

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Etude des performances de la station de dessalement de la wilaya de Skikda.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0009-14

APA Citation (توثيق APA):

Chekroud, Mohamed Reda (2014). Etude des performances de la station de dessalement de la wilaya de Skikda[Mem Ing, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en
Hydraulique*

option: alimentation en eau potable

THEME DU PROJET :

**ETUDE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE
DESSALEMENT DE LA Wilaya de SKIKDA**

PRESENTE PAR :

M^rCHEKROUD Mohamed Reda

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
M^r KHODJET - KESBAOmar	Professeur	Président
M^rHACHEMIAbd el kader	MAA	Examineur
M^{me} BERBECHESabah	MAA	Examinatrice
M^r DJELLABMohamed	MCB	Examineur
M^r AZZAZSofiane	Ingénieur(SEAAL)	Examineur
M^{me} AMMOUR Fadhila	MAA	Promotrice

Septembre- 2014



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de
reconnaissance et de respect. A ma chère Maman,
Et mon cher Père*

*A la mémoire de ma grand mer fejrriya
Ama femme et ma belle fille ines
A mes frères sami, lotfi, tifo et sa fille malek
A mes amie habib, hamra, chouayb, mohamed
belyidi, mohamed, nidal, hosam, morsel
, mohamed derdech, abdenor, elide, adelaxix, nabil
, oussama, raki, amar, mahfoud,
mamech, marwen, okli mostafa, miloud;
A mes grands Parents
A mes oncles et mes tantes*

REMERCIEMENTS

- Louange à Allah, Le Tout Puissant, Le Clément, Le Miséricordieux pour le courage qui m'a accordée, aide et bénédictions.
- je tiens a remercie tous les collaborateurs pour leur disponibilité et leur accueil notamment Mme AMMOUR qui a encadré mon mémoire.
- Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à ma mer et mon père qui m'on toujours encourager et motivé dans mes études. (Ce mémoire représente l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'elle m'a prodigués durant de ma scolarité).
- je remercie s'adressent beaucoup a ma femme qui m'a toujours encouragé.
- Je veux remercier Monsieur MEHDI CHITOUR, pour m'avoir aidé et m'avoir transmis les connaissances appropriées, ainsi que pour ses nombreux conseils.
- J'exprime mes profonds remerciements à mon ami Med HABIB CHITOUR qui m'a aider pour faire l'étude expérimentale a la SONATRACH.
- Je veux remercier OUSSAMA BOURENAN et SAMIR CHITOUR de m'avoir facilité le stage.
- Je veux témoigner SABRI KHELFAOUI et Dr BRANES chef département de chimie a l'université de BAJI MOUKHTAR qui ma donner l'autorisation pour faire l'étude biologique.
- Merci enfin pour tous ce qu'il m'a apporté sur le plan des relations humaines, tant professionnelles que personnelles.
- Je remercie également les membres du jury pour avoir pris la peine d'évaluer ce modeste travail.

ملخص

لمواجهة المشكل الخطير الذي يتمثل في نقص المياه فإن عملية تحلية مياه البحر تعد الحل الأمثل لانطلاق الميدان الصناعي وهذا من خلال تحقيق قدرة إنتاج تقدر بحوالي 2.260 مليون متر مكعب في اليوم بسبب ثلاثة عشر محطة تحلية عبر القطر الجزائري. إن إنشاء مصانع تحلية المياه و التي لها تأثير على المحيط البيئي بسبب المخلفات الملوثة كالمواد الكيميائية و الكميات الكبيرة من الأملاح. إن الهدف من هذا العمل هو دراسة قدرة محطة التحلية عن طريق الأسموز العكسي و الواقعة بالمنطقة الصناعية بمدينة سكيكدة.

RESUME :

Face au problème majeur de manque d'eau, le dessalement constitue une option stratégique pour l'Algérie qui a lancé une véritable industrie du dessalement des eaux de mer, Avec la mise en service des 13 grandes stations de dessalement on arrive à mobiliser de 2,260 millions de M³/J.

Toutefois, la construction d'usines de dessalement est inévitablement associée à une catastrophe environnementale causée par le vaste déversement de la saumure et des réactifs chimiques utilisés dans le dessalement.

L'objectif de ce présent travail est d'étudier les performances de la station de dessalement par osmose inverse, située dans la zone industrielle de Skikda et d'examiner l'impact de cette usine sur l'environnement marin.

SUMMARY :

The major problem of lack of water, desalination constitutes a strategic option for Algeria which launched a true industry of the desalination of sea waters, with an output of 2.260 million m³/j.

How ever, the construction of desalination plants is inevitably associated an environmental catastrophe caused by the vast discharge of the brine and the chemical reagents used in desalination.

The objective of this present work is to study the performances of the station of desalination by opposite osmosis, located in the industrial park of skikda and to examine the impact of this factory on the marine environment

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I

LES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

I-1- Introduction :	1
I-2- Les ressources en eau sur la planète :	1
I-3- Adéquation entre ressources et besoins en eau :	2
I-3-1-Usages domestiques :	3
I-3-2-Usages agricoles :	3
I-3-3-Usages industriels :	4
I-3-4- Indicateurs de ressources : seuil de tension, seuil de pénurie :	4
I-4- Situation de l'Algérie :	4
I-5- Disponibilités en eau en Algérie :	5
I-5-1- Les ressources en eau de surface :	5
I-5-2- Les ressources en eaux souterraines :	6
I-5-3- Les eaux de mer et les eaux saumâtres :	7
I-6- L'expérience Algérienne en matière de dessalement :	8
I-6-1-Les stations existantes :	9
I-6-2-Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau:	9
I-6-3-Stations installées par la Compagnie «SONELGAZ»:	9
I-6-4-Stations installées par la Compagnie «SONATRACH»:	9
I-6-5-Stations installées par d'autres Compagnies:	11
I-6-6-Station expérimentale du Centre de Développement des EnergiesRenouvelables CDER :	11
I-6-7-Le programme d'urgence (2002- 2003) :	11
I-6-8-Programme de réalisation des usines de dessalement:	12

CHAPITRE II

GENERALITES ET CLASSIFICATION DES PROCEDES DE DESSALEMENT

II-1- Introduction :	14
II-2-Caractéristiques de l'eau de mer et saumâtres :	14
II-2-1/Les eaux saumatres :	14

II-2-2/L'eau de mer :	15
II-3- Historique du dessalement :	16
II-4- Classification des différents procédés de dessalement :	17
II-4-1- Distillation :	18
II-4-3-L'échange d'ions :	21
II-4-4- L'électrodialyse :	22
II-4-5- L'osmose inverse :	24
II-5- Choix d'un procédé de dessalement :	25

CHAPITRE III

PROCEDE D'OSMOSE INVERSE

III-1-Introduction sur l'osmose inverse:	28
III-2-Domains d'utilisation de l'osmose inverse :	28
III-3-L'osmose inverse à travers le monde : [12].....	29
III-4-Description d'une filière de traitement des eaux par osmose inverse :	30
III-5-Choix d'un module d'osmose inverse :	30
III -5-1- Module tubulaire :	31
III -5-2- Module à fibres creuses :	31
III -5-3- Module plan:	32
III-5-4- Module spiralé :	32
III-6-Choix d'une membrane :	34
III -6-1- Membranes organiques :	35
III -6-2- Membranes minérales :	36
III -6-3- Membranes composites :	37
III-7-Pompe haute pression :	38
III-8-Poste de prétraitement :	38
III-9-Système de récupération d'énergie :	38
III-10-Calcul d'une installation d'osmose inverse :	39
III -10-1- Débit d'eau :	40
III -10-2- débit de sels :	40
III -10-3- Taux de conversion :	40
III -10-4- Passage des sels :	40
III -10-5- Taux de rétention ou de rejet (sélectivité) :	41

III-11-Mécanisme de transfert :	41
III-12-Flux du solvant et de soluté :	42
III -16-Influence de la pression efficace sur la séparation :	42
III -16-1- Influence de la pression efficace sur le taux de rejet :.....	42
III -16-2- Influence de la pression efficace sur le flux de solvant :.....	43
III-13-Mise en œuvre –Arrangements d’une installation d’osmose inverse :	43
III-14-Influence de la température :	45
III-15- Choix de la pression de fonctionnement :	46
III-16-Avantages et les inconvénients de l’osmose inverse :	46
III-16-1- Avantage :	46
III-16-2- Inconvénients :	47

CHAPITRE IV

DESCRIPTION DE LA STATION DE DESSALEMENT D’EAU DE MER DE SKIKDA

IV-1- Introduction :	48
IV-2-Principales données techniques du projet :	48
IV-3- Description de la station de dessalement d’eau de mer de skikda	49
IV-4- Les différentes étapes du procédé :	50
IV-4- 1- premier étape : le prise d’eau de mer :	50
IV-4- 2- deuxieme étape :	52
IV-4- 3-troisieme étape : La microfiltration :	55
IV-4- 3- quatrième étape : système a haute pression (osmose inverse).....	56
IV-4- 5-cinquieme étape :	61
IV-5-Les des produits chimiques	61
IV-6- Le système d'injection dans la station :	61
IV-7-Les paramètres à surveiller pendant le process :	62
IV-8- Salle de contrôle :	62

