.....	37
<b>Tableau III.1 :</b> Capacité des différents station en Algérie.....	40
<b>Figure III. 1:</b> Station de dessalement de l'eau de mer de 'Fouka'.....	41
<b>Figure III.2:</b> La station de dessalement de 'SKIKDA'.....	43
<b>Figure III.3:</b> La consommation spécifique en fonction de pression Station de 'FOUKA' ....	45
<b>Figure III.4:</b> La consommation spécifique en fonction de pression Station 'SKIKDA'....	46
<b>Figure III.5:</b> La consommation spécifique en fonction de taux de conversion' FOUKA' ...	47
<b>Figure III.6:</b> La consommation spécifique en fonction de taux de conversion'SKIKDA' ...	48
<b>Figure III.7:</b> La consommation spécifique en fonction d'efficacité de pompe hp FOUKA...	49
<b>Figure III.8 :</b> La consommation spécifique en fonction d'efficacité de pompe hp 'SKIKDA'.....	50

---

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure III.9:</b> La consommation spécifique en fonction de différent d'efficacité de système de récupération <b>FOUKA</b> .....	51
<b>Figure III.10:</b> La consommation spécifique d'énergie en fonction de différent d'efficacité de système de récupération <b>'SKIKDA'</b> .....	52



### Liste des symboles

- $\eta_p$  : L'efficacité de la pompe a haute pression.
  - WPompe : Le travaille de la pompe à haute pression.
  - $Q_p$  : Le débit de permeat.
  - $Q_a$  : Le débit d'alimentation.
  - $Y$  : Taux de conversion (%) .
  - $P_A$  : La pression d'alimentation.
  - $\eta_e$ : L'efficacité de la pompe de l'échangeur.
  - $\eta_{pomp}$ : L'efficacité de la pompe haute à pression.
  - $\Delta P$  : La perte de charge dans les modules.
  - SWRO : Seawater Revers Osmosis.
  - EDRs : Energy Recovery Devices (dispositif de récupération d'énergie).
  - ERT : Energy Recovery Turbine.
  - PEI : Pump Engineering Inc.
  - ERI : Energy Recovery Inc.
  - RO : Reverse Osmosis.
  - HPB : Hydraulic Perssure Booster.
  - SWCC : Saline Watre Conversion Corporaion
  - PX : Pressure Exchangre.
  - BCS : Brine Conversion Système (système de conversion de la saumure).
  - FT : Francis Turbine.
  - EDR : Eelectrodialysis Revesal.
  - HTC : Hydraulic Turbo Changer.
-

## LISTE DES SYMBOLRS

---

---



# RESUME

---

## Résumé

Dans cette étude le bute c'est la minimisation **la consommation spécifique d'énergie**, l'étude est fait à des stations de dessalement utilisent le procédé **d'osmose inverse**.

L'étude est fait pour deux systèmes :

- Système sans récupération
- -Système avec récupération : utilise l'échangeur de pression et la turbine Pelton.

On a donc fait un programme informatique par le logiciel de « **MATLAB** », et pour assurer une valeur d'énergie comparable nous utilisons les paramètres de deux station différent en Algérie, station de **Fouka** et la station de **Skikda**.

Pour les deux stations et pour chaque système de dessalement étudiée l'influence des paramètres opérationnelles comme l'influence de pression d'alimentation, le taux de conversion, l'efficacité de la pompe à haute pression, et l'efficacité de système de récupération a la consommation spécifique d'énergie.

En finale la variation de la consommation spécifique d'énergie en fonction des paramètres opérationnels dans les deux stations de dessalement est exprimée sur des graphes.

Après l'étude et comme un résultat finale nous dit que le système **d'un échangeur de pression** est présente un avantage par à port a la **turbine à Pelton**.

**Mot clés** : procédé d'osmose inverse, la consommation spécifique, inverse l'eau de mer par osmose, dispositifs de récupération d'énergie, semi-perméable.

---

# RESUME

## الملخص

في هذه الدراسة سنحاول من تقليل استهلاك الطاقة المحددة، ودراسة محطات تحلية المياه (المنتجات) باستخدام عملية التناضح العكسي.

و من المقرر أن تتم هذه الدراسة على نظامين التاليين :  
\* إعادة تدوير النظام دون استرداد.

\* نظام الاسترداد (إعادة التدوير) : إستخدم المبادل الحراري (التبادل) الضغط التوربينات بيلتون.

وكذلك أصبح لدينا إمكانية تطبيق البرنامج البرنامج الالكتروني " MATLAB "

لتأكيد (تأمين) بقيمة مماثلة للطاقة نستخدم معايير اثنين لمحطتين متخصصتين في تحلية مياه البحر و هما محطة " فوكا " و محطة " سكيكدة " .

و سيتم دراسة نظام تحلية تأثير المؤشرات التشغيلية مع تأثير الضغط وإمدادات الأغذية , كفاءة المضخة عالية الضغط, وكفاءة نظام الاسترداد (إعادة التدوير) المحدد في استهلاك الطاقة.

و في الأخير سنلاحظ التفاوت في استهلاك الطاقة المحددة وفقا لبارامترات التشغيل في كل محطة من المحطتين في تحلية الرسوم البيانية.

بعد الدراسة نتيجة (الربح) في النتيجة الأخيرة قلنا ان نظام التبادل الالكتروني ومبادل حراري موجود في ميزة للمضخة بيلتون.

**كلمات المفتاح :** عملية التناضح العكسي، واستهلاك محددة، والتناضح العكسي مياه البحر، وأجهزة استعادة الطاقة, نصف نفوذ.

# RESUME

---

## Summary

In this study antagonizes (bumps off) him(it) it is of minimization the specific consumption of energy, the study is made for stations (resorts) of desalination use the process of reverse osmosis.

The study is to make for two systems:

- \* System without recovery (recycling)

- \* system with recovery(recycling): use the heat exchanger (interchange) of pressure and the turbine Pelton.

We thus made an IT program by software of "MATLAB", and to assure (insure) a value of comparable energy we use the parameters of two station (resort) different in Algeria, station (resort) of Fouka and the station (resort) of Skikda.

For both stations (resorts) and for every system of desalination studied the influence of the parameters operational as the influence of pressure food (supply), the rate of conversion, the efficiency of the high-pressure pump, And the efficiency of the system of recovery(recycling) has the specific consumption of energy.

In finale the variation of the specific consumption of energy according to the operational parameters in both stations (resorts) of desalination is expressed on graphs.

After the study and as a result(profit) finale tells us that the system of a heat exchanger (interchange) of pressure is present an advantage by in port (bearing) the turbine to Pelton.

**Key words:** reverse osmosis process, the specific consumption, the reverse osmosis seawater, energy recovery devices, semi-permeable.

---

# SOMMAIRE

---

## SOMMAIRE

**Remerciements**

**Sommaire**

**Liste des figures**

**Liste des symboles**

**Introduction générale**

### **CHAPITRE 1**

I.1 Introduction .....	3
I.2 Définition .....	4
I.3 La nécessité du dessalement de l'eau de mer.....	4
I.4 L'Algérie confrontée à une situation critique .....	5
I.5 Les procédés de dessalement .....	6
I.5.1 Procédé thermique .....	7
I.5.1.1 Les avantages et les inconvénients .....	8
I.5.2 Procédé membrane .....	9
I.5.3 L'électrodialyse .....	10
I.6 Coût au moyen .....	12
I.7 Osmose inverse .....	12
I.7.1 Principe .....	12
I.7.2 Composants d'installation .....	14
I.7.3 Les types des membranes .....	15
I.7.3.1 Les membranes symétriques.....	15

---

# SOMMAIRE

---

I.7.3.2 Les membranes asymétriques ou anisotropes .....	15
I.7.3.3 Les membranes composites.....	16
I.7.4 Les Modules .....	16
I.7.4.1 Le module plan .....	16
I.7.4.2 Le module tubulaire .....	17
I.7.4.3 Le module spiralé.....	17
I.7.4.4 Le module en fibres creuses .....	18
I.7.5 L'osmose inverse procure les avantages .....	19
I.7.6 Les inconvénients de l'osmose inverse.....	19
I.8 Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse .....	21
I.8.1 Les vrais besoin en énergie .....	21
I.8.2 Récupérations de l'énergie de concentrât .....	21
I.8.3 Les différents systèmes de récupérations.....	21
I.8.3.1 La turbine Pelton.....	21
I.8.3.2 L'échangeur de pression .....	23
I.8.3.3 Booster Turbo Chargeur.....	24
I.8.3.4 Récupérateur .....	26
I.8.3.5 DWEER .....	27
I.8.4 Présentation et comparaison .....	31

## **CHAPITRE 2 :OPTIMISATION 'ETUDE DES CAS'**

II.1 Introduction.....	33
II.2 Modélisation du procédé d'osmose inverse .....	33
II.2.1 Procédé sans installation du système de récupération d'énergie .....	32
II.2.2 Procédé avec installation du système de récupération d'énergie .....	35

---

# SOMMAIRE

---

II.2.3 installation de l'échangeur de pression .....	36
II.2.4 Installation de la turbine .....	37
<b><u>Chapitre 3 : Les résultats numériques</u></b>	
III.1 INTRODUCTION.....	39
III.2 Logiciel informatique de résoudre .....	39
III.3 Usines de dessalement de l'eau de mer .....	39
III.4 Différentes station de dessalement en Algérie.....	39
III.4 .1 Présentation de station de 'FOUKA' .....	40
III.4.1.1 Les caractéristiques des membranes utilisées dans la station ...	42
III.4 .1 .2 Présentation des paramètres de station de 'Fouka' .....	42
III.4.2 Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de 'Skikda' .....	42
III.4.2.1 Les caractéristiques des membranes utilisées dans la station .....	43
III.4.2.2 Les paramètres opérationnels de station de 'SKIKDA' .....	43
III.4 .3 L'exécution du programme.....	44
III.4.4 Présentation limitation des paramètres .....	44
III.4.4.1 Sans récupération d'énergie .....	44
III.4.4.2 Echangeur de pression.....	44
III.4.4.3 Turbine.....	44
III.4.5 L'influence des paramètres de fonctionnement .....	45
III.4.5.1 Influence de pression d'alimentation .....	45

---

# SOMMAIRE

---

III.4.5.2 Influence de taux de conversion .....	46
III.4.5.3 Influence d'efficacité de la pompe à haute pression .....	49
III.4.5.4 Influence d'efficacité du système de récupération.....	50
<b>Conclusion Générale</b> .....	<b>53</b>
<b>Références bibliographiques.</b>	

---

## Introduction générale

Face aux demandes croissantes de l'eau dans le monde et plus particulièrement en Algérie, Produire une eau potable de qualité acceptable avec un cout minimal est le principal objectif de tous les exploitants. Le recours aux techniques membranaires est plus en plus important pour résoudre le problème d'approvisionnement en eau destinée à la consommation humaine.

Les procédés de dessalement de l'eau peuvent être classés en deux grandes familles : les procédés thermiques, par évaporation ou par distillation et les procédés membranaires par l'osmose inverse.

L'osmose inverse devient le procédé le plus courant le plus rentable et le moins énergie par rapport au procédé de distillation néanmoins le cout énergétique est environ 50% du cout globale d'exploitation.

Il existe différents types de systèmes, turbine les plus anciens systèmes, actuellement les échangeurs de pression sont les plus utilisés grâce à leur efficacité qui peut atteindre 96%.

Dans notre travail on a essayer de minimise des consommations énergétiques spécifique du procédé d'osmose inverse et ainsi optimiser le taux de conversion de deux station de dessalement de FOUKA et SKIKDA et on fait une comparaison.

Cette mémoire est structurée en trois principaux chapitres en plus de l'introduction générale et de la conclusion générale.

- **Dans le premier chapitre** : nous avons présenté des généralités sur les procédés de dessalement ainsi que les inconvénients et les avantages de quelque procédés ; et on a parles aussi pour les différent systèmes de récupérations.
- **Dans le deuxième chapitre** : dans ce chapitre on a fait le bilan d'énergie de deux systèmes principaux, système sans récupération d'énergie et système avec récupération d'énergie qui utilise l'échangeur de pression et la turbine à Pelton.



# INTRODUCTION GENERALE

---

- **Dans le troisième chapitre** : on a présenté les deux stations de dessalement avec les paramètres de chaque station (de Fouka et Skikda).et nous avons fait un programme en « MATLAB », pour afficher les résultats numérique et des graphes comparables.
- **Une conclusion générale** : qui résume l'intérêt de notre projet.

## **CHAPITRE I**

# **LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT**

## **I.1 Introduction :**

De nos jours, la recherche dans le dessalement de l'eau est capitale fait du

Manque d'eau croissant dans les pays où les ressources en eau sont trop faibles par rapport à la population et à l'agriculture.

En effet, tandis que la Terre est recouverte de 72% d'eau, on trouve seulement 3% d'eau douce. Cette eau est inégalement répartie sur la planète : 10 pays se partagent 60% des réserves d'eau douce alors que 29 pays subissent de nombreuses sécheresses.

On constate sur le planisphère que l'Afrique, l'Inde et l'Asie Mineure sont très touchées par le manque d'eau. Cela est dû au climat aride de l'Afrique, mais également à l'insuffisance des nappes souterraines, par rapport à la demande pour l'agriculture et pour la consommation. Ce manque en Afrique peut aussi être expliqué par des installations souvent trop peu nombreuses, liées à la pauvreté de ce continent.

Les puits creusés, s'il en existe, n'atteignent pas toujours les nappes phréatiques, du fait de l'absence de machines perfectionnées pour creuser en profondeur. Pour l'Asie Mineure, et l'Inde, la surpopulation et les besoins de l'agriculture intensive nécessitent plus d'eau que les réserves disponibles peuvent fournir. En effet, les principales sources d'eau douce sont les fleuves, car les nappes phréatiques sont souvent polluées par les engrais, ou vides. Dans ces pays, la désalinisation s'avère donc cruciale.

L'eau de mer représente donc une richesse quasiment inépuisable, mais uniquement si on peut la dessaler, car elle contient 1000 fois plus de sel que la limite fixée par l'OMS pour pouvoir être consommée, c'est-à-dire une teneur maximale de 500 mg/l. Cela signifie qu'en fonction de la salinité de l'eau, une diminution de la teneur en sel de 75 à 99 % doit être réalisée, l'eau étant potable si elle contient moins de 500 ppm de sel (une ppm correspond à un rapport de 0,000001, soit, par exemple, un milligramme par kilogramme). C'est donc dans cette optique que les chercheurs de nombreux pays développent des techniques de dessalement de plus en plus performantes, afin de produire une plus grande quantité d'eau potable à un coût plus faible. Parmi ces techniques, trois sont les plus utilisées : ce sont l'osmose inverse, la distillation et l'électrodialyse. Laquelle de ces méthodes est la plus rentable, la moins chère et de ce fait la plus envisageable pour subvenir aux besoins en eau potable futurs? [1]

## **L2 Définition :**

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

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

D'autre part, il est souvent rentable de combiner la production d'eau douce avec une autre activité (notamment la production d'énergie, car la vapeur disponible à la sortie des turbines, et perdue dans une usine classique, est réutilisable dans une station de dessalement dite thermique ou fonctionnant sur le principe de l'évaporation).

L'eau de mer est salée à peu près à  $35 \text{ gr.}^{-1}$  en général.

Les systèmes de dessalement se caractérisent par leur rendement et le taux de sel résiduel. [2]

## **L3 La nécessité du dessalement de l'eau de mer**

Bien qu'un peu moins de 1% de l'eau potable consommée dans le monde soit produite à partir du dessalement, les perspectives offertes par cette technologie sont inexorablement grandissantes. En effet, 40 % de la population mondiale vit à moins de 70 kilomètres d'une côte, soit la zone d'utilisation raisonnable du dessalement. Par ailleurs, sur 70 villes de plus d'un million d'habitants sans accès direct à des ressources supplémentaires en eau douce, 42 sont situées en bordure de côtes. Avec plus de 17 000 unités de production d'eau potable, soit 51 millions de  $\text{m}^3/\text{jour}$  d'eau produite, la production d'eau dessalée devrait atteindre 109 millions de  $\text{m}^3/\text{jour}$  en 2016. Ainsi, la banque d'affaires Goldman Sachs estime à 5 milliards de dollars de chiffre d'affaires annuel de ce secteur, avec une progression attendue de 10 à 15% par an.

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

---

La technologie de l'osmose inverse, qui constituait 20% des unités de production au début des années 1980, s'impose aujourd'hui. Depuis 10 ans, les coûts de production du dessalement ont été divisés par deux. Selon les zones d'implantation, la nature de l'eau brute et le coût de l'énergie, le mètre cube produit coûte de 0,30 à 0,91 euros pour l'osmose inverse en sortie d'usine.

Le dessalement semble, par conséquent, s'imposer comme une solution immédiate et stratégique pour des pays soumis à une raréfaction des ressources en eau ou au stress hydrique. L'extraordinaire utilisation que fait l'Algérie du dessalement de l'eau de mer peut-il être un exemple pour tous les pays confrontés au manque de ressource en eau douce ?

