



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département : SECURITE INDUSTRIELLE ET ENVIRONNEMENT

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : HYGIENE ET SECURITE ET ENVIRONNEMENT
Spécialité : SECURITE PREVENTION / INTERVENTION

Thème

La Performance de la station de dessalement
Chatt El-Hillal-Béni-Saf

Présenté et Soutenu publiquement par

Nom : M^f MANSOUR
Nom : M^{lle} ZIREG

Prénom : Mohamed
Prénom : Hanane

Devant le jury composé de

| Nom et prénoms | Grade | Etablissement | Qualité |
|-----------------|-------|-----------------------|-------------|
| BOUHAFS Mohamed | MCB | Université Oran 2-MBA | Président |
| MECHKEN Amel | MAA | Université Oran 2-MBA | Examinateur |
| HEBBAR Chafika | MCA | Université Oran 2-MBA | Encadreur |

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Cette page sera sans doute la seule que certaines personnes prendront le temps de lire, c'est-à-dire son importance... Pas de méthode miracle, pas de résultat extraordinaire ni de résumé de ce qui a été fait ou reste à faire... non, juste une pensée sincère pour toutes les personnes, qui par leur encadrement, leur confiance ou leur soutien, ayant compté dans la réalisation de ce travail ! Et si finalement, ce n'était pas toutes ces rencontres les plus importantes ?

Nous remercions avant tout Dieu le tout puissant.

*Nos remerciements vont à notre encadreur Madame **Ch. HEBBAR** pour ses conseils inestimables et sa précieuse assistance.*

*Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à Monsieur **M. BOUHAFS**, en acceptant la présidence de ce jury.
Nous lui adressons toute notre gratitude.*

*Nous exprimons nos vifs et sincères remerciements à Madame **A.MECKEN**, pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant d'examiner ce travail, nous lui adressons toute notre reconnaissance.*

Nous remercions profondément nos parents pour leur soutien moral et matériel.

Nos gratitudes et nos sincères reconnaissances vont au staff professoral durant tout notre cursus universitaire, ainsi qu'aux très efficaces et compétents cadres de la station de Béni-Saf Chatt El- Hillal pour leur concrète contribution à notre imprégnation au sein de leur structure.

Dédicaces

Nos dédicaces très chaleureuses, vont particulièrement à nos parents, frères et sœurs pour leurs encouragements et disponibilités tout au long de notre cursus universitaire, et particulièrement durant la période de recherche et de parachèvement du présent mémoire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

RésuméAbstract ملخص

Introduction générale _____ 1

1 Chapitre 1 : Bilan de connaissances sur l'eau de mer et le dessalement

1.1 Introduction

1.2 Généralités sur l'eau de mer et la saumure _____ 5

1.3 Généralités sur le dessalement _____ 7

1.3.1 Introduction _____ 7

1.3.2 Historique sur le dessalement _____ 7

1.3.3 Dessalement de l'eau de mer dans le monde _____ 8

1.3.4 Dessalement de l'eau de mer en Méditerranée _____ 10

1.3.5 Dessalement de l'eau de mer en Algérie _____ 11

1.4 Procédés du dessalement de l'eau de mer _____ 14

1.4.1 Introduction

1.4.2 Procédés de distillation _____ 14

1.4.3 Procédés membranaires _____ 18

1.4.4 Perspectives de la distillation et de l'osmose inverse _____ 20

1.5 Conclusion

1.6 Législation relative aux stations de dessalement en Algérie _____ 21

2 Chapitre 2 : Bilan de connaissances sur la zone d'étude

2.1 Introduction

2.2 Situation géographique de la station Chatt El-Hillal _____ 23

2.3 Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement Chatt Hillal _____ 24

2.3.1 Captage d'eau de mer (débit journalier est de 425 532 m³/j). _____ 25

2.3.2 Prétraitement d'eau de mer avant osmose inverse _____ 26

2.3.3 Osmose inverse _____ 29

2.3.4 Le post-traitement _____ 38

2.3.5 Reminéralisation _____ 38

2.4 Impact des stations de dessalement _____ 39

2.4.1 Impacts positifs _____ 40

2.4.2 Impacts négatifs _____ 40

2.5 Conclusion

3 Chapitre 3 : La performance de la station de dessalement Chatt El-Hillal

3.1 Introduction

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.2 | Choix technique, économique et environnemental de la station | 44 |
| 3.3 | Localisation de la station de dessalement | 45 |
| 3.4 | Analyses effectuées sur l'eau de mer brute et la saumure | 45 |
| 3.5 | La performance de la station | 51 |
| 3.6 | Calcul de la teneur en saumure rejetée par l'unité de dessalement | 52 |
| 3.7 | Captage d'eau de mer « 425 532 » m³/J | 52 |
| 3.7.1 | Pompage de l'eau de mer « 425 532 » m ³ /J | 53 |
| 3.7.2 | Filtration : deux types de filtration | 53 |
| 3.7.3 | Pompe à haute pression 64 bars « 108 000 » m ³ /J | 53 |
| 3.7.4 | Pompes Booster | 53 |
| 3.7.5 | Reminéralisations (200 000 m ³ /J) | 54 |
| 3.7.6 | Stockage de l'eau produite « 200 000 » m ³ /J | 54 |
| 3.8 | Le procédé osmose inverse de l'unité de dessalement avec et sans système de récupération d'énergie | 54 |
| 3.8.1 | OI sans système de récupération d'énergie | 54 |
| 3.8.2 | OI avec system de récupération d'énergie | 55 |
| | Conclusion générale | 58 |
| | Références bibliographiques | 61 |
| | Annexe | 66 |

Liste des figures :

| | | |
|-----------|---|---------|
| Figure 1 | La disponibilité en eau douce par état en 2007 en m ³ /Hab/an (FAO, 2008). | page 8 |
| Figure 2 | Capacités de dessalement dans le monde (Patier et Blanchon, 2010). | page 9 |
| Figure 3 | Répartition de la capacité de dessalement installée en Méditerranée (Plan Bleu Environnement et Développement en Méditerranée, 2010). | page 10 |
| Figure 4 | Méditerranée (Plan Bleu Environnement et Développement en Méditerranée, 2010). | page 11 |
| Figure 5 | Emplacement géographique des stations de dessalement en Algérie (<i>in</i> Bessenasse et Belkacem Filali, 2015). | page 13 |
| Figure 6 | Principe de distillation à simple effet (Danis, 2003). | page 15 |
| Figure 7 | Distillation à multiples effets (Danis, 2003). | page 16 |
| Figure 8 | Compression mécanique de vapeur (Rovel, 2012). | page 18 |
| Figure 9 | Principe de dessalement par l'électrodialyse (Bushnak, 2012). | page 20 |
| Figure 10 | Principe de l'osmose et de l'osmose inverse (Bushnak, 2012). | page 24 |
| Figure 11 | Consortium Algero-Espagnol de la station | page 24 |
| Figure 12 | Processus du dessalement d'eau de mer de la station | page 25 |
| Figure 13 | Les pompes à eau de mer, système d'amorçage, et des amortisseurs | page 26 |
| Figure 14 | Réservoir de stockage d'hypochlorite de sodium. | page 27 |
| Figure 15 | Les filtres à sable de la station. | page 27 |
| Figure 16 | Les filtres à Anthracite de la station. | page 28 |
| Figure 17 | Le charbon actif. | page 28 |
| Figure 18 | Les filtres à cartouches | page 29 |
| Figure 19 | Zone de production d'osmose inverse (Vue intérieure et extérieure). | page 30 |
| Figure 20 | Bâtiment de dosage chimique. | page 30 |
| Figure 21 | Bâtiment d'acide sulfurique. | page 31 |
| Figure 22 | La zone de filtration. | page 31 |
| Figure 23 | Le réservoir de pressurisation de l'eau de service. | page 32 |
| Figure 24 | Le réservoir de soude caustique et la salle électrique. | page 32 |
| Figure 25 | Bâtiment de stockage pour la reminéralisation de l'eau. | page 32 |
| Figure 26 | Le Réservoir de stockage d'hypochlorite de sodium. | page 33 |
| Figure 27 | Bâtiment de saumure. | page 33 |
| Figure 28 | La Station électrique. | page 33 |
| Figure 29 | Bâtiment de lavage de filtres. | page 34 |
| Figure 30 | Les modules tubulaires. | page 35 |
| Figure 31 | Les Configuration des fibres creuses. | page 36 |
| Figure 32 | Les modules spirales. | page 36 |
| Figure 33 | OI sans système de récupération d'énergie | page 54 |
| Figure 34 | OI avec système de récupération d'énergie | page 55 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----------|--|---------|
| Tableau 1 | Composition chimique de l'eau de mer (Maurel, 2006). | page 5 |
| Tableau 2 | Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure (Habet, 2010). | page 6 |
| Tableau 3 | Programme de dessalement en Algérie (Bessenasse et Belkacem Filali, 2015). | page 12 |
| Tableau 4 | Les grandes stations algériennes | page 13 |
| Tableau 5 | Résultats d'analyses d'eau mer. | page 46 |
| Tableau 6 | Résultats d'analyses des eaux de rejet de saumure de la station. | page 47 |
| Tableau 7 | Quantité de saumure rejetée par l'usine de dessalement « Chatt El-Hillal ». | page 49 |
| Tableau 8 | Les quantités journalières des différents éléments chimiques rejetées par les grandes stations de dessalement en Algérie (Amitouche, 2016) | page 50 |
| Tableau 9 | des grandes stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie (Amitouche, 2016) | page 50 |

Liste des Abréviations

OMS : Organisation mondiale de la Santé

WWF : Fonds mondial pour la nature

IDA : l'Association Internationale de Dessalement

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

AEP : Adduction d'eau potable / alimentation en eau potable

BOO : Build, Own and Operate

VFVC : Vacuum Freezing Vapour Compression

EIE : étude d'impact environnemental

SDEM : Station de dessalement d'eau de mer

BWC : Beni-saf water company

PRFV : Plastique à renfort de verre

PNUE : Programme des Nations unies pour l'environnement

MTH : maladies à transmission hydrique

CET : centres d'enfouissement technique

ICPE : installations classées pour la protection de l'environnement

TA/TAC : Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet

TH : titre hydrotimétrique

pH : potentiel hydrogène

OI : osmose inverse

Résumé
Abstract
ملخص

Le dessalement de l'eau de mer en Algérie revêt un caractère stratégique, il remplacera les ressources naturelles dans la majorité des villes du nord Algérien. Quel que soit le procédé utilisé (membranaire ou de distillation), toutes les stations de dessalement produisent des quantités considérables de saumure. Certains travaux parlent des centaines de milliers de tonnes de saumure qui sont rejetées quotidiennement dans la mer depuis des stations de dessalement. A cela, s'ajoutent les produits chimiques et les métaux et le problème de pollution atmosphérique et sonore.

La station de dessalement de l'eau de mer « Chatt El-Hillal », constitue l'un des grands projets réalisés par le gouvernement algérien en matière d'approvisionnement en eau potable, avec une capacité de 200 000 m³/ jour. Ce travail a pour objectif de faire une étude sur la performance de la station par le suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau obtenue par le dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse en avril 2017.

A la lumière des résultats obtenus, les eaux issues de dessalement de l'eau de mer présentent une qualité physico-chimique plus ou moins adéquate comparée aux normes nationales. En revanche, les analyses chimiques révèlent des teneurs relativement élevées du brome, des chlorures et des ions Calcium, magnésium, sodium, phosphore. Les teneurs en métaux (chrome, iode, fer et cuivre) sont faibles vis-à-vis de la réglementation algérienne

Mots clés : Dessalement, Eau de mer, environnement, paramètres physicochimiques, saumure, Station BéniSaf « Chatt El-Hillal ».

Introduction
générale

Introduction générale

La croissance démographique dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande d'eau potable tandis que l'industrialisation, l'irrigation des sols et l'élévation des niveaux de vie se traduisent par un accroissement supplémentaire de la consommation d'eau douce par habitant (**Boyé, 2008**). L'exploitation des ressources en eau en est arrivée à un degré qui épuise les disponibilités dans certains pays méditerranéens, et d'autres pays ne seront probablement pas loin d'y parvenir ultérieurement. Selon les estimations la demande mondiale, qui était de 300 milliards de m³ par an en 1990, est augmentée de 32% en 2010 et augmentera de 55 % d'ici à 2025, pour atteindre plus de 460 milliards de m³ (**Lattemann, 2010 in Amitouche, 2016**).

Plus d'un milliard de personnes dans le monde n'ont pas accès à des ressources d'eau saine ; la raison pour laquelle il faut donc leur assurer un minimum de 5L/J/Hab (**Kara Omar et Khaldi, 2017 ; OMS, 2011**).

Cette situation alarmante oblige tous les pays du monde à chercher des sources d'eau fiables. C'est dans cette thématique que les stations de dessalement des eaux s'inscrivent puisqu'elles permettent de produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer ou d'eau saumâtre grâce à des procédés membranaires et de distillation. Le dessalement est en pleine expansion avec une progression d'environ 7 % par an (**Chenaoui, 2010 ; Mandri, 2011**).

Le dessalement de l'eau de mer est un processus industriel qui doit être bien conçu et bien géré; sinon, il peut avoir des effets négatifs sur l'environnement dus entre autres à la modification de l'utilisation du sol de la zone côtière, aux nuisances créées par les travaux de construction et aux émissions causées dans l'air, le sol ou l'eau par le fonctionnement de l'usine, en particulier, les rejets de déchets dans le milieu marin pouvant altérer la qualité de l'eau et des sédiments. L'altération de la qualité de l'eau de mer et des sédiments peut, à son tour, nuire à la faune et à la flore marine et avoir un effet durable sur les écosystèmes côtiers. Il conviendrait donc que les effluents provenant du dessalement de l'eau de mer soient en conformité avec les politiques et les protocoles régionaux et nationaux concernant l'environnement (**Amitouche, 2016**).

L'Algérie est un pays semi-aride, voir même aride (200 mm à 400 mm de pluie par an) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière. Les ressources superficielles ont subi durant les deux dernières décennies des effets négatifs de la sécheresse, de la pollution et de la mauvaise gestion. La demande en eau douce, croît chaque année de 2 à 3%, tandis que les ressources naturelles restent invariables (**Zouini, 2009**). Selon **Mozas et Ghosn (2013)**, en Algérie, plusieurs facteurs peuvent expliquer la situation de stress hydrique.

- Les retards accumulés dans les décennies 1980 et 1990 pour ajuster l'offre à la demande en eau. En effet, le ratio ressources en eau par habitant et par an était de 720 m³ en 1990, de 630 m³ en 1998 et de 500 m³ aujourd'hui, traduisant ainsi le décalage par rapport à la croissance démographique.
- Les contraintes physiques liées au relief et à la morphologie du pays.
- La baisse de la pluviométrie depuis trois décennies, avec un pic de sécheresse en 2001-2002.
- Le phénomène de désertification des sols qui accentue la menace de sécheresse, en particulier dans l'Ouest algérien.
- La croissance de la demande en eau, notamment dans le Nord du pays .

Après dessalement de l'eau de mer, les usines génèrent de la saumure contenant divers sels, métaux lourds et composés organiques. Cette saumure est deux fois plus salée (entre 50 et 80 g/l) que l'eau de mer habituelle (35 g /l en mer Méditerranée). Cependant, ce rejet de saumure en grande quantité, peut entraîner à long terme, un déséquilibre dans la composition chimique de l'eau de mer, avec des conséquences dramatiques sur la biodiversité, les écosystèmes marins que ce soit la faune ou la flore sous-marines.

Le présent travail est réalisé au niveau de la station de dessalement d'Ain-Temouchent « Chatt El-Hillal » assurant la production de l'eau potable pour les deux villes (Ain-Temouchent et Oran) avec un débit de 200 000 m³/j. L'eau osmosée (le permeal) est reminéralisée par l'injection de la calcite (carbonate de calcium) dans l'eau conservée dans un réservoir de capacité 5000m³ afin d'obtenir une eau équilibrée. Ce mémoire est réparti comme suit :

Une introduction au sujet de dessalement qui prend une grande ampleur au niveau de notre pays.

Le chapitre 1 dresse une synthèse bibliographique sur l'eau de mer et son dessalement.

Le chapitre 2 est relatif à la description de la zone d'étude où nous avons effectué notre stage de fin de cursus.

Le chapitre 3 abordera la performance de la station de dessalement « Chatt El-Hillal ».

Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion comportant quelques recommandations que nous jugeons intéressantes.

Chapitre 1
Bilan de connaissances sur
l'eau de mer et le
dessalement

1 Chapitre 1 : Bilan de connaissances sur l'eau de mer et le dessalement

1.1 Introduction

L'eau est une denrée indispensable pour l'existence de l'humanité et son développement socioéconomique durable. Elle est précieuse, rare et inégalement répartie. Elle constitue un défi au développement durable. Face aux demandes croissantes de l'eau dans le monde et plus particulièrement en Algérie, produire une eau potable de qualité acceptable avec un coût minimal est le principal objectif de tous les exploitants (Frenkel, 2011). Le recours aux techniques membranaires est plus en plus important pour résoudre le problème d'approvisionnement en eau destinée à la consommation humaine.