CHAPITRE V

ETUDE DES PERFORMANCES DU STATION DE DESSALEMENT DE SKIKDA

V-1-Introduction :	63
V-2-Identification origines et causes des dysfonctionnements de la station :	63
V-2-1- Diagnostic des ouvrages et difficultés d'exploitation :	63
V-2-1-1-Pompage de l'eau de mer :	63
V-2-1-2-suppression de la chloration :	68
V-2-1-3-L'absence d'ouvrages de coagulation-floculation-décantation :	71
V-2-1-4-Le colmatage des membranes :	72
V-2-1-5-problème de la corrosion :	78
V-2-1-6-problèmes liés aux rejets chimiques :	81
V-2-1-7- Rejet des eaux de lavage a contre-courant de membranes	82
V-2-2-Etude des performances de la station :	82
V-2-2-1-Matériel et méthodes :	82
V-2-2-2-Résultats et discussion :	88
V-2-2-3-impact de la station de dessalement de Skikda sur l'environnement :	95
V-2-2-4-Effets dus au prélèvement d'eau de mer :	95
V-2-2-5-Impact de la saumure sur la faune et la flore :	96
V-2-3-Solutions proposées :	97
V-2-3-1-Pompage de l'eau de mer (la cavitation) :	97
V-2-3-2-l'obligation de la chloration :	98
V-2-3-3-l'ouvrages de coagulation-floculation-décantation :	98
V-2-3-4-le colmatage des membranes :	99
V-2-3-5-problème de la corrosion :	100
V-2-3-6-la solution pour réduite l'impact de la saumure :	102

LISTES DES TABLEAUX

CHAPITRE I: LES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

Tableau I-1 : Répartition de la production d'eau dessalée (eau de mer) :	1
Tableau I-2: Bilan en eau d'une culture de maïs en pays tempéré	4
Tableau I-3 : consommation d'eau dans les industries de transformation	4
Tableau I-4: Seuil de tension, seuil de pénurie	5
Tableau I-5 : Répartition des eaux de surface	6
Tableau I-6 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.....	7
Tableau I-7 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud	8
Tableau I-8 : Stations exploitées par Sonelgaz	10
Tableau I-9: Stations exploitées par Sonatrach	11
Tableau I-10: Stations installées par d'autres Compagnies	12
Tableau I-11 : Les Stations Monoblocs réalisées	13
Tableau I-12 : Les 15 grandes Stations réalisées ou en cours de réalisation :	14

CHAPITRE II : GENERALITES ET CLASSIFICATION DES PROCÉDES DE DESSALEMENT

Tableau II-1 : Valeurs moyennes de la minéralisation de l'eau des mers et des océans	16
Tableau II-2 : Volumes d'eau dessalée par les pays arabes.....	17
Tableau II-3 : Situation mondiale des procédés de dessalement de 1969 à 1989	26

CHAPITRE III : PROCÉDE D'OSMOSE INVERSE

Tableau III-1-: Réalisations de l'osmose inverse à travers le monde	29
Tableau III -2 : Avantages et inconvénients des modules d'osmose inverse :	33
Tableau III-3: Avantages et inconvénients des membranes organiques :	36
Tableau III-4: Avantages et inconvénients des membranes minérales :	37

CHAPITRE IV DESCRIPTION DE LA STATION DE DESSALEMENT D'EAU DE MER DE SKIKDA

Tableau IV-1 : Generalites Et Donnees Sur La Station.....	48
Tableau IV-2- : Caracteristiques Techniques De La Prise D'eau.....	50
Tableau IV-4 : Caracteristiques Techniques Du Filtre A Sable :	53
Tableau IV-5: Caracteristiques Techniques Des Filtres A Anthracite :	53
Tableau IV-6 : Caracteristiques Techniques Du Lavage Des Filtre A Sable Et Anthracite :..	54
Tableau IV-7 : Caracteristiques Techniques Des Microfiltres :	55
Tableau IV-8 : Caracteristiques Techniques Des Microfiltres :	56
Tableau IV-9: Caracteristiques Techniques Des Membranes D'osmose Inverse	57
Tableau IV-10: Caracteristiques Techniques Des Pompes Et Tanks De Produits Chimiques .	58
Tableau IV-11: Contraintes D'exploitation Du Systeme	60

CHAPITRE -V- ETUDE DES PERFORMANCE DU STATION DE DESSALEMENT DE SKIKDA

Tableau V-1 : Variation de tension de vapeur d'eau en fonction de la température :	66
Tableau V-2 : Quelques signes de colmatage	76
Tableau V-3: Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir du produit utilisé.	82
Tableau V-4: spécifications techniques de la station de dessalement de Skikda	84
Tableau V-5: Les résultats des paramètres physico-chimiques.....	88
Tableau V-6: Les résultats des analyses de la minéralisation globale.....	88
Tableau V-7: Les résultats des analyses de métaux lourds et éléments toxiques:.....	89
Tableau V-8: Les résultats des analyses biologiques.	93

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE I: LES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

Figure I-1 :Diminution au cours du temps des ressources en eau renouvelables et variation en fonction des régions.	3
Figure I-2 :Capacités de production des différentes techniques.....	9
Figure I-3 : Nombre de station pour les différentes techniques.....	13
Figure I-4 : Répartition des stations monoblocs	13

CHAPITRE II : GENERALITES ET CLASSIFICATION DES PROCEDES DE DESSALEMENT

Figure II-1 : Répartition de la composition d'une eau de mer	15
Figure II-2 : Distillation par longs tubes verticaux	20
Figure II-3 : Distillation par thermo compression.	21
Figure II-4 : Schéma d'un électrodialyseur.....	23
Figure II-5: Schéma d'un système de dessalement par osmose inverse	24
Figure II-6 : Salinité de l'eau à traiter en mg/l.....	25

CHAPITRE III : PROCEDE D'OSMOSE INVERSE

Figure III -1 : Schéma d'une filière de traitement par osmose inverse.....	30
Figure III -2: Schéma de principe d'un module tubulaire.....	31
Figure III -3 : Schéma de principe d'un module à fibres creuses	32
Figure III -4: Schéma de principe d'un module plan	32
Figure III-5: Schéma d'un module spiralé	33
Figure III -6: Schéma de récupération directe de l'énergie	39
Figure III -7: Schéma de récupération indirecte de l'énergie	39
Figure III -8: Influence de la pression sur le passage de sels.....	41
Figure III-9: Schéma de filtration tangentielle.....	42
Figure III-10: Schéma d'un système de dessalement discontinu à recyclage.....	44
Figure III-11: Schéma d'un système de dessalement discontinu sans recyclage.....	44
Figure III-12: Schéma de montage en série-rejet.....	45
Figure III -13 : Schéma de montage en série production.....	45

CHAPITRE IV DESCRIPTION DE LA STATION DE DESSALEMENT D'EAU DE MER DE SKIKDA

Figure IV-1 : les différentes étapes dans la station de dessalement.....	2
Figure IV-2 : Puits côtier et prise sur la mer	3
Figure IV-3 : Tour de captage d'eau de mer.....	4
Figure IV-4 : Les filtres bicouches à sable et anthracite.....	5

Figure IV-5 : Partie supérieure de l'intérieur d'un filtre à sable ou à anthracite-sable.....	6
Figure IV-7 : Unité d'Osmose Inversée	9
Figure IV-8 : techniques d'osmose inverse	11
Figure IV-9: Système de récupération d'énergie(ERI).....	11
Figure IV-10 : représente le fonctionnement total de la station dans la salle de contrôle	15

CHAPITRE -V- ETUDE DES PERFORMANCE DU STATION DE DESSALEMENT DE SKIKDA

Figure V-1 : Variation de la température en abaissant la pression ambiante.....	64
Figure V-2 : Installation en aspiration.	65
Figure V-3 : Scénarios de colmatage d'une membrane.....	74
Figure V-4: Formation d'un biofilm	75
Figure V-5 : Au niveau de la microfiltration.....	79
Figure V-6 : Au niveau de prétraitement.	79
Figure V-7: Localisation des stations de dessalement de Skikda	84
Figure V-8 : Chaîne alimentaire du milieu marin	87
Figure V-9: Représentation graphique des résultats des paramètres physicochimiques.	89
Figure V-10: Représentation graphique Les résultats des analyses de la minéralisation globale.	Erreur ! Signet non défini. 89
Figure V-11: Le nombre des phytoplanctons et zooplanctons par rapport au point de rejet.	93
Figure V-12 : Photo des phytoplanctons observés dans les échantillons prélevés.	94
Figure V-13 : Photo des zooplanctons dans les échantillons prélevés.....	94
Figure V-14: Maquette au 1 :15 des systèmes de diffusion de concentrât de l'installation de Perth.(Université de l'Australie de l'ouest)	103

INTRODUCTION GENERALE

Les techniques de dessalement ont été utilisées depuis trois décennies dans le monde arabe et particulièrement dans les pays du Golfe en parallèle avec le développement des activités pétrolières. Les stations de dessalement sont développées surtout au milieu des années 70, pour répondre aux besoins en eau de plus en plus croissants surtout en milieu urbain et dans le secteur industriel et les ressources naturelles ne pouvant plus satisfaire ces besoins.

Dans les pays arabes, la plupart d'entre eux se trouvent dans les zones arides ou semi-arides, et de ce fait, ils ne disposent pas de suffisamment de ressources en eau, par contre un vaste réservoir d'eau pratiquement inutilisé dont il faudra tenir compte est l'eau salée (océans, mers, nappes salées).

Avant d'utiliser cette eau il faut la dessaler, étant donné la concentration en sel qui dépasse ce que l'humain ou le bétail peut supporter, cette eau doit être filtrée avant son passage, soit dans un système d'alimentation en eau potable, soit pour utilisation comme eau d'arrosage des récoltes, ou encore comme eau potable destinée aux l'industrie. Le dessalement est un enjeu stratégique, il représente une ressource alternative qui apporte des réponses aux besoins en eau à court et à long terme.

Le dessalement de l'eau de mer est souvent conçu comme la solution magique de ces problèmes – sauf bien entendu pour les pays sans accès à la mer ex :(Mali, Niger).

Le marché de dessalement, hier dominé par la distillation, est aujourd'hui à plus de 50% par osmose inverse. Les progrès et les atouts de cette technique ont réduit les coûts de l'eau dessalée, ce qui explique le choix d'un tel procédé.