Les ressources en eau de l'Algérie devraient '*atteindre leurs limites à l'horizon 2020-2025*' .'*La crise du climat va aggraver la dégradation des ressources naturelles dans les hauts plateaux et toutes les régions steppiques qui constituent de véritables potentiels agricoles*' devant '*assurer la sécurité alimentaire*' de l'Algérie, a estimé M. Kara, Directeur de l'Agence nationale algérienne pour les changements climatiques.

Selon les prévisions du Centre de recherche de dessalement au Moyen-Orient l'Algérie devrait se classer derrière l'Arabie saoudite, les Emirats arabes unis et les USA en termes de capacité de production d'eau potable à partir d'eau de mer. [3]

## **I.4 L'Algérie confrontée à une situation critique :**

Les ressources hydriques de l'Algérie du Nord, où réside l'essentiel de la population, sont limitées. La situation est aggravée par une sécheresse qui perdure depuis une vingtaine d'années. La production d'eau potable destinée à la consommation des populations urbaine est aujourd'hui de 1,2 milliards de m<sup>3</sup> soit une disponibilité moyenne par habitant, de seulement 100 l/j, Or à l'horizon 2020 la population va pratiquement doubler.

La demande de l'agriculture irriguée est considérable alors que partiellement insatisfaite : de l'ordre de 600 millions de m<sup>3</sup> actuellement. A l'horizon 2020, si les plans de développement sont appliqués, la demande d'eau irriguée serait triplée.

L'Algérie souffre d'un manque d'eau criant : les aléas climatiques persistants, une forte croissance de la population dans les grands centres urbains ont largement contribué à l'actuelle carence des ressources en eau pour les besoins élémentaires du pays. En 2002,

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

---

l'agglomération d'Alger fut confrontée à une pénurie. Les fortes précipitations des hivers 2002-2003 et 2003-2004, ont permis d'atténuer l'urgence. A Alger et pour l'ouest du pays, la sécheresse contraint à ramener la plage horaire de distribution dont bénéficie 70% de la population, de 16h/par jour à 8h/jour.

Dans le cadre du plan de relance économique initié en avril 2001 par le gouvernement, le secteur de l'eau représente une part importante des dépenses. Par exemple, un plan d'urgence exceptionnel pour la capitale 2002, de 115 M\$ a été élaboré.

L'objectif est d'améliorer le service de distribution d'eau par l'engagement d'une réforme de la tarification ; la réduction des déperditions sur le réseau, estimées à 40% ; une mobilisation accrue des ressources ; et enfin la participation des opérateurs privés dans la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable.

Le recours à l'eau de mer devient par conséquent une solution avantageuse dans un pays où les barrages ne parviennent pas à couvrir la totalité des besoins. Le programme initié en 2001 prévoit la construction de 43 stations de dessalement d'ici 2019, pour un investissement total de 14 milliards de dollars. [3]

## **I.5 Les procédés de dessalement :**

La totalité des installations actuellement en service font appel à deux technologies :

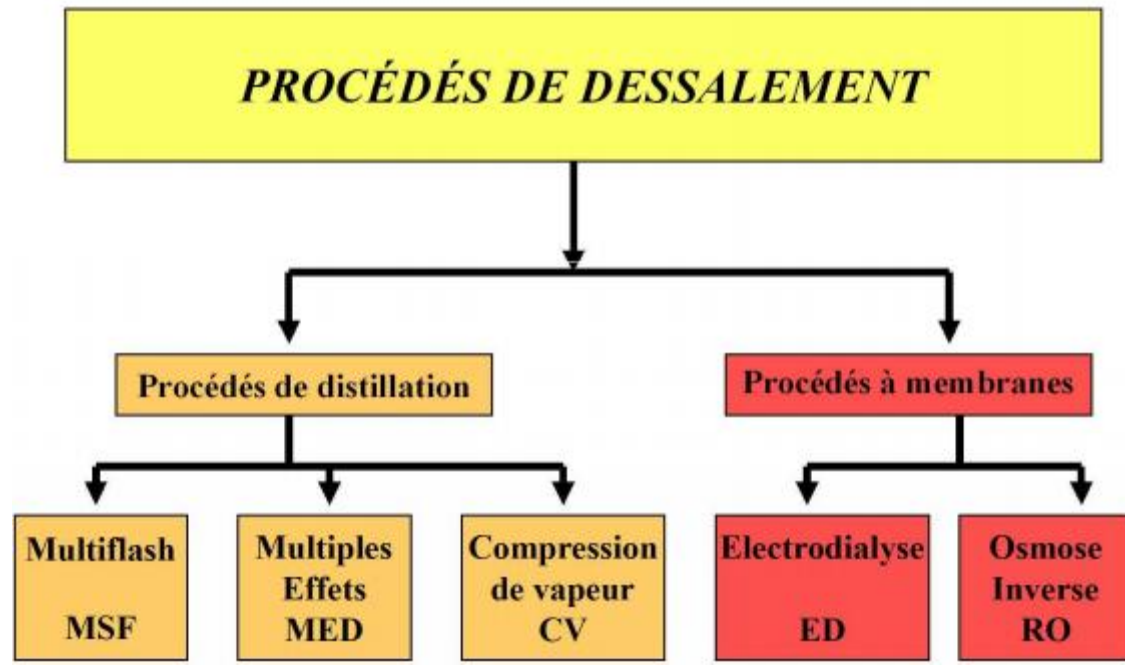
- Les procédés thermique (par vaporisation) : qui basés sur des changements de phase, il existe trois types de procédés de distillation :
  1. La distillation à effet multiple (MED).
  2. La distillation multi flash (MSF).
  3. Compression de vapeur (CV).
  
- Les procédés membranaires : qui sont basés sur le transport de l'eau travers des membranes semi-perméables.

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

---

Il existe deux type de procédés qui intersites nous :

1. l'électrodialyse (ED).
2. Osmose inverse (RO)

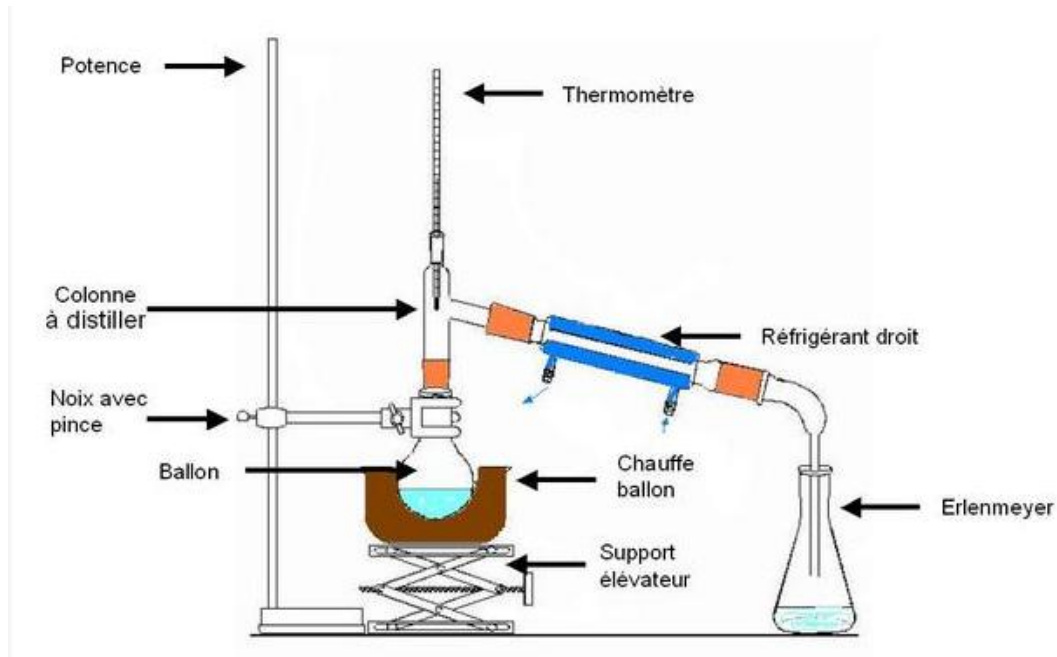


**Figure I.1** : procédés de dessalement

## I.5.1 Procédé thermique :

De l'eau, occupe aujourd'hui 65% dans le monde. Actuellement environ 40% des usines de La distillation, technique majoritairement utilisée dans les usines de dessalement utilisent cette technique en Espagne.

procédé consiste à mettre sous forme de vapeur l'eau de mer, en la portant à ébullition, pour pouvoir séparer l'eau pure du sel et des autres composants qui pourraient empêcher l'eau d'être potable. C'est le premier procédé qui a été mis en œuvre dans les usines de dessalement et est encore utilisé de nos Ce jours.



**Figure I.2** : phénomène de distillation de l'eau de mer.

-La distillation de l'eau de mer est une ébullition suivie d'une liquéfaction. Ce procédé repose donc sur un changement de phase :

La solution d'eau de mer est introduite dans le ballon chauffé. A partir de l'ébullition celle-ci se transforme en vapeur et remonte dans la colonne d'air. Les molécules d'eau se vaporisent, se séparant ainsi des ions chlorure  $\text{Cl}^-$  et sodium  $\text{Na}^+$ . L'eau circule ensuite dans un tube réfrigérant pour repasser à l'état liquide et tombe sous la forme de gouttelettes dans le Becher, formant ainsi un distillat d'eau pure. Ainsi grâce à ce procédé, l'eau est séparée du sel et des autres microbes qui sont restés dans la solution initiale. [3]

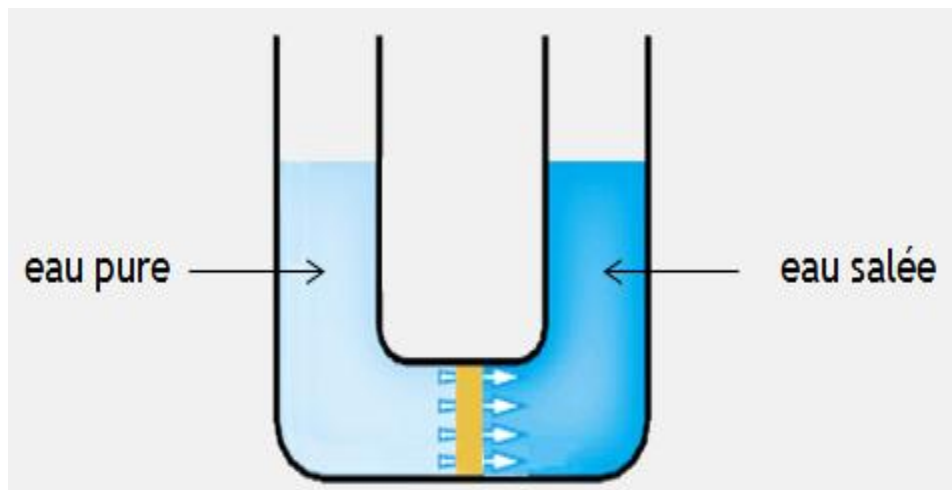
## I.5.1.1 Les avantages et les inconvénients :

- L'avantage de ce chauffage à haute température est l'élimination de toutes les impuretés et microbes de la solution d'eau de mer.
- Le principal inconvénient reste le prix de ce procédé qui est assez cher. En effet, cette technique utilise énormément d'énergie pour chauffer l'eau, avec du gaz ou du pétrole, puis la refroidir. Le prix de l'eau augmente alors d'1€ par  $\text{m}^3$  d'eau.
- Le procédé n'est pas très écologique puisqu'il rejette beaucoup plus de  $\text{CO}_2$ , gaz à effet de serre, que les autres techniques de dessalement. Les centrales thermiques reliées aux usines de dessalement par distillation traditionnelles. [4]



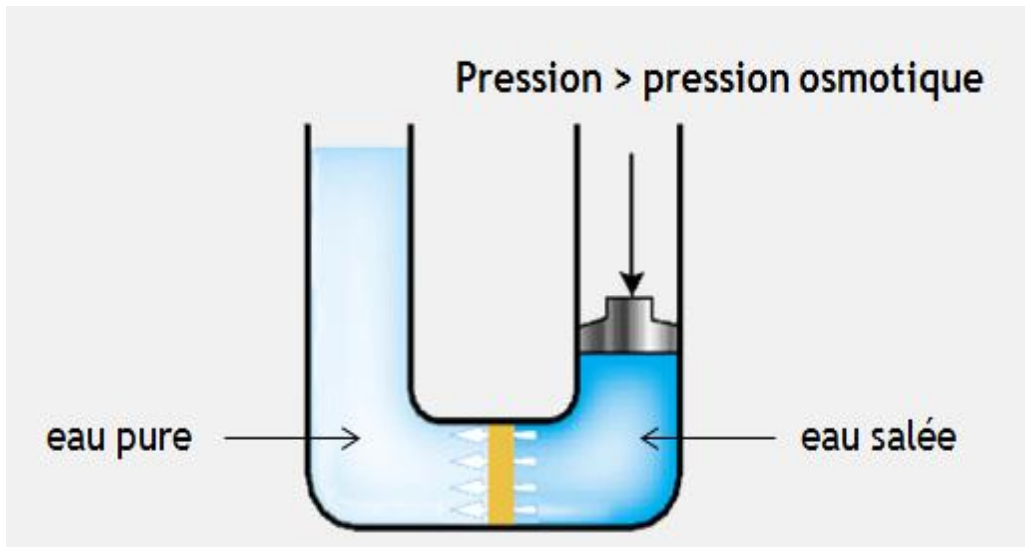
## I.5.2 Procédé membrane :

Pour expliquer le fonctionnement de ce procédé, il convient tout d'abord de rappeler le principe de l'osmose. L'osmose correspond au sel, la relation entre un soluté (ici principalement) et le liquide (ici, l'eau) dans lequel il est dissout. La pression osmotique est la pression exercée par la solution (= le liquide + le soluté) sur les différentes parois avec lesquelles elle est en contact. Dans le cas d'un système avec une membrane semi-perméable, le liquide de la solution la moins concentrée (ici l'eau pure) vient diluer la solution la plus concentrée (eau salée) afin d'atteindre un état d'équilibre dit équilibre osmotique, soit, une concentration en sel égale de part et d'autre de la membrane. Ce phénomène est illustré par le schéma ci-dessous:



**Figure I.3 :** phénomène d'osmose (l'eau pure va naturellement vers l'eau salée).

Dans l'osmose inverse, l'action du piston vient contrer cet équilibre. Lorsque la pression exercée par le piston sur l'eau salée est suffisante (c'est à dire supérieure à la pression osmotique), celle-ci a tendance à migrer à travers la membrane semi-imperméable : cette dernière retient les sels grâce à la petitesse de ses trous. Ainsi, de l'eau douce peut être produite grâce à ce procédé, comme illustré dans le schéma ci-dessous :



**Figure I.4** : l'application de pression osmotique

-La pression appliquée contraint l'eau salée à aller vers l'eau pure :  
le sel est retenu par la membrane semi-perméable et l'eau est dessalée . [5]

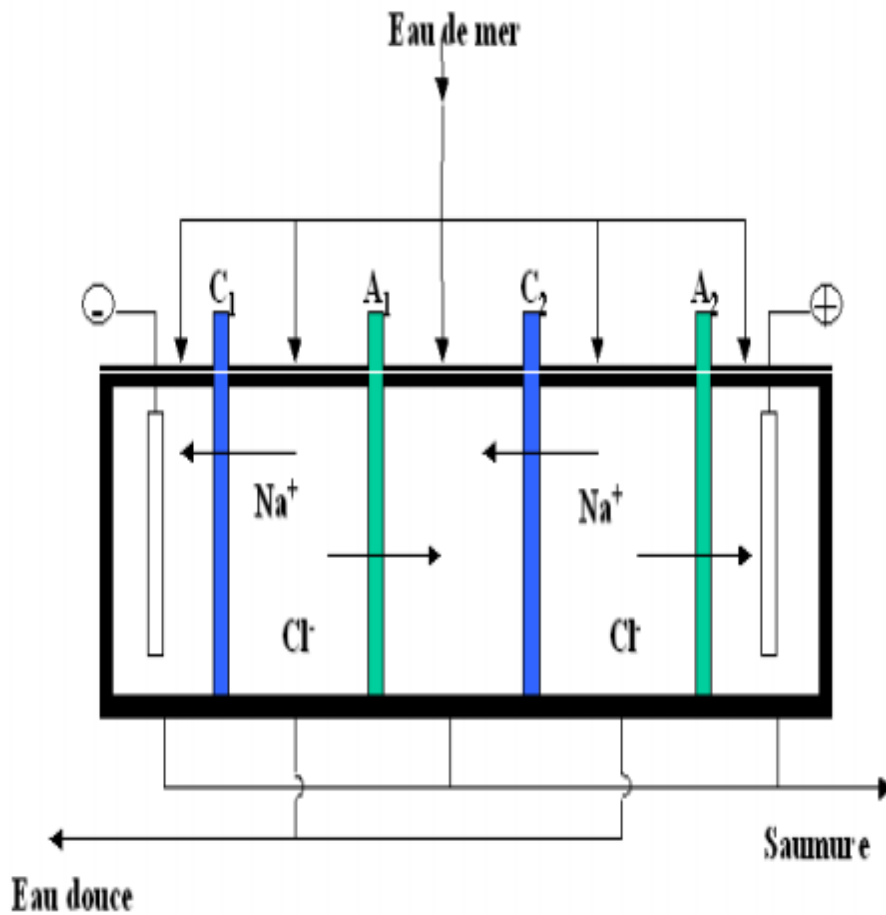
### I.5.3 l'électrodialyse :