1.2 Généralités sur l'eau de mer et la saumure

L'eau de mer est la matière première de l'usine de dessalement. La caractéristique la plus importante de l'eau de mer est sa salinité, c'est-à-dire sa teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates) (tableau. 1).

Tableau 1- Composition chimique de l'eau de mer (Maurel, 2006).

| | | Eau de mer | Eau de mer |
|----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | | Standard | Méditerranée |
| | | ppm | ppm |
| Salinité | | 35000 | 39000 |
| Cations | Sodium | 10760 | 11970 |
| | Magnésium | 1294 | 1440 |
| | Calcium | 412 | 450 |
| | Potassium | 387 | 440 |
| Total Cations | | 12853 | 14300 |
| Anions | Chlorures | 19353 | 21570 |
| | Sulfates | 2712 | 2990 |
| | Bicarbonates | 142 | 153 |
| | Bromures | 67 | 75 |
| Total anions | | 22274 | 24788 |

La salinité de l'eau de mer peut varier suivant la localisation sur le globe terrestre : la salinité la plus basse se rencontre au voisinage des pôles ; elle augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur (**Danis, 2003**). La salinité moyenne de l'eau de mer est de l'ordre de 35g/l, cependant cette valeur varie fortement selon les régions et la saison : Mer baltique : 7g/l, Mer méditerranée : 36 à 39 g/l, Golfe persique : 40 à 70 g/l, Mer morte : 27g/l (**Maurel, 2006**).

La saumure est un sous-produit du dessalement inévitable, déchargée généralement dans l'environnement marin. Les constituants présents dans ces eaux résiduelles rejetées par les usines de dessalement dépendent de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau douce produite et du procédé de dessalement adopté. Ces rejets ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure concentrée, mais peut aussi contenir des désinfectants et des agents antisalissures, des eaux chaudes et des effluents aqueux tels que les distillats et condensats d'éjecteurs (**Dawoud et Al Mulla, 2012**).

Tableau 2 - Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure (Habet, 2010).

| Paramètres | Eau de mer | Rejet (saumure) |
|---------------------------------|-------------------|------------------------|
| Conductivité électrique (ms/cm) | 47 | 73,5 |
| Salinité (g/l) | 32 | 60 |
| Turbidité (NTU) | 1,14 | 2,03 |
| pH | 7,61 | 7,31 |
| T (°C) | 20 | 20 |
| [Ca ²⁺] (g/l) | 0,449 | 0,841 |
| [Mg ²⁺] (g/l) | 0,998 | 2,013 |
| Chlorures (g/l) | 14,200 | 22,412 |
| Sulfates (g/l) | 3,7 | 2,573 |
| TA (°F) | 0 | 0 |
| TAC (°F) | 13 | 28 |

Il existe deux concepts identifiés réalistes pour l'élimination de la saumure :

-**Mélange** : Afin d'éviter l'effet panache, il est avantageux de placer la sortie de la conduite au niveau d'un courant fort, optimisant ainsi le mélange de la saumure et de l'eau de mer.

-Dilution : La dilution de ces saumures dépend instantanément de leur dispersion dans le cas d'une mer agitée et de leur localisation dans le cas d'une mer calme. A savoir que les saumures prennent beaucoup de temps pour se diluer quand la mer est calme ; ce qui influe directement sur le milieu aquatique.

1.3 Généralités sur le dessalement

1.3.1 Introduction

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet de supprimer les sels de l'eau salée ou saumâtre. Le dessalement représente une solution efficace face au sérieux problème de pénurie d'eau. Mais, selon le Fond Mondial pour la Nature (WWF), cette solution représente une menace potentielle pour l'environnement à cause de la composition des rejets qui modifie les paramètres de la mer, qui influe également négativement sur la faune et la flore. Il est grand temps d'alerter l'opinion publique sur cette autre catastrophe qui risque d'hypothéquer durablement le développement national.

Le dessalement est en très forte croissance dans le monde, avec une capacité installée qui augmente en moyenne de 10% par an (**Boyé, 2008**). Le dessalement est une technique adoptée par l'industrie de l'eau. C'est un processus qui consiste à extraire de l'eau douce à l'eau de mer (**Rerolle, 2010**).

Le processus de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes :

- la captation de l'eau de mer ;
- le prétraitement ;
- Les différents procédés de dessalement ;
- le posttraitement ou minéralisation.

1.3.2 Historique sur le dessalement

C'est à partir du XIXe siècle qu'apparaît au Chili la première usine par distillation solaire dont la production de 20m³ permet de fournir de l'eau à un village minier dans une zone aride. Pendant la première moitié du XXe siècle, les processus de dessalement ont employé les techniques d'évaporation. L'utilisation des membranes a eu un succès dans les années 60 aux États Unis. Après la crise pétrolière de 1973, les pays exportateurs de pétrole, ainsi que ceux ayant une plus grande pénurie en eau, commencent à installer une grande quantité d'usines d'évaporation avec production d'électricité. Dans les années 80, les usines

d'osmose inverse commencent à prendre place ailleurs le Golfe Persique. Ainsi dans les années 90, l'évaporation continue à être employée dans le Moyen- Orient mais l'osmose inverse est dominante dans le reste du marché mondial. Selon l'inventaire mondial de l'Association Internationale de Dessalement (IDA), Il existe plus de 15 000 unités de dessalement dans le monde produisant environ 56 millions de m³/j, dans 120 pays. Un pourcentage de 60,6% de l'eau employée dans ces usines est de l'eau de mer, 22,8% est saumâtre et le pourcentage restant correspond aux eaux superficielles et résiduelles. Les pays du Moyen-Orient, et principalement ceux du Golfe Persique, atteignent 12 millions de m³/j : l'Arabie Saoudite dispose de 23,6% du total et est suivi par les Etats Unis avec 16,7%, les Émirats Arabes Unis avec 16,3% et le Koweït, 6,4% (Morsli, 2013).

1.3.3 Dessalement de l'eau de mer dans le monde

Selon le FAO, en 2008, le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. La disponibilité géographique en eau douce est inégalement répartie dans le monde (fig.1).

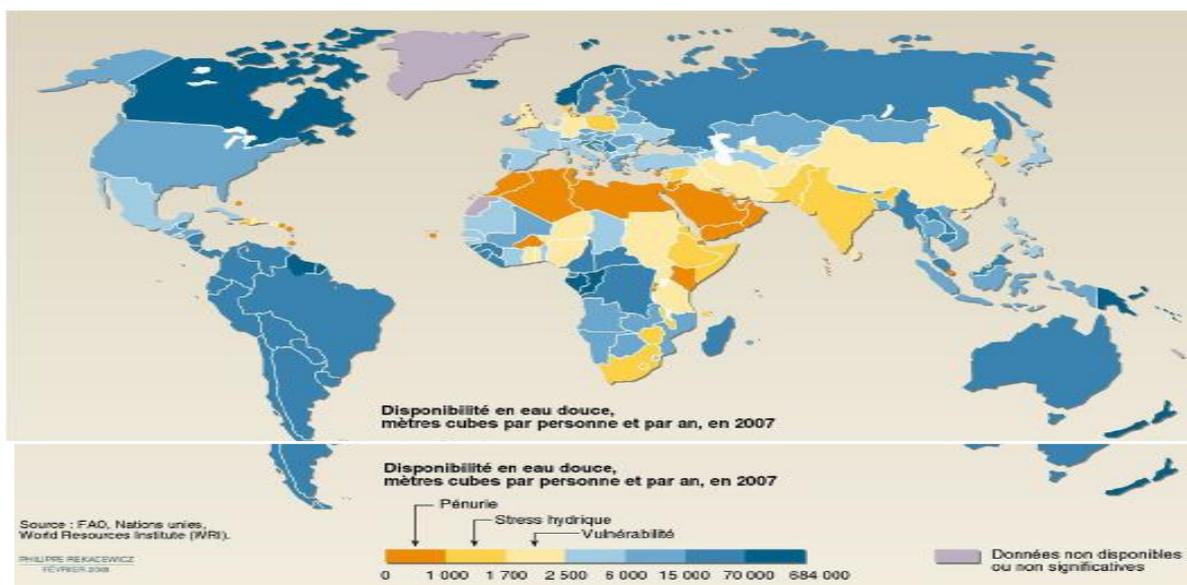


Fig. 1 - La disponibilité en eau douce par état en 2007 en m³ /Hab/an (FAO, 2008).

La capacité installée de dessalement augmente chaque année en moyenne de plus de 10%. Aujourd'hui, plus de 15000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m³/j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions, 75% sont destinés à la consommation humaine et 25% à un usage industriel ou agricole.

En 2010, **Patier** et **Blanchon** mentionnent que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m³/j (**figure. 2**).

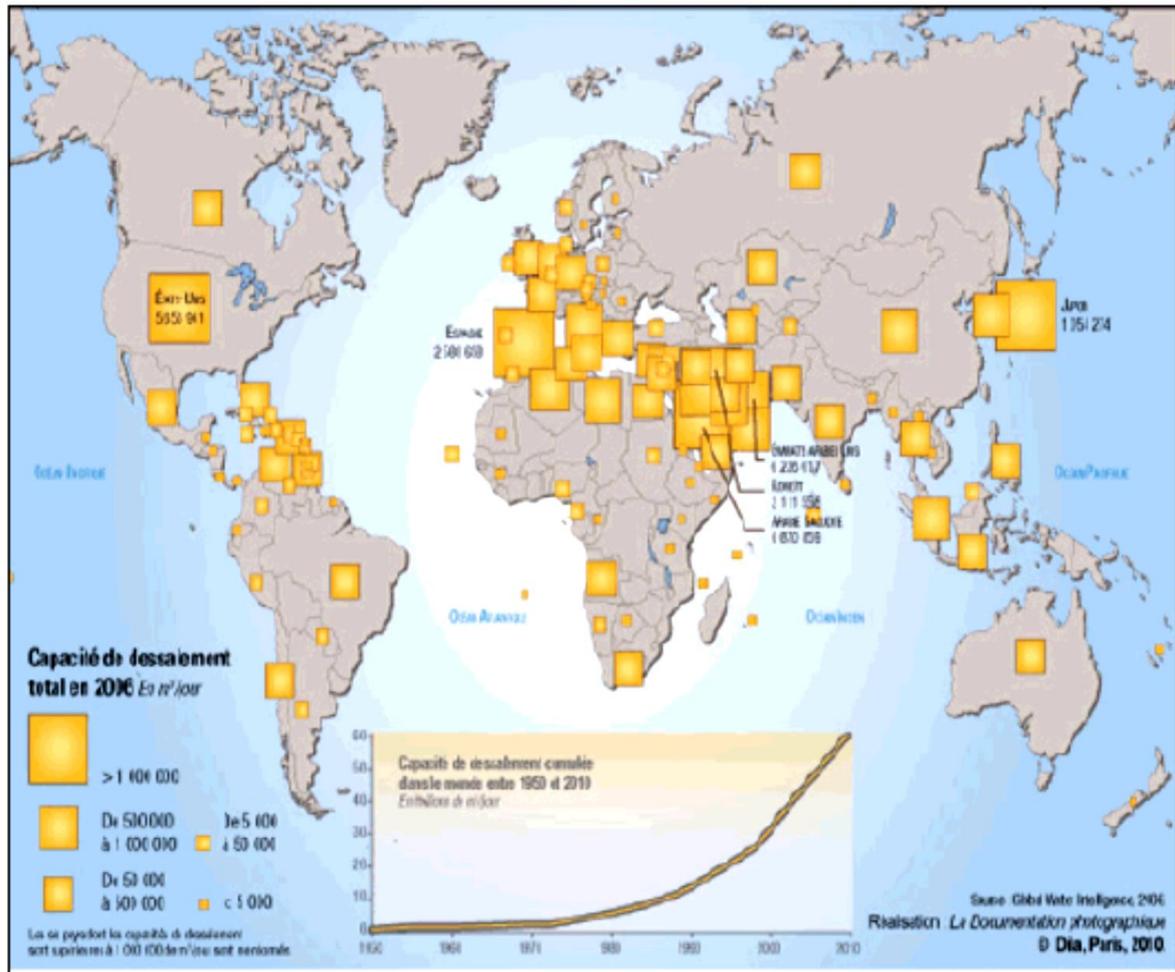


Figure. 2 - Capacités de dessalement dans le monde (Patier et Blanchon, 2010).

La Chine a annoncé 1 million de m³/j d'eau de mer traitée en 2010 et jusqu'à 3 millions de m³/j en 2020. Soixante pour cent (60%) des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et se répand aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. A ce jour, la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel, soit environ de 30 à 40 millions de m³/j (**Boyé, 2008**).

1.3.4 Dessalement de l'eau de mer en Méditerranée

Les pays méditerranéens subissent des pressions croissantes sur leurs ressources en eau. Certains d'entre eux (Egypte, Libye, Malte, Syrie, Gaza...), leurs prélèvements en eau approchent voire dépassent le niveau limite des ressources renouvelables. La baisse des précipitations, déjà constatée, réduit les ressources en eau mobilisables et les tensions sur ces ressources vont être exacerbées par les effets du changement climatique, la croissance démographique, et aussi au développement économique (industrie).

La Méditerranée représente environ un quart du Dessalement mondial. Les experts estiment que vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du Dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m³/j).

Au Maroc : 20 000 m³/j installés, des projets lancés dont Agadir et TanTan.

En Tunisie : 95 000 m³/j installés.

En Libye : 900 000 m³/j thermiques installés, et un projet de Dessalement nucléaire.

En Egypte : Dessalement sur la mer rouge.

A Malte, le Dessalement représente 60% de l'eau potable de l'île.

A Chypre, 2 usines de Dessalement sont opérationnelles (**figure. 3**).

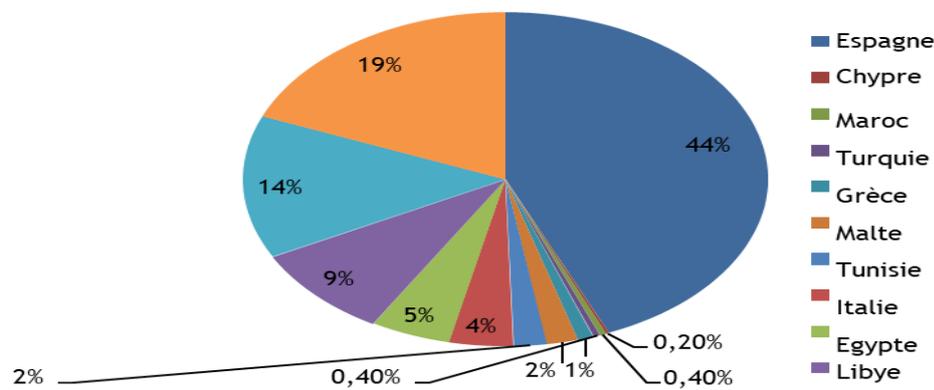


Figure. 3 - Répartition de la capacité de Dessalement installée en Méditerranée (Plan Bleu Environnement et Développement en Méditerranée, 2010).

Les pays méditerranéens utilisent majoritairement l'osmose inverse pour Dessalement l'eau de mer. A ce jour, les trois techniques principalement utilisées pour Dessalement l'eau de mer, qui consiste en, l'osmose inverse, la distillation et l'électrodialyse possèdent des avantages certains mais présentent également de nombreuses contraintes tant économiques qu'écologiques (**figure. 4**).