Les problèmes dans la station de dessalement réduira la performance, en les connu après faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement, on relever tous les dysfonctionnements.

on effectuer des prélèvements et analyser les échantillons : d'eau brute, d'eau douce produite et de saumure afin de s'assurer du bon fonctionnement des différentes phases de traitement pour voir la qualité de l'eau de production et l'impact de la saumure sur les organismes marins .

I-1- Introduction :

La ressource en eau comprend, au sens large, toutes les eaux accessibles comme ressources, c'est-à-dire utiles et disponibles pour l'Homme et les écosystèmes, à différents points du cycle de l'eau. Cette ressource est limitée en quantité et en qualité ; Elle est indispensable à la vie et à la plupart des activités humaines, telles que les activités liées à l'agriculture, l'industrie et aux usages domestiques (alimentation en eau potable). Elle est vitale pour le fonctionnement des écosystèmes terrestres.

I-2- Les ressources en eau sur la planète :

Sur la Terre, il y a l'eau visible : l'eau de mer, l'eau contenue dans les calottes polaires, les lacs, les rivières, les nuages et la pluie ; et l'eau invisible : les eaux souterraines, Si l'eau est très présente sur la Terre, 97 % de la ressource est de l'eau salée et 2 % est bloquée sous forme de glace. Il ne reste environ que 1 % d'eau sous forme d'eau douce liquide, Les eaux douces exploitées ont une origine continentale :

- les eaux de précipitation : atmosphère .
- les eaux de surface : rivières, plans d'eau .
- les eaux souterraines : elles proviennent du sous-sol (aquifères ou roches réservoirs) captées .
- par sources naturelles ou forages.

Elles représentent 0,6 % de la ressource totale en eau. [20]

Tableau I-1 : Répartition de la production d'eau dessalée (eau de mer) : [1]

Région	Mm ³ /jour	%
Moyen orient	21	50
Amérique du nord	7,56	18
Asie	5,46	13
Europe	5,46	13
Afrique	2.52	6
Total 42 100	42	100

Ainsi, s'opposent deux types de réservoirs : ceux qui font office de conducteurs (cours d'eau et atmosphère), et ceux qui jouent le rôle d'accumulateurs (glaciers, nappes et océans). [1]

I-3- Adéquation entre ressources et besoins en eau :

Les ressources en eau renouvelables offertes par la nature peuvent être estimées à partir des flux du cycle de l'eau et plus particulièrement des flux de circulation des eaux continentales aux environs de $40\,000\text{ km}^3/\text{an}$. Compte tenu de la population actuelle de la planète qui est d'environ 6 milliards d'habitants, la quantité moyenne d'eau renouvelable disponible est de l'ordre de $7000\text{ m}^3/\text{an}/\text{habitant}$ soit $20\text{ m}^3/\text{jour}/\text{habitant}$, tous usages confondus ce qui est très largement supérieur aux besoins, en effet, les problèmes actuels et futurs sont multiples :

- la population de la planète ne cesse d'augmenter alors que la ressource reste constante.
- les ressources sont très inégalement réparties sur la planète. Il y a les déserts et les zones subarides (30% des terres émergées). Il y a aussi certaines zones équatoriales ou tropicales sur lesquelles tombent chaque année plusieurs mètres de pluie. Le tableau ci-dessous nous montre la diminution au cours du temps des ressources en eau et la variation en fonction des régions.

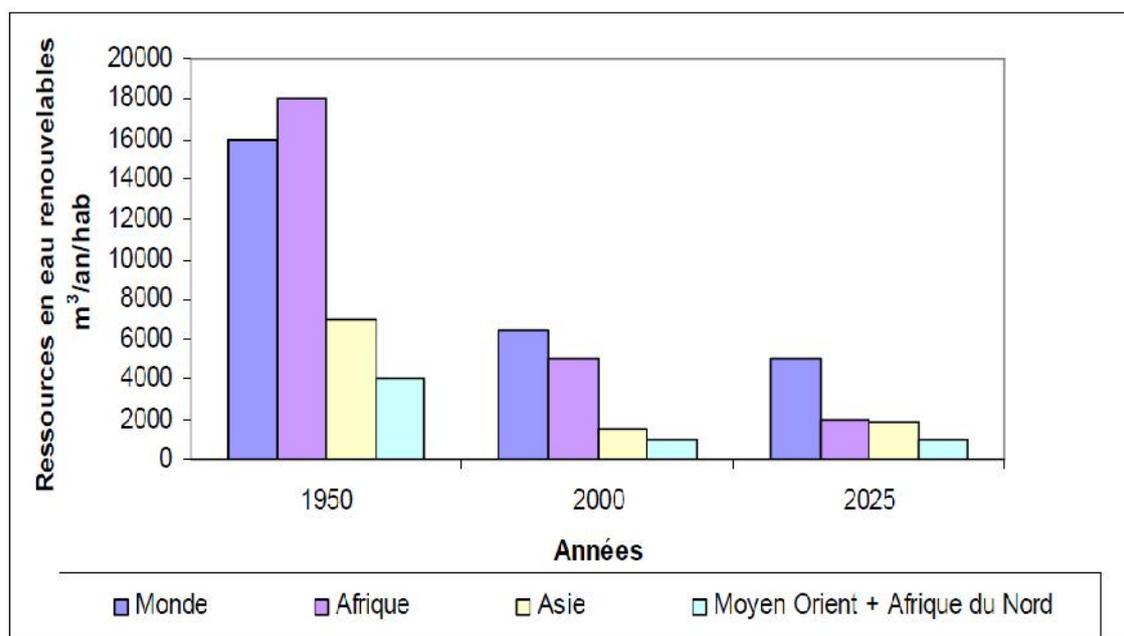


Figure I-1 Diminution au cours du temps des ressources en eau renouvelables et variation en fonction des régions[20].

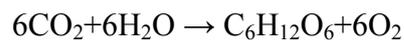
On peut aussi avoir des inégalités au niveau d'un pays, en Algérie, par exemple, 75% des ressources renouvelables sont concentrées sur 6% du territoire ; Les besoins en eau sont très variables suivant les pays. Il y a les pays en voie de développement peu industrialisés, la consommation n'excède pas 40 l /jour /habitant, tous usages compris. Mais, il y a des états industrialisés où la consommation journalière atteint plusieurs milliers de litres par personne en additionnant les besoins domestiques, industriels et agricoles.

I-3-1-Usages domestiques :

Les usages domestiques concernent les diverses activités de lavage, d'évacuation des déchets, d'hygiène personnelle, d'arrosage des jardins a travers le monde, la consommation journalière pour les besoins domestiques est très variable suivant les pays. Elle est de 600 l aux Etats-Unis, 250 à 300 l en Europe, 30 l en Afrique (5 l à Madagascar). D'une manière générale, la consommation d'eau potable par habitant est en augmentation dans la plupart des pays, à l'exception notoire de l'Egypte où la rareté physique de l'eau est déjà un problème préoccupant.

I-3-2-Usages agricoles :

A l'échelle de la planète, les usages agricoles représentent près des trois quarts des consommations d'eau. L'eau constitue en effet un facteur limitant de la production végétale ,Elle est présente en abondance dans les tissus végétaux (jusqu'à 95% de leur poids). Elle maintient leur turgescence et assure le transport et les échanges de matières dissoutes à l'intérieur des plantes. L'eau est également partiellement métabolisée puisqu'elle est, avec le gaz carbonique, l'une des matières premières des réactions de photosynthèse :



Enfin, les plantes transpirent c'est-à-dire qu'elles cèdent à l'atmosphère de l'eau sous forme de vapeur : c'est l'évapotranspiration qui est d'autant plus importante que le pouvoir évaporant de l'atmosphère sera plus élevé, On admet que la fabrication d'un kg de matière sèche végétale nécessite environ entre 300 l d'eau en climat humide et 1000 l en climat semi-aride. [20].

Tableau I-2: Bilan en eau d'une culture de maïs en pays tempéré [1].

	Eau métabolisée	eau de constitution	Eau transpirée
M ³ d'eau/ha	20	55	5300
Hauteur d'eau(mm)	2	5.5	530
Kg d'eau/ kg de matière sèche	1.2	3.2	311

I-3-3-Usages industriels :

Dans l'industrie, l'eau est employée comme solvant, comme diluant ou comme vecteur de dispersion des polluants les plus divers. Les industries de transformation sont de grosses consommatrices d'eau, comme le montre le tableau suivant :

Tableau I-3 : consommation d'eau dans les industries de transformation [1].

Industrie	Eau nécessaire
Raffinage d'1 t de pétrole	10t d'eau
Distillation d'1 t d'alcool	100t d'eau
Fabrication d'1 t de pâte papier	250t d'eau
Fabrication d'1 t d'acier	270t d'eau
Fabrication d'1 t de fibres synthétiques	5000t d'eau

I-3-4- Indicateurs de ressources : seuil de tension, seuil de pénurie :

Rapportées aux populations, les ressources en eau par habitant sont révélatrices des niveaux de richesse ou de pauvreté d'un pays. On distingue en général deux seuils : le seuil de pauvreté ou de tension et le seuil de pénurie avec les valeurs limites suivantes :

Tableau I-4: Seuil de tension, seuil de pénurie [1]

	Ressources en m ³ /an /habitant
Seuil de tension	≤ 1000
Seuil de pénurie	≤ 500

L'indice d'exploitation I_{exp} est, aussi un indicateur intéressant à connaître, pour un pays donné, car il permet de quantifier les marges disponibles :

$$I_{exp} = \frac{\text{Quantités d'eau prélevées}}{\text{Ressources renouvelables disponibles}}$$

Il est généralement admis que les indices d'exploitation égaux ou supérieurs à 25% sont révélateurs de tensions locales. Au dessus de 50 %, ils annoncent des pénuries conjoncturelles régionales plus fréquentes. Aux approches de 100 %, et a fortiori au dessus ils indiquent des pénuries structurelles généralisées. [1]

I-4- Situation de l'Algérie :

En 1990, vingt pays ont été classés en dessous du seuil de tension. En fait ces seuils ne sont qu'indicatifs et sont basés sur les besoins en eau supposés de pays situés en zone aride ou semi aride.