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

L'électrodialyse consiste à faire passer de l'eau salée à travers différents compartiments séparés alternativement par des membranes anioniques et cationiques. Le tout est traversé par un courant électrique, ce qui fait migrer les ions. Les anions se déplacent vers la borne positive tandis que les cations vont vers la borne négative. Mais les membranes cationiques ne se laissent franchir que par des cations alors que les membranes anioniques ne sont traversées que par des anions. Ces membranes doivent être résistantes mécaniquement, imperméables à l'eau, chimiquement inattaquables, ne présenter qu'une faible résistance ohmique et posséder une haute sélectivité. Les membranes sont généralement constituées de fibres de polyamides

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

et d'acétate de cellulose. Les ions se rassemblent alors dans les compartiments remplis de solution de lavage qui vont ensuite être vidés pour évacuer le sel. Comme le montre le schéma ci-contre. Ainsi on récupère l'eau débarrassée de son sel. Mais attention cette technique ne permet pas de dessaler des eaux à forte teneur en sel tel que l'eau de mer (en moyenne 35 g/L) mais elle est utilisable pour dessaler des eaux saumâtres. [6]



**Figure I.5 :** L'électrodialyse

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

---

## I.6 Coût au moyen :

Quelques données représentent les différents entre les types de technologies suivant :

Origine de l'eau brute traitée	Type de technologie employée	Coût du m <sup>3</sup> (Euro)
Marine	La technique d'évaporation MSF	0.73-1.07
Marine	la distillation par effet multiple MED-TVC	0.51-0.70
Marine	la thermo compression par vapeur CV	0.78-1.05
Marine	Osmose inverse	0.38-0.78
Marine	Hybride avec cogénération	0.36-0.48
Saumâtre	Osmose inverse	0.17-0.37
Saumâtre	l'électrodialyse (ED)	0.19-0.39

**Tableau I.1 :** Différents types de technologie

## I.7 Osmose inverse

### **I.7.1 Principe :**

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous.

Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane.

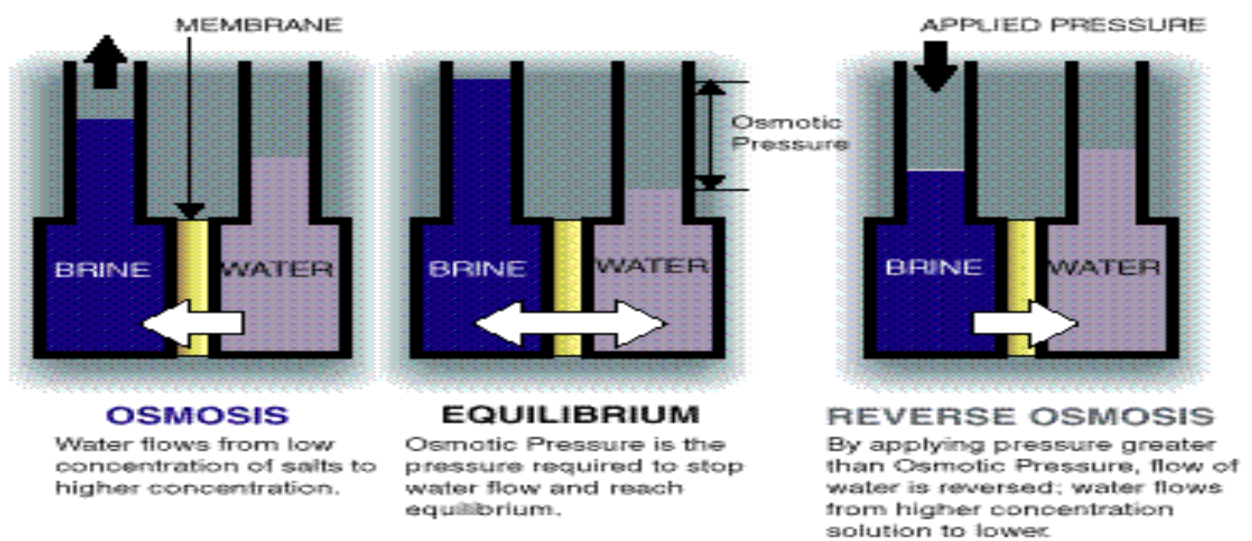
La différence de hauteur est appelée pression osmotique.

En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique, l'effet inverse se produit.

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

Les liquides sont refoulés au travers de la membrane, laissant les solides dissous derrière. Pour purifier l'eau à l'aide de membrane d'osmose inverse, l'effet d'osmose naturel doit être inversé. Afin de forcer l'eau de la solution saumâtre (concentration en sels élevée) à aller dans la solution douce (concentration en sels basse), l'eau doit être pressurisée à une pression d'opération supérieure à la pression osmotique. Par conséquent, la saumure devient plus concentrée.

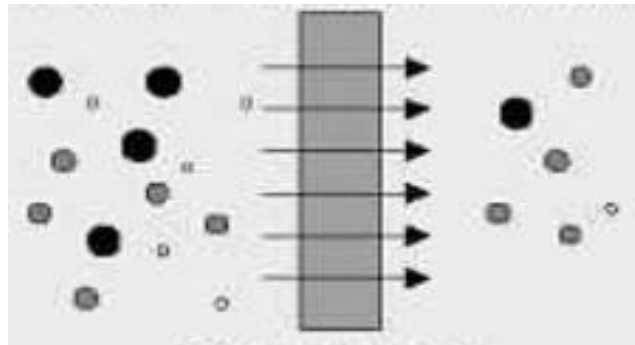
La pression d'opération de l'eau de mer est d'environ 60 bar.



**Figure I.6** : principe d'osmose inverse.

1. L'eau circule d'un compartiment avec peu de solides dissous vers un compartiment avec une teneur élevée en solides dissous.
2. La pression osmotique est la pression utilisée pour arrêter la circulation d'eau à travers la membrane, afin d'obtenir un équilibre.
3. En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique, le débit d'eau s'inverse; l'eau circule alors du compartiment avec le plus de solides dissous vers le compartiment avec le moins de solides dissous.

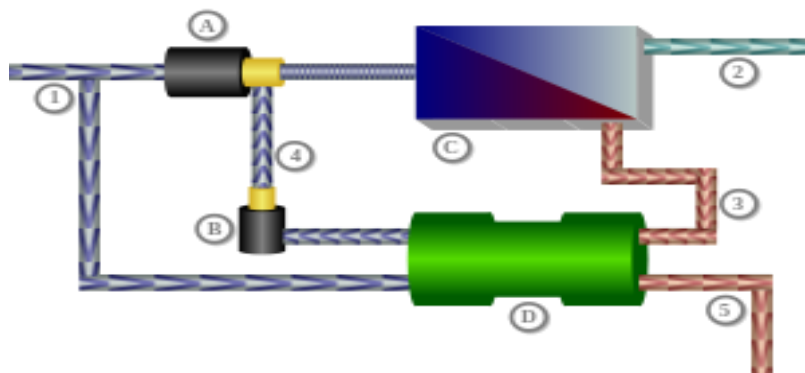
Feed water    Membrane    Permeat



**Figure I.7** : Le passage des solides à travers le membrane.

## I.7.2 Composants d'installation :

On a un schéma d'un système à osmose inverse :



**Figure I.8** : Schéma d'un système à osmose inverse utilisé pour la désalinisation, employant un échangeur de pression.

*1*: entrée de l'eau de mer.

*2*: sortie de l'eau filtrée (40 %).

*3*: flux concentré (60 %).

*4*: flux d'eau de mer (60 %).

*5*: concentré.

*A*: flux de la pompe à haute pression (40 %).

*B*: pompe de circulation,

*C* : unité d'osmose avec membrane

*D* : échangeur de pression.

## I.7.3 Les types des membranes :

Il existe trois types de structures membranaires:

- Les membranes symétriques.
- Les membranes asymétriques ou anisotropes.
- Les membranes composites.

### I.5.3.1 Les membranes symétriques:

Les membranes symétriques sont composées d'un même matériau ayant une porosité sensiblement uniforme dans toute l'épaisseur. Elles peuvent être denses (absence de pores) ou poreuses. Dans ce cas la membrane, dans toute son épaisseur, forme la couche sélective. Les membranes de microfiltration / haute ultrafiltration fabriquées par irradiation de particules chargées ou par étirement sont des membranes symétriques poreuses. Les membranes de microfiltration fabriquées par inversion de phase sont symétriques ou faiblement asymétriques.

### I.5.3.2 Les membranes asymétriques ou anisotropes :

Les membranes asymétriques ont une porosité variable dans l'épaisseur de la membrane. On distingue deux parties bien distinctes : la (ou les) peau(x) et la sous-couche poreuse. La peau est la partie sélective de la membrane. Elle possède la porosité la plus faible et les pores les plus petits. Son épaisseur est très faible devant celle de la membrane : de l'ordre de 1  $\mu\text{m}$  ou moins. Cette faible épaisseur permet d'associer une haute sélectivité à une haute perméabilité. Les performances en filtration de la membrane ne dépendent donc que des performances de la peau. La peau sera donc mise directement en contact avec le fluide à filtrer. La sous-couche poreuse forme la plus grande partie de la membrane. Elle possède une porosité souvent très importante (60 à 80 %), associée à des pores de grandes dimensions (à l'échelle du micromètre). Elle n'offre pas de sélectivité et n'influe pas sur la perméabilité. Son rôle est d'assurer la résistance mécanique de la membrane. Dans le cas de membranes planes, une seule peau est observée. Dans le cas de membranes de géométrie à fibres creuses, une ou deux peaux peuvent être réalisées.

## I.7.3.3 Les membranes composites :

Les membranes composites sont constituées d'un assemblage de deux ou plusieurs couches de matériaux de différentes porosités et de différentes compositions chimiques. Elles ont été développées afin d'augmenter la perméabilité des membranes en diminuant l'épaisseur de la couche active sélective. Des épaisseurs de l'ordre de 10 à 100 nm sont utilisées. Les autres couches ont une porosité croissante et permettent de garantir la tenue mécanique de la couche active. Les membranes composites sont essentiellement des membranes planes ou tubulaires de nano filtration ou d'osmose inverse (à l'exception près d'une fibre creuse de nano filtration). [8]

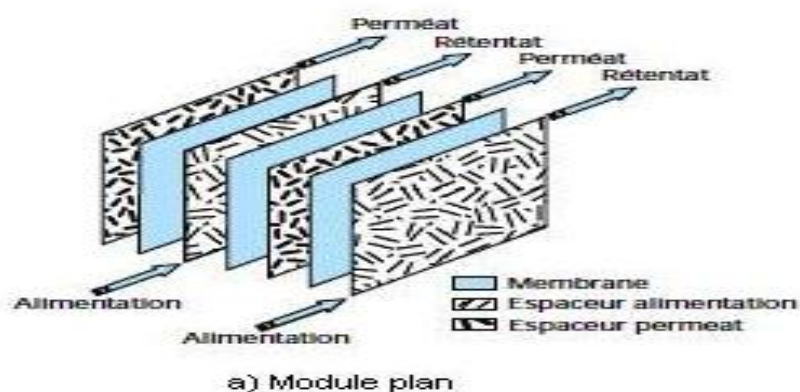
## I.7.4 Les Modules :

Les membranes sont commercialisées sous différents modules composés en Générale le de plusieurs membranes. Nous allons voir brièvement différente formes :

- ✓ Module à membrane plan.
- ✓ Module à membrane fibre creuse.
- ✓ Module à membrane spiralé.

### I.7.4.1 Le module plan :

Les modules plans sont constitués de membranes planes assemblées dans un agencement de type filtre-pressé. Ils sont en général constitués de plusieurs membranes séparées entre elles par des espaceurs.



**Figure I.9 :** Module plan



## I.7.4.2 Le module tubulaire :

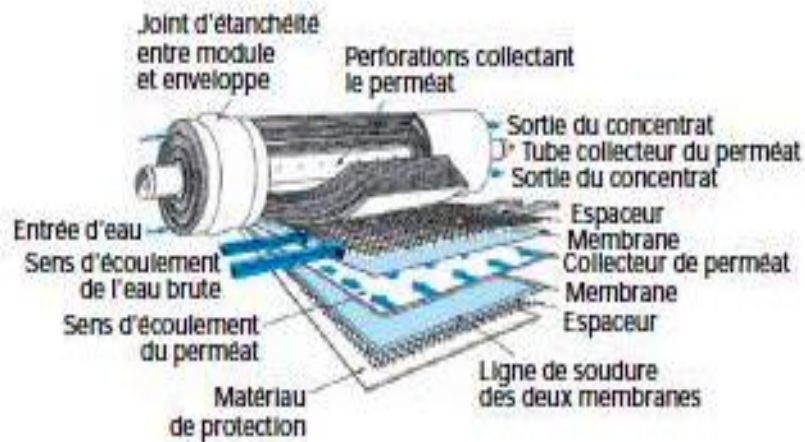
C'est un module sous forme de tube d'un diamètre de l'ordre du centimètre, dont la part interne est souvent constituée de membranes minérales et parfois polymères. C'est en fait la partie sélective de la membrane. La partie externe de ce module est également une membrane. Lorsque le module est alimenté, la solution à traiter entre d'un côté du tube alors que le retentât sort de l'autre côté. Le per méat quant à lui sort circule à travers le corps du tube pour ressortir par la paroi.



**Figure I.10:** Module tubulaire

## I .7.4.3 Le module spiralé :

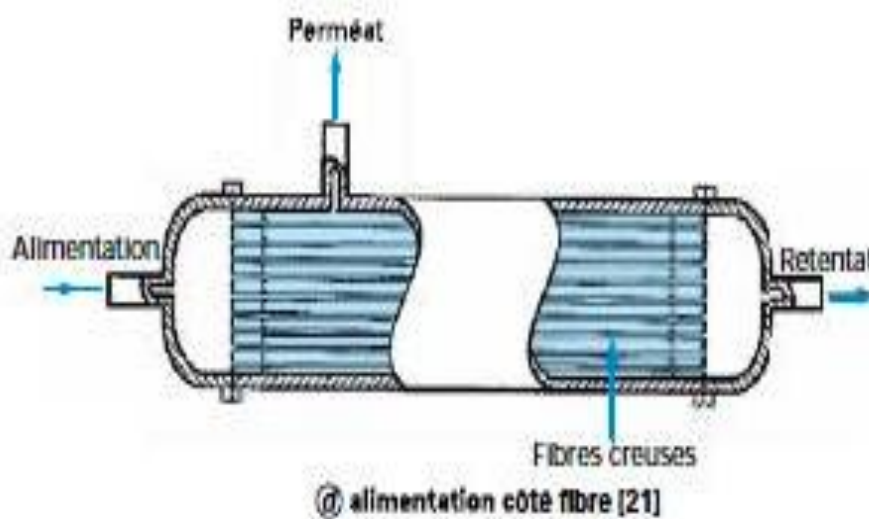
Il est constitué d'un tube creux percé de trou afin de collecter le per méat. Un assemblage élémentaire est enroulé autour de ce tube. Un assemblage est constitué d'un espaceurs alimentation, d'une membrane, d'un espaceurs per méat en d'une seconde membrane. La solution à traiter entre par le côté du module enroulé et retenta ressort de l'autre. Quant au per méat, il est collecté dans les espaceurs per méats, circule de manière spiralée et ressort par le tube central. Les membranes utilisées pour ces modules sont organiques (assez flexibles pour être enroulées).