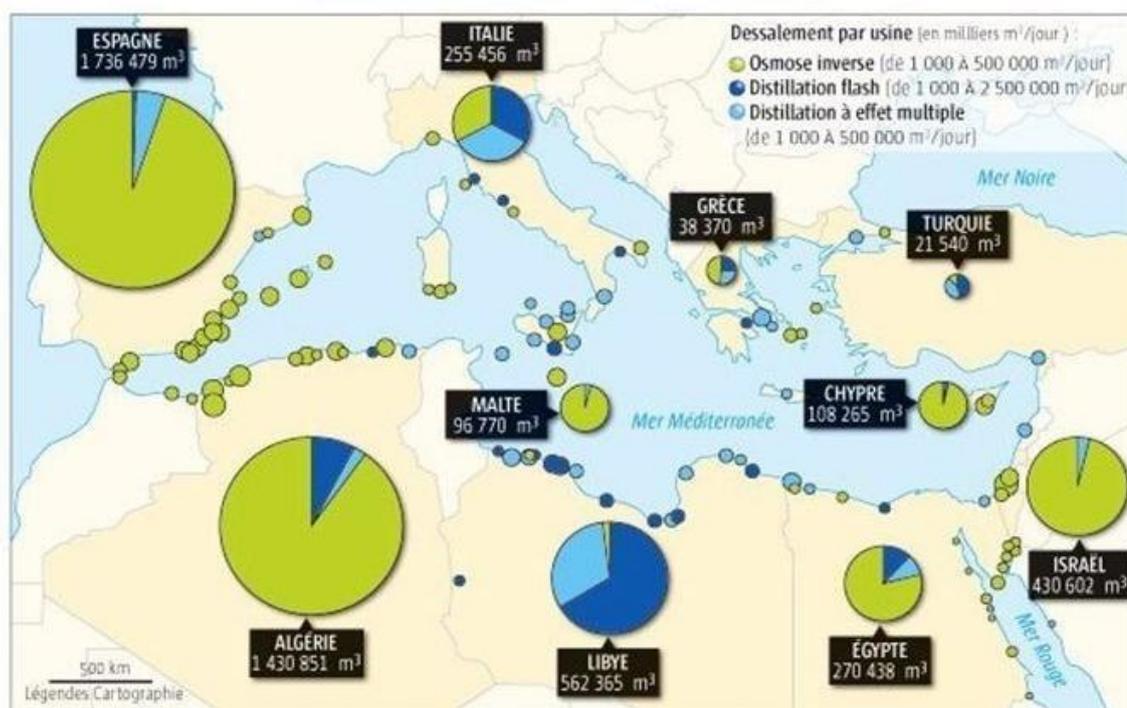


Figure. 4 – Le dessalement en Méditerranée
(Plan Bleu Environnement et Développement en Méditerranée, 2010).

1.3.5 Dessalement de l'eau de mer en Algérie

Le recours de l'Algérie au dessalement n'est pas récent. En effet, les premières expériences de dessalement dans le pays ont été réalisées après l'indépendance pour des besoins spécifiques liés à l'industrie pétrolière et à la sidérurgie ainsi que pour la déminéralisation d'eaux souterraines présentant un taux élevé de salinité. Il faut pourtant attendre 2001 pour qu'elles prennent la décision de retenir le dessalement d'eau de mer pour l'alimentation en eau potable comme une priorité de leur stratégie économique. L'Oranie est alors identifiée comme région prioritaire de ce programme qui sera poursuivi au cours des prochaines années pour mieux sécuriser l'AEP de certaines zones côtières.

Pour pallier le manque d'eau potable dans le pays qui s'accroît par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse, l'Algérie a décidé de miser sur des usines de dessalement d'eau de mer et a lancé un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau (**tableau. 3 ; figure. 5**). Le dessalement est devenu une nécessité vitale pour les grands centres urbains algériens du littoral méditerranéen tels que : Oran, Alger, Arzew. C'est à l'ouest du pays où la population souffre d'un déficit sévère en eau potable, et

rationnements peuvent aller jusqu'à un jour sur cinq que seront installées la plupart des stations de dessalement ce qui permettra à la population de profiter d'une eau de même qualité que l'eau conventionnelle. L'autre stratégie pratiquée dans le grand sud algérien (Sahara, Oasis) pour l'alimentation des centres oasiens, c'est le recours à la déminéralisation des eaux saumâtres souterraines et superficielles (Zouini, 2009).

Un nombre que les autorités comptent atteindre 43 stations à l'horizon 2019 pour répondre aux besoins domestiques nationaux. L'Algérie sera à l'abri grâce aux méga stations qui sont ou seront réalisées d'ici à 2019 dont la plus grande station de dessalement de la Mactâa d'une capacité de production de 500 000 m³/j permettant la couverture à long terme des besoins de cinq millions de personnes en eau potable, et plus de 30 stations d'une capacité allant de 2 500 à 5 00 000 m³/j, et produire plus de 2,5 millions de m³/j à travers ce vaste programme (Bessenasse et Belkacem Filali, 2015).

Selon les prévisions du centre de recherche de dessalement au Moyen-Orient (Medrec), l'Algérie est appelé ainsi à se classer derrière l'Arabie saoudite, les Emirats arabes unis et les USA.

Tableau. 3 - Programme de dessalement en Algérie (Bessenasse et Belkacem Filali, 2015).

| Région | Nombre d'unités | Capacités (m ³ /J en 2006) | Capacités (m ³ /J en 2010) | Capacités (m ³ /J entre 2020-2030) |
|--------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Ouest | 6 | 90000 | 1390000 | 1390000 |
| Centre | 6 | | 720000 | 810000 |
| Est | 4 | | 150000 | 380000 |
| Total | 16 | 90000 | 2260000 | 2580000 |

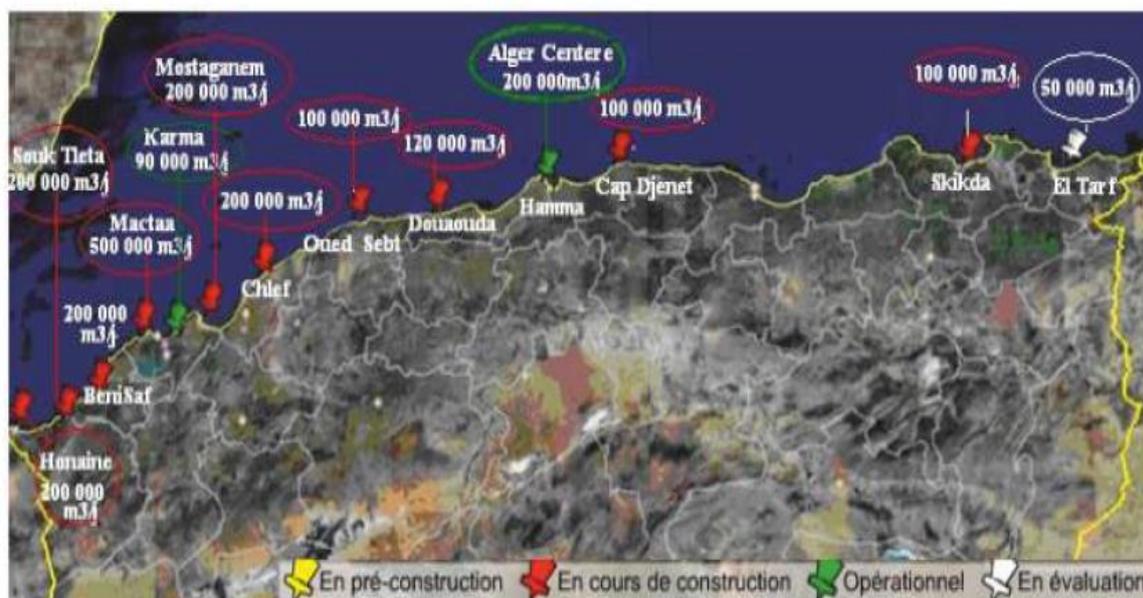


Figure. 5 - Emplacement géographique des stations de dessalement en Algérie (in Bessenasse et Belkacem Filali, 2015).

Les grandes stations en Algérie sont mentionnées dans le **tableau 4**.

Tableau. 4 – Les grandes stations algériennes.

| Projets de stations | Capacité (m ³ /jour) | Mise en service | Partenaires | Montant USD | Banques ou tiers |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|---|-------------|------------------|
| Kahrama | 88880 | Depuis 2006 | J.Burrow Ltd : 05% | 400 | SH/SG |
| Hamma | 200000 | Depuis 2008 | GE Ionics “Etats-Unis“ : 70% | 258 | OPIC |
| Skikda | 100000 | Depuis 2009 | Geida (Befesa/Sadyt) “Espagne“ : 51% | 136 | BNA |
| Beni Saf | 200000 | Depuis 2010 | Cobra/Espagne“ : 51% | 240 | BEA |
| SoukTlata | 200000 | Depuis 2011 | TDIC (Hyflux/Malakoff) “Singapour“ : 51% | 251 | BNA |
| Fouka | 120000 | Depuis 2011 | AWI (Snc Lavalin/Acciona) : 51% | 180 | CPA |
| Mostaganem | 200000 | Depuis 2011 | Inima / Aqualia “Espagne“ : 51% | 227 | BEA |
| Honaine | 200000 | Depuis 2012 | Geida (Befesa/Sadyt) “Espagne“ : 51% | 291 | CPA |
| Cap Djinet | 100000 | Depuis 2014 | Inima / Aqualia “Espagne“ : 51% | 138 | BNA |
| Ténes | 200000 | Depuis 2015 | Befesa “Espagne“ : 51% | 231 | CPA |
| Mactâa | 500000 | Juillet 2016 | Hyflux “Singapour“ : 47%, ADE “10% | 492 | BNA |

Ces projets sont réalisés après appel d’offre international ce qui s’est traduit par une diversification des partenaires tels que les firmes espagnoles (Befesa, Inima Aqualia, Geida), sud-africaine (Black and watch), malaisienne (Malakof), singapourienne (Hyflux) et

américaine (GE Ionics). L'américain GE Ionics a réalisé par exemple une station de 200 000 m³/j pour l'agglomération d'Alger. Les grandes stations mises en place sont conçues en général sur le modèle BOO (Build, Own and Operate) où la construction, la réalisation et l'exploitation de la station sont confiées à l'investisseur privé étranger pendant le temps de la concession accordée par l'Etat (25 ans en moyenne). Elles sont détenues à 49 % par la filiale de la Sonatrach et de la Sonelgaz (AEC, Algerian Energy Company) et à 51 % par l'investisseur privé (**Mozas et Ghosn, 2013**).

1.4 Procédés du dessalement de l'eau de mer

1.4.1 Introduction

La technique de dessalement peut traiter les eaux de différentes origines : l'eau de mer (dont la concentration en sels varie entre 35000 à 49000 ppm), l'eau saumâtre et l'eau souterraine (où la concentration varie de 1000 à 10000 ppm), l'eau de drainage, l'eau usée, l'eau polluée par les métaux lourds, et l'eau polluée par les radioactifs. L'eau dessalée peut être destinée vers de nombreux usages comme : la consommation humaine, l'industrie, l'irrigation, production de l'eau embouteillée, production de l'eau distillée, secteur de tourisme (**Metaiche, 2006**).

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 (**Boyé, 2008**). L'osmose inverse devient le procédé le plus courant, le plus rentable et le moins énergivore par rapport au procédé de distillation néanmoins le coût énergétique est environ 50% du coût global d'exploitation (**Frenkel, 2011**).

Selon **Maurel (2006)**, quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagée, toutes les installations de dessalement comportent quatre étapes :

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- Le procédé de dessalement lui-même,
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

1.4.2 Procédés de distillation

Le principe fondamental mis en œuvre dans les procédés de distillation est le fait que la température d'ébullition de l'eau diminue avec la pression. Il s'agit dans tous les cas de

distillation sous vide qui permet de travailler à des températures inférieure à 120°C (Amitouche, 2016).

1.4.2.1 Distillation à simple effet

Un faisceau tubulaire, alimenté par un fluide chauffant est plongé dans l'eau de mer à la partie basse d'une enceinte étanche et sous vide (**figure. 6**). Le fluide chauffant provoque alors une évaporation de l'eau de mer. La vapeur ainsi formée est condensée sur un faisceau tubulaire, placé dans la partie haute de l'enceinte et dans lequel circule l'eau de mer froide. L'eau distillée et condensée s'écoule du faisceau et est recueillie dans une goutlotte d'où elle est pompée pour des usages divers. La température d'ébullition de l'eau de mer varie avec la pression donnée, il est important de noter que, pour une pression donnée, il existe un écart entre la température d'ébullition de l'eau pure et celle d'une eau saline (Danis, 2003).

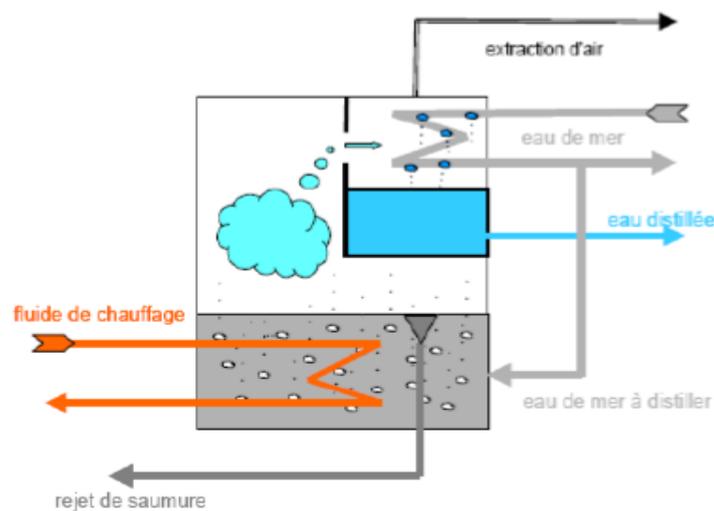


Figure. 6 - Principe de distillation à simple effet (Danis, 2003).

1.4.2.2 Distillation à multiples effets

On utilise la distillation à multiples effets pour améliorer le rendement thermique du cycle évaporation-condensation. La chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation réchauffe une seconde chambre à pression et température plus faibles et ainsi de suite (**figure. 7**).

L'eau de mer est chauffée dans le premier effet, vaporisant une fraction d'eau de mer, une partie de cette vapeur est condensée par le faisceau tubulaire où circule de l'eau de mer froide. L'autre partie de la vapeur est renvoyée dans l'effet suivant, maintenu à une pression plus faible que le premier. De même, une partie de la saumure chauffée dans le premier effet

est également utilisée pour chauffer l'eau de mer dans le second. à chaque effet, l'eau distillée est envoyée dans un collecteur (**Danis, 2003**).

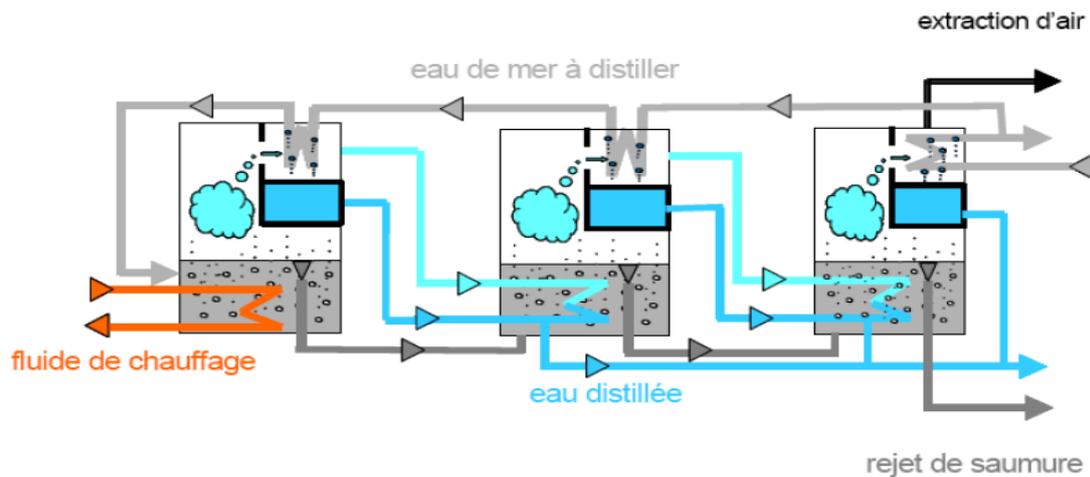


Figure. 7 - Distillation à multiples effets (Danis, 2003).

1.4.2.3 Distillation par compression de vapeur

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée (**figure. 8**)/ (**Rovel, 2012**).

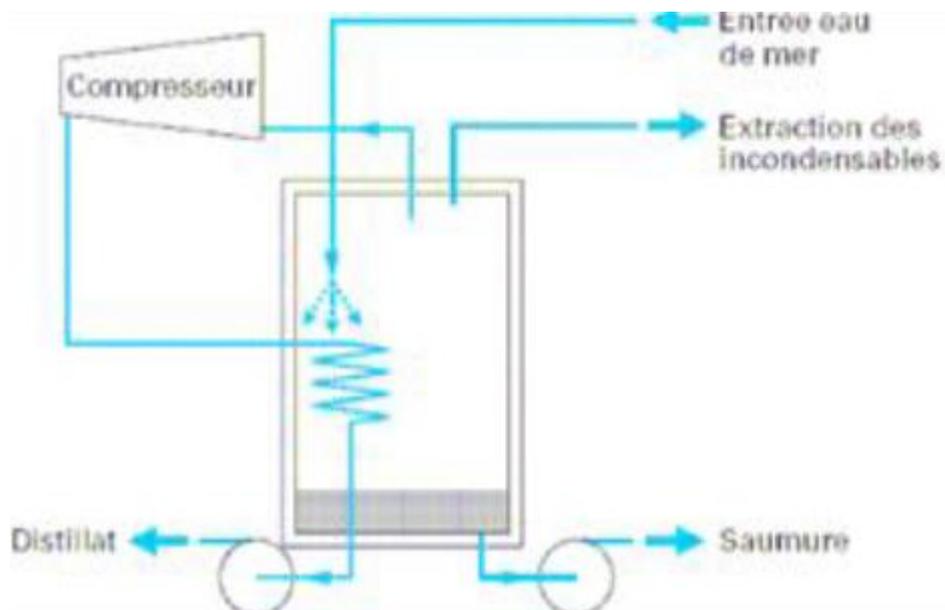


Figure. 8 - Compression mécanique de vapeur (Rovel, 2012).