L'Algérie faisant partie de ces pays, avec sa superficie de 2,381.741 km² est divisée en 48 wilayas , dont près de 80% du territoire représente une zone désertique. Les ressources en eau sont donc peu abondantes, irrégulières et localisées dans la bande côtière, l'apport total de précipitations serait de l'ordre de 100 milliards m³ d'eau par an,Elles correspondent globalement à 12.4 milliards de m³ pour les eaux de surface et 2.8 milliards de m³ d'eaux souterraines dont 800 millions de m³ dans le Sud (ressources en eau inrenouvelables).

Les potentialités en eau du pays sont estimées à un peu moins de 20 milliards de mètres cubes, dont 75% seulement sont renouvelables (60% pour les eaux de surface et 15% pour les eaux souterraines). Les ressources non renouvelables concernent les nappes du Sahara septentrional qui seraient exploitées comme un gisement et qui se traduit donc par un abattement continu du niveau de ces nappes. [2]

I-5- Disponibilités en eau en Algérie :

L'Algérie comptera en 2014, à la fin du programme quinquennal 2010-2014 environ 80 barrages avec une capacité globale de stockage de 9 milliards de mètres cubes. Tout porte à croire qu'avec une telle capacité, l'équation de l'eau potable sera définitivement résolue en Algérie.

Le nombre de barrages a connu ces dix dernières années une augmentation de plus de 50%. Concrètement, en 1999, l'Algérie comptait 44 barrages en exploitation avec une capacité globale de remplissage estimée à 3,3 milliards de mètres cubes. Aujourd'hui, il existe 65 barrages en exploitation sur tout le territoire national avec une capacité de remplissage de 7,5 milliards de mètres cubes. [22]

I-5-1- Les ressources en eau de surface :

Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m³ (XIX^{ème} Congrès géologique international ALGER – 1952) pour les bassins tributaires de la Méditerranée (123000 km²), c'est-à-dire sans tenir compte des bassins qui dépendent des chotts. Dans les dernières études menées dans le cadre du Plan National de l'eau par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et de la Direction des Grands Aménagements Hydrauliques (DGAIH) et qui intègrent des années de sécheresse, les ressources en eau de surface sont évaluées à 12.4 milliards de m³ répartis par bassin hydrographique selon le tableau suivant :

Tableau I-5 : Répartition des eaux de surface[3]

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chelif Zahrez	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellègue	Sud	Total
Ressources pot. (hm ³ /an)	1025	1840	4380	4500	600	12,34
Pourcentage (%)	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100.0

Les débits sont irréguliers dans l'année avec des étiages souvent nuls et des crues de courtes périodes mais violentes, causant une érosion à l'amont et des inondations à l'aval. Avec une irrégularité interannuelle. [3]

I-5-2- Les ressources en eaux souterraines :

A) Dans le Nord du pays :

les eaux souterraines ont été évaluées par les services techniques de l'ANRH et la DGAIH dans le cadre du Plan nationale de l'eau à environ 1,9 milliard de m³. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%; beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique.

Actuellement, on estime à plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle ,La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit :

Tableau I-6 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays[3]

Bassin hydrographique	Oranie chott chergui	Chelif Zahrez	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellègue	Total
Ressources pot. (hm ³ / an)	375	231	745	543	1894
Total (%)	19.7	12.2	39.2	28.9	100

Si on peut considérer que l'évaluation des potentialités en eau souterraines (1,8 à 2 milliards de m³) est déjà faite, il reste que la connaissance de cette ressource est à parfaire. Pour ce qui est d'abord de l'évaluation, elle est basée selon l'ANRH sur des études de modèles, de bilans ou simplement sur la relation pluie-infiltration. A l'inverse des ressources en eau souterraines situées dans le Sud, les réservoirs du Nord du pays sont renouvelables, ils concernent au total

126 nappes principales. Les nappes ayant fait l'objet d'une modélisation sont au nombre de huit (8) et représentent 35% du potentiel des eaux souterraines de l'Algérie du Nord.

Il s'agit des nappes du plateau de Mostaganem (27 hm³), de la plaine de Ghris (70 hm³), de la plaine de Sidi Bel Abbés (44 hm³), du Chott Chergui (42 hm³), de la plaine d'Ain Oussera (27 hm³), de la Mitidja (310 hm³), du Hodna (110 hm³) et de la plaine de Annaba (32 hm³).

Vingt trois (23) nappes ont fait l'objet d'études hydrogéologiques et représentent 25 % du potentiel des eaux souterraines. Enfin, pour 38 % des ressources en eau souterraines, l'évaluation n'est que très approximative (évaluation par la méthode pluie-infiltration). Quarante deux (42) nappes ont fait l'objet de ce type d'évaluation et certaines d'entre elles ont un potentiel de plus de 50 hm³.

B) Dans le Sud du pays :

Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraines considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) exploité à 56% et le reste est du Complexe Terminal (CT), le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 800 millions de mètres environ, les pourcentages d'exploitation sont indiqués sur le tableau ci-dessous :

Tableau I-7 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud[3]

Wilaya	Prélèvements possibles (Hm ³ /an)		
	Continental intercalaire	Complexe Terminal	Totaux
Biskra	24,6	9,3	33,9
El Oued	310,5	713,9	1024,4
Ouargla	507,0	1446,2	1953,2
Ghardaïa	559,9	-	559,9
Adrar	1180,1	-	1179,3
Tamanrasset	184,8	-	184,8
Totaux	2766,9	2169,4	4936,3

I-5-3- Les eaux de mer et les eaux saumâtres :

A la suite d'une sécheresse chronique vécue par l'Algérie depuis plus de deux décennies et la demande en eau croissante, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, à savoir le dessalement d'eau de mer, des eaux saumâtres et le recyclage des eaux usées afin de pouvoir

compenser le déficit en eau enregistré, avec un littoral de 1200Km, la ressource est pratiquement inépuisable, La population ainsi que les industries grandes consommatrices d'eau se trouvent à proximité de la mer, ce qui réduit davantage les prix de revient du m³ d'eau dessalée; Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement des différents procédés; La disponibilité de la ressource énergétique ou la combinaison de sa production, Le coût du m³ d'eau dessalée est en nette régression alors que le coût du m³ d'eau conventionnelle est en nette progression ,Ce sont les avantages qui ont rendu le recours aux ressources non conventionnelles de plus en plus favorable.

I-6- L'expérience Algérienne en matière de dessalement :

La variante du dessalement de l'eau s'avère la solution convenable : le pays dispose de 1200 km de cotes sur la mer méditerranée. La première installation de dessalement remonte à l'année 1964 à Arzew, d'une capacité de 576m³/j travaillant en Multiples effets. L'installation de l'usine de Mostaghanem en 1980 a été la plus grande du monde à cet époque, produisant environ 57.600 m³/j, Les techniques de dessalement qui ont été adoptées sont très diversifiées, pratiquement tous les procédés membranaires et de distillation, divers organismes interviennent dans la construction des stations de dessalement (tutelle et exploitation): Ministère des ressources en eau (représenté par l'Algérienne Des Eaux : ADE),SONATRACH (la Compagnie nationale pétrolière), SONELGAZ (la Compagnie nationale de l'électricité et du gaz), la Compagnie nationale « l'Algérienne de l'Energie » (créée récemment entre SONATRACH et SONELGAZ), la société privée Tongo, etc. La sécheresse qui a touché le pays en 2001, a poussé le gouvernement à mettre en place un grand programme de dessalement :

- Secteur d'eau potable : un programme d'action géant et très promoteur est déjà dressé et son application a commencé depuis 2001 au niveau du Ministère des ressources en eau pour installer Un programme de 15 stations afin de produire de l'eau potable avec une capacité totale de **2,5 millions m³/j** dont 13 stations seront opérationnelles d'ici 2014.
- Secteur de l'eau industrielle : le programme est actuellement à un état avancé, sous la tutelle de l'Algérienne de l'Energie, pour construire trois importantes stations produisant un débit total de 360.000 m³/j pour les besoins de l'industrie. [21]

I-6-1-Les stations existantes :

Sur les 56 stations réalisées, 22 fonctionnent par la technique d’osmose inverse et produisent plus de 60% de la capacité totale installée. (Figures 2et 3) [21].

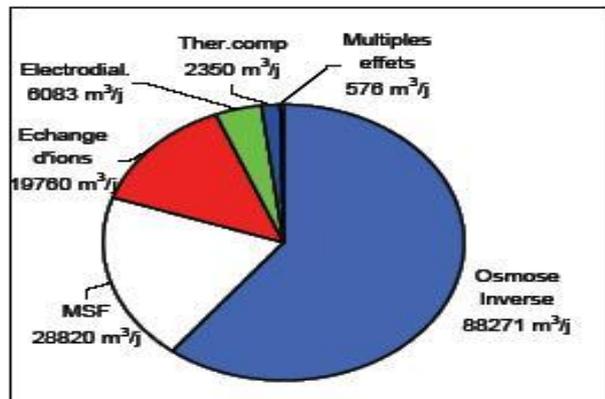


Figure 2: Capacités de production des différentes techniques

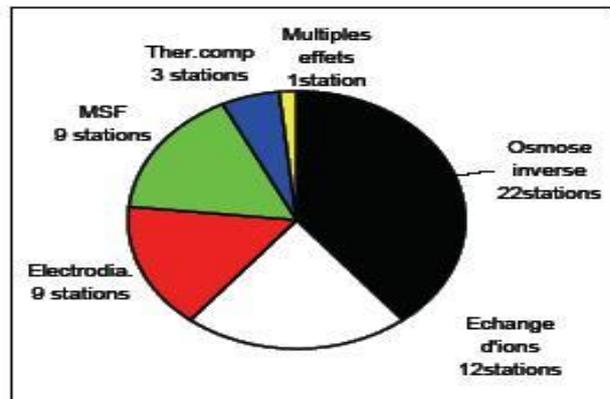


Figure 3: Nombre de stations pour les différentes techniques

I-6-2-Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau:

Pour l’alimentation en eau potable, deux installations seulement ont été réalisées :

- L’installation de l’Ouenza dans la wilaya de Guelma, type Osmose Inverse et d’une capacité de production de 3.360 m³/J .
- L’installation de Ouled Djellal, type électrodialyse et dont la capacité de production est de 4.320m³/J mise en service en 1981.