**Figure I.11:** Module spiralé

## I.7.4.4 Le module en fibres creuses :

Ce module est constitué d'un carter dans lequel sont disposées des fibres creuses parallèlement dans le sens de la longueur. Aux deux extrémités, les fibres sont fixées par une résine. La solution circule d'une extrémité à l'autre. Le perméat, traversant les fibres se retrouve dans le carter ou il est collecté. Ces modules peuvent fonctionner inversement, l'alimentation se faisant à l'extérieur des fibres, avec le perméat collecté par le centre des fibres.[9]



**Figure I.12:** Le module en fibres creuses

## I.7.5 L'osmose inverse procure les avantages suivants:

- Elimine bactéries, microbes, virus, calcaire, chlore, nitrates, métaux, résidus médicamenteux, insecticides, herbicides, détergents, mercure, plomb, PCB...
- L'eau osmosée est plus fluide car « tamisée à l'échelle moléculaire » sa tension superficielle est abaissée. Parce que plus liquide cette eau convient particulièrement au milieu cellulaire et sanguin. Elle pénètre mieux dans nos cellules, permettant une moindre déshydratation due à l'âge. Il faut savoir qu'un nouveau né est constitué de 85% d'eau alors qu'un vieillard de 65%. Une bonne hydratation permet au corps de vivre mieux en meilleure santé et plus longtemps.
- Eau douce et agréable au goût, elle augmente les saveurs des soupes, thés, cafés, légumes...
- Eau légère et très faiblement minéralisée, elle aide l'organisme pour l'évacuation des toxines.
- Une eau pure est un meilleur solvant qui va dissoudre l'accumulation de déchets et de toxines de votre corps. Une eau pure biocompatible va rétablir l'hydratation et l'échange intra et extra cellulaire (apport d'éléments nutritifs et évacuation des déchets toxines). [10]

## I.7.6 Les inconvénients de l'osmose inverse sont :

- Le coût des membranes qui se dégradent (notamment à cause des phénomènes de colmatage), lors du dimensionnement d'une installation d'osmose inverse, on tient compte en moyenne d'une durée de vie des membranes de l'ordre de 3 ans.
  - ✓ **Colmatage des membranes** : dans les systèmes d'osmose la pollution par les colloïdales peut sérieusement diminuer les performances en diminuant la productivité .un des signes de ce type de pollution est l'augmentation du gradient de pression, les origines de cette pollution peuvent varier. Elle est en général due aux bactéries , à l'argile et aux produits de corrosion du fer , les produits chimiques qui sont utilisés lors du prétraitement peuvent aussi provoquer l'encrassement des membranes.



**Figure I.13 :** colmatage des membranes

- Le coût des membranes tend à diminuer.
- L'énergie consommée par la pompe de gavage.
- Les pertes en eau. En effet, le concentra qui contient tous les sels qui n'ont pas traversé la ou les membranes, représente environ 25 % du débit entrant, pour des installations industrielles. Cette eau contient alors trop de sel pour l'agriculture et est donc inutilisable.
- Pour les ménages, le taux d'eau rejetée qui oscille entre 3 L d'eau pour 1 L d'eau pure cela peut monter à 15 L pour 1 L d'eau selon la pression osmotique. [11]

## **I.8 Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse :**

### **I.8.1 Les vrais besoin en énergie :**

Les besoins en énergie électrique pour le dessalement de l'eau par l'osmose inverse sont tels qu'ils constituent la part la plus importante du cout d'exploitations.

C'est donc dans cette direction que les recherches et les développements ont toujours été orientés,et continuent l'être, pour obtenir les gains ayant les répercussions les plus importantes sur le cout de la production d'eau douce à partir de l'eau de mer.

Tout bilan énergétique, effectué lors des conceptions des usines de dessalement, doit être exhaustif au niveau des besoins des composants électriques et prendre en compte de nombreux paramètre pour aboutir à un résultat réaliste .il devras être faits appelé à des composants présentent les meilleurs rendements mécaniques, hydrauliques et électriques mais offrant également toutes les garanties de bon fonctionnement. [12]

### **I.8.2 Récupérations de l'énergie de concentrât :**

Dès que l'osmose inverse à été appliquée au dessalement de quantité importantes d'eau de mer, on à tout naturellement pensé à récupérer l'énergie hydraulique du concentrât, qui est de l'ordre de 55% de celle nécessaire à la mise en pression des modules d'osmose inverse. [13]

### **I.8.3 Les diffèrent systèmes de récupérations :**

Les premières systèmes de récupérations ont utilise des pompes centrifuges multi-étages fonctionnant en turbine. Puis il a été fait appel à des turbines hydrauliques spécifiques, dont la technologie est issue des turbines utilisées pour l'entraînement des alternateurs des usines hydro-électriques. Étant donné la pression d'alimentations élevée ; le type de turbine le plus adapté est celui utilisant le principe de la roue Pelton. [14]

#### **I.8.3.1 La turbine Pelton :**

Histoire et Design Pelton roue a été inventé dans les années 1850. Originaire de San Francisco, il est une sorte de roue à eau. La roue Pelton utilisée dans les usines de dessalement SWRO est facile à utiliser. Il dispose d'une buse d'entrée à travers laquelle l'alimentation à haute pression est dirigée vers les godets de la roue. La buse est conçue de telle sorte que la totalité de l'énergie cinétique de la charge d'alimentation sous pression est transformée en énergie mécanique qui se manifeste par la rotation [15]. Les seaux, également appelées aubes,

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

---

de la roue sont disposés en série autour de l'arbre, qui intercepte le courant d'alimentation [16]. Comme dans le turbocompresseur à suralimentation hydraulique, la pompe dans la roue Pelton est entraînée par une turbine. Cette pompe augmente la pression de la charge d'alimentation avant son entrée dans la CHE, réduisant ainsi la consommation d'énergie [17].



**Figure I.14 :** La roue Pelton.

L'efficacité possible des usines de dessalement SWRO utilisant des roues Pelton est de 80 à 85%. Une caractéristique commune de la roue Pelton et le FT est que ceux-ci transfèrent l'énergie récupérée à partir de la saumure de retour à l'HPP par l'arbre. Alors que le calcul de la perte totale d'énergie, l'énergie perdue par l'HPP et la réduction de l'efficacité énergétique de la roue doit également être pris en compte. Ceci peut également être dénommé "double dip" dans l'efficacité énergétique [18]. Avec une réduction de la reprise, il y a une augmentation de la quantité d'aliments à haute pression entrant dans le DRE, ce qui diminue l'efficacité de la récupération d'énergie. Les preuves suggèrent que l'efficacité énergétique d'une usine de dessalement en utilisant un HPP centrifuge, couplé avec une roue Pelton, augmente avec une augmentation d pourcentage de récupération. Par conséquent, la plupart des usines de dessalement SWRO sont conçus pour fonctionner à une récupération plus élevée. En termes clairs, on peut dire que l'ERD fonctionnant à une récupération de 45% a deux fois plus d'efficacité que celle fonctionnant à une récupération de 25% et il est de ce fait que des usines de dessalement sont conçues pour parvenir à une récupération ultérieure [16].

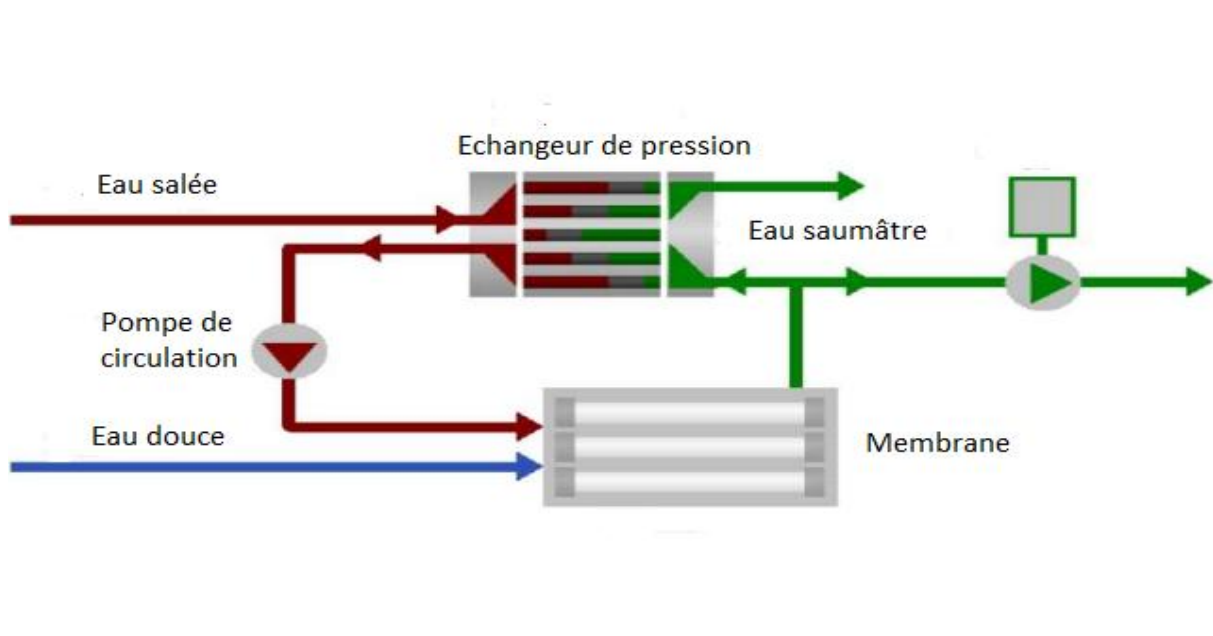
## I.8.3.2 L'échangeur de pression :

Aujourd'hui le système le plus performant est basé sur le principe de récupération directe de l'énergie du concentra, alors que les deux premiers systèmes transformaient l'énergie hydraulique du concentra en énergie mécanique .ce système fait appel à des échangeurs de pression.

Echangeur de pression système le plus efficace disponible actuellement il prouve leur Efficacité de réduire la consommation d'énergie jusqu'à 95 %.

Le dispositif de récupérations d'énergie échangeur de pression facilite en eau de mer à basse pression. Il fait ceci en mettant les deux courants en contact momentanée directe qui se produit dans les conduits d'un rotor .le rotor est introduit dans un manchon en céramique entre deux capuchons en céramique avec des jeux précis qui, lorsque remplis avec de l'eau à haute pression, créent un palier hydro dynamique presque sans friction.

A tout instant donné, la moitié des conduits du rotor .sont exposés au courant à haute pression et l'autre moitié au courant à basse pression. Alors que le rotor tourne, les conduits passent une zone scellée qui sépare la haute pression et la basse pression. Ainsi, les conduits qui contiennent la haute pression sont séparés des conduits adjacents contenant la basse pression par le joint d'étanchéité qui est formé avec les ailettes du rotor et les capuchons en céramique.[19]



**Figure I.15:** Récupération directe avec l'échangeur de pression.



## I.8.3.3 Booster Turbo Chargeur / hydraulique de pression (HPB)

Le turbocompresseur hydraulique est du type centrifuge et a été en usage depuis les années 1990 [20]. Il est un deuxième DRE génération et emploie des alliages résistants à la corrosion. Certains des alliages utilisés comprennent 2205 et d'autres aciers de nuances duplex [21]. A disques de buses la rejettent sur une turbine, Qui est relié à un rouet centrifuge de filage [22]. L'utilisation du turbocompresseur pour augmenter la pression de la charge qui a été mis sous pression par l'HPP pour atteindre la pression d'alimentation requise [23].

Une unité de turbocompresseur se compose d'une turbine hydraulique et une HPP. La turbine est similaire à une pompe à inversion de marche [24]. HPP et le turbocompresseur ne sont pas reliés directement à pallier les inconvénients que l'on observe dans les tables de tir et les roues Pelton, Ainsi flexibilité d'opération de permission [22]. De plus, les turbocompresseurs sont faciles d'installer et sont significativement l'énergie efficace. Un processus de SWRO employant un turbocompresseur.

La roue à aubes de l'HPP est faite du même matériau que la roue à aubes du turbocompresseur. Tant la turbine et la turbine du turbocompresseur sont centrifuges 'couplage de type mixte' à la fois axiale et des flux radiaux [22]. Le transfert d'énergie par le turbocompresseur augmente la pression de la charge, et l'élément rotatif du dispositif est équilibré. Il dispose d'un by-pass qui permet un contrôle manuel du débit [24].

Ceci est nécessaire lorsque le débit de saumure à la deuxième étape est plus élevé que nécessaire [23]. Ceci est encore plus nécessaire lorsque la charge subit de fortes variations de température ou lorsque la membrane utilisée est ancienne. La récupération d'énergie par le turbocompresseur est atteinte lorsque la pression de refoulement requise par l'HPP est diminuée.





**Figure I.16:** Une unité Turbo Charger

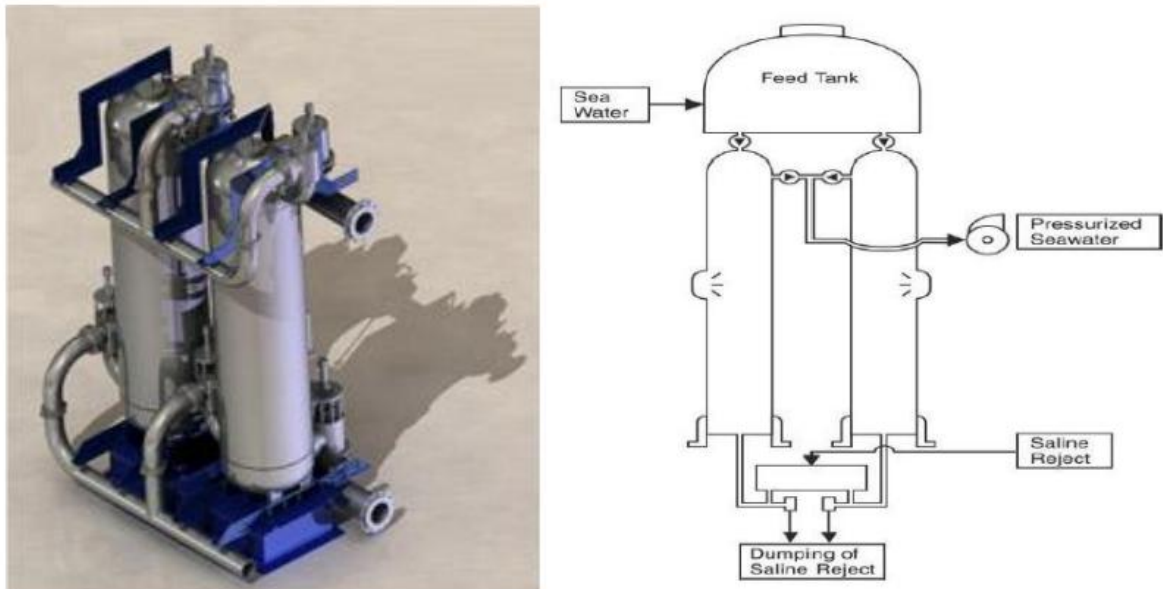
L'efficacité maximale atteinte par ces dispositifs est de 89% -90% [20], ce qui est légèrement supérieure à l'efficacité de la roue Pelton comme HPP dans la roue Pelton tourne à une tête plus élevé, diminuant l'efficacité. La plus grande efficacité de transfert qui peut être obtenue par turbocompresseur à suralimentation hydraulique est calculé en multipliant l'efficacité des turbines, buses et la turbine,  $90\% \times 90\% \times 99\% = 80\%$  [22]. Chacun de ces trois facteurs qui influence l'efficacité de ce dispositif. Comme on le voit sur la figure 4-1, les vannes de régulation et des buses peuvent aider à ajuster la performance.

Comme indiqué dans l'étude de cas précédente sur la plante Maspalomas II SWRO, turbocompresseurs sont également utilisés avec des roues Pelton. Dans ce cas, le turbocompresseur est utilisé dans le système de conversion de la saumure (en BCS), au cours de la deuxième étape de récupération de l'eau de reject obtenu dans la première étape. Il augmente ainsi la récupération de l'eau de 60% . Les plantes ayant turbocompresseurs sont déclarées avoir une efficacité d'environ 70%. Plusieurs petites usines installées dans les années 1990 à 2000 avec une capacité de 210 à 5.700 turbocompresseurs  $m^3 / j$  ont également employées avec BCS [20]. En dehors de ceux-ci, de grandes usines employant le système BCS ont aussi été rapportées. [25].

Ces dispositifs, à savoir turbocompresseurs, sont plus fiables par rapport à ERDs antérieures. Ils nécessitent peu d'entretien. Toute fois, une limitation de ces dispositifs est qu'ils peuvent récupérer seulement 50-80% d'énergie [16].

## I.8.3.4 Récupérateur :

Le Récupérateur ERD par Aqualyng appartient à la troisième catégorie de ERD à savoir, le pompage à entraînement hydraulique en parallèle, discuté dans le chapitre d'introduction. Le Récupérateur fonctionne sur le principe de l'échange de travail. Il transfère l'énergie hydraulique de la saumure directement à l'énergie hydraulique de l'alimentation, avec "drag" minimal associé à l'arbre [26]. Il est également un dispositif de récupération d'énergie isobarique, en particulier appartenant au «type à piston» des échangeurs de travail [27]. Cet appareil, qui appartient à la classe à entraînement hydraulique en parallèle, utilise un tampon séparant l'alimentation ou pistons alternatifs.