1.4.2.4 Congélation

La technologie de dessalement par congélation a été proposée comme alternative de la distillation et de l'osmose inverse pour le dessalement à plusieurs reprises. La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte de sels. Le dessalement par congélation nécessite trois étapes :

- Congélation partielle de l'eau de mer ;
- Séparation des cristaux de glace pure avec la saumure ;
- Fusion des cristaux de glace.

Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ (-2°C), il y a une formation de cristaux de glace, constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation. Si on fait baisser l'avantage la température, la production de glace augmente, aux environs de la température (-9°C), de surface de sodium déca-hydraté à tendance à participer pour produite de l'eau au- dessous de cette température (**Maurel, 2006**).

Le prétraitement requis par la technologie de congélation est beaucoup moins contraignant et la maintenance de l'ensemble du procédé est simple. Le procédé par congélation pose également moins de problèmes de corrosion et d'entartrage que la distillation, compte tenu des niveaux bas des températures de travail. On distingue deux types de procédés par congélation : directe ou indirecte.

Le principe de la congélation directe repose sur la formation de cristaux de glace par contact direct entre un réfrigérant et l'eau de mer. Ce réfrigérant peut être l'eau de mer elle-même : la chaleur est soustraite à la saumure par une évaporation flash sous pression réduite. Ce procédé est appelé Vacuum Freezing Vapour Compression (VFVC).

Dans le cas de la congélation indirecte, le refroidissement est assuré par un échangeur de chaleur et une couche de glace est déposée sur les parois froides de l'échangeur. Cette couche peut être raclée, pour donner une suspension. Les cristaux sont ensuite séparés de la saumure au moyen d'une colonne spéciale. La couche peut également être conservée sur la paroi froide. La séparation s'obtient alors par simple vidange de la saumure.

Les unités pilote de Wrights ville beach en Caroline du Nord (USA) et d'Eilat (Israel) utilisaient la technologie VFVC ; une unité construite en Floride (USA) était basée sur le

procédé SRF (McKetta et Cunningham, 1982) ; l'usine pilote de Yanbu (Arabie Saoudite) utilisait la technologie de congélation indirecte (Luft, 1982).

1.4.3 Procédés membranaires

Le procédé de traitement des eaux par membrane d'osmose inverse est une des techniques de filtration membranaire. Il est utilisé en dessalement des eaux saumâtres, des eaux de mer et également pour la réutilisation des eaux usées urbaines et industrielles. L'objectif principal de cette technologie est l'élimination des sels et des substances organiques présentes dans les eaux ainsi qu'une partie des bactéries et des virus.

1.4.3.1 Electrodialyse

L'électrodialyse consiste à transférer des ions de sels dissous à travers des membranes qui ne laisse pas passer l'eau épurée, le mouvement des ions est provoqué par un champ électrique, l'électrode négative (cathode) attire les cations, tandis que les anions se déplacent vers l'électrode positive (anode) (figure. 9).

Les installations sont formées d'empilements compartimentés de membranes alternativement anionique et cationique, un compartiment sur deux renferme des saumures concentrées et un sur deux du permet épuré.

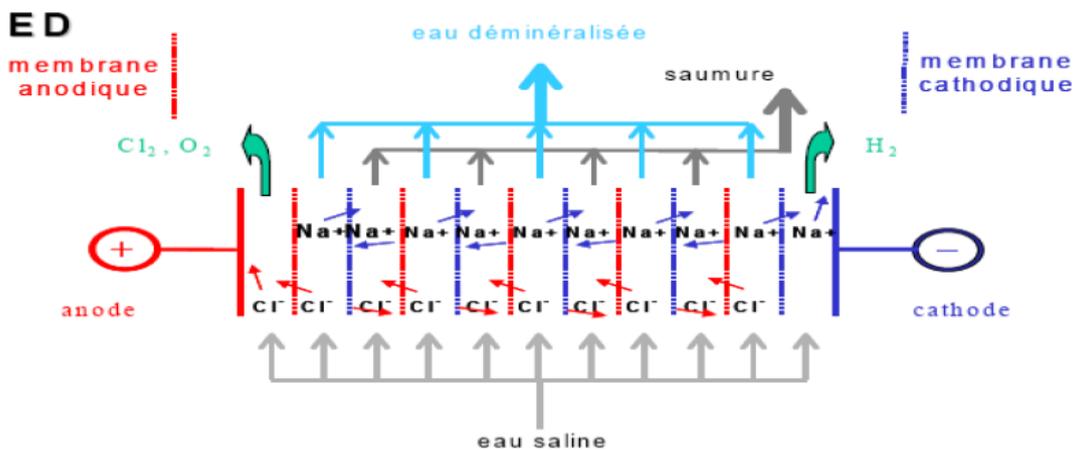


Figure. 9 - Principe de dessalement par l'électrodialyse (Bushnak, 2012).

Les membranes utilisées en électrodialyse sont des membranes échangeuses d'ions qui se présentent sous la forme de feuilles dont l'épaisseur est comprise entre 0,1 et 0,8mm. Du point de vue propriétés, on distingue deux types de membranes :

-Les membranes échangeuses de cations qui sont perméables uniquement aux cations et dont le groupement fonctionnel est en général un groupement acide sulfonique (SO_3^-).

-Les membranes échangeuses d'anions qui sont perméables uniquement aux anions et dont le groupement fonctionnel est en général un groupement ammonium quaternaire (NH_4^+).

1.4.3.2 Osmose inverse

L'osmose est un principe naturel. Si deux solutions aqueuses ayant une concentration saline différente, sont séparées par une membrane, l'eau passe spontanément de la solution la moins concentrée en sels à la plus concentrée.

L'osmose inverse est apparue dans les années 70 suite à la conception de membranes semi perméables qui pouvaient efficacement séparer les sels de l'eau soumise à pression. Parfois appelée hyper filtration, l'osmose inverse est tenue pour le plus complexe des processus de séparation membranaire. Cette technologie est très populaire dans de nombreuses zones du Moyen Orient, dans les Caraïbes, et partout où l'eau de mer dessalée est la principale source d'approvisionnement des villes et des communes. Mais elle est également utilisée aux États-Unis, au Japon et en Europe pour produire de l'eau ultra-pure pour de nombreuses industries, en particulier agroalimentaires et électroniques (**Lahouel et Lahouel, 2015**).

L'osmose inverse est basée sur le principe opposé à l'osmose. Elle consiste à appliquer à cette eau salée une pression importante supérieure à la pression osmotique ; ce qui nécessite une consommation énergétique élevée, pour la faire passer à travers une membrane. Au terme de l'opération, seules les molécules d'eau traversent la membrane, fournissant ainsi de l'eau douce (**figure. 10**). 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 (permeat)
- une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrât ou retentât) et qui contient les particules retenues par la membrane.

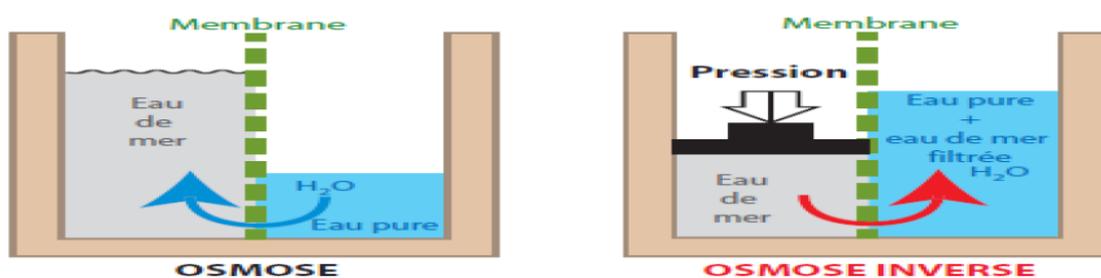


Figure. 10 - Principe de l'osmose et de l'osmose inverse (Bushnak, 2012).

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants :

- Le poste de prétraitement ;
- Module avec la membrane ;
- La pompe haute pression ;
- Un système de récupération d'énergie.

1.4.4 Perspectives de la distillation et de l'osmose inverse

1.4.4.1 Perspectives de la distillation

Les perspectives de développement de la distillation pour le dessalement de l'eau de mer sont importantes :

- Les performances et les coûts de la distillation sont pratiquement indépendants de la salinité de l'eau de mer à traiter ;
- Les procédés de distillation ne nécessitent pas de prétraitement sophistiqué de l'eau de mer : une filtration classique et une chloration pour éviter la prolifération d'organismes marins sont généralement suffisantes ;
- La salinité de l'eau produite par distillation est très faible (de 5 à 30 mg/l), on peut même atteindre 1mg/l, grâce à l'utilisation de séparateurs performants dans les évaporateurs ;
- Une grande partie de l'énergie nécessaire est constituée par l'énergie à bas niveau (température comprise entre 80 et 110°C) que l'on peut obtenir dans certains cas à des coûts très faibles.
- Unité de distillation moins sensible aux problèmes de colmatage.
- Site disposant d'énergie dégradée a cout très faible.
- Obtention d'une eau pure pour l'industrie qui atteint 5 à 30 ppm de salinité.

La distillation même si elle comporte quelques inconvénients ou même si elle coûte assez chère ; c'est un procédé couramment utilisé pour le dessalement de l'eau de mer. C'est aussi l'un des plus connus et l'un des plus simples à reproduire.

1.4.4.2 Perspectives de l'osmose inverse

L'osmose inverse progresse sur le marché de dessalement pour les raisons suivantes :

- Amélioration des performances des membranes d'osmose inverse (augmentation de la surface, réjection, perméabilité, matériaux...)
- Amélioration des performances des technologies de récupération d'énergie.
- Mise en œuvre plus facile
- Effet de tailles des projets
- Baisse des prix des équipements et des membranes.

1.5 Conclusion

En dessalement des eaux de mer, l'osmose inverse reste en compétition avec les procédés thermiques (multi flash ou multi effet). Le choix entre ces deux technologies dépend essentiellement des coûts énergétiques (électricité et vapeur), de la qualité de l'eau brute à traiter ou de l'eau dessalée à obtenir (**Jamaly et al., 2014**).

1.6 Législation relative aux stations de dessalement en Algérie

La mise en application réelle de la législation se fait par le biais du décret 90-78 de l'année 1990, qui nécessite une étude d'impact environnemental (EIE) pour toute activité susceptible d'affecter directement ou indirectement l'environnement, la santé publique, l'agriculture, les zones naturelles, la faune, la flore, les monuments et les sites historiques.

L'EIE a été introduite dans la législation algérienne par la loi 83-03 de l'année 1983 qui fixait le cadre initial, avec pour objectifs l'évaluation et la sensibilisation de la population aux impacts directs et indirects des projets de développement sur les équilibres écologiques, l'environnement et la qualité de vie.

Le décret exécutif n° 11-220 du 12 juin 2011 fixe les modalités de la concession d'utilisation des ressources en eau pour l'établissement d'installations de dessalement d'eau de mer ou de déminéralisation d'eaux saumâtres pour cause d'utilité publique ou pour la satisfaction de besoins propres.

Chapitre 2
Bilan de connaissances sur
la zone d'étude

2 Chapitre 2 : Bilan de connaissances sur la zone d'étude

2.1 Introduction

La wilaya d'Aïn Temouchent est située sur le littoral ouest du pays et dispose d'une façade maritime de 80km. Cette façade maritime confère à la wilaya une place remarquable pour le développement du tourisme. Elle accueille chaque année près de 5 millions d'estivants Elle s'étend sur une superficie de 2376km². Elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée, à l'ouest par la wilaya d'Oran, au sud par la wilaya de Sidi Bel Abbas et au sud-est par la wilaya de Tlemcen. C'est une wilaya à vocation agricole.

2.2 Situation géographique de la station Chatt El-Hillal

Fiche technique d'identification de la station

-Dénomination : Station de dessalement d'eau de mer de Beni Saf « SDEM Beni Saf ».

-Lieu d'implantation :

-Zone : Rurale

-Commune : Sidi Ben Adda

-Daira/Wilaya : Ain Temouchent

Superficie : 51 118 m²

Société d'Exploitation : Ute Desaladora Beni Saf Operation y Mantenimiento

Surface Totale : 5.12 ha

Surface Bâtie : 2.68 ha

Date signature du contrat : 10 Septembre 2005

Type de Captage d'eau de mer : Emissaire Long de 1000 M

Rejet de Saumure : Emissaire long de 500 M

Date ouverture du chantier : 01 Août 2006

Mise en service partielle : 09 Novembre 2009

Mise en service totale : 04 Avril 2010

Capacité de production annuelle : 200000 m³/jours

Consommation électrique : 4,15 KW/m³

La construction de la station de dessalement d'eau de mer de Béni Saf (SDEM) entre dans le programme de réalisation des 14 stations lancées par le gouvernement Algérien. La

SDEM est réalisée par la société de projet Beni Saf Water Company Spa «**BWC**» qui est constituée à partir du consortium **Algéro-Espagnol** en l'occurrence **GEIDA COBRA** (espagnole) avec 51% des actions et de l'**AEC** (Algérienne) avec 49 % des actions. BWC a confié la construction de la SDEM à l'entreprise espagnole UTE Desaladora construcción Beni saf (**figure. 11**). Par ailleurs, l'exploitation de l'usine durant 25 ans est confiée à l'entreprise espagnole UTE desaladora Beni saf operation y mantenimiento.

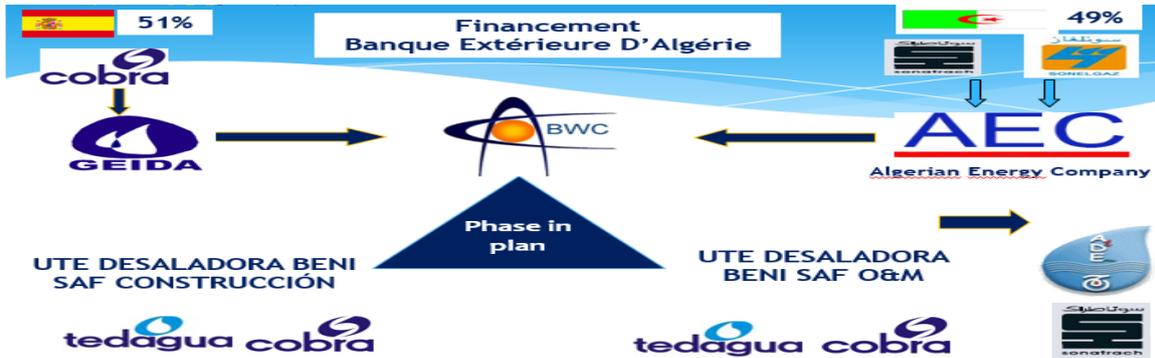


Figure. 11 - Consortium Algéro-Espagnol de la station

2.3 Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement Chatt Hillal

Le processus du dessalement d'eau de mer de la station comporte les étapes principales suivantes (**figure. 12**) :



Figure. 12 - Processus du dessalement d'eau de mer de la station

2.3.1 Captage d'eau de mer (débit journalier est de 425 532 m³/j).

Le système est constitué d'un émissaire DN 2400 d'une longueur de 1000 ML Off Shore lié à une tour de captage posée sur une profondeur de - 18m.

La prise de l'eau de mer se fait par une structure en béton ou tour de prise, qui est faite à 1200 m de la côte de 10 m de hauteur érigée sur un fond de -18 m, cette prise d'eau est gravitaire jusqu'au bassin du bâtiment de captage. Il y a deux filtres rotatifs ayant pour objectif d'éliminer les éléments solides, les algues et la matière organique car ils sont constitués par des grilles mécaniques et sont nettoyés à côté de la sortie. Les débris recueillis doivent être éliminés lorsque les filtres seront occasionnellement retirés pour être nettoyés. De là, l'eau sera alors pompée vers les installations de prétraitement.

Le **bâtiment de captage et de nettoyage préliminaire d'eau de mer** est constitué de deux filtres à tamis rotatif, bassin d'aspiration d'eau de mer, de 11 pompes de refoulement, de deux réservoirs anti- coup de bélier et une salle électrique. La fonction de ce bâtiment est de capter l'eau venant de la tour de captage, la prétraiter et l'expédier vers le bâtiment de production d'osmose inverse (**figure. 13**).



Figure. 13- Les pompes à eau de mer, système d'amorçage, et des amortisseurs.

Les pompes d'eau de mer (au nombre de 11, 10 en marche et 01 en stand-by) sont des pompes centrifuges horizontales conçues pour servir 6 bars et 1800 m³ /H de capacité. Elles sont placées au-dessus du niveau de la mer, de sorte que l'aspiration soit bien amorcée. A cet effet, il comporte deux dispositifs d'amorçage dont un opérationnel et l'autre en réserve, ce qui permet d'amorcer l'aspiration de chaque pompe.