I-6-3-Stations installées par la Compagnie «SONELGAZ»:

Pour des besoins de production d’énergie électrique et compte tenu de l’insuffisance et de la qualité des eaux distribuées dans les réseaux d’AEP, SONELGAZ a doté chacune de ces nouvelles centrales à vapeur, d’unité de dessalement d’eau de mer pour produire de l’eau nécessaire à l’appoint des chaudières (Tableau I-8).

Tableau I-8 : Stations exploitées par Sonelgaz [21].

Centrale	Capacité(m ³ /j)	Technique	Année d’installation
Mers el Hadjadj	1500	Thermo compression	1977
Mers el Hadjadj	2000	MSF	1991
Mers el Hadjadj	500	Thermo compression	1989
Cap Djinet	2000	MSF	1985
Djidjel	2000	MSF	1992
Djidjel	500	Osmose inverse	1992

I-6-4-Stations installées par la Compagnie «SONATRACH»:

A l’époque de l’inauguration de la station de Mostaganem par la Campagne citée plus haut, dont la capacité est de 57600 m /j, cette dernière a été la plus importante du

monde, la plus grande expérience dans le domaine de dessalement , ainsi que le plus grand nombre de stations installées revient à la Compagnie «SONATRACH», 31 centrales ont été construites pendant 18 ans : de 1964 à 1982. C'est l'équivalent de $107.401 \text{ m}^3/\text{j}$ produits par les différentes techniques , et dont la qualité de l'eau d'alimentation a été très diversifiée (eau de mer, eau chargée de barrage, eau saumâtre souterraine (voir tableau I-9).

Tableau I-9: Stations exploitées par Sonatrach [21]

Centrale	Capacité(m^3/j)	Technique	Mise en service
Arzew	576	Multi effets	1964
Arzew	4560	MSF	1969
Skikda	1440	MSF	1971
Skikda	720	MSF	1971
Skikda	1440	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	960	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	3600	Echangeurs d'ions	1973
Ghazaouat	840	Echangeurs d'ions	1974
Arzew	3888	Electrodialyse	1975
Arzew	960	Echangeurs d'ions	1975
Hassi Messaoud	1000	Electrodialyse	1975
Hassi Messaoud	110	Electrodialyse	1976
Gassi Touil	55	Electrodialyse	1977
Arzew	350	Thermo-compression	1978
Annaba	14180	MSF	1978
Hassi Messaoud	350	Electrodialyse	1978
Bel Abbes	1500	Echangeurs d'ions	1978
Haoud Berkaoui	55	Electrodialyse	1979
Hassi Messaoud	300	Electrodialyse	1979
Rhourd El Baguel	25	Electrodialyse	1979
Arzew	960	MSF	1979
Annaba	144	Echangeurs d'ions	1979
Annaba	576	Echangeurs d'ions	1979
Bassi-Rmel	792	Osmose d'inverse	1979
Annaba	6240	Echangeurs d'ions	1980
Ghardaia	960	Osmose d'inverse	1980
Arzew	960	MSF	1980
Mostaganem	57600	Osmose d'inverse	1980
Rhourd El Baguel	300	Electrodialyse	1981
Annaba	1800	Echangeurs d'ions	1981

I-6-5-Stations installées par d'autres Compagnies:

Des petites stations sont aussi construites par des Compagnies du secteur économique privé pour répondre aux besoins de la production, comme la station construite par la Compagnie Tongo à Rouiba –Alger (production de boissons alcoolisées), donnant un débit de 1500 m³/j. (Tableau I-9).

Tableau I-9: Stations installées par d'autres Compagnies [21]

Campanie	Localité	Capacité(m ³ /j)	Technique	Réalisée par	Année d'instal
Tongo	Rouiba	1500	Echangeur d'ions	Chriwa :Allemagne	2000
Brasserie la bavaroise	annaba	35	Osmose inverse	Chriwa :Allemagne	2000

I-6-6-Station expérimentale du Centre de Développement des EnergiesRenouvelables CDER :

C'est la Station expérimentale de Hassi- khebbi (Béchar): d'une capacité de 20,4 m³/j dont le procédé est l'osmose inverse, et fonctionnant à l'énergie solaire. Cette station est destinée au dessalement des eaux saumâtres souterraines dont la salinité est de 3,5 g/l afin d'alimenter en eau potable la localité de Hassi Khebbi comptant 800 Habitants. La station a une configuration permettant de travailler à un taux de conversion de 31% sous une pression de 12 bars. Cette installation dont la date de mise en oeuvre remonte à 1975, se trouve actuellement à l'arrêt à cause des problèmes d'entretien.

I-6-7-Le programme d'urgence (2002- 2003) :

Le programme de dessalement annoncé au début de l'année 2002 a prévu la construction de 21 petites stations mobiles monoblocs, d'une capacité totale de **57 500 m³/j**. Celles-ci ont été réalisées, dans le cadre d'un programme d'urgence, dans sept wilayas de la bande côtière, Deux grands opérateurs ont un quasi- monopole d'intervention en matière de réalisation de ces usines, il s'agit de l'Algérienne des eaux (ADE) et l'Algerian Energie Company (AEC) dont Sonatrach et Sonalgaz se partagent la propriété des actions, quoique leur production ne soit que 70% par rapport à leur capacité réelle.

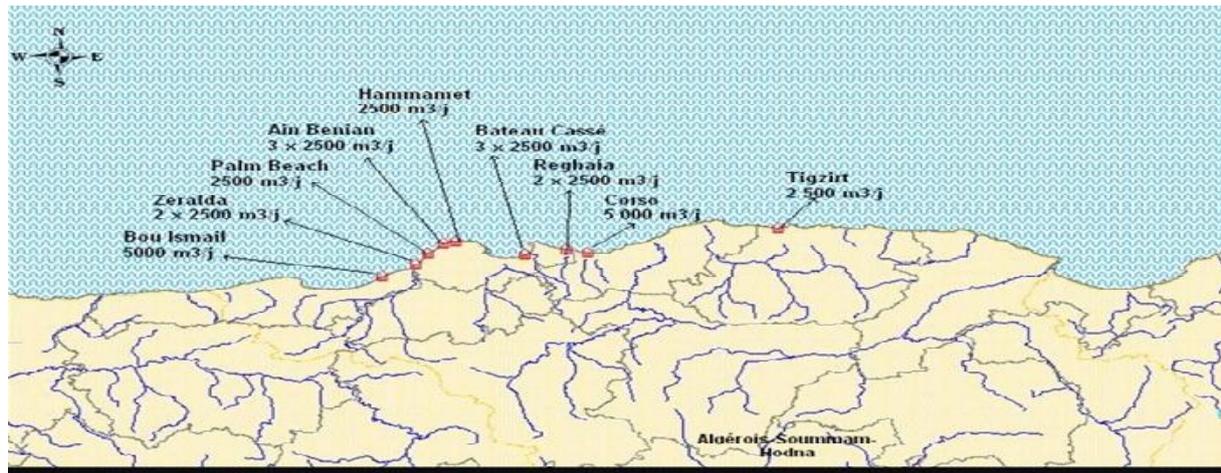


Figure I-4 : Répartition des stations monoblocs [21]

Tableau I-9 : Les Stations Monoblocs réalisées [21]

Wilaya	Site	Commune	Capacité m ³ /j	Population à servir
Alger	Palm beach	Staoueli	2500	16660
Alger	Champ de tir	Zéralda	5000	33330
Tlemcen	Ghazauoet	Ghazaouet	5000	33330
Tipasa	Bou Ismail	Bou Ismail	5000	33330
Skikda	L.BenMhidi	L.BenMhidi	7000	47000
Tizi ousou	Tigzirt	Tigzirt	2500	16660
oran	Bou sfer	Bou sfer	5500	33330
oran	Les dunes	Ain turk	5000	33330
Alger	La fontaine	Ain benian	5000	33330
A tamouchent	Bou zdjer	Bou zdjer	5000	33330
A tamouchent	Chatt el ward	Bou zdjer	5000	33330

I-6-8-Programme de réalisation des usines de dessalement:

L'objectif est la réalisation de 43 usines de dessalement opérationnelles d'ici 2019. Quinze grandes stations sont en cours de réalisation, certaines ont déjà été réceptionnées ; leurs capacité de production dépassent les deux millions de M³/J, une capacité plus importante que celle régulée par le grand barrage de l'Algérie (Beni Haroune) qui est destiné à alimenter 5wilayas à travers un transfert géant.