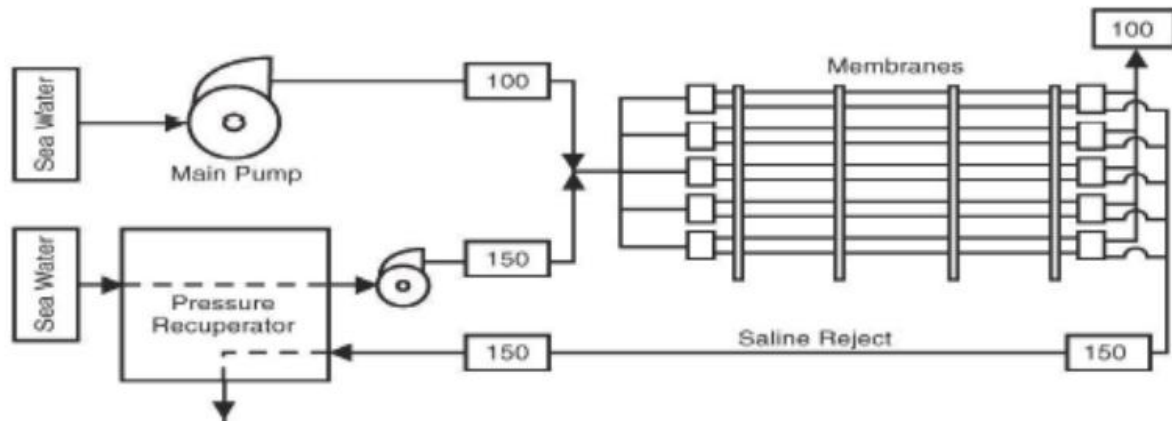


**Figure I.17 :** Aqualyng<sup>TM</sup> Fait pression sur Récupérateur

La construction du récupérateur est telle qu'elle présente des chambres verticales en acier inoxydable fonctionnant alternativement. Ils fonctionnent dans une séquence de compression et de décompression de transfert de décharge. L'alimentation est prétraitée et est pressurisée jusqu'à une pression constante maintenue. Le débit de la charge d'écoulement est également maintenu à une valeur constante. L'énergie de la saumure sous pression est recyclée [27].

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

Le dispositif comporte des vannes à trois voies qui sont spécialement utilisées pour contrôler le flux [28]. Toutes ces vannes sont nécessaires pour le maintien du débit de la pompe de gavage [29]

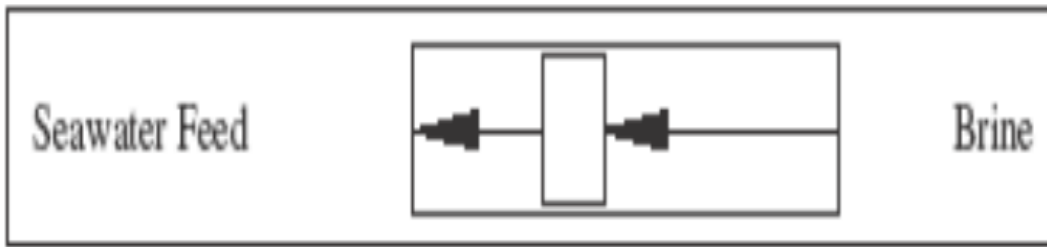


**Figure I.18:** Le Système AqualyngTM

Le Récupérateur a réduit la consommation d'énergie jusqu'à [2 ; 2,5] (kWh / m<sup>3</sup>) dans cette usine de dessalement [29].

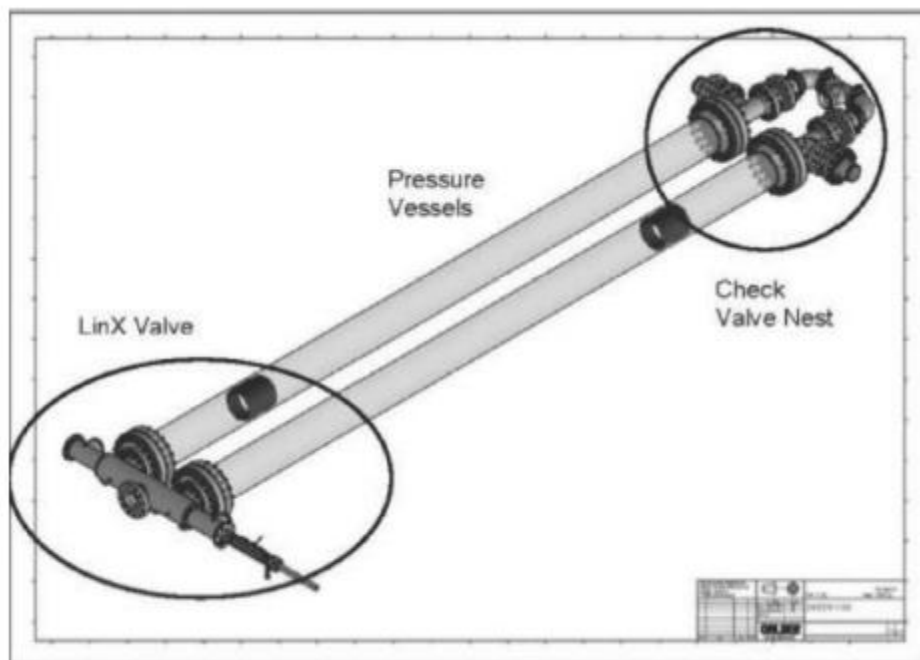
## I.8.3.5 DWEER :

Dispositif de récupération d'énergie tels que turbocompresseurs, roues FTS et Pelton convertissent l'énergie hydraulique de la saumure en énergie mécanique, puis de nouveau à l'énergie hydraulique. Ce principe de récupération d'énergie présente des inconvénients car il est moins efficace que la récupération d'énergie qui peut être atteint par un transfert direct de l'énergie à partir hydraulique, Soit de rejeter pour nourrir [30]. Comme le Récupérateur, l'DWEER appartient également à la troisième classe d'ERD qui est hydrauliquement pompes en parallèle. Ceux-ci sont conçus pour séparer le rejet et l'alimentation par un piston inter miscibilité diminué entre les deux [31]. En séparant l'alimentation et le rejet, On peut faire en sorte que ce que l'augmentation de la salinité et de la pression de la charge est toujours le moins [32].



**Figure I.19:** Piston pour Assurer Mélange de Minimum de Saumure et Alimentation d'Eau de mer.

Le DWEER a trois sous-ensembles principaux: soupape [31], les récipients sous pression et le nid clapet anti-retour (figure I.19) [32]. Une pompe d'appoint est également nécessaire d'augmenter la pression d'alimentation pour la rendre égale à la pression de la pompe d'alimentation [24].



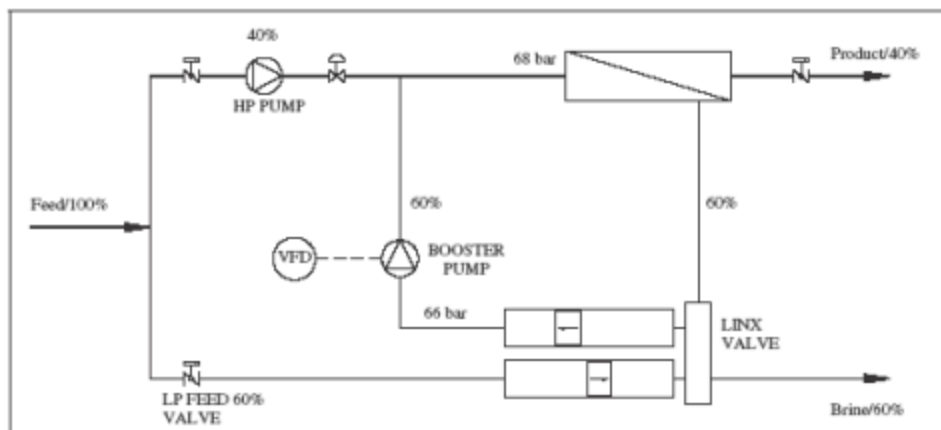
**Figure I.20 :** Le DWEER Échanges

Figure I.20 illustre l'intégration d'un échangeur de travail dans l'usine. Par contraste avec l'intégration classique avec une roue Pelton, le courant d'alimentation est divisé en deux, dont l'un est entraîné dans l'HPP et l'autre à l'ERD. Étant donné que la HPP peut traiter un débit qui est égal ou un peu supérieur au débit du produit, sa taille doit être réduite. Par conséquent, une récupération de 40% est atteinte avec une HPP, Qui est réduit à 40% [31].

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

Un rappel est ajouté pour compenser le fléchissement de la pression, cependant, cette pompe consomme moins d'énergie [32].

Dans un RO, il y a une forte diminution de la pression entre l'alimentation et le rejet, qui entre dans le DWEER. Etant donné que le piston et la membrane sont à une pression similaire, il est placé dans un récipient sous pression. . En raison du volume limité de ce vaisseau, une vanne est utilisée pour permettre aux récipients en échangeant leurs fonctions. Une pompe de gavage permet à la pression d'écoulement de l'effluent sortant de la DWEER égale à la pression de refoulement de la pompe à haute pression, ce qui rend le système fonctionne en boucle [30]. Le débit de la pompe de surpression est égal à la vitesse d'écoulement de la membrane, à moins qu'une fuite soit présente dans la membrane.



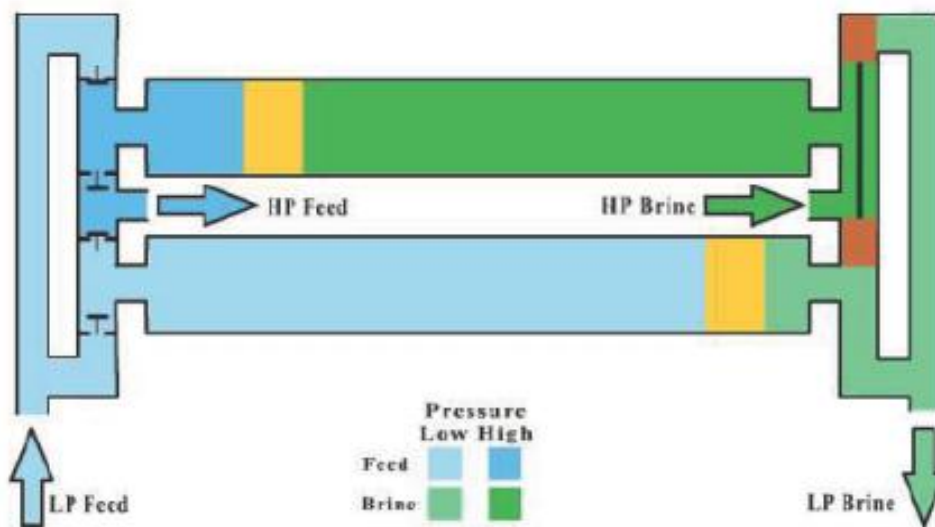
**Figure I.21 :** Intégration de l'échangeur de travail dans un système RO Dessalement.

La plus grande capacité atteinte actuellement est de 500 m<sup>3</sup> / h. Ceux-ci peuvent être placés en parallèle pour augmenter la capacité. Par exemple, une usine à Grand Cayman, en Espagne avec une valeur totale des sels dissous de 37.000 mg / L [33], et une capacité de 1071 m<sup>3</sup> / j avec SEC de 3,00 kWh / m<sup>3</sup> a été mis à niveau en installant le système de DWEER qui a augmenté sa capacité de 1699 m<sup>3</sup> / j avec une SEC de 2,22 kWh / m<sup>3</sup> [24].

# CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

Pertes d'un Echangeur de travail (efficacité) :

Dans le cas d'un échangeur de travail, les pertes sont plus à considérer que l'efficacité [34]. Contrairement à ERDs tels que des roues Pelton ou FTS, il est impossible d'évaluer la puissance de l'arbre dans le DWEERTM, tandis que l'évaluation de la seule puissance hydraulique est également insuffisante. Pour cette raison, d'autres causes possibles de pertes sont à prendre en considération, qui comprennent "Mixage, fuite, bouchon de queue, différentiel à haute pression, basse pression différentielle, le bruit" [32].



**Figure I.22 :** Diagramme schématisé du double système DWEER Echangeur travail

Le mélange Cela augmente les solides dissous totaux dans l'eau d'alimentation et par conséquent, entraînent une augmentation de la pression requise de l'alimentation. En raison de l'augmentation du besoin en pression, le HPP doit travailler davantage pour atteindre la pression désirée. Par conséquent, il ne consomme plus d'énergie, conduisant à un rendement plus faible et une plus grande consommation d'énergie. Par conséquent, il est important de maintenir la valeur de mélange dans le contrôle afin d'éviter la consommation inutile et excès d'énergie. Toute augmentation de la pression requise de l'alimentation entrant dans la membrane devra être compensée par l'HPP, qui consomme alors plus d'énergie. Pour la prévention de mélange, le DWEER emploie un piston qui empêche le mélange des aliments et de la saumure. Dans d'autres dispositifs, le flux que la salinité et est également tenu en échec [32].

## CHAPITRE I : LES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

---

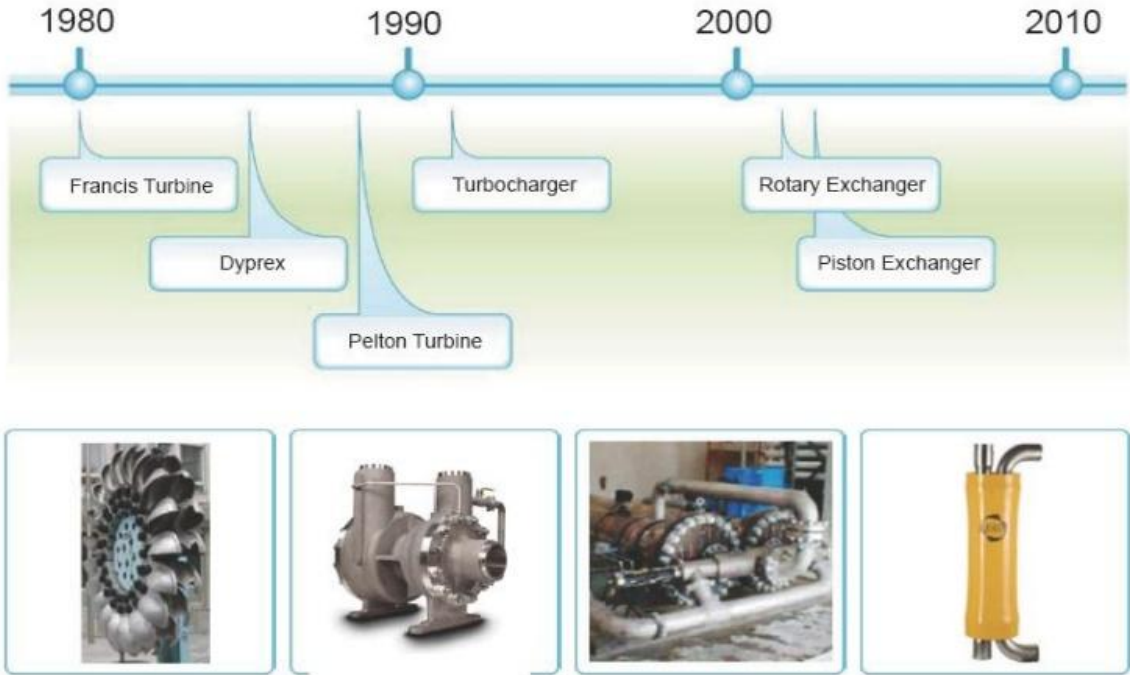
Fuites: Il est également appelé «flux de lubrification» et se produit lorsque le rejet qui est à des pressions de haute pression à l'alimentation qui est à basse pression. Pour compenser cela, l'HPP devra travailler plus fort pour fournir plus de débit et donc, va consommer de plus grandes quantités d'énergie, ce qui entraîne une diminution de l'efficacité de l'usine [32].

Bouchon de queue: L'eau de l'alimentation qui est directement évacuée est appelée bouchon de queue. Ceci est nécessaire pour enlever la saumure restante du récipient avant que le navire est rempli d'aliments pour animaux. Pour cette raison, l'HPP devra fournir plus de nourriture. Cela conduit à augmenter encore la consommation d'énergie, ce qui diminue l'efficacité par la suite. En raison de ce bouchon de queue, une grande quantité d'eau d'alimentation qui a été prétraitée est gaspillée. Ceci ajoute encore au coût de prétraitement de l'eau d'alimentation. Un autre aspect important à considérer est que les deux et le mélange de bouchon de queue sont interdépendants. Le manque de bon rinçage de la saumure augmenterait les solides totaux dissous de l'alimentation. Encore une fois, une augmentation de TDS conduit à un fonctionnement plus élevée de l'HPP pour atteindre la pression souhaitée, ce qui entraîne une augmentation de l'énergie consommée par la pompe [32].

Différentiel à haute pression: résultats différentiels à haute pression à partir de la chute de pression entre le rejet de HPP et la sortie d'alimentation. En raison de la différence de pression, la pompe de surpression devra fournir une pression plus élevée pour laquelle il consomme plus d'énergie [32]. Différentiel à basse pression: Cette différence de pression se produit lorsqu'il y a une grande différence de pression entre l'entrée d'alimentation et la sortie de l'eau salée, en raison de laquelle, la pompe d'alimentation consomme plus d'énergie pour fournir une pression plus élevée [32].