-Un **réservoir de stockage d'hypochlorite de sodium** doté de pompes doseuses afin d'injecter le produit jusqu'à la tour de captage ou bien dans le réservoir de stockage du bâtiment de captage (**figure. 14**).



Figure. 14 - Réservoir de stockage d'hypochlorite de sodium.

2.3.2 Prétraitement d'eau de mer avant osmose inverse

- Dosage des produits chimiques

Dosage du chlorure ferrique et de l'acide sulfurique : Cette injection s'effectue en amont des filtres à sable pour ajuster le pH et flocculer et coaguler les matières en suspension.

-Chloration : traitement de choc : 7 à 8 ppm de chlore pendant 1H toutes les semaines

-Coagulation : se fait avec FeCl_3 avec une dose de 10g/m^3

-Floculation se fait à base de poly électrolyte anionique ou non anionique avec une dose de 1 à 5g/m^3

***Filtres à sable**

La fonction du système de filtration de sable est de maintenir les solides en suspension présents dans l'eau de mer après l'étape de coagulation précédente, étant ainsi équipé pour la livraison de l'eau pour les filtres d'anthracite.

Le système de filtration sur sable est situé au nord du bâtiment de production et se compose de deux trains de filtration identiques. Chaque train de filtre se compose de 24 filtres regroupés en douze modules ou paires de filtres, qui fonctionnent comme un seul, avec des collectionneurs et des vannes communes. Le milieu filtrant utilisé dans ce cas est du sable de silice avec deux épaisseurs différentes (bicouches) où le lit de sable grossier (couche de support) est disposé dans le fond du filtre et le sable le plus fin (couche filtrante) occupe la partie supérieure du filtre et qui retient les particules plus fines.

Le débit d'eau filtrée nécessaire pour alimenter le système de filtration de sable est $18000\text{ m}^3/\text{H}$ et une vitesse de 10 à 15 m/H en fonctionnement normal.

Les filtres sont conçus pour une pression de 6 bars. Les filtres ont la forme de cylindre de longueur de 11m et de 3,7 m de diamètre (**figure. 15**).

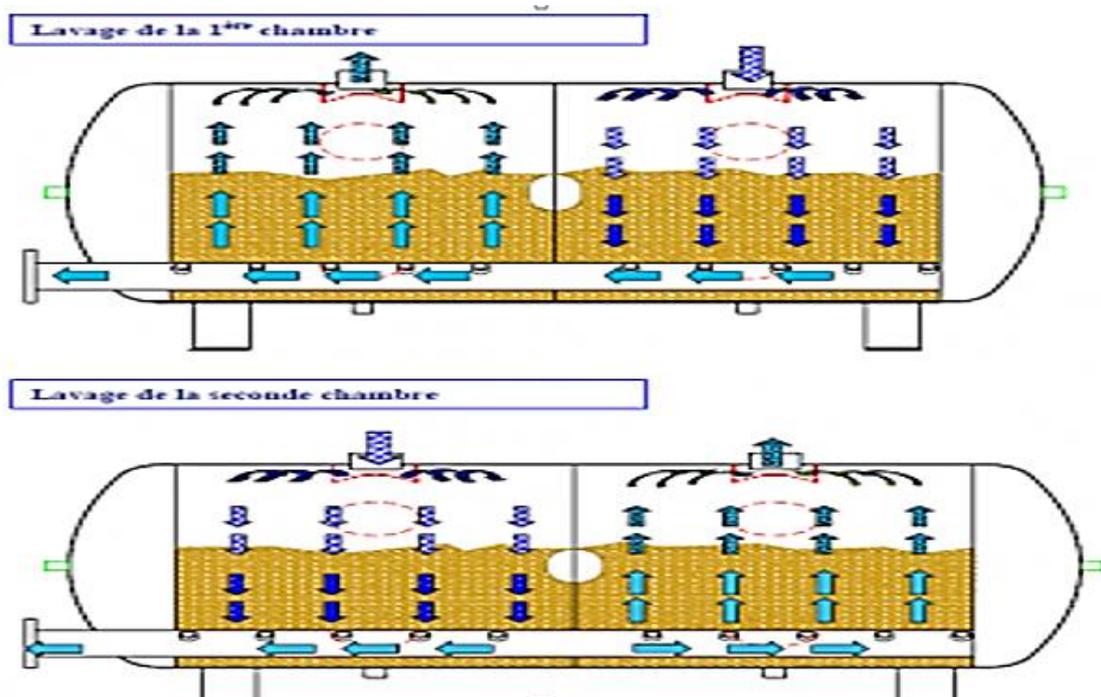


Figure. 15 – Les filtres à sable de la station.

-Acidification : se fait avec H_2SO_4 avec une dose de 20 à 25 g/m^3 pour la correction du pH.

-Déchloration : $NaHSO_3$ avec une dose de 5 à 10 g/m^3 .

***Filtres anthracite**

Le système de filtration anthracite se trouve dans le même secteur que l'étape de filtration précédente et se compose de deux trains filtration, constitué de sept modules ou paires de filtres chacune. La filtration implique la purification de l'eau passant à travers un lit d'anthracite, fonctionnant comme adsorbant avec une plus grande efficacité de la rétention des micropolluants. Une des fonctions de l'anthracite est l'élimination des concentrations résiduelles d'agents oxydants tels que le chlore et l'ozone et d'autres dérivés cancérigènes

Le débit d'eau filtrée nécessaire pour nourrir Anthracite Système de filtration est de 18000 m^3/H en fonctionnement normal. Les filtres sont réalisés avec les mêmes matériaux et avec les mêmes dimensions que les filtres à sable et ont également le même nombre de buses pour la distribution d'eau et le lavage.



Figure. 16 - Les filtres à Anthracite de la station.



Figure. 17 – Le charbon actif.

-Filtres à cartouches

La filtration à cartouche est la technique de filtration la plus recommandée pour les applications dont les exigences sur la qualité et la sécurité sont très élevés. Les cartouches de supports filtrants sont logés à l'intérieur des corps des filtres.

En général, les filtres doivent retenir les particules solides de taille microscopique, et l'équipement d'osmose inverse est nécessaire pour qu'il n'y ait pas de matières solides supérieures à 5μ (**figure. 18**). Ce sont les plus simples systèmes d'installation et de fonctionnement à investissement initial et moins chers ; mais son moyen financier et opérationnel à la rentabilité à long terme est déterminé par la quantité de particules solides conservées, parce que les cartouches ont une capacité de rétention limitée et une fois atteintes, ils doivent être remplacés. L'écoulement de l'eau filtrée qui alimente le système de filtration est de cartouches $17996 \text{ m}^3/\text{H}$ dans le fonctionnement normal, de l'anthracite étape de filtration. En amont des filtres à cartouche sont dosés anti scalant, pour éviter la

précipitation de sels, et du bisulfite de sodium pour éliminer l'injection du chlore résiduel de l'hypochlorite de sodium est effectuée dans l'eau de mer pour la désinfection.

Vingt filtres à cartouche verticaux sont installés en parallèle, de sorte que le débit d'eau est partagé partout pendant le fonctionnement normal. Les corps de filtres sont conçus à 6bar. Les filtres ont une forme cylindrique avec un diamètre intérieur de 1,36 m et une hauteur totale d'environ 4285 m.



Figure. 18 – Les filtres à cartouches.

2.3.3 Osmose inverse

L'eau filtrée passe dans le système d'osmose inverse qui doit avoir un indice de colmatage inférieur à 3 (spécification des membranes d'osmose inverse). Le système de production d'eau par osmose inverse est constitué de 11 racks avec une capacité de production de 20000m³/j chacun. Chaque module est constitué de 256 tubes avec 07 membranes dans chaque tube soit un total de 1792 membranes par rack.

Le système transforme environ 40% du flux d'eau d'alimentation en eau potable avec une pression de 65 bars (pompe à haute pression PHP). Les 60% restants passent par la récupération de pression de la saumure évacuée par le rack avant le rejet vers le bassin de saumure pour faire passer la pression de 02 bars à 64bars. Le pH doit être constamment surveillé et réglé pour respecter les limites de contrôle requises.

Malgré le procédé de prétraitement de l'eau d'alimentation, les membranes de l'installation d'osmose inverse devront être nettoyées de temps à autre.

Après utilisation, le pH des fluides de nettoyage usagés sera neutralisé avant leur rejet avec le flux principal d'effluents salins provenant de l'installation d'osmose inverse.

2.3.3.1 Zone de production d'osmose inverse

La zone de production d'osmose inverse de cette station est composée de différents bâtiments qui interviennent dans le procédé de production d'eau (**figure. 19**).



Figure. 19 – Zone de production d'osmose inverse (Vue intérieure et extérieure).

-Bâtiment de dosage chimique constitué de 02 réservoirs en PRFV de chlorure ferrique, 02 réservoirs en PRFV de métabilsufite de sodium et 02 réservoirs en PRFV de l'anti tartre (**figure. 20**).



Figure. 20 - Bâtiment de dosage chimique.

-Bâtiment d'acide sulfurique avec 02 réservoirs en acier de 100 m³ chacun (**figure. 21**).



Figure. 21 - Bâtiment d'acide sulfurique.

- Une zone de filtration avec 24 filtres (48 réservoirs) à sable et 14 filtres (28 réservoirs) à anthracite (**figure. 22**).



Figure. 22 - La zone de filtration.

- Zone ou bâtiment de production d'osmose inverse qui est constitué de :
 - 20 filtres à cartouches à 5 microns situés à l'intérieur du bâtiment (**figure. 18**).
 - 10 racks d'osmose
 - Un réservoir d'eau de déplacement en acier
 - Un réservoir de nettoyage chimique en PRFV
 - Deux réservoirs en acier d'air d'instrument
 - Un réservoir de pressurisation de l'eau de service (**figure.23**)



Figure. 23 – Le réservoir de pressurisation de l’eau de service.

- Un réservoir de soude caustique et Une salle électrique (**figure. 24**)



Figure. 24 – Le réservoir de soude caustique et la salle électrique.

- Bâtiment d’eau produite ou de stockage pour la reminéralisation de l’eau avec de la calcite (**figure. 25**).



Figure. 25 - Bâtiment de stockage pour la reminéralisation de l’eau.

-Réservoir de stockage d’hypochlorite de sodium pour le post-traitement (**figure. 26**).



Figure. 26 – Le Réservoir de stockage d’hypochlorite de sodium.

- Bâtiment de saumure où l’eau de rejet de saumure et l’eau pluviale sont collectées avant d’être déversées à la mer par le biais d’une canalisation DN 1800 mm à 500m de la côte (**figure. 27**).



Figure. 27 - Bâtiment de saumure.

- Station électrique conçue pour le fonctionnement de la totalité de la SDEM (**figure. 28**).



Figure. 28 – La Station électrique.

- Bâtiment de nettoyage des filtres à sable et anthracite (**figure. 29**)



Figure. 29 – Bâtiment de lavage de filtres.

- D'un bâtiment administratif de R+1
- Un poste d'entrée à la station
- Un parking
- Un poste de sécurité.

L'ensemble de ces composantes est bien loti avec des voies de circulation et des aires de manœuvre, qui sont revêtues en bitume, bien aérées, bien drainées gravitairement et qui sont éclairées par des points lumineux.

2.3.3.2 Membranes d'osmose inverse

La membrane est constituée d'une surface plane dont la perméabilité est sélective. Son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (microalgues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée.

2.3.3.3 Les modules des membranes d'OI

Les modules supportent les membranes, quatre grands types de modules sont commercialisés :

- Les modules tubulaires ;
- Les modules à fibres creuses ;
- Les modules plans ;
- Les modules spirales

1. Les modules tubulaires

Un module tubulaire (**figure. 30**) contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à

l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel. C'est le seul type de module qui peut être nettoyé mécaniquement avec un système de balles de mousse qui raclent les parois des tubes (Bouchard et *al.*, 2000). L'écoulement à l'intérieur des tubes est turbulent voire très turbulent (Aptel et Buckley, 1996). A cause de la taille des canaux tangentiels, cette configuration entraîne à priori une dépense d'énergie plus importante que dans les autres configurations.

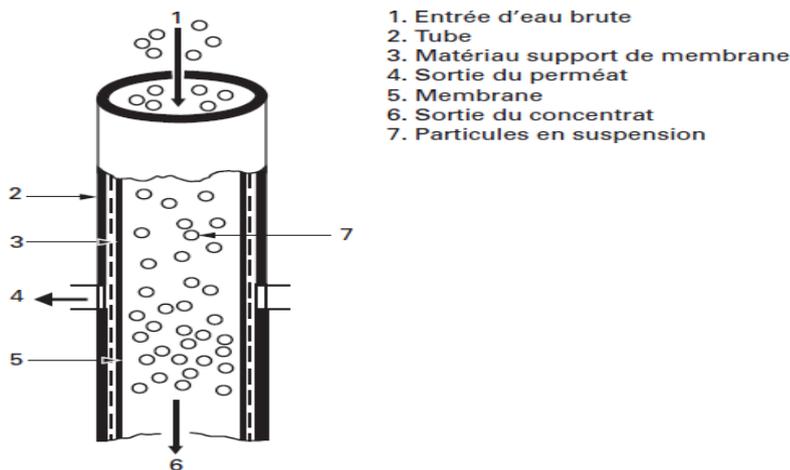


Figure. 30 - Les modules tubulaires.

2. Les modules fibres creuses

Les fibres creuses sont assemblées en parallèle suivant deux configurations (**figure. 31**):

-**Configuration Int-Ext (schéma a)** : comme c'est le cas pour les modules tubulaires, l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangentiel canalisé à l'intérieur des fibres ;

-**Configuration Ext-Int (schéma b et c)** : l'eau circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres. L'écoulement entre les fibres est libre.

Dans les deux cas, les membranes sont assemblées en faisceaux et leurs extrémités sont noyées dans des bouchons de colle qui isolent le perméat de l'eau à traiter (Buisson et *al.*, 1998). Un module industriel peut-être constitué de dizaines de milliers de fibres. Les fibres creuses supportent des rétro lavages. L'écoulement à l'intérieur des fibres creuses est, selon toutes probabilités, laminaire (Aptel et Buckley, 1996)

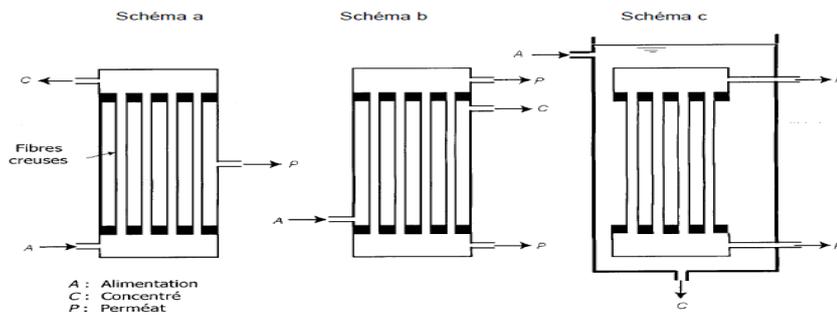


Figure. 31 – Les Configuration des fibres creuses.

3. Les modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides.

4. Les modules spirales

Au sein des modules spirales, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le permeat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux (**figure. 32**).

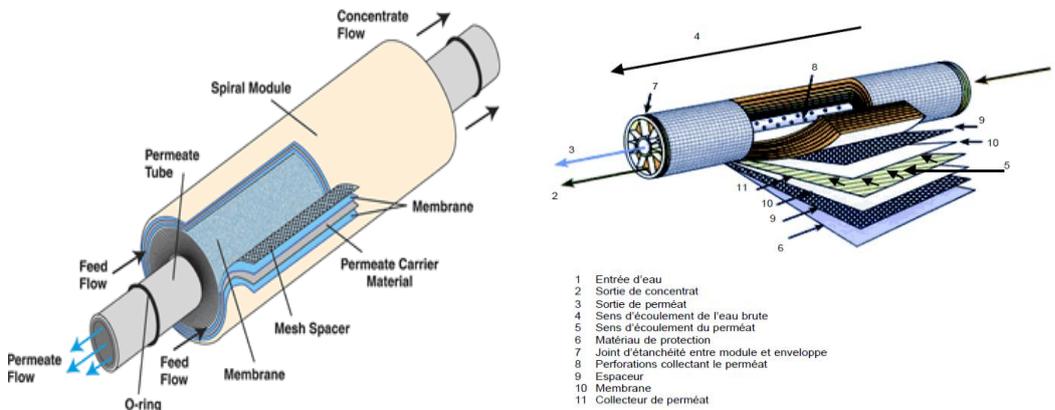


Figure. 32 - Les modules spirales.