Tableau I-10 : Les 15 grandes Stations réalisées ou en cours de réalisation : [21]

Localité	Capacité (10 ³ m ³ /j)	Date de lancement des travaux	Date de mise en service Ou échancier prévisionnel	Observations
Kahrma (Arzew)	90	Mai 2002	Aout 2005	centrale électrique d'une capacité de production de 300 mégawatts
Skikda	100	Aout 2005	Février 2009	Pole hydrocarbures et AEP
El Hamma (Alger)	200	Décembre 2003	Février 2008	
Béni Saf - A. Témouchent	200	Novembre 2004	Juin 2010	
Fouka - Tipaza	120	Mai 2007	Juillet 2011	- Alger: 60000 m ³ /j - Tipasa: 60000 m ³ /j
Souk Tleta - Tlemcen	200	Avril 2007	Février 2011	--
Macta (Oran)	500	2007	2012	--
Mostaganem	200	Juin 2006	2011	--
Oued Sebt (Tipaza)	100	Janvier 2009 Octobre 2008	--	Accuse beaucoup de retard (Problème de remontée de la nappe)
Cap Djinet (Boumerdes)	100	Juillet 2008	Octobre 2012	--
Tenes (Chlef)	200	Décembre 2009	--	Projet attribué à Befesa, est à l'arrêt depuis 2011
Honaine (Tlemcen)	200	Juillet 2006	2012	--
Echatt (El Taref)	50	Octobre 2006	2012	
Djijel	100	--	--	Le projet est différé
Bejaia	100	--	--	Le projet est différé
Total : 15 Stations	2460	--	--	--

Avec la mise en service des 13 grandes stations de dessalement on arrive à mobiliser 2.260.000M³/j ,soit 33% des besoins en eau (7.000.000 M³/j).

II-1- Introduction :

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

En général, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douces sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle. Le dessalement de l'eau de mer est un enjeu important pour l'avenir des régions arides. [20]

Une des solutions pour pallier à ce manque d'eau potable sont les stations de dessalement. Le dessalement est une technique intéressante au vu de l'abondance de la matière première : l'eau de mer et les eaux saumâtres. Celles-ci permettent de produire de l'eau grâce à des techniques particulières, Le marché du dessalement connaît une forte hausse, dans les pays en situation de manque d'eau, et particulièrement ces dernières années avec l'amélioration des techniques utilisées (plus 15% par an) du volume d'eau produit par dessalement, il est actuellement autour de 45 millions m³/jour. Ces techniques se distinguent en deux familles : la distillation thermique, et les techniques à membranes. Ces techniques très intéressantes au premier abord posent toutefois des problèmes lors de leurs exploitations et des problèmes pour la protection de l'environnement (les rejets de saumure).

II-2- Caractéristiques de l'eau de mer et saumâtres :

Les caractéristiques des eaux sont définies principalement selon le type:

II-2-1/LES EAUX SAUMATRES :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Les eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en traversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le NaCl.

II-2-2/L'EAU DE MER :

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne de l'eau de mer est de l'ordre de 35 g/l, cependant cette valeur varie fortement selon les régions et la saison : Mer Baltique : 7 g/l, Mer méditerranée : 36 à 39 g/l, Golfe Persique : 40 à 70 g/l, Mer morte : 270 g/l.

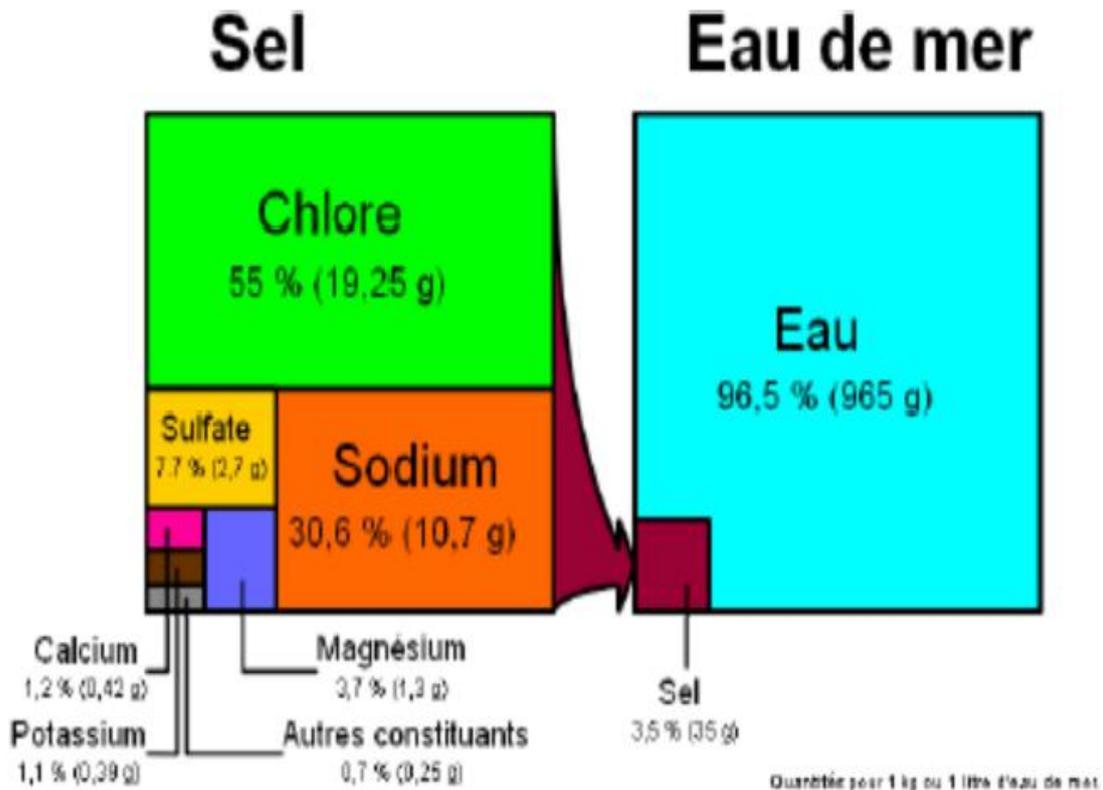


Figure II-1 : Répartition de la composition d'une eau de mer[4]

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 g/l et 8,4g/l : l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

Les eaux de mer sont une source d'eau brute, caractérisées par leur concentration en sels dissous : c'est ce qu'on appelle leur salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg /l, la valeur moyenne est de 34500 mg/l. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques, en revanche, les eaux situées près de l'embouchure de fleuves importants ont habituellement une salinité plus faible. [4]

Tableau II-1 : Valeurs moyennes de la minéralisation de l'eau des mers et des océans [1]

MER OU OCÉAN	SALINITÉ (mg/l)
Mer Baltique	7000
Mer Caspienne	13500
Mer Noire	20000
Mer Adriatique	25000
Océan Pacifique	33600
Océan Indien	33800
Océan Atlantique	36000
Mer Méditerranée	39000
Golfe Arabique	43000
Mer Rouge	43000
Mer Morte	270000

Généralement on appelle eau saumâtre une eau saline non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer et qui varie de 1 à 10 g/l. Elle se présente soit sous forme d'eau de surface, soit sous forme d'eau souterraine. [1]

II-3- Historique du dessalement :

Dés le IV^e siècle, Aristote observe le principe de distillation et les premiers appareils industriels de distillation sont apparus probablement dans la première moitié du XIX^e à bord des navires, les marins ont dessalé l'eau de mer à partir de simples bouilleurs sur leurs bateaux, mais l'utilisation à des fins industrielles est récente.

Les efforts de recherches dans le dessalement initiés par les états unis à partir des années 1950. En 1952, un organisme a été créé sous tutelle du ministre de l'intérieur : « l'office of Saline Water » et ayant pour mission de promouvoir des études économiques concernant le dessalement de l'eau.

En 1962, le premier symposium européen à Athènes « eau douce à partir de l'eau de mer ». [1]

Et dans le monde arabe Le Koweït, qui a construit la première usine au cours des années 50, est presque entièrement dépendant de quatre usines de dessalement pour sa consommation urbaine et industrielle (200 million de m³/an) : ce sont des eaux souterraines.

L'Arabie saoudite a mis en œuvre depuis les années 60 le programme de dessalement le plus ambitieux. Elle compte 23 complexes de dessalement, elle est le premier producteur mondial, elle a investi de 1980 à 1985 plus de 10 milliards de \$ dans la construction d'unités de dessalement, la plupart des villes saoudiennes sont alimentées par une eau dessalée grâce à un réseau de canalisations qui achemine l'eau depuis les usines de la Mer Rouge ou du Golfe persique.

Le Qatar dépend essentiellement de l'eau dessalée pour la satisfaction de ses besoins, il en est de même pour Bahreïn, le sultanat d'Oman est le dernier à avoir recours à ces techniques, les volumes d'eau dessalée par les pays arabes sont récapitulés sur le tableau suivant :

Tableau II-2 : Volumes d'eau dessalée par les pays arabes [21]

1990	MILLIONS m ³ /an	%
Arabie saoudite	795	43,5
E.A.U	342	18,8
Koweït	240	13,1
Libye	130	7
Qatar	83	4,5
Tunisie	81	4,4
Irak	73	4
Bahreïn	56	3
Oman	32	17
total	1832	100

➤ Remarque : le Volumes d'eau dessalée par l'Algérie en 2009 est : 825 millions m³ /an.[8]

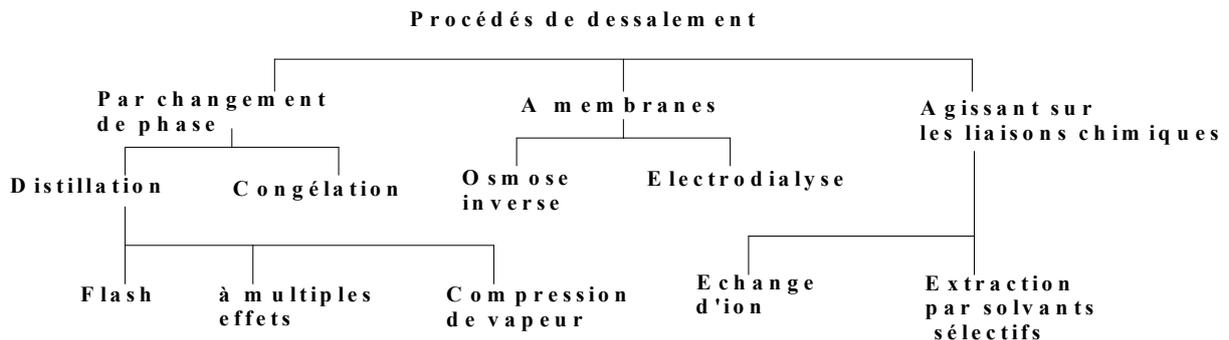
II-4- Classification des différents procédés de dessalement :