## I.6.4 Présentation et comparaison :

ERDs varient largement et que certains ont été affichés dans les chapitres précédents, chacun d'eux a ses propres avantages. Ce chapitre explique comment l'optimisation d'un dispositif de récupération d'énergie peut être faite avec les critères qui sont nécessaires à suivre pour la sélection du dispositif efficace la plus appropriée, efficace et rentable dans les usines de dessalement d'eau de mer inverse Osmose.



**Figure I.23:** ERD Histoire Développement



**CHAPITR II**

**OPTIMISATION**

**ET**

**ETUDE DES CAS**

### **II.1. INTRODUCTION :**

Le procédé d'osmose inverse est une technique plus récente, apportant de réelles économies d'énergie comparé à la technique de distillation qui est très Couteuse en énergie.

Pour cela, Les stations de dessalement récupèrent l'énergie hydraulique issue de l'écoulement de la saumure à haute pression à travers des turbines ou des Échangeurs de pression, ce qui réduit la consommation d'énergie totale d'une usine de 5 à 3 kWh paramètre cube d'eau produite. [34]

Dans cette partie on a utilisé le logiciel MATLAB afin d'élaborer un programme qui effectuera les simulations nécessaires au choix des procédés à adopter pour optimiser les paramètres opérationnels et la consommation d'un minimum d'énergie pour faire fonctionner l'usine de dessalement .

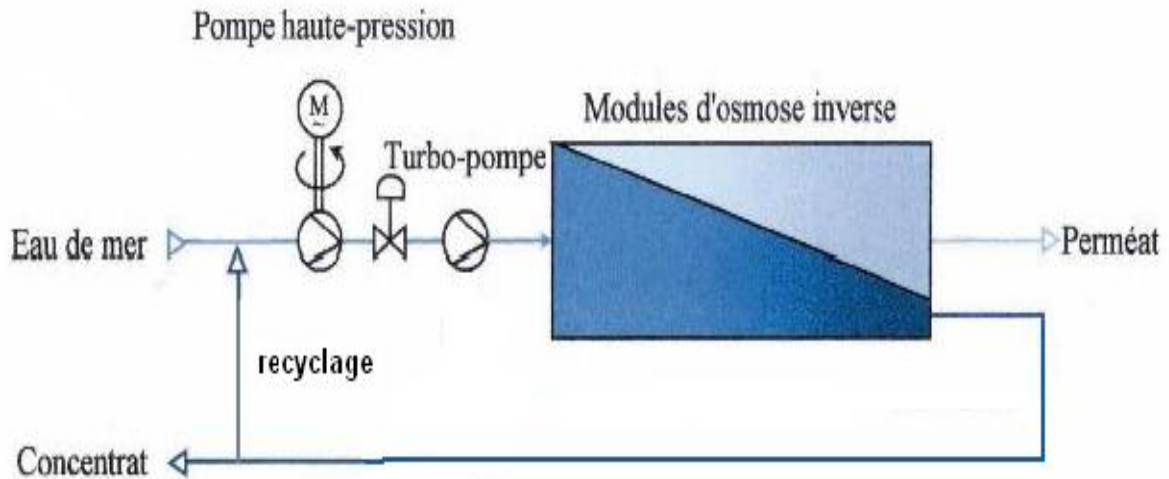
L'exécution de notre programme consiste à minimiser la consommation d'énergie pour différents configurations et de recalculer les valeurs des paramètres opérationnels pour assurer la minimisation de cette énergie.

### **II.2 Modélisation du procédé d'osmose inverse :**

On a consacré cette partie pour la présentation de la modélisation pour différent type de configuration du procédé d'osmose inverse à n étage : procédé sans récupération d'énergie, procédé avec installation d'un système de récupération d'énergie, par un échangeur de pression et une turbine.

### II.2.1 Procédé sans installation du système de récupération d'énergie :

Ce procédé est le plus simple, la pompe à haute pression joue le rôle d'un récupérateur d'énergie doit permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie.



**Figure II.1 :** procédé d'osmose inverse sans récupération d'énergie.

On définit la consommation spécifique d'énergie par l'énergie nécessaire à la Production d'un mètre cube de Permeat avec une salinité souhaitable.

Dans un procédé d'osmose inverse sans installation du système de récupération d'énergie, la sélection de la pompe à haute pression est importante.

- La consommation spécifique d'énergie est définie sous la forme suivante :

$$COS = \frac{wpomp}{36.6 \times \eta_p \times Q_p} \dots\dots\dots (II-1)$$

Où :

$\eta_p$  : L'efficacité de la pompe a haute pression.

$W_{Pompe}$  : Le travaille de la pompe à haute pression

$Q_p$  : Le débit de permeat.

- Le travail de la pompe de la pression  $W_{Pompe}$  est donné par la relation suivante :

$$W_{Pompe} = P_A \times Q_A \dots\dots\dots (II-2)$$

- Le taux de conversion est le rapport entre le débit de Permeat et le débit d'alimentation est donné sous la formule suivante :

$$\gamma = \frac{Qp}{QA} \dots\dots\dots (II-3)$$

Donc je peu calculer la consommation d'énergie à partir de l'équation de travaille de la pompe à haute pression WPompe et l'équation de taux de conversion :

$$COS = \frac{Pa}{36.6 \times \eta p \times \gamma} \dots\dots\dots (II-4)$$

Avec :

$P_A$  : la pression d'alimentation.

$Q_A$  : Le débit d'alimentation de l'eau de mer.

$Y$  : le taux de conversion.

### II.2.2 Procédé avec installation du système de récupération d'énergie :

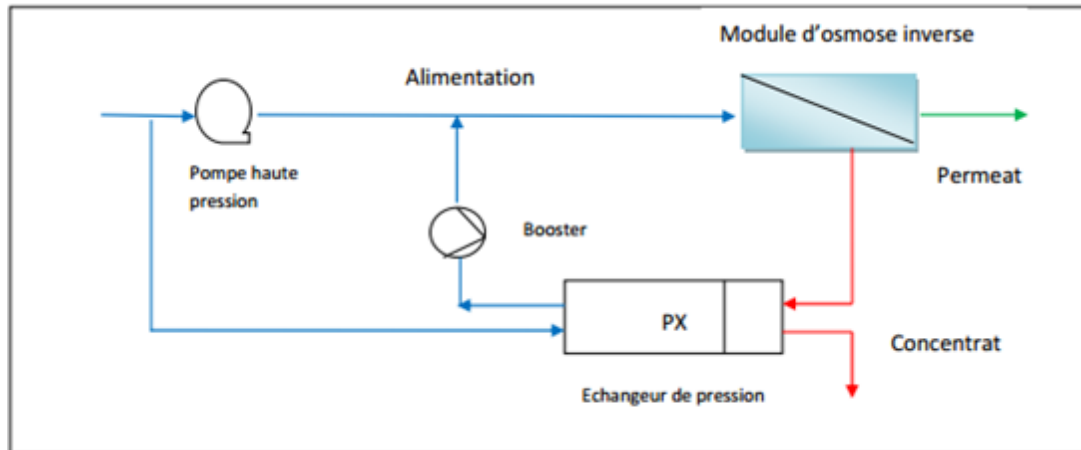
Afin de récupérer l'énergie par le flux de rejet (la saumure) du procédé d'osmose inverse, plusieurs dispositifs ont été conçus. La turbine était le premier système installé et couplé avec une pompe à haute pression d'une efficacité atteignant 85%.

D'autre part un autre système atteint une efficacité de 97% est l'échangeur de pression, qui devenu le système prédominant dans l'ensemble des usines de dessalement.

L'objectif est d'effectuer une simulation entre les deux systèmes, afin assurer un procédé d'un taux de conversion supérieur .

### II.2.3 Installation de l'échangeur de pression :

Actuellement, les fabricants installent les échangeurs de pression, d'une efficacité pouvant atteindre 98%, qui permettra de récupérer l'énergie du rejet de la saumure d'environ 60 à 70% .



**Figure II.2:** récupération d'énergie par un échangeur de pression

La consommation spécifique est donnée par la forme suivante :

$$COS = \frac{PA \times QA,t}{36.6 \times Qp \times \eta_{pomp}} \dots \dots \dots (II-5)$$

Le débit de Permeat total est la somme de tous les débits de Permeat de chaque étage sera exprimé sous la forme suivante :

Le débit d'alimentation est défini sous la forme suivante :

$$Q_p = \sum_{j=1}^s \sum_{i=0}^N Q_{pi,j} v_j$$

$$Q_A = Q_r + Q_p$$

$$Q_r = Q_A * (1 - y) \dots \dots \dots (II-6)$$

$$Q_{A,t} = Q - \eta_e * Q_r \dots \dots \dots (II-7)$$

## CHAPITRE II : OPTIMISATION ET ETUDE DES CAS

---

D'après l'équation (II-6) et (II-7) le débit d'alimentations total du procédé sera décrit par l'équation suivante :

$$Q_{A,t} = Q_A - \eta_e * Q_a * (1 - y) \dots\dots\dots (II-8)$$

A partir de l'équation (II-6) et (II-7) on calcule l'énergie de consommation spécifique :

$$COS(y,p,\eta_p,\eta_e) = \frac{(1-\eta_e(1-y))}{36.6 \times y \times \eta_{pomp}} \dots\dots\dots (II-9)$$

Avec :

$P_a$ : La pression d'alimentation.

$COSep(y, p, Q_A)$  : Le débit d'alimentation de l'eau de mer.

$Q_p$  : Le débit de Permeat.

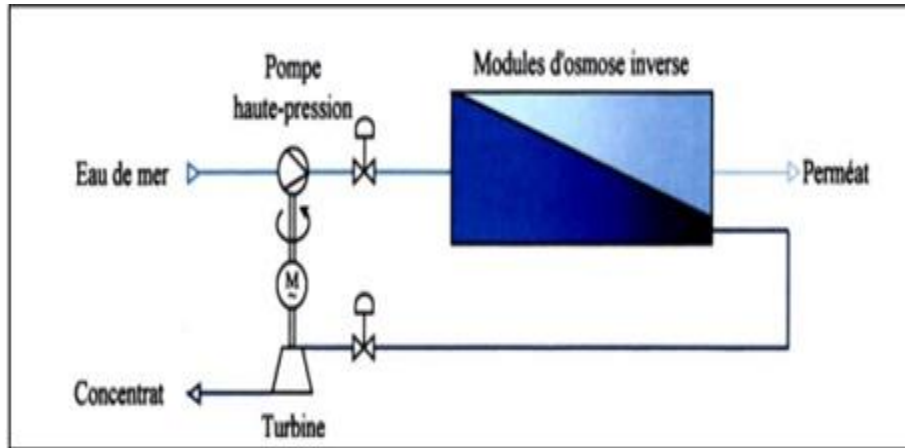
$\eta_e$ : L'efficacité de la pompe de l'échangeur.

$\eta_{pomp}$ : L'efficacité de la pompe haute à pression.

$Y$  : Le taux de conversion de la membrane.

### II.2.4 installation de la turbine :

Les turbines hydrauliques ont montées sur le même arbre que la pompe haute pression et leur rôle est de récupérer l'énergie de la saumure .



**Figure II.3 :** récupération d'énergie par une turbine Pelton

$\Delta P$  est la perte de charge dans les modules et  $\eta_{\text{turb}}$  l'efficacité de la turbine, l'énergie récupérée par la turbine est défini par :

$$\text{COS}_{\text{turb}} = \frac{1}{36.6} \cdot (P_A - \Delta P) \cdot \eta_{\text{turb}} \cdot \left(\frac{1}{y} - 1\right) \dots \dots \dots \text{(II-10)}$$

La consommation spécifique d'énergie du procédé est donc égale à la différence entre l'énergie de pompage et l'énergie récupérée par la turbine :

$$\text{COS}_{\text{turb}} = \frac{PA}{36,6 \cdot \eta p \cdot y} - \frac{1}{36.6} \cdot (P_A - \Delta P) \cdot \eta_{\text{turb}} \cdot \left(\frac{1}{y} - 1\right) \dots \dots \dots \text{(II-11)}$$

Avec:

P : La pression d'alimentation.

$\Delta P$  : La perte de charge dans les modules.

# CHAPITRE III

## LES RESULTATS NUMERIQUE



## **Chapitre III : Les résultats numériques**

---

### **III.1 INTRODUCTION :**

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents résultats de notre programme développé. Pour ce faire trois scénarios ont été pris en considération ; deux pour les dispositifs de récupération d'énergie et le dernier scénario pour le cas de système de dessalement d'eau de mer sans système de récupération d'énergie.

Pour la validation de notre programme, les données de la station de dessalement de FOUKA ainsi de celle de SKIKDA ont été utilisés.

Afin d'étudier l'influence de certains paramètres sur les performances de telle station, une étude paramétrique sera ensuite présentée.

### **III.2 Logiciel informatique de résoudre :**

Pour résoudre le modèle mathématique basé sur les équations cités dans le chapitre 2, nous avons utilisé l'environnement "MATLAB".

### **III.3 Usines de dessalement de l'eau de mer :**

Les usines de dessalement d'eau de mer sont des infrastructures littorales de service. L'objectif principal de ces infrastructures est la production d'eau potable à partir du dessalement de l'eau de mer.

### **III.4 Différentes station de dessalement en Algérie :**

L'accroissement rapide de besoins en eau potable a été fort et reste contenu, par ailleurs, la longue période de sécheresse amené à une surexploitation d'une grande partie des réserve hydriques souterrain.

Sur décision du conseil interministériel du 12 octobre 2003, l'Algérie opte pour le dessalement d'eau de mer. Un grand programme est lancé par l'Algérien energy company (AEC) qui est chargé de sa mise en œuvre. Plusieurs facteurs ont orientés favorablement la mise en œuvre de cette technologie à l'échelle nationale é savoir :

- Un littoral long de 1200 kilomètre.
- Disponibilité de l'eau de mer. ressource inépuisable.
- Une population et une industrie grandes consommatrices d'eau se trouvant à proximité de la mer.

## Chapitre III : Les résultats numériques

---

- Disponibilité de la ressource énergétique ou combinaison de sa production, se que implique une faible consommation d'énergie grâce à l'utilisation de l'énergie résiduaire.

L'Algérienne des eaux, entreprise publique, en assure le suivi pour le compte du Ministère des Ressources en Eau en association avec l'Algérien Energy Company , société crée par les groupes Sonatrach et Sonelgaz en 2001.

Le programme de dessalement d'eau de mer recouvre un total de 13 station d'une production de prés de 2,26 millions de m<sup>3</sup>/jour, soit 825 millions de m<sup>3</sup>/an.

Actuellement, il ya neuf stations en exploitation, parmi ces en à :

Les stations	Capacité (m <sup>3</sup> /j)
Fouka	120.000
Hamma	200.000
Skikda	100.000
Beni Saf	200.000
Oued Sebt	200.000
El Taref	50.000
Tenes	200.000
Mostaganem	200.000
Cap Djinet	100.000

**Tableau III.1 :** Capacité des déférentes stations en Algérie

On a choisi d'appliquer notre étude sur la station de FOUKA et SKIKDA.

### **III.4.1 PRESENTATION DE STAION DE "FOUKA" :**

La station de dessalement de l'eau de mer de FOUKA mise en service en 2011. Cette station est destinée à couvrir les besoins en eau potable de la partie EST de la wilaya de Tipasa et d'une partie de la wilaya d'Alger.

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka est située dans le quartier dit "Hai Mouaz" dans la commune de Fouka (daïra de Douaouda) sur une superficie de 10 ha. Elle va couvrir

## Chapitre III : Les résultats numériques

---

les besoins de 17 communes avec un volume affecté de 60 000 m<sup>3</sup> pour une population totale estimée à 476 372 habitants. Cette station est la troisième du genre inscrite dans la wilaya de Tipasa après celle de Bou Ismail (5000 m<sup>3</sup>) et de oued Sebt en cours de lancement (100 000 m<sup>3</sup>/jour), elle utilisera la technique dite de l'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer.

Sa capacité journalière de dessalement est de 120 000 m<sup>3</sup>, dont 60 000 m<sup>3</sup> destinés à Alger et 60 000 m<sup>3</sup> seront réservés à la wilaya de Tipasa qui a déjà achevé le raccordement en aval de la station pour alimenter en eau potable les communes de Douaouda, Fouka, Bou Ismail, Aïn Tagourait, Attatba et Chaiba.



**Figure III. 1:** Station de dessalement de l'eau de mer de 'FOUKA'

La partie réservée à Alger touchera les communes limitrophes de la wilaya de Tipasa, à savoir Zeralda, Mahelma, Staouéli et Aïn Benian, selon les responsables chargés du projet. Pas moins de 113 km de conduite en fonte ductile est un acier de différents diamètres ont déjà été réalisés pour relier les 17 communes à la station de Fouka, équipée de deux stations de pompage ainsi que de sept réservoirs d'une capacité de 14 000 m<sup>3</sup> avec un volume total affecté de 60 000 m<sup>3</sup> pour chaque wilaya.