2.3.3.4 Les différentes pompes

1. Pompes à haute pression

Ce sont des pompes centrifuges multicellulaires horizontales dont le point de fonctionnement de conception est pour le débit nominal 863,12 m³ / h et il y a dix pour chaque module. Le système d'échange de pression de chaque train est composé de 22 caméras échange de modèle PX-220, montés en parallèle et fournis par ERI.

2. Pompes de recirculation

Chacun des dix modules comporte une pompe de recirculation. Les pompes de recirculation sont équipées d'un convertisseur de fréquence, avec les taux de récupération des membranes d'osmose inverse le module variable contrôlé. La valeur de la garantie pour le facteur de conversion de Beni Saf usine de dessalement est de 47%.

3. Pompes de Booster qui permettent d'augmenter la pression de l'eau.

Ces pompes vont augmenter la pression manométrique d'un fluide de manière semblable à un compresseur, mais en général en exploitant un mécanisme plus simple qui n'a souvent qu'une seule étape de compression, autrement dits. La pompe booster est utilisée pour augmenter la pression d'un fluide déjà sous pression.

2.3.3.5 Techniques de nettoyage des membranes

Le nettoyage des membranes a pour but de limiter le colmatage irréversible de perméabilité, et par le fait même, à prolonger la durée de vie des membranes. Les différentes techniques de nettoyage sont :

- Le rinçage ;
- Le rétro lavage à l'eau ou à l'air. Les fréquences des rétro lavages varient de 15 à 60 minutes tandis que leurs durées varient que 30 secondes à 3 minutes ;
- Le nettoyage mécanique avec une balle de mousse (uniquement pour les modules tubulaires et pour le colmatage dû à la matière organique naturelle des eaux de surface) ;
- Le nettoyage chimique de la membrane (trempage et/ou circulation nettoyante).

Il est aussi important de procéder à des désinfections périodiques des systèmes membranaires (circuits/compartiment d'alimentation et de permeat). Les notices d'emploi détiennent des recommandations précises quant aux produits à utiliser pour désinfecter les membranes sans les détériorer.

2.3.4 Le post-traitement

L'eau produite est stockée dans deux réservoirs d'une capacité de 2500 m³ chacun. L'eau produite sera de nouveau traitée pour qu'elle soit potable avant d'être envoyée vers le réseau de distribution.

Le traitement est constitué d'une injection du gaz carbonique (CO₂) et de la dissolution de calcaire pour augmenter la dureté, suivi d'une injection de soude caustique (NaOH) pour le pH et d'une injection d'hypochlorite de sodium (113 L/H) pour la stérilisation. Ensuite, l'eau produite représentant un débit total de 8333m³/H passe dans les tours de reminéralisation à la calcite (carbonate de calcium) puis passe dans deux bassins tampons de 2500m³ chacun.

La saumure issue de l'opération d'osmose inverse est conduite vers le bassin de saumure avant d'être rejetée à travers une conduite DN 1800 d'une longueur de 1200ML (souterraine) et 500 ML en offshore.

Après le post-traitement, l'eau sera conservée dans un réservoir d'une capacité de 5000 m³ qui sert de réservoir d'attente pour réguler les fluctuations de la demande de la compagnie des eaux et pour prévoir également un temps de contact nécessaire à la désinfection, avant le pompage de l'eau vers le système de distribution de l'eau.

A noter que la totalité des eaux rejetées après dessalement et des eaux usées provenant des nettoyages sont recueillies dans le bassin collecteur où elles seront neutralisées. De là, les eaux usées se déversent par gravité dans le pipeline déversoir jusqu'au point de rejet submergé, à un débit de 230 000 m³/J et d'une salinité pratiquement double de celle de l'eau de mer ambiante. Outre, l'eau rejetée provenant des membranes, de légers écoulements des chambres du décanteur, du rinçage des filtres, et de l'eau du nettoyage des membranes se jetteront également dans le bassin de neutralisation.

2.3.5 Reminéralisation

Cette étape permet de potabiliser l'eau à la sortie de l'osmose inverse par la correction de la corrosivité par l'ajout du CO₂. Ce qui permet de rendre à l'eau son équilibre calco-carbonique et de préserver le réseau de distribution de la dégradation par corrosion. Ensuite l'eau produite passe dans les tours de reminéralisation à la calcite (carbonate de calcium) puis passe dans deux bassins tampons de 2500 m³ chacun.

Pour l'expédition de l'eau potable, un pompage dans le réseau de transport de l'eau est assuré par 10 pompes avec une pression de 30 bars après avoir subi une injection d'hypochlorite de sodium pour la désinfection.

2.4 Impact des stations de dessalement

Les travaux évoquant les impacts environnementaux de la saumure des usines de dessalement sont apparus en 1979 (Winters et al., 1979). D'autres recherches ont confirmé cette hypothèse ; il s'agit de : les recherches d'Altayaran et Madany (1992) ont constaté que l'effluent modifie la température, la salinité et la circulation de l'eau. La salinité a atteint une moyenne de 52 g/l à 50 m du point de rejet. Blust (1992) a indiqué que le taux de fixation de cadmium par la crevette *Artemia franciscana* augmenterait avec la salinité de l'eau. Mabrook (1994) et Shunya et al. (1994) ont montré que la flore et la faune marines sont gravement atteintes par le rejet de saumure d'usines de dessalement. Le rapport du PNUE (2001) donne les lignes directrices pour l'élimination de la saumure. Lattemann et Höpner (2003) ont élaboré des cartes montrant les emplacements des charges et des produits chimiques du prétraitement déchargés par les usines de dessalement sur le golfe Persique et Mer Rouge. Danoun (2007) a étudié les impacts de la saumure (Salinité, Alcalinité et température) sur les organismes marins en Australie. Lattemann (2010) a élaboré et validé une étude d'impact environnemental systématique pour les grands projets de dessalement. Dawoud et Al Mulla (2012), ont présenté les capacités de dessalement par région, les principales préoccupations du dessalement et les moyens de réduire ses impacts sur l'environnement en Arabian Gulf. Fernández-Torquemada et al. (2012) ont utilisé les échinodermes comme indicateurs d'une alerte précoce de l'impact des rejets de saumure et de son application dans la gestion de la décharge du dessalement. Fernández-Torquemada et Sánchez-Lizaso (2013) ont évalué les effets de la variation de la salinité sur la germination, le développement et la survie de *Posidonia oceanica* semences et des plans.

Quel que soit le procédé utilisé, toutes les stations de dessalement produisent d'importantes quantités de saumure. Les statistiques de plusieurs travaux parlent des centaines de milliers de tonnes de saumure qui sont rejetées quotidiennement dans la mer depuis des stations de dessalement. Ces rejets hypersalins des stations effectués à proximité du rivage risquent de contaminer la nappe phréatique et de causer la perte d'espèces végétales. Trois types de pollution peuvent être causés par le dessalement (Morsli, 2013).

Concernant l'impact des rejets de ces stations de dessalement, en particulier dans la mer, il est souvent avancé que la dilution de ces rejets, du fait des courants marins et de l'éloignement des stations entre elles, écarte toute conséquence sur l'environnement.

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

La construction d'une station de dessalement produit plusieurs impacts sur l'environnement, certains d'entre eux sont positifs et les autres sont négatifs :

2.4.1 Impacts positifs

- La disponibilité de l'eau de bonne qualité est préliminaire au développement économique et social des communautés locales ; ce qui peut réduire les maladies à transmission hydrique (MTH).
- Amélioration de l'économie locale grâce à un marché pour les produits locaux
- Le dessalement est une source fiable de l'eau qui n'est pas soumise aux changements climatiques liés aux sources d'eau douce.
- La création de nouveaux postes d'emplois.

2.4.2 Impacts négatifs

- Destruction du fond marin et diminution de la biomasse planctonique et de la biodiversité marine.
- Augmentation de la salinité et des taux des métaux lourds.
- Impacts : ontogénique et cellulaire sur la croissance, la reproduction et la survie des macrophytes (**Allam et Mellah, 2013**).

Pour la station de dessalement de Chatt El-Hillal, les pollutions sont produites sous forme d'effluents gazeux dans l'atmosphère, d'effluents liquides et solides (résidus solides, déchets). A cela, s'ajoutent les nuisances sonores générées par les différentes pompes à haute pression.

Les déchets solides (ménagers et assimilés, spéciaux et spéciaux dangereux) sont évacués vers les centres d'enfouissement technique de la wilaya (CET).

Les effluents liquides (eaux usées) provenant essentiellement des activités de lavage des filtres et membranes ainsi que les rejets de saumure, font l'objet d'un traitement in-situ avant leur rejet dans le milieu marin par :

-neutralisation par l'hydroxyde calcique ;

-précipitation ;

-sédimentation ;

-élimination des boues vers un lit de séchage de la STEP d'Aïn Temouchent. Ces effluents liquides passent dans un système de neutralisation pour éliminer toute trace de produit chimique. Le déversement se fait par une conduite de rejet afin de minimiser l'impact des rejets sur la faune et la flore marine. La station est munie d'un réseau d'assainissement. Les réservoirs de stockage de l'huile et des produits chimiques sont munis de cuves de rétention de capacité supérieure à celle du stockage. Les eaux contaminées par les huiles sont collectées et acheminées vers un séparateur d'huile avant d'être évacuées vers le réseau d'assainissement du site.

Les activités de la station ne produisent pas des émissions atmosphériques. Néanmoins, le fonctionnement des moteurs des véhicules et des camions à l'intérieur du site peut engendrer des émissions atmosphériques dues aux gaz d'échappement contenant du monoxyde de carbone, des hydrocarbures imbrulés, du dioxyde de carbone, des oxydes d'azote et des particules.

Les émissions sonores ont pour origine :

-machines fixes ou mobiles du process de production ;

-transformateurs et pompes ;

-groupe électrogène ;

-compresseurs d'air comprimé.

La station réduit l'impact du bruit à la source par une maîtrise des nuisances du bruit, par une isolation phonique, installation des machines sur des supports anti-vibration pour éviter la propagation du son par le sol et par fourniture d'équipements de protection individuelle. Néanmoins, le niveau maximal du bruit est enregistré à proximité des lignes de production et équipements de la station (pompes, ateliers d'osmose inverse, pompes du bâtiment de captage).

2.5 Conclusion

Le dessalement de l'eau de mer permet notamment d'augmenter la ressource en eau douce disponible, de fournir une solution en cas de sécheresse et de faire face aux situations de pénuries et de crises.

Actuellement, le dessalement de l'eau de mer devient une des solutions les plus pratiques à travers le monde en générale, et l'Algérie en particulier pour l'alimentation en eau potable, ainsi qu'aux besoins industriels.

Chapitre 3

La performance de la
station de dessalement
Chatt El-Hillal

3 Chapitre 3 :*La performance de la station de dessalement Chatt El-Hillal*

3.1 Introduction

En date du 09 novembre 2009, l'usine de dessalement Chatt El-Hillal a commencé à fonctionner partiellement avec un seul module d'une capacité de 20 000 m³/J. La mise en œuvre des autres modules au nombre de neuf a été progressive dans les mois qui ont suivi et ce conformément au protocole d'essai.

3.2 Choix technique, économique et environnemental de la station

Pour faire face à la pénurie d'eau, l'Algérie complète ses ressources en eau par la création des STEP pour le traitement des eaux usées et l'obtention de l'eau douce à travers l'implantation des stations de dessalement de l'eau de mer. La station de Béni Saf « Chatt El-Hillal » fournit une quantité de 200 000 m³/j d'eau, à faible coût pour subvenir aux besoins des populations de la région d'Ain Temouchent et d'Oran.

La construction de l'usine a été effectuée conformément à la législation concernant l'hygiène et la sécurité. Il n'existe pas de rejets atmosphériques engendrés par l'usine.

L'usine de dessalement utilise la technologie d'osmose inverse, en raison de sa grande efficacité, de sa fiabilité et de la qualité de l'eau produite, technique recommandée par l'IDA (International Desalination Association). Le procédé utilisé d'osmose inverse utilisé est moins énergivore par rapport aux autres procédés de dessalement de l'eau de mer. La conception des équipements tient compte des normes acoustiques.

L'usine de dessalement se trouve dans une situation idéale pour les divers raccordements et accès : réseau électrique, assainissement, rejets, captage, réseau de distribution.

La maintenance et le management de l'usine sont assurés par une filiale GEIDA Beni Saf O&M, qui est une référence en matière d'exploitation d'usine similaire dans le monde.

En application de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), le décret exécutif 07-144 du mois de mai 2007 oblige le classement de la station de dessalement « BWC » à se soumettre à une autorisation ministérielle.

3.3 Localisation de la station de dessalement

Le site d'implantation de la station se situe à proximité de l'agglomération côtière de la plage Chatt El-Hillal au lieu « Oued El-Hallouf », à environ 12km au nord-ouest du chef-lieu de la commune de Sidi Ben Adda et environ 17km du chef-lieu de la daïra d'Aïn Temouchent. Il est limité :

- au nord par un cours d'eau « Oued El-Hallouf »
- à l'est et à l'ouest par des terrains agricoles ;
- au sud par un terrain vague.

Le bâtiment de captage est situé à environ 636m à l'ouest de la station de dessalement, il est limité par :

- au nord par la plage El-Hillal ;
- à l'est et au sud par le chemin de la wilaya n°59 ;
- à l'ouest par des habitations individuelles et un camping familial.

Le climat de la zone côtière se caractérise par une saison relativement pluvieuse s'étalant du mois d'octobre à avril, la saison sèche s'étale sur une période de 5 mois (Mai-Septembre). La température moyenne annuelle est de 300mm avec 49mm au mois de janvier et 1mm au mois le plus sec juillet. L'humidité est assez importante au cours de l'année : elle varie entre 72 et 76% avec une moyenne de 73,4%.

3.4 Analyses effectuées sur l'eau de mer brute et la saumure

Les paramètres d'analyse des rejets liquides industriels sont régis par le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006. En se basant sur un bulletin d'analyses effectuées sur l'eau de mer brute et sur l'eau saumure de la station en date du 18 avril 2017.

Une campagne de prélèvements d'eau de mer a été effectuée en avril 2017. Trois stations d'échantillonnage sont établies dans trois points prédéfinis de la zone d'étude pour étudier l'impact des rejets des eaux saumures depuis la côte jusqu'au large de la mer :

- P1 : point zéro (à 3m environ du trait de côte) ;
- P2 : à une distance de 20m de la côte (milieu marin) ;
- P3 : à une distance de 50m de la côte (milieu marin).
- A l'entrée de la station : c'est l'eau d'alimentation avant dessalement (l'eau de mer).
- A la sortie de la station en trois points de la station : c'est l'eau produite après dessalement (l'eau dessalée) et l'eau des rejets (la saumure) qui sont présentés dans les **tableaux 5 et 6**.

Tableau. 5 – Résultats d’analyses d’eau mer.

| Paramètres | Unité | Résultats | Valeurs limites | Méthode d’analyse |
|----------------------|-------|-----------|-----------------|-------------------|
| Température | °C | 20 | 30 | / |
| pH | | 8,12 | 6,5-8,5 | NA751 |
| DBO ₅ | mg/l | 26 | 35 | Art. Nr 985 22 |
| DCO | mg/l | 68 | 120 | Art. Nr 985 026 |
| Indice de phénols | mg/l | <0,01 | 0,3 | Art. Nr 918 75 |
| Hydrocarbures totaux | mg/l | 0,4 | 10 | Art. Nr 985 057 |
| Azote Kjeldahl | mg/l | 14 | 30 | Art. Nr 985 083 |
| MES | mg/l | 0,1 | 35 | Filtration |
| Fluor | mg/l | 03 | 15 | Art. Nr 985 040 |
| Aluminium | mg/l | 0,1 | 03 | Art. Nr. 918 02 |
| Cadmium | mg/l | <0,01 | 0,2 | Art. Nr 918 014 |
| Cuivre | mg/l | <0,01 | 0,5 | Art. Nr 918 53 |
| Chrome total | mg/l | <0,01 | 0,5 | Art. Nr 985 024 |
| Fer | mg/l | 1,2 | 3 | Art. Nr 918 95 |
| Manganèse | mg/l | <0,5 | 1 | Art. Nr 985 058 |
| Cyanures | mg/l | <0,01 | 0,1 | Art. Nr 918 31 |
| Zinc | mg/l | 1 | 3 | Art. Nr 918 95 |
| Phosphore total | mg/l | 5 | 10 | Art. Nr 985 080 |
| NaCl | mg/l | 83 | / | Méthode de Mohr |

- Les résultats des différents paramètres analysés sont résumés dans le **tableau 6**.
- La valeur moyenne de la température est de 20°C ; elle reste inférieure à la norme qui est de l’ordre de 30°C.
- La valeur moyenne du pH est de 8,12 ; elle reste comprise dans l’intervalle de 6,5-8,5. Ceci ne présente aucun danger pour le traitement biologique de l’environnement marin.
- La valeur moyenne enregistrée de MES est de 0,1mg/l ; elle est très négligeable à la norme qui est de 35mg/l ; ceci indique une faible charge en matières minérales et organiques des effluents liquides de la station.
- La valeur moyenne enregistrée de la DBO₅ qui est de 26 mg/l est inférieure à la norme qui est de 35mg/l ; ceci indique une faible charge en matières organiques biodégradables.