On peut classer les méthodes de dessalement en fonction des procédés utilisés pour se faire, un auteur a recensé 27 procédés différents de dessalement, soient :

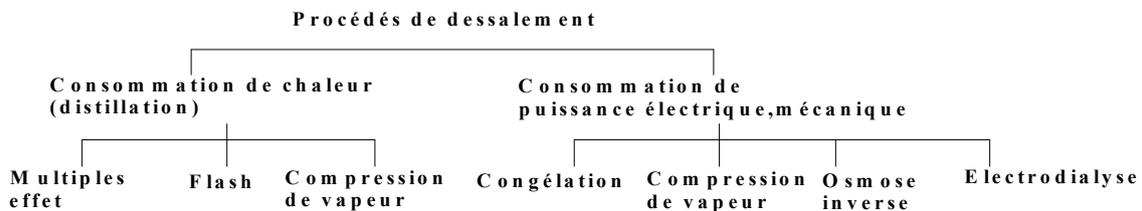
- Les procédés qui font intervenir un changement de phase (distillation et congélation).
- Les procédés qui utilisent des membranes (électrodialyse et osmose inverse).
- Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques (échange d'ions et extraction par solvant sélectif).

Ces procédés peuvent être classés plus précisément, soit :

A) Selon le principe sur lequel ils se basent :



B) Selon le type d'énergie consommée :



II-4-1- Distillation :

Les premières unités de distillation d'eau de mer sont apparues à bord des navires. Elles occupent aujourd'hui 70 % des usines de dessalement dans le monde, elles comportent une vaporisation en fournissant de l'énergie sous forme de chaleur (procédés thermiques) ou sous forme de travail mécanique (procédés par thermo compression), puis une condensation et enfin une récupération de chaleur libre par condensation, C'est une opération qui transforme par chauffage ou par réduction de pression l'eau de mer en vapeur exempte des impuretés dissoutes dans le liquide. Par condensation, cette vapeur donne une eau de grande pureté. Dans les distillateurs modernes, la température de travail oscille entre 95 et 125°C. On obtient par ce procédé une eau douce de salinité toujours inférieure à 100 ppm qui nécessite une reminéralisation lorsqu'elle est destinée à la consommation. [5]

on distingue :

❖ Distillation thermique :**a-Distillation à simple effet (bouilleur marine) :**

Les premières unités de dessalement d'eau de mer sont apparues à bord des navires, c'était dans la plupart des cas des bouilleurs à simple effet à faisceau noyé : l'eau de mer était chauffée dans une enceinte étanche contenant dans sa partie basse de l'eau de mer à distiller chauffée par la vapeur d'un fluide de chauffage circulant dans un faisceau tubulaire qui traverse cette eau de mer et en provoque l'ébullition. La vapeur formée était condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute du récipient et parcouru par de l'eau de mer froide.

b- Distillation à multiples effets (Multi Effet Distillation : MED) :

Il s'est avéré nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet afin d'augmenter le rendement du procédé en récupérant la chaleur d'apport pour une nouvelle distillation et le processus s'effectue comme suit :

- Dans la première cellule de distillation, l'eau de mer ruisselle sur un serpentin de tubes chauffés ou sur des plaques, grâce à la chaudière. Elle se transforme ainsi en vapeur à seulement 70°C, grâce à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Cela évite l'entartrage des tuyaux .
- L'eau de mer non transformée en vapeur s'accumule au fond de la cellule. Elle se concentre davantage de sels car celui-ci n'est pas vaporisable .
- L'eau est pompée, puis envoyée dans la cellule 2 .
- La vapeur entre dans la deuxième cellule, puis se condense dans le serpentin. Ce passage à l'état liquide dégage assez d'énergie pour en céder à l'eau de mer. Celle-ci ruisselle sur les tubes ainsi chauffés et se vaporise.
- Le même processus se répète dans la troisième cellule. En pratique, on peut placer en série jusqu'à 6 ou 7 cellules de distillation.
- Le dernier serpentin est refroidi par l'eau de mer .
- La vapeur condensée dans les serpentins donne de l'eau douce. Il faut 2 à 4 litres d'eau salée pour obtenir 1 litre d'eau douce.

b-1-Distillation par longs tubes verticaux :

L'eau de mer admise en A bout en descendant par les tubes B et la vapeur sert de source de chaleur pour l'étage suivant. Seul le premier est alimenté en vapeur spécialement produite. La vapeur en C se condense sur les tubes et l'eau douce est collectée en D. Comme la montre la figure ci après.

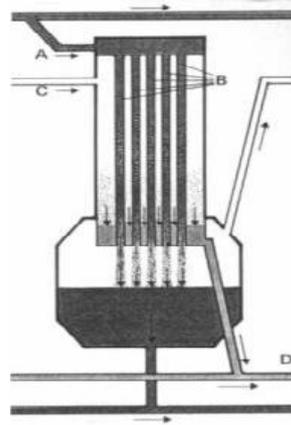


Figure II-2 : Distillation par longs tubes verticaux.[6]

b-2-Distillation par longs tubes horizontaux :

Appelés aussi HTME dans la littérature anglo-saxonne (Horizontal Tube multiple Effect) dont le développement industriel date seulement d'une vingtaine d'années, constitués essentiellement de faisceaux tubulaires horizontaux chauffés intérieurement par de la vapeur et arrosés extérieurement par l'eau de mer.

c- Distillation multi- stage Flash (MSF) : par détonnes successives :

Le procédé Flash est relativement ancien, la première unité est installée en 1928 en URSS mais a reconnu un essor notamment dans les pays du Golfe à partir des années 1960 par l'installation d'une unité de 4500 m³ au Koweït en 1957. Ce procédé était développé à la suite des difficultés rencontrées dans la distillation à multiples effets par l'entartrage des surfaces d'échange d'ions. Il consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée de chauffage, elle est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite, il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash, cette vapeur va se condenser, le phénomène se reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression plus faible ; la vaporisation de l'eau est réalisée par détonnes successives de températures excessives jusqu'à T_{max} et de pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

c-1-Distillation par thermo compression :

Le mélange d'eau de mer et de saumure est introduit par la pompe E autour des tubes F du condenseur. Le compresseur G injecte dans la chambre de la vapeur d'eau qui évapore de l'eau salée ce qui entretient la masse de vapeur brassée par le compresseur. Constamment, une partie de la vapeur se condense dans les tubes verticaux, fournissant l'eau douce, collectée en H.

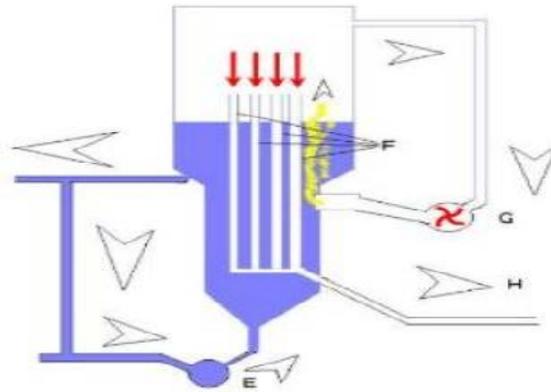


Figure II-3 : Distillation par thermo compression. [6]

c-2-Distillation solaire :

L'idée est très ancienne, utilisée par les grecs au III^e siècle avant J.C, dont le principe est le suivant : Soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une lame d'eau saline de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau (douce) qui se condense au contact de la paroi relativement froide du verre. Les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies en bas du vitrage dans une gouttière. [6]

II-4-2-Congélation :

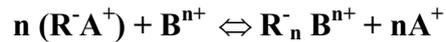
Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ -2°C , il y a formation de cristaux de glace constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation. Si on fait baisser davantage la température, la production de glace augmente, le sulfate de sodium décahydraté a tendance à précipiter à -9°C . Pour produire de l'eau pure, il est donc préférable de ne pas refroidir l'eau au dessous de cette température, Le dessalement des eaux de mer est particulièrement intéressant dans les régions où la température est souvent inférieure à 0°C , car dans ces conditions on peut aménager des bassins à ciel ouvert, Lorsque la température est suffisamment basse on remplit ces bassins sur une hauteur de 10 à 15 cm, lorsque la couche de glace atteint une épaisseur de 1 à 1,5 cm, on enlève la saumure et on recueille la glace. Qu'il ne reste plus qu'à laver et à faire fondre.[1]

II-4-3-L'échange d'ions :

L'échange d'ions est un procédé utilisé dans le but de déminéralisation ; il consiste à éliminer les sels ; par la mise en contact d'une solution saline avec une substance insoluble

appelée : échangeur d'ions, c'est des résines dont la plupart utilisées de nos jours sont des matières synthétiques produites à partir d'un polymère : des chaînes de polystyrène reliées entre elles par du di vinylbenzène, se présentant sous forme de granulés de 0,3-0,6 mm ou sous forme de sphères irrégulières.

La résine comporte dans sa structure des radicaux susceptibles d'attirer un ion positif ou négatif de la solution saline et rejette un autre de même signe, c'est un phénomène de permutation interprété par l'équation suivante :



Selon le type de radicaux on distingue :

- Résines échangeuses de cations : consiste à remplacer les cations contenus dans la solution saline par des ions H^+ ou Na^+ (permutation acide ou sodique) ;
- Résines échangeuses d'anions : permet d'effectuer un échange hydroxyle en permutant les anions du liquide à déminéraliser par des ions OH^- .