## Chapitre III : Les résultats numériques

---

La station sera dotée d'un système de télégestion pour son fonctionnement et sera gérée selon le modèle BOO (Build, Own and Opérate) à savoir sur la base d'un partenariat à l'image de ce qui a été fait pour la dizaine d'autres stations en cours de réalisation au niveau national.

### III.4.1.1 Les caractéristiques des membranes utilisées dans la station :

La technique choisie pour dessaler l'eau de mer cette région et la technique d'osmose inverse, utilisé des membranes de type hydrauatic de diamètre de 8 pouce et de configuration spiralee

- ✓ Nombre de membranes dans chaque tube : 07.
- ✓ Nombre de tubes de pression: 216 tubes.
- ✓ Nombre total des tubes : 1512 tubes.
- ✓ Nombre total des membranes : 9072 membranes.

### III.4.1.2 Présentation des paramètres de station de "Fouka" :

$P = 69 \text{ bar}$

$Y = 0.45$

$\eta_e = 0.97$

$\eta_p = 0.85$

$\eta_{\text{turb}} = 0.85$

### III.4.2 Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de 'Skikda' :

L'usine de dessalement se trouve en bordure de mer dans la région de la wilaya de Skikda. son entrée de production est mars 2009.

La capacité de production de l'unité est de 100 000 m<sup>3</sup>/jours, sur 5 lignes de 20 000 m<sup>3</sup>/jour chacune, avec une conversion de 47 %. Cela suppose un débit de capture de 8.998 m<sup>3</sup>/heure.



**Figure III.2:** La station de dessalement de ‘SKIKDA’

### III.4.2.1 Les caractéristiques des membranes utilisées dans la station :

La technique prédominante dans les stations de dessalement installées en Algérie est l’osmose inverse, pour ce faire le type de membrane choisi dans la station de SKIKDA est de diamètre de 8 pouces et configuration spiralée.

- ✓ Nombre de membranes dans chaque tube : 07.
- ✓ Nombre de tube de pression : 245.
- ✓ Nombre totale des membranes : 1715 membranes.

### III.4.2.2 Le paramètre opérationnel de station de ‘SKIKDA’ :

$$P = 67 \text{ bar}$$

$$Y = 0.47$$

$$\eta_e = 0.98$$

$$\eta_p = 0.85$$

$$\eta_{\text{turb}} = 0.85$$

### III.4.3 L'exécution du programme :

Le programme a pour objet de déterminer la consommation spécifique d'énergie minimale d'une station de dessalement fonctionnant en osmose inverse. Nous utilisons les paramètres opérationnels des stations réelles pour le valider. Nous allons commencer par les stations de FOUKA et SKIKDA dont les paramètres opérationnels sont cités sous-dessous.

### III.4.4 Présentation limitation des paramètres :

#### ❖ III.4.4.1 Sans récupération d'énergie :

$$60\text{bar} \leq Pa \leq 80\text{bar}$$

$$0.45 \leq Y \leq 0.47$$

$$0.6 \leq \eta_p \leq 0.85$$

#### ❖ III.4.4.2 Echangeur de pression :

$$60\text{bar} \leq Pa \leq 80\text{bar}$$

$$0.45 \leq Y \leq 0.47$$

$$0.6 \leq \eta_p \leq 0.85$$

$$0.9 \leq \eta_e \leq 0.99$$

#### ❖ III.4.4.3 Turbine :

$$60\text{bar} \leq Pa \leq 80\text{bar}$$

$$0.45 \leq Y \leq 0.47$$

$$0.6 \leq \eta_p \leq 0.85$$

$$0.8 \leq \eta_{\text{turb}} \leq 0.95$$

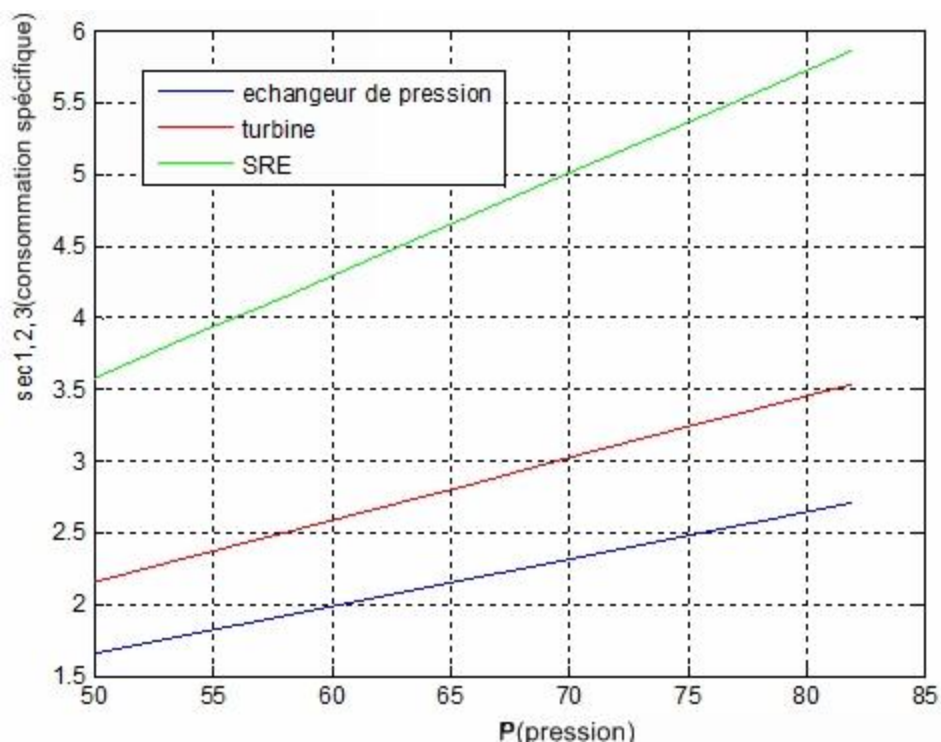
### III.4.5 L'influence des paramètres de fonctionnement :

Dans cette partie, nous étudions l'influence des différents paramètres de fonctionnement de l'usine de dessalement de FOUKA et SKIKDA en tenant compte des trois scénarios considérés dans cette étude : sans récupérations d'énergie, avec récupérations par l'échangeur de pression et turbine Pelton.

#### III.4.5.1 Influence de pression d'alimentation :

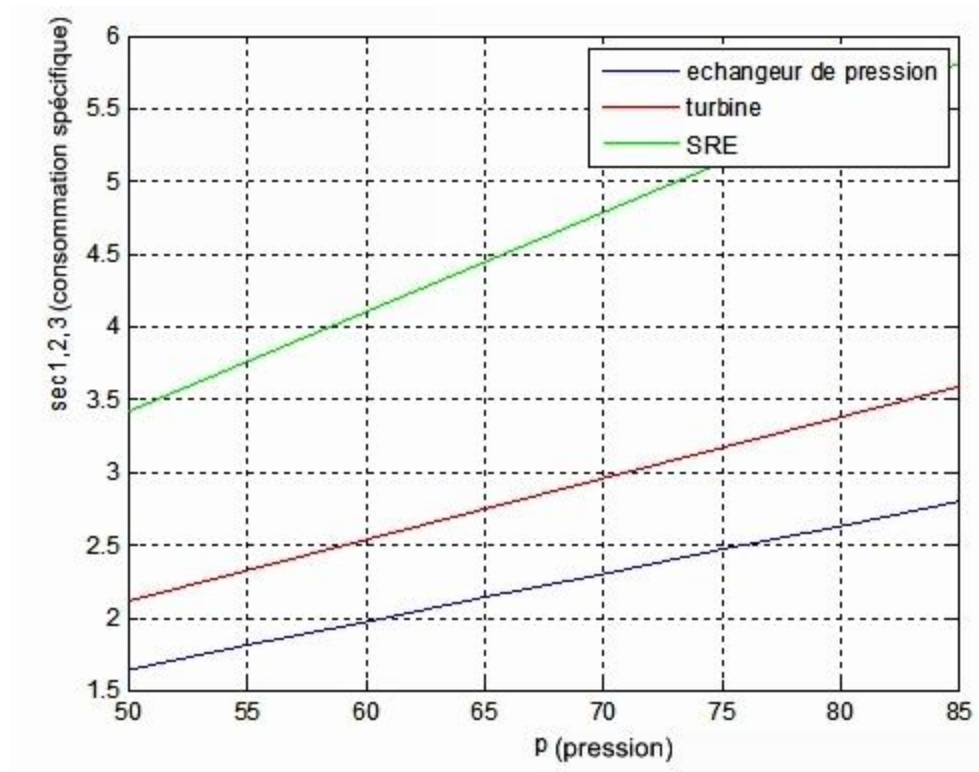
Nous étudions l'influence de la pression d'alimentation pour les trois types : sans récupération d'énergie, et avec récupérations d'énergie (l'échangeur de pression, turbine Pelton) sur la consommation spécifique de l'énergie.

Cette variation est exprimée sur les graphes ci-dessous pour les deux stations respectivement : FOUKA et SKIKDA.



**Figure III.3:** La consommation spécifique en fonction de la pression, Station de 'FOUKA'





**Figure III.4:** La consommation spécifique en fonction de la pression pour le cas de la Station de 'SKIKDA'

Les figure III.3 et figure III.4 représentent la consommation spécifique d'énergie en fonction de la pression d'alimentation. Nous remarquons le système de récupération d'énergie influe directement sur la consommation spécifique et marque une diminution dans les deux systèmes de récupération.

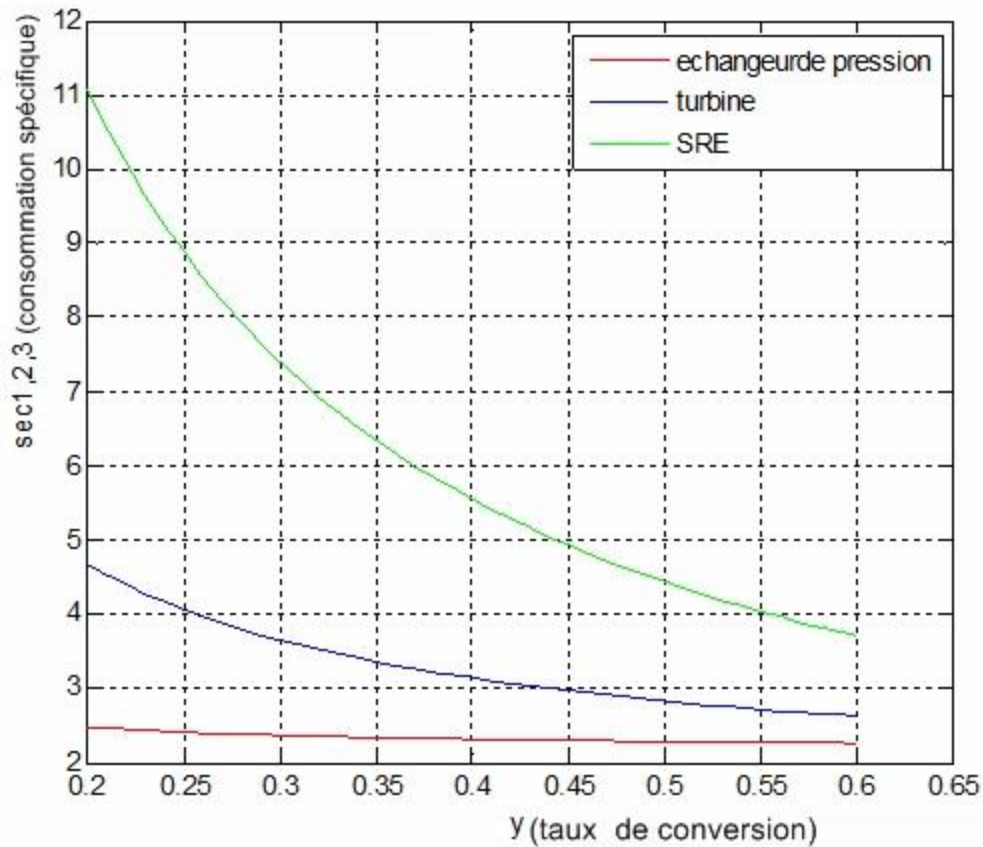
Pour l'échangeur de pression la consommation spécifique d'énergie diminue de 2.7 à 1.7 kWh /m<sup>3</sup> et pour la turbine Pelton de 2.8 à 2.3kwh /m<sup>3</sup>.

Nous constatons que l'échangeur de pression marque une diminution plus importante que la turbine à Pelton car le dispositif de récupérations d'énergie échangeur de pression facilite en eau de mer à basse pression dans les deux stations.

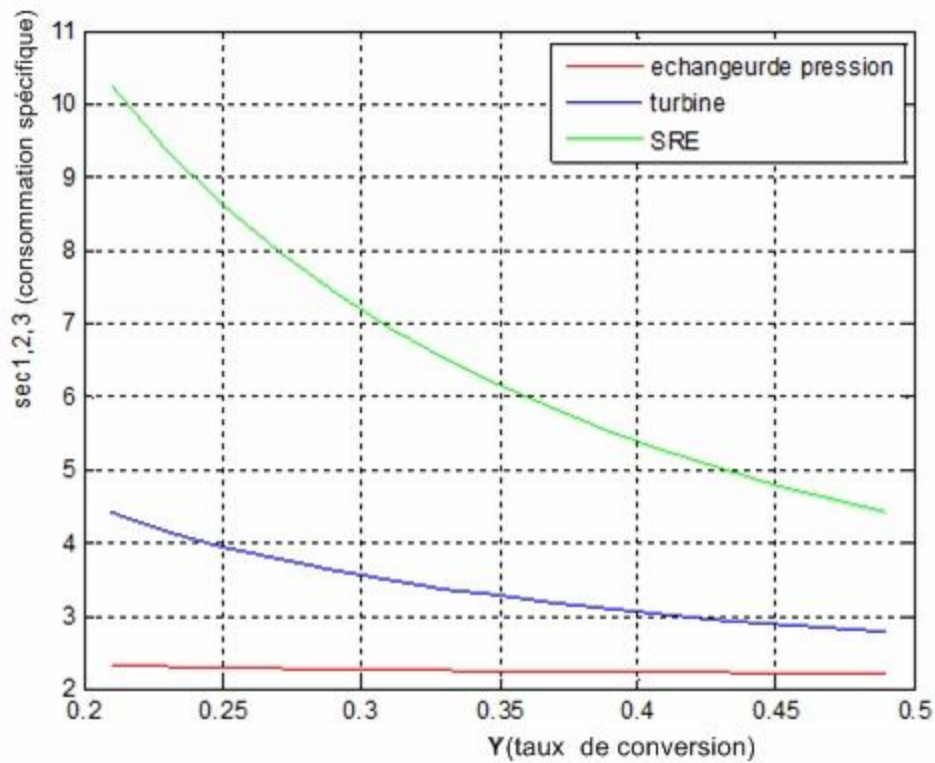


### III.4.5.2 Influence de taux de conversion :

Dans ce qui suit, nous déterminons l'influence de taux de conversion sur la consommation d'énergie spécifique dans les trois types de récupération d'énergie pour les deux stations de dessalement, comme montrent les deux graphes ci-dessous :