- La valeur moyenne enregistrée de la DCO qui est de 68mg/l est inférieure à la norme de 120mg/l ; ceci indique une faible charge en matières organiques biodégradables et minérales.
- La concentration moyenne enregistrée des hydrocarbures totaux est de 0,4mg/l ; elle reste inférieure à la norme.
- Les concentrations moyennes des métaux lourds, de l'indice de phénols et de l'azote Kjeldahl restent inférieures aux normes. Ceci témoigne de la conformité des rejets d'eaux saumures de la station de dessalement.

Tableau. 6 – Résultats d'analyses des eaux de rejet de saumure de la station.

| Paramètres | Unité | Résultats | | | | Valeurs limites | Méthode d'analyses |
|-------------------|-------|-----------|-------|-------|----------|-----------------|--------------------|
| | | P1 | P2 | P3 | Moyenne | | |
| Température | °C | 20 | 20 | 20 | 20 | 30 | / |
| pH | | 8,12 | 8,15 | 8,16 | 8,14 | 6,5-8,5 | NA 751 |
| Conductivité | mS/cm | 57 | 57,3 | 56,6 | 56,97 | / | NF EN 27888 |
| Salinité | ppt | 28,5 | 38,2 | 37,8 | 34,83 | / | NF T 90-111 |
| Calcium | mg/l | 400 | 380 | 293 | 357,66 | / | / |
| Magnésium | mg/l | 1275 | 1053 | 993 | 1107 | / | / |
| Potassium | mg/l | 380 | 292 | 281 | 317,66 | / | Art Nr 985 045 |
| Sodium | mg/l | 1056 0 | 8300 | 8118 | 8992,66 | / | / |
| Sulfates | mg/l | 884 | 670 | 662 | 738,67 | / | 985 086 |
| Chlorures | mg/l | 1826 0 | 16260 | 16130 | 16883,33 | / | / |
| Phosphore | mg/l | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 10 | Art Nr 985 080 |
| DBO ₅ | mg/l | 12 | 8 | 3 | 7,66 | 35 | Art Nr 985 22 |
| DCO | mg/l | 26 | 18 | 12 | 18,66 | 120 | Art Nr 985 026 |
| Fluor | mg/l | 1,4 | 1,3 | 0,9 | 1,2 | 15 | Art Nr 985 040 |
| Fer | mg/l | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 3 | Art Nr 918 36 |
| Cuivre | mg/l | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,5 | Art Nr 918 53 |
| Aluminium | mg/l | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,133 | 3 | Art Nr 918 02 |
| Iode | mg/l | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | / | Art Nr 918 014 |
| Brome | mg/l | 65 | 46 | 42 | 51 | / | / |
| Silice | mg/l | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | / | / |
| KMnO ₄ | mg/l | 2 | 2 | 2 | 2 | / | / |
| Azote | mg/l | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,37 | 30 | / |
| Bicarbonates | mg/l | 342 | 189 | 268 | 266,33 | / | / |
| Chrome | mg/l | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,5 | / |

- La température de la saumure est de 20°C, elle reste inférieure à la norme algérienne.
- La conductivité de la saumure atteint une valeur moyenne 56,97ms/cm ce qui la rendre très chargée en sels ; elle dépend de la nature et de la concentration en ions et de la température et de la viscosité de la saumure.
- La salinité de la saumure est normale (34, 83) ; elle est proche de la salinité de l'eau de mer. La salinité de la saumure dépend du procédé de dessalement utilisé. Dans le cas des usines à osmose inverse, la salinité de la saumure dépend de la capacité de conversion de l'usine et elle est de 1,2 à 3 fois supérieure à la salinité de l'eau d'alimentation.
- On note aussi des teneurs élevées des ions : F^{2+} , Al^{2+} , P^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} sous forme aux carbonates HCO^{3-} et sulfates.
- L'eau saumure est très chargée en chlorures « 18260 mg/l » presque triple de la quantité de l'eau de mer, ceci est dû à l'injection forte et successive d'hypochlorite de sodium qui a pour objectif la suppression du développement biologique.
- Les concentrations enregistrées en métaux (chrome, iode, fer et cuivre) sont très négligeables. En revanche, on note une importante concentration en brome.
- Si on va estimer la quantité de saumure rejetée par cette usine de dessalement pendant une année, on notera qu'elle sera égale à un volume de 225 532 m³ par jour donc un volume annuel de 80 063 860 m³.

**Tableau. 7 - Quantité de saumure rejetée par l'usine de dessalement
« Chatt El-Hillal ».**

| Paramètres | Résultats |
|---|------------------|
| Q entrée (m³/H) | 18000 |
| Taux de conversion (%) | 47% |
| Q sortie (m³/H) (Q permeat) | 8460 |
| Qsaumure (m³/H) Qsaumure= Qentrée- Qpermeat | 9540 |

| Unité de dessalement « Chatt El-Hillal » | Paramètres | Résultats obtenus |
|---|--|--------------------------|
| | Q (m ³ /j) captage | 425 532 |
| | Q (m ³ /j) saumure | 225 532 |
| | Y% produite | 47% |
| | Y% saumure | 53% |
| | Capacité (m ³ /j) | 200 000 |
| | pH (8 à 8,5) | 8,43 |
| | Température | 18,68 |
| | Turbidité (NTU) | 1,26 |
| | Conductivité (ms/cm) entrée | 46 920 |
| | Conductivité (ms/cm) sortie | 682.14 |
| | TDS (g/l) | 382 |
| | Alcalinité (<65 ppm CaCO ₃) | 61,59 |
| | Dureté (50 à 60 ppm CaCO ₃) | 53,75 |
| | Chlore résiduel (0,5 ppm) | 0,5 |
| | Saumure (m ³ /j) | 225 532 |
| Saumure (m ³ /mois) | 6 765 960 | |
| Saumure (m ³ /année) | 80 063 860 | |

Tableau - Les quantités journalières des différents éléments chimiques rejetées par les grandes stations de dessalement en Algérie (Amitouche, 2016)

| Station | Q _{saumure} (m ³ /j) | Ca ⁺ (kg/j) | Mg ⁺² (kg/j) | Chlorure Cl ⁻ (kg/j) | Chlore libre (kg/j) | Chlore total (kg/j) | K ⁺ (kg /j) | Fe ⁺ (kg/j) | Fe ⁺² (kg/j) | SO ₄ ⁻² (kg/j) |
|------------------------|--|------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Cap-Djinet (Boumerdes) | 124765 | 8691.12 | 10733.5 | 1720917.3 | 2.495 | 2.495 | 69757.3 | 8.742 | 8.742 | 536763.9 |
| Souk telta (telmcen) | 244444 | 17027.9 | 21029.5 | 3371682 | 4.88 | 4.88 | 136671 | 7.33 | 7.33 | 1051646 |
| Honaine (telmcen) | 244444 | 17027.9 | 21029.5 | 3371682 | 4.88 | 4.88 | 136671 | 7.33 | 7.33 | 1051646 |
| Benisaf aintemouchent) | 244444 | 17027.9 | 21029.5 | 3371682 | 4.88 | 4.88 | 136671 | 7.33 | 7.33 | 1051646 |
| Arzew (oran) | 47177 | 3286.3 | 40586 | 650725 | 0.943 | 0.943 | 26377 | 1.415 | 1.415 | 202964 |
| Mactaa (oran) | 611111 | 42569.9 | 52573.8 | 8429219 | 12.22 | 12.22 | 341678 | 18.33 | 18.33 | 2629121 |
| Mostaghanem | 244444 | 17027.9 | 21029.5 | 3371682 | 4.88 | 4.88 | 136671 | 7.33 | 7.33 | 1051646 |
| Tenes (chlef) | 244444 | 17027.9 | 21029.5 | 3371682 | 4.88 | 4.88 | 136671 | 7.33 | 7.33 | 1051646 |
| Fouka (tipaza) | 146666 | 10216 | 12617.6 | 2023003 | 2.93 | 2.93 | 82002 | 4.399 | 4.399 | 530986 |
| Hamma (alger) | 244444 | 17027.9 | 21029.5 | 3371682 | 4.88 | 4.88 | 136671 | 7.33 | 7.33 | 1051646 |
| Skikda | 124765 | 8691.12 | 10733.5 | 1720917.3 | 2.495 | 2.495 | 69757.3 | 8.742 | 8.742 | 536763.9 |
| El tarf(projetée) | 124765 | 8691.12 | 10733.5 | 1720917.3 | 2.495 | 2.495 | 69757.3 | 8.742 | 8.742 | 536763.9 |
| Jijel (projetée) | 124765 | 8691.12 | 10733.5 | 1720917.3 | 2.495 | 2.495 | 69757.3 | 8.742 | 8.742 | 536763.9 |
| Bejaia (projetée) | 124765 | 8691.12 | 10733.5 | 1720917.3 | 2.495 | 2.495 | 69757.3 | 8.742 | 8.742 | 536763.9 |
| Oued sebt (projetée) | 124765 | 8691.12 | 10733.5 | 172091.3 | 2.495 | 2.495 | 69757.3 | 69757.3 | 69757.3 | 536763.9 |
| Total | Kg /j | 210386.3 | 296355.4 | 1658542.8 | 60.34 | 60.34 | 1688626 | 90.57 | 90.57 | 59102666.6 |
| | Tan/ans | 576400.8 | 11932.6 | 14132994 | 165.3 | 165.3 | 4626372 | 248.13 | 248.13 | 189322372 |

Tableau Caractéristiques des grandes stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie (Amitouche, 2016)

| Station | Q _{entrée} (m ³ /j) | Taux de conversion (%) | Q _{sortie} (m ³ /j) (Q _{perméat}) | Q _{saumure} (m ³ /j) |
|---------------------------------|---|------------------------|---|--|
| Cap-djinet (boumerdes) | 222765 | 45 | 100000 | 124765 |
| Souk tleta (telmcen) | 444444 | 45 | 200000 | 244444 |
| Honaine (telmcen) | 444444 | 45 | 200000 | 244444 |
| Beni saf (ain temouchent) | 444444 | 45 | 200000 | 244444 |
| Arzew (oran) | 85777 | 45 | 38600 | 47177 |
| Mactaa (oran) | 1111111 | 45 | 500000 | 611111 |
| Mostaghanem | 444444 | 45 | 200000 | 244444 |
| Ténès(chlef) | 444444 | 45 | 200000 | 244444 |
| Fouka (tipaza) | 266666 | 45 | 120000 | 146666 |
| Hamma (alger) | 444444 | 45 | 200000 | 244444 |
| Skikda | 222765 | 45 | 100000 | 124765 |
| El tarf (projetée) | 222765 | 45 | 100000 | 124765 |
| Jijel (projetée) | 222765 | 45 | 100000 | 124765 |
| Bejaia (projetée) | 222765 | 45 | 100000 | 124765 |
| Oued Sebt « tipaza » (projetée) | 222765 | 45 | 100000 | 124765 |

3.5 La performance de la station

En décembre 2009, le taux de production d'eau potable par la station de dessalement « Chatt El-Hillal » était de 5,9%, 10,06% en janvier 2010 puis il y a eu arrêt total en février 2010. Ceci est dû au fonctionnement partiel de la station avec seulement 10 modules. La livraison d'eau commercialisable a repris à partir du 08 mars 2010 soit après la fin des tests et la réalimentation en énergie de la sous station électrique. La production d'eau a été progressive avec deux unités de 20 000 m³/j chacune, avant d'atteindre 06 unités à la fin du mois. Un second arrêt est enregistré du 17 au 22 mars 2010 pour permettre au constructeur de faire le lavage des filtres avant d'entamer le test de l'usine prévu pour le 22 mars 2010. Durant le mois de mai 2010, la station a connu d'autres arrêts concernant les travaux de dessablage du bassin de captage, la rupture du collecteur en PRFV d'eau de mer trois fois. A partir de l'année 2011, la station a connu une progression marquée dans sa production. Les causes des différentes pannes de la station sont dues aux cassures survenues sur les conduites et aux pannes des automates, aux coupures d'électricité par Sonelgaz, à un manque de produits chimiques (acide sulfurique) (**Morsli, 2013**).

Les activités de la station de dessalement Chatt El-Hillal ne sont pas de nature à produire des émissions atmosphériques importantes. Néanmoins, le fonctionnement des moteurs des véhicules et camions circulant à l'intérieur du site peut engendrer des émissions atmosphériques dues aux gaz d'échappement composées de monoxyde de carbone, des hydrocarbures imbrulés, du dioxyde de carbone, des oxydes d'azote, des oxydes de soufre et des particules responsables de maladies pulmonaires selon le type de moteur. La station peut générer aussi des odeurs désagréables de boues et des odeurs caractéristiques de produits chimiques utilisés dans le process de dessalement.

Pour la prévention des risques majeurs et l'intervention en cas d'urgence, la station s'est dotée d'un document détaillé étudiant les points suivants :

- L'Evaluation, préalablement à l'exploitation, des risques et des dangers liés à l'exploitation, dans le respect des habitudes culturelles locales, du niveau d'éducation de la main d'œuvre et de la déontologie du travail local.
- L'Organisation d'une formation pour l'ensemble du personnel d'exploitation, y compris une formation initiale et des cours de remise à niveau à intervalles réguliers.
- La Diffusion des informations en matière d'hygiène et de sécurité.
- L'Inspection, la révision et l'archivage réguliers des performances.
- Maintien d'un bon niveau de propreté et de rangement des locaux à tout moment.

3.6 Calcul de la teneur en saumure rejetée par l'unité de dessalement

Tous les rejets (saumure) sont collectés dans le bassin de la saumure avant d'être rejetés à la mer via un canal souterrain de « DN 1800 d'une longueur de 1200ML (souterraine) et 500 ML Offshore.

3.7 Captage d'eau de mer « 425 532 » m³/J

Le captage d'eau de mer se réalise à travers un seul point qui permet généralement d'obtenir une eau de bonne qualité, ce qui soulage d'autant les prétraitements, et de s'affranchir des risques entraînés par des pollutions accidentelles de l'eau de mer.

L'injection successive d'hypochlorite de sodium a pour objectif d'éviter le développement biologique.

Le permanganate de potassium : pour oxyder la matière organique

L'acide sulfurique (H₂SO₄) : permet de réduire au minimum la salissure et de diminuer le pH afin d'éviter une partie de carbonate dissous, au début, et puis augmenter le pH après la précipitation de carbonates et élimination du CO₂ résiduelle.

L'ajout coagulant/ floculant : pour élimination ou réduire au maximum la présence des matières colloïdales, et d'éviter l'encrassement colloïdale au niveau de la membrane, aussi pour éviter le phénomène d'entartrage des membranes, ce qui empêchera la précipitation du carbonate de calcium.

Le bisulfite de sodium est utilisé à la place de l'eau de javel.

3.7.1 Pompage de l'eau de mer « 425 532 » m³/J

Le pompage de transfert de l'eau de mer après un prétraitement à l'alimentation des filtres à sable en eau de mer.

3.7.2 Filtration : deux types de filtration

1^{ère} étape de filtration « 425 532 » m³/J

La filtration protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs ; ceci permettra donc l'élimination de toutes les matières en suspensions dont le diamètre varie entre 5 à 10 μm et qui n'ont pas été éliminés lors de la décantation.

2^{ème} étape de filtration « 423 532 » m³/J

On peut utiliser des filtres rotatifs à lavage automatique. Ceci sert :

- à l'extraction par filtrage des impuretés de l'eau de mer
- à retenir les matières solides en suspensions résiduelles

Le moyen de filtration est un remblai en sable et l'antracite (c'est du charbon de faible teneur en matières volatiles moins de 6 à 8% réparti dans les réservoirs filtrants).

3- Microfiltration « filtre à cartouches » 240 000 m³/J

La microfiltration est la dernière étape du prétraitement, elle a pour objectifs :

- Réduire les diverses substances organiques responsables du colmatage-l'affinage de l'eau préfiltrée afin d'abaisser la turbidité et l'indice de colmatage.
- Arrête les impuretés contenues dans les solutions injectées en amont.
- C'est une barrière de sécurité pour les membranes du fait qu'elle écarte les MES.

3.7.3 Pompe à haute pression 64 bars « 108 000 » m³/J

La pompe haute pression sert à alimenter l'unité d'osmose inverse en eau prétraitée et filtrée. La pression d'alimentation doit être de l'ordre de 64 bars maximum.