Pour obtenir une eau déminéralisée on effectue l'échange d'ions avec les deux types de résines, les ions H^+ et OH^- donnent en se combinant de l'eau H_2O .

Ce procédé est appliqué avec une certaine limite de salinité de 1000 ppm, c'est pour cela qu'il s'applique à des eaux de rivières et de nappes souterraines ayant une faible salinité, pour l'alimentation de chaudière à haute pression dépassant même 50 bars et pour obtenir une eau de bonne qualité.

Les échangeurs d'ions sont à base de procédés spécifiques utilisés pour des usages bien précis. Il est donc important de bien déterminer d'abord les caractéristiques des eaux brutes et des eaux traitées, il faut ensuite identifier avec soin les prétraitements requis pour obtenir un rendement optimal de ce procédé.

Les résines peuvent être colmatées par toute sorte d'impuretés, elles doivent être régénérées, le coût des réactifs chimiques de régénération et les résines changées périodiquement limitent le domaine d'utilisation du procédé bien qu'il ne consomme que peu d'énergie. [5]

II-4-4- L'électrodialyse :

L'électrodialyse un procédé à membranes très ancien puisque la première installation date des années 1960, c'est une méthode électrochimique dans laquelle le sel est séparé de l'eau par transfert d'ions et migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. Elle repose sur la mise au point et l'utilisation de membranes

impermeables à l'eau et sélectives pour les ions. Ainsi seuls les anions peuvent traverser les membranes anioniques et seuls les cations peuvent traverser les membranes cationiques. Pour construire un électrodialyseur, on place dans un bac des membranes anioniques en alternance avec des membranes cationiques. Lorsque le bac est rempli d'une solution, on crée une différence de potentiel continue entre le premier et le dernier compartiment.

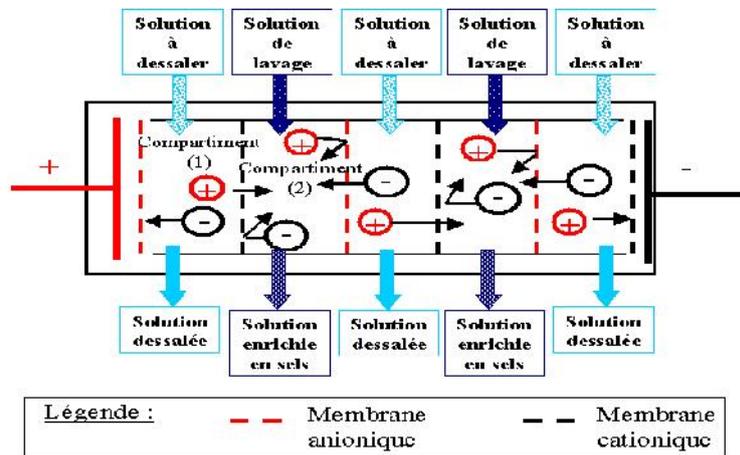


Figure II-4 : Schéma d'un électrodialyseur [6]

Par exemple, le sel (NaCl), lorsqu'il est dissout, donne dans l'eau des ions positifs de sodium (Na^+) et des ions négatifs de chlore (Cl^-), dans l'électrodialyse, La membrane qui laisse passer les cations Na^+ a la propriété d'arrêter les anions Cl^- ; celle qui est imperméable aux anions oppose une barrière infranchissable aux cations. Dans certains compartiments de l'enceinte, on peut donc collecter les ions retenus par chacune de ces deux membranes. Ainsi, des cellules où l'eau contient une concentration de sels alternent avec d'autres où l'eau a été dessalée. Lorsque l'eau est insuffisamment désionisée (dessalée), elle est extraite de ces cellules.

En fait, l'électrodialyse a surtout été envisagée jusqu'ici pour le dessalement d'eaux saumâtres, dont la salinité n'excède pas 1%, le procédé n'étant pas rentable pour des teneurs en sels supérieures. L'électrodialyse n'est pas non plus pratiquée pour traiter les eaux à moins de 0.04% de sels. Malgré ces limitations, plusieurs petites usines de dessalement par électrodialyse sont exploitées dans le monde sur des bases commerciales, en 2000, le marché du dessalement des eaux saumâtres par électrodialyse est dominé ; au niveau mondial ; par la société américaine Ionics. [6]

II-4-5- L'osmose inverse :

L'osmose est une diffusion sélective se produisant lorsque deux solutions de concentrations différentes sont séparées par une membrane semi-perméable, qui laisse alors passer le solvant de la solution la plus diluée vers la solution la plus concentrée ; la différence de potentiel chimique entre les deux solutions tend à faire passer l'eau du potentiel le moins élevé au potentiel le plus élevé. Le phénomène d'osmose est important chez les êtres vivants : il permet le passage des liquides et des sels solubles sous forme d'ions à travers les membranes cellulaires.

L'osmose inverse est une technique révolutionnaire de purification appliquée par les scientifiques de la N.A.S.A. pour recycler et purifier l'eau consommée par les cosmonautes lors des vols spatiaux. Dans ce procédé ; on sépare un réservoir en deux compartiments à l'aide d'une membrane semi perméable ; chaque compartiment étant ouvert à l'air libre. On remplit d'eau douce le premier compartiment : cette eau douce traverse la membrane vers la solution salée et la pression augmente au niveau de cette dernière. Le passage de l'eau à travers la membrane cesse lorsque la différence de pression entre les deux solutions est égale à la pression osmotique

Si on exerce sur la solution salée une pression supérieure à la pression osmotique (250 kPa pour l'eau de mer), de l'eau passe à travers la membrane de la solution la plus concentrée vers la solution la moins concentrée ; l'osmose inverse est donc une sorte d'hyper filtration.[6]

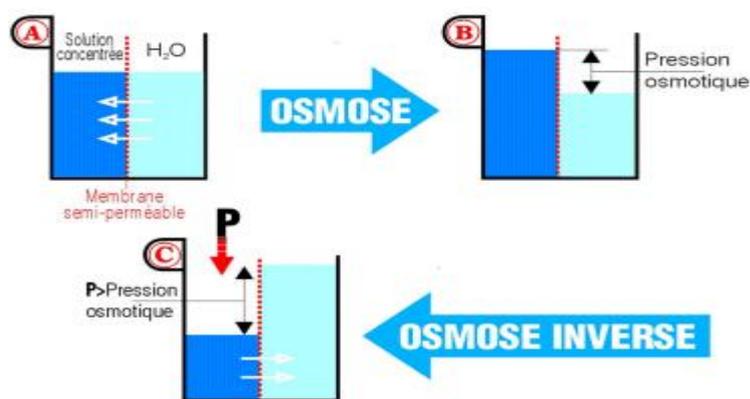


Figure II-5: Schéma d'un système de dessalement par osmose inverse[6]

II-5- Choix d'un procédé de dessalement :

Pour le choix d'un tel procédé de dessalement, plusieurs critères techniques et économiques rentrent en jeu. Pour les eaux saumâtres, l'osmose inverse est le procédé généralement retenu, alors que pour les eaux de mer, ce sont d'abord la nature et le coût qui orientent le choix vers une technologie plutôt que pour une autre et en tenant compte la minéralisation de l'eau.

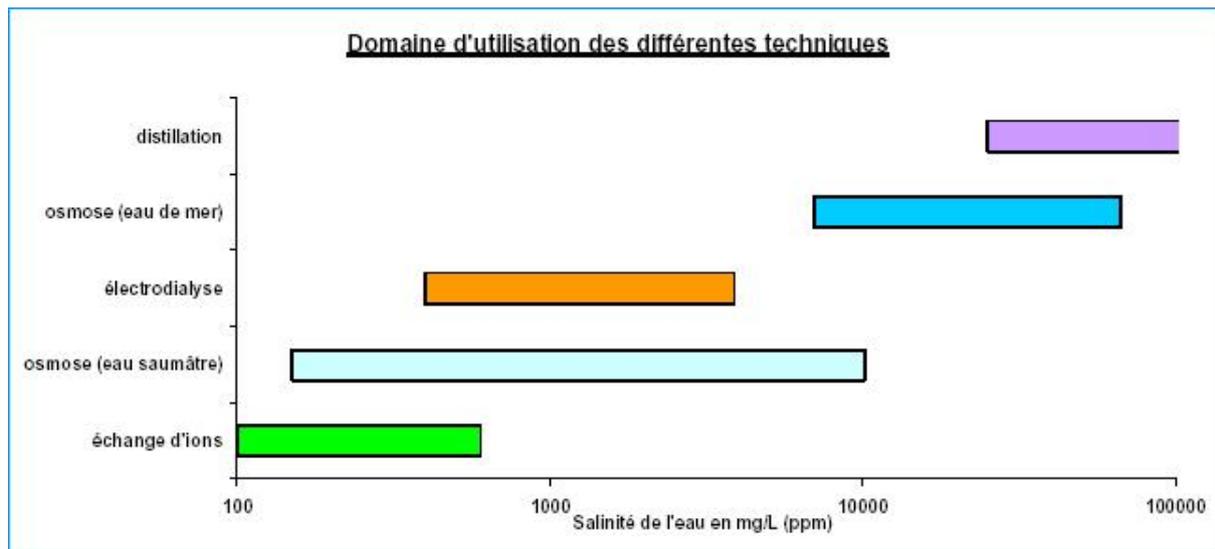


Figure II-6 : Salinité de l'eau à traiter en mg/l[7]

La distillation utilise principalement de l'énergie thermique et de ce fait n'est pas économique que lorsqu'elle est couplée à une centrale électrique (cogénération), alors que les membranes nécessitent de l'énergie électrique. Cela permet de comprendre pourquoi les pays du