**Figure III.5 :** La consommation spécifique d'énergie en fonction de taux de conversion 'FOUKA'

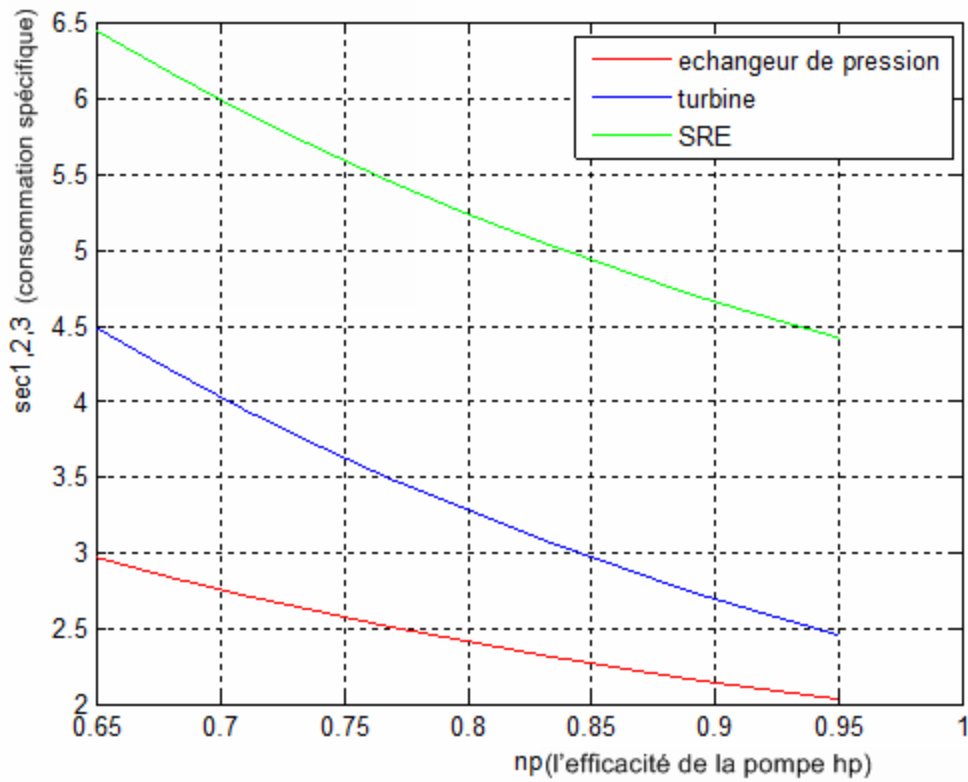


**Figure III.6:** La consommation spécifique d'énergie en fonction de taux de conversion 'SKIKDA'

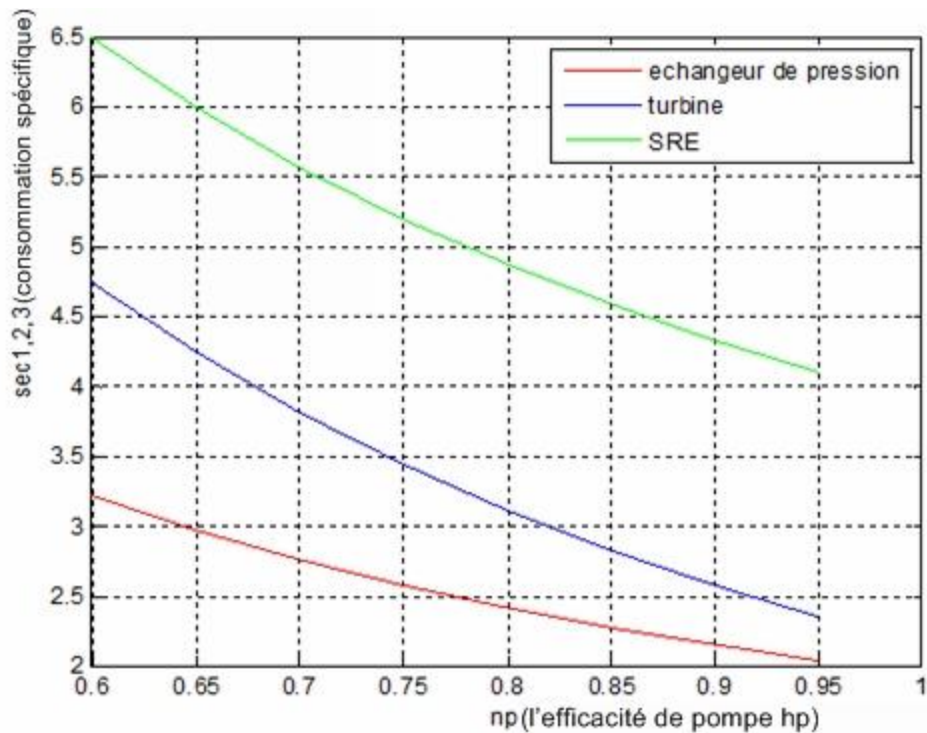
Dans le système sans récupération, la consommation spécifique d'énergie marque une diminution importante. Dans les deux stations et pour la turbine à Pelton on marque une diminution très faible, et pour l'échangeur de pression aucune diminution n'est enregistrée. Après l'étude et l'analyse des résultats, on remarque que le taux de conversion n'influe pas sur la consommation spécifique d'énergie, quelque soit le système de récupération considéré un échangeur de pression ou une turbine à Pelton.

### III.4.5.3 Influence d'efficacité de la pompe à haute pression :

Dans ce graphe ci-dessous, nous présentons la consommation spécifique en fonction de l'efficacité de la pompe à haute pression dans les trois types de dessalement :



**Figure III.7 :** La consommation spécifique d'énergie en fonction d'efficacité de pompe  $n_p$  'FOUKA'

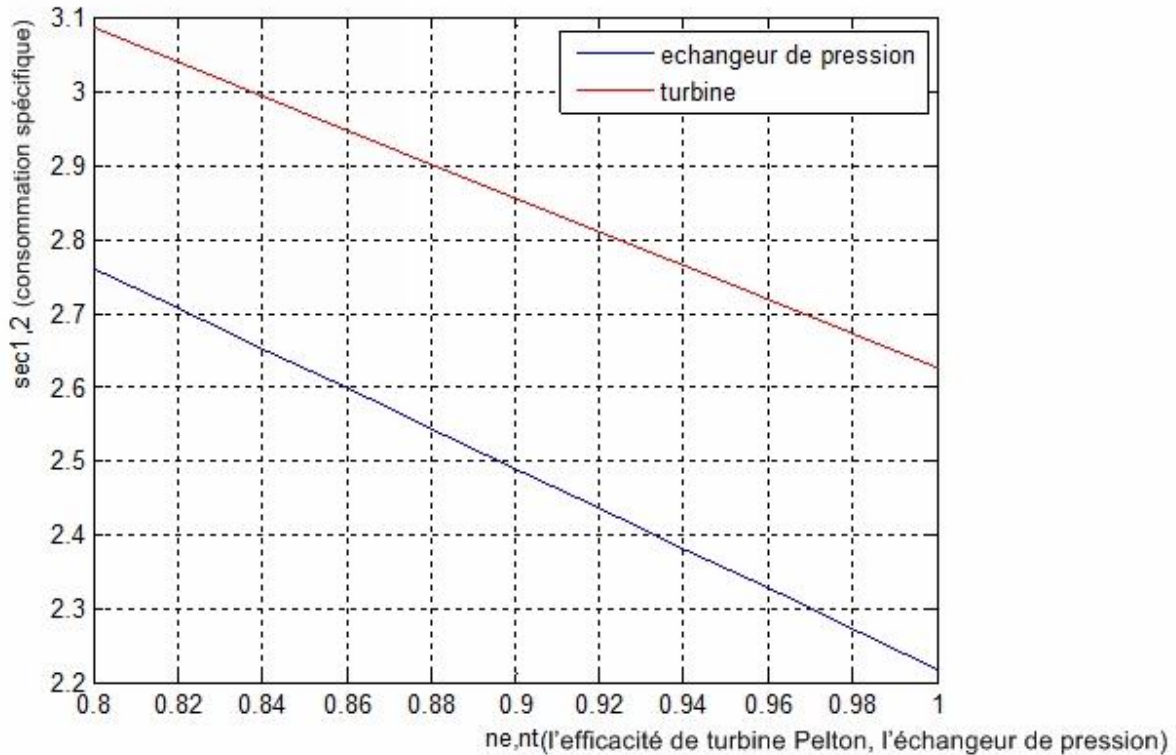


**Figure III.8 :** La consommation spécifique d'énergie en fonction d'efficacité de pompe hp 'SKIKDA

Pour l'échangeur de pression et la turbine à Pelton la consommation spécifique d'énergie varie entre 25% à 29% pour une efficacité de pompe à haute pression comprise entre 0,6 à 0,85 pour les deux stations. On peut dire que l'influence d'efficacité de pompe haute pression est directe sur la consommation spécifique d'énergie et que L'échangeur de pression marque une diminution remarquable par rapport à la turbine à Pelton. On constate que l'échangeur de pression est le meilleur dispositif de récupération pour assurer la minimisation de consommation spécifique dans le système de récupération pour les deux stations.

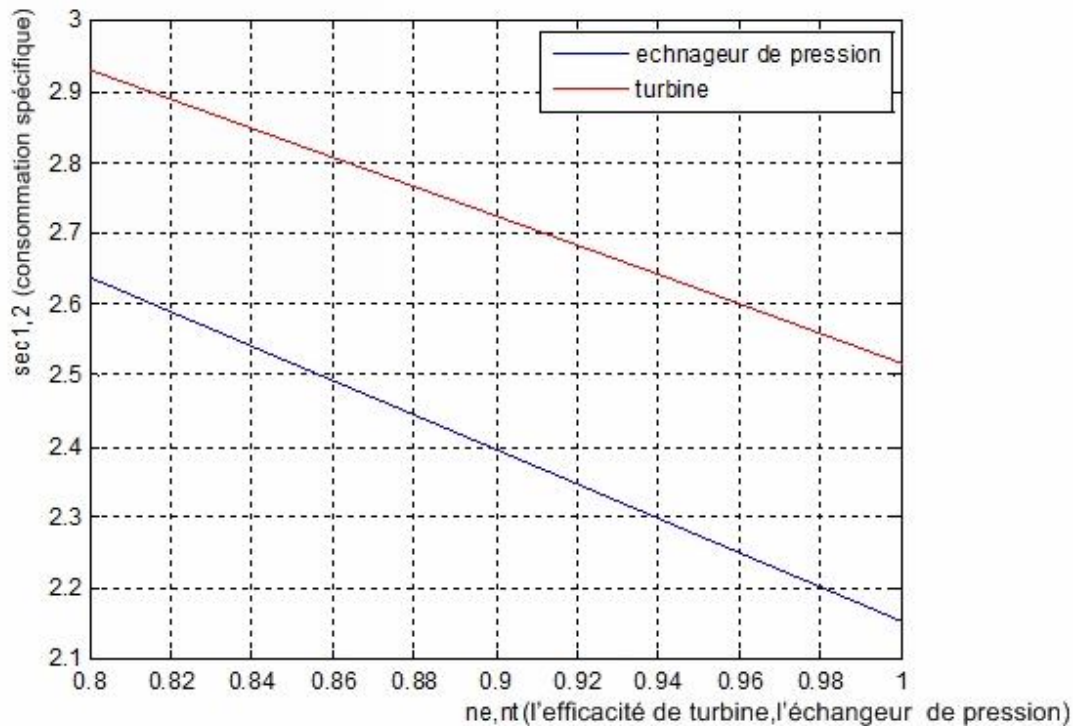
### III.4.5.4 Influence d'efficacité du système de récupération :

L'influence de l'efficacité des systèmes de récupération d'énergie est aussi étudiée. La consommation spécifique d'énergie en fonction d'efficacité de turbine Pelton et l'efficacité d'échangeur de pression dans le système de récupération est illustrée par les deux graphes ci-dessous :



**Figure III.9:** La consommation spécifique d'énergie en fonction de différent d'efficacité de système de récupération 'FOUKA'

## Chapitre III : Les résultats numériques



**Figure III.10 :** La consommation spécifique d'énergie en fonction de différent d'efficacité de système de récupération 'SKIKDA'.

On remarque que la consommation spécifique d'énergie diminue entre 13% à 16% pour la turbine à Pelton, et pour l'échangeur de pression la diminution est entre 17% à 20%.

Donc après l'analyse des résultats on peut dire que l'efficacité de système de récupération influe directement sur la consommation spécifique d'énergie et pour les deux stations marque que la diminution de L'échangeur de pression est plus grande par à port la turbine.

## Conclusion Générale

L'énergie électrique pour le dessalement de l'eau par l'osmose inverse sont constituent la part la plus importante du cout d'exploitation.

L'osmose inverse c'est la technologie la plus développé au monde, sur tout parce que cette technologie consomme moins d'énergie. L'osmose inverse présente une faible consommation d'énergie et un faible coût d'investissement par à port aux autre systèmes.

Pour cette étude et pour minimiser la consommation spécifique énergétique on utilise un programme sous « MATLAB ».

Les études fait à deux systèmes sans récupération, et avec récupération d'énergie on utilisant la turbine Pelton et un échangeur de pression.

A travers les résultats obtenus, l'échangeur de pression c'est le meilleur système qui a une consommation d'énergie spécifique est variant 2.15 à 2.30 kWh/m<sup>3</sup>, par à port la turbine Pelton la consommation spécifique d'énergie variant 2.48 à 2.7 kWh/m<sup>3</sup>.

Les résultats indiquent des performances de l'échangeur de pression par rapport à une turbine Pelton est nettement supérieur, permettant une diminution de l'énergie de la Consommation spécifique de l'échangeur de pression de 54%.

Il apparait que l'efficacité du système de récupération influe considérablement sur la consommation d'énergie.

### Références bibliographiques

[1] : <file:///C:/Users/Dash/Desktop/Downloads/le-dessalement-de-l-eau-de-mer.pdf>

[2] : <http://my-definitions.com/fr/definition/dessalement>

[3] : <http://dessalement.blogspot.com/2011/08/pretraitement-par-les-procedes.html>

[4] : <https://tpeorableu.wordpress.com/techniques-de-dessalement-2/comparatif-des-techniques/>

[5] : <https://dessalement.wordpress.com/procedé-membrane/>

[6] : <https://dessalement.wordpress.com/lelectrodialyse/>

[7] : <http://www.lenntech.fr/bibliotheque/osmose-inverse/osmose-inverse-definition.htm>

[8] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtration\\_sur\\_membrane](https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtration_sur_membrane)

[9] : <http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe4/node/123>

[10] : <http://www.technopur.com/traitement-contre-le-calcaire/osmoseur-domestique/>

[11] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose\\_inverse#Inconv.C3.A9nients](https://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose_inverse#Inconv.C3.A9nients)

[12] : [http://planbleu.org/sites/default/files/publications/etude\\_regionale\\_dessalement\\_fr](http://planbleu.org/sites/default/files/publications/etude_regionale_dessalement_fr)

[13] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dessalement>

[14] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dessalement>

[15] : Avlonitis, S.A., Operational water cost and productivity improvements for smallsize RO desalination plants. Desalination, 2002. 142: p. 295-304. by Mageed Jean Guirguis

---



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

[16] : Pique, G.G., RO: New Device Shatters Seawater Conversion Conceptual Barriers. Features, 2000. 42(7). magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

[17] : M. Hajeed, a.A.A.-O., On performance measures of reverse osmosis plants.Desalination, 2002. 144: p. 335-340/magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

[18] : Mohammed Badrulla Baig, A.A.A.K., Design features of a 20 mgd SWRO desalination plant, Al Jubail, Saudi Arabia. Desalination, 1998. 118: p. 5-12./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

[19] :

[20] : Peñate, B. and L. García-Rodríguez, Energy optimisation of existing SWRO (seawater reverse osmosis) plants with ERT (energy recovery turbines): Technical and thermoeconomic assessment. Energy, 2011. 36(1): p. 613-626.

[21] : Eli Oklejas, I.M., and Kent Nielsen, Low cost incremental seawater plant capacityincrease by coupling advanced pumping and RO technologies. Desalination, 1995. 102: p. 189-197./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

[22]: Stover, B.R.L., Energy Recovery Devices for Seawater Reverse Osmosis. Everything about water, 2006./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

[23]: A. Grtindisch, B.P.S., Optimising energy consumption in SWRO systems with brine concentrators. Desalination, 2001. 138: p. 223-229./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

[24]: A.M. Farooque, A.T.M.J., Ali R. Al-Reweli, Comparative Study of Various Energy Recovery Devices used in SWRO process. Saline Water Desalination Research Institute./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [25]: Eli Oklejas, J., Wil F. Pergande, Integration of advanced high-pressure pumps and energy recovery equipment yields reduced capital and operating costs of seawater RO systems. *Desalination*, 2000. 127: p. 181-188./  
magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.
- [26]: Harris, C., Energy recovery for membrane desalination. *Desalination*, 1999. 125: p. 173-180./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.
- [27]: Aqualyng Innovation The Recuperator. Aqualyng
- [28]: LyngAgua S.L., A.T., Barranco del Lechugal s/n, Valle de Tauro, Aqualyng™ a new system for SWRO with pressure. *Desalination*, 2001. 139./  
magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.
- [29]: Aqualyng Low Energy Consumption Reverse Osmosis Seawater Desalination Plants Recuperator Energy Pressure Recovery. *IDS Water*./  
magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.
- [30]: Yue Wang, S.W., Shichang Xu, Experimental studies on dynamic process of energy recovery device for RO desalination plants. *Desalination*, 2004. 160: p187-193./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.
- [31]: William T. Andrews, D.S.L, A twelve-year history of large scale application of work-exchanger energy recovery technology. *Desalination*, 2001. 138:p 201-206/ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis..
- [32]: Schneider, B., Selection, operation and control of a work exchanger energy recovery system based on the Singapore project. *Desalination*, 2005. 184(1-3): p 197-210./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.
-

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**[33]:** Flowserve receive DWEER orders. Membrane Technology, 2009. September 2009/ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

**[34]:** Flowserve acquire Dweer. Membrane Technology, 2009. June 2009./ magistre.Octobre21,2011-universiy of South Florida-By Mageed Jean Guirguis.

**[35]:** [https://www.Ministère des ressources en eau/sation de desslement](https://www.Ministère_des_ressources_en_eau/sation_de_desslement).

**[36]:** [https://www.direction générale Algérienne des eaux/station de dessalement](https://www.direction_générale_Algérienne_des_eaux/station_de_dessalement)

---