3.7.4 Pompes Booster

Le rapport entre le débit du perméat et le débit d'alimentation donne le facteur de conversion ($Y=47\%$), on déduit donc que **53%** de l'eau de mer est rejetée représente le concentrât qui possède une énergie hydraulique très importante qu'il convient de récupérer par le biais de la pompe Booster afin de réduire la consommation en énergie électrique.

-Le concentrât coule ensuite librement à travers un tuyau d'écoulement vers le bac de saumure.

3.7.5 Reminéralisations (200 000 m³/J)

Elle sert à corriger le gout de l'eau, à augmenter le TAC (et/ou le TH calcique) et de pH. Elle peut aussi reprendre les exigences de qualité d'eau produite, d'améliorer les qualités organoleptiques afin d'obtenir une eau non agressive, non corrosive et apte à la consommation.

3.7.6 Stockage de l'eau produite « 200 000 » m³/J

Le post-traitement permet la potabilité de l'eau en deux étapes : l'eau n'est pas potable (deminéralisée) en sortie de l'unité de dessalement.

- 1) Correction de la corrosivité : le traitement consiste à ajouter du Ca (OH)₂ ou du CaCO₃.
- 2) Désinfection finale à la sortie de l'unité de dessalement. On injecte le NaOH pour corriger le pH élevé et l'Hypochlorite de sodium pour désinfecter l'eau contre contamination microbienne.

3.8 Le procédé osmose inverse de l'unité de dessalement avec et sans système de récupération d'énergie

3.8.1 OI sans système de récupération d'énergie

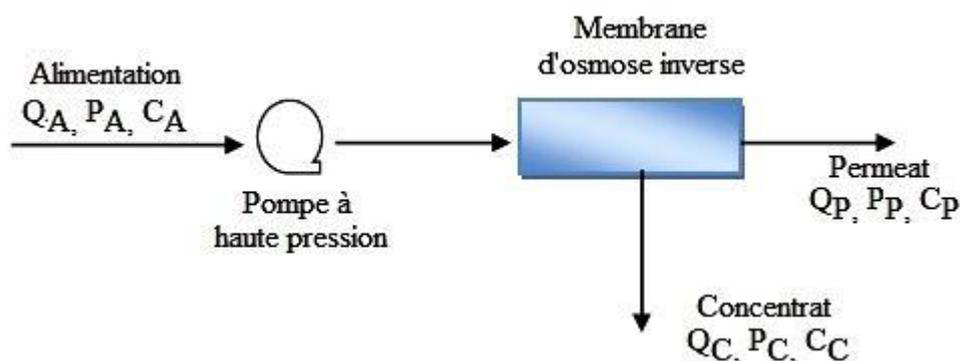


Figure. 33 OI sans système de récupération d'énergie

On définit la consommation spécifique d'énergie par l'énergie nécessaire à la production d'un mètre cube de perméat 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:

$$cse = \frac{W_{pump}^0}{36.6 \times \eta_p \times Q_p}$$

-Le travail de la pompe à haute pression est donné par la relation suivante W_{pump}^0

$$W_{pump}^0 = P_A \times Q_A$$

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

$$Y = \frac{Q_P}{Q_A}$$

La consommation spécifique d'énergie est calculée à partir de l'équation de travail de la pompe à haute pression W_{pump}^0 et l'équation de taux de conversion Y :

$$cse = \frac{P_A}{36.6 \times \eta_p \times y}$$

P=65 bar

$\eta_{Pomp} = 80\%$

Y=47 %

Application numérique

$$Cse = \frac{65}{36.6 \times 0.8 \times 0.47} = \frac{65}{13.7616} = 4.75 \text{ Kwh/m}^3$$

3.8.2 OI avec system de récupération d'énergie

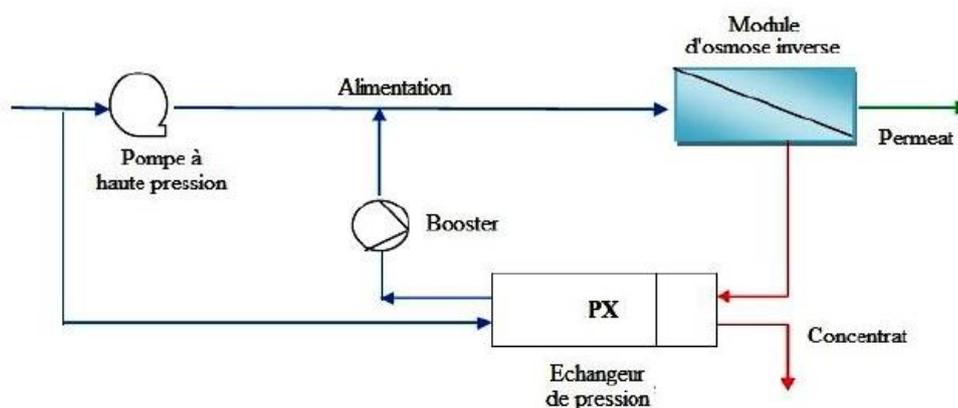


Figure. 34 OI avec système de récupération d'énergie

On applique l'équation

$$cse_{ep}(y, p, \eta_p, \eta_E) = \frac{P_A (1 - \eta_E (1 - y))}{36.6 \times \eta_{pump} \times y}$$

P : Pression d'alimentation ;

Y Taux de conversion de la membrane ;

Q_A : Débit d'alimentation de l'eau de mer

Q_p : Débit de permeat ;

Q_R : Débit de retentat

η_E : Efficacité de la pompe d'échangeur de pression

η_{pump} : Efficacité de la pompe à haute pression

*) application numérique

P=65 bar

Y=47 %

Q_A = 18000 m³/h

Q_p=8460 m³/h

Q_R=9540 m³/h

η_E= 97%

η_{Pomp}= 80%

$$cse_{ep}(y, p, \eta_p, \eta_E) = \frac{P_A (1 - \eta_E (1 - y))}{36.6 \times \eta_{pump} \times y}$$

$$cse_{ep}(y, p, \eta_{Pomp}, \eta_E) = \frac{65(1-0.97(1-0.47))}{36.6*0.8*0.47} = \frac{31.5835}{13.7616} = 2.28 \text{ Kwh/m}^3$$

Conclusion générale

Conclusion générale

L'Algérie, possède des ressources hydriques limitées en raison de ses faibles précipitations et son climat aride. L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'agriculture, de l'industrie ainsi que les besoins incompressibles de la population humaine, ont amené les pouvoirs publics, à mobiliser de plus en plus les ressources superficielles. La mobilisation des eaux souterraines au nord de notre pays a atteint son seuil maximal, par une surexploitation des nappes superficielles ; ce qui donne naissance à une eau de qualité détériorée. Le recours au dessalement de l'eau de mer est devenu alors inévitable et indispensable pour assurer l'alimentation en eau potable.

Le dessalement d'eau de mer fait partie des solutions envisagées pour limiter la surexploitation des nappes, et constituer une source supplémentaire d'eau de bonne qualité. Le dessalement est donc un des enjeux majeur pour le développement économique et social de notre pays ; il constitue ainsi un pilier de la stratégie nationale d'approvisionnement en eau potable surtout pour la population de l'ouest.

La réduction des coûts, par la maîtrise des systèmes de récupération d'énergie et le procédé d'osmose inverse, permet un développement très important du dessalement d'eau de mer dans l'actuel et dans le futur. L'utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement contribue non seulement à la réduction des différentes émissions constituées essentiellement du monoxyde et de dioxyde de carbone, des oxydes d'azote mais aussi à la réduction des coûts d'exploitation de l'eau potable produite.

La préservation de l'environnement ainsi que l'économie de l'eau et de la rationalisation de son utilisation doivent accompagner impérativement la réalisation des stations de dessalement dans le littoral national sans oublier que la façade maritime est de 1622km.

Certes que le dessalement de l'eau de mer apporte une solution rapide et idéale à la pénurie d'eau douce, mais apporte aussi avec lui beaucoup d'inconvénients tels que :

- Aucune législation nationale spécifique au rejet de saumure.
- Besoin énergétique important.
- Utilisation de produits chimiques et traces de métaux lourds dans les rejets.
- Rejets de saumures concentrées et chaudes dans le cas de la distillation.

Quelques recommandations :

- Le choix d'un procédé de dessalement en considérant une station de neutralisation de la saumure avant son rejet à la mer.
- Prendre des précautions pour ne pas altérer la vie végétale et animale de l'écosystème local.
- Dilution de la saumure avec les rejets de la STEP d'Aïn-Temouchent.
- Construire ou améliorer les stations de dessalement par un gain d'énergie en utilisant l'énergie solaire.
- Favoriser le rejet de l'eau saumure une fois l'eau est turbide.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Amitouche, M., 2016 - Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu receveur. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider – Biskra. 175p.

Allam H., Mellah A., 2013 - Etude économique et impact écologique de la station de dessalement de Honaine (W. Tlemcen). Proceeding du Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE 2013 Ouargla. 67-70.

Altayaran, A.M. & Madany, I.M., 1992 - Impact of a desalination plant on the physical and chemical properties of seawater, Bahrain. *Water Research* 26, 435-441.

Aptel P. et C.A. Buckley., 1996 -Water treatment: Membrane processes, AWWA, McGraw-Hill.

Armas I., 2014 - Qualité des eaux de la station de dessalement de l'eau de mer de Souk Tlata - Bah Al Assa. *Mémoire de Master*. Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen.

Bessenasse M et Belkacem Filali M., 2015 - Impact du dessalement sur l'environnement en algerie. *Revue Agrobiologia* 2014; N°6, 75-81

Blust, R., 1992 - Effect of salinity on the uptake of cadmium by the brine shrimp *Artemia franciscana*. *Mar.Ecol.Progr.Series*, Vol. 84, pp.245-254.

Boyé, H., 2008 - Eau, énergie, dessalement et changement climatique en méditerranée. Plan bleu, France.

Bouchard, C., Kouadio, P., Ellis, D., Rahni, M., Lebrun, M.E., 2000 – Les procédés à membranes et leurs applications en production d'eau potable. *In les procédés membranaires pour le traitement de l'eau*.

Buisson, H., Lebeau, T., LeLievre, C., Herremans., L., 1998 – Les membranes, point sur les évolutions d'un outil incontournable en production d'eau potable : l'eau, l'industrie, les nuisances ; 42-47pp.

Bushnak,A., 2012 - Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales. Rapport final, Gestion Intégrée Durable de l'Eau – Mécanisme de Soutien (SWIM - SM).

Chenaoui B., 2010 - Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement". Séminaires 2010. Université Hassiba Benbouali Chlef. Algérie. http://www.univ-chlef.dz/uahbc/seminaires_2010/chenaoui_bakhta_Ouargla_2010.pdf

Danis P., 2003 - Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, T2 700.

Danoun, R., 2007 - Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on marine life, Final Project, The University of Sydney, Australia.

Dawoud, M.A & Al Mulla, .M., 2012 - Environmental Impacts of Seawater Desalination: Arabian Gulf Case Study, *International Journal of Environment and Sustainability* | Vol. 1 No. 3, pp. 22-37.

Décret exécutif n°07-144 du 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Décret exécutif n°11-220 du 12 juin 2011 fixant les modalités de la concession d'utilisation des ressources en eau pour l'Etablissement d'installations de dessalement d'eau de mer ou de déminéralisation d'eaux saumâtres pour cause d'utilité publique ou pour la satisfaction de besoins propres.

Fernández-Torquemada, Y .González-Correa, J.M and Sánchez-Lizaso, J.L, 2012 - Echinoderms as indicators of brine discharge impacts, *Desalination and Water Treatment* 51 (2013) 567–573.

Fernández-Torquemada, Y & Sánchez-Lizaso, J.L., 2013 - Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 119, p. 64-70.

Frenkel, V., 2011 - Seawater Desalination: Trends and Technologies, *Desalination. Trends and Technologies*, M. Schorr (Ed.), ISBN : 978-953-307-311-8, 2011.

FAO, 2008 - Food agency organization. www.cieau.com.

Habet L., 2010 - Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement : Cas du littoral station de Boumerdès. *Mémoire de Magister*, Université M'hamed Bougara.

Jamaly, S. Darwish, N.N., Ahmed, I., Hassan, S.W, 2014 - A short review on reverse osmosis pretreatment technologies, *Desalination* volume 354, 1 December 2014, Pages 30–38.

Kara Omar A et Khaldi A., 2017 - Dessalement de l'eau de mer et impacts environnementaux : cas de la station d'El-Mactaâ. *J. Wat. Env. Sci.* Vol. 1, (Numéro spécial ICWR 2) (2017), 249-253.

Lahouel S et Lahouel N., 2015 - Dessalement de l'eau de Mer et les Énergies Renouvelables. *Journal of Advanced Research in Science and Technology*. ISSN: 2352-9989.

Lattemann,S., 2010 - Development of an environmental impact assessment and decision support system for seawater desalination plants, Phd Thesis in Delft, The Netherlands.

Lattemann, S. & Höpner, T., 2003 - Seawater Desalination: Impacts of Brine and Chemical Discharge on the Marine Environment”, *Desalination* Publications, L’Aquila, Italy.

Loi algérienne n° : 83-03 du 5 février 1983 sur la protection de l’environnement.

Luft, W., 1982 - Five solar energy desalination systems, *International Journal of Solar Energy*, 1(1), 21-32.

Mabrook, B., 1994 - Environmental impact of waste brine disposal of desalination plants, Red Sea, Égypte. *Desalination*, Vol. 97, pp.453-465.

Mandri, Y., 2011 - Etude paramétrique du procédé de dessalement de l’eau de mer par congélation sur paroi froide, *Thèse de doctorat*. Université Claude Bernard Lyon.

Maurel, A., 2006 - Dessalement de l’eau de mer et des eaux saumâtres. 2ème édition, Paris, Ed. Tec & Doc-Lavoisier. 286p.

McKetta, J.J et Cunningham, W.A., 1982 - Encyclopedia of chemical processing and design. ISBN 082472464X9780824724641, 1982.

Metaiche, M., 2006 - Optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse : conception, paramètres de fonctionnement et simulation numérique. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Polytechnique d’Alger. 139p.

Morsli, M.S., 2013 – Impact des arrêts techniques de l’usine de dessalement de l’eau de mer sur l’entreprise et l’Environnement. *Mémoire de Magister*. Université d’Oran. 203p.

Mozas M et Ghosn A., 2013 -État des lieux du secteur de l’eau en Algérie. Etude et analyses.

Ministère Algérien des ressources en eau, 2008- *Rapport de mission*, 2008.

OMS, 2011 – Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. ISBN 978 924 1548151.

Patier X. & Blanchon D., 2010 - Documentation photographiques. 8078. L’Eau, une ressource menacée ? La documentation Française. Paris. 63p.

Plan Bleu, 2010 - Le dessalement de l’eau de mer : une réponse aux besoins d’eau douce en Méditerranée. N°16, juillet 2010.

PNUE, 2001 - Dessalement de l’eau de mer dans les pays méditerranéens : évaluation des impacts sur l’environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure, UNEP (DEC)/ MED WG.183/Inf.6, Athènes.

Rerolle A., 2010 - Quelle gestion de l'eau pour les pays du Sud ? Notes à l'attention du groupe de pilotage de campus plein sud. 78 P.

Rovel, J.M., 2012 - Dessalement de l'eau de mer, Techniques de l'Ingénieur.

Shunya, I., Shiger, S. and Ayako, M., 1994 - The lethal effect of hypertonic solutions and avoidance of marine organisms in relation to discharged brine from desalination plant. *Desalination*. Vol. 97, pp.389-399.

Winters, H., Isquith, I.R. and Bakish, R., 1979 - Influence of desalination effluents on marine ecosystems. *Desalination* 30, 403-410.

Zouini D., 2009 - Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : une solution pour l'alimentation en eau des villes côtières d'Algérie. Revue HTE N°142 • Mars - Juin 2009.

Annexe

Annexe

Analyses pour le contrôle de la qualité de l'eau commercialisée.

| | | |
|---|--|-------------|
|  IMP .008 | CONTROLE DE QUALITE DE L'EAU COMMERCIALISEE | VERSION 1.1 |
| | | Février 11 |

| | | |
|---|--------------------------------------|-------------|
| Date et Heure de prise d'échantillon : le .../.../..... à ...H..... | Nom et Prénom de l'opérateur : | Signature : |
|---|--------------------------------------|-------------|

| Analyse effectuée | Unité | Qualité garantie | Résultat des analyses | Observation |
|-------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-------------|
| PH | | 8 à 8.5 | | |
| Alcalinité | ppm CaCO ₃ | 65 | | |
| Dureté | ppm CaCO ₃ | 50 à 65 | | |
| Indice Langelier | | 0 à 0.4 | | |
| Chlore résiduel | ppm | 0.5 | | |

| | | |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| <u>Le Responsable BWC</u> | <u>Le Responsable O&M</u> | <u>Accusé de réception ADE</u> |
| Nom : | Nom : | Nom : |
| Prénom : | Prénom : | Prénom : |
| Signature | Signature | Signature |
| Date : | Date : | Date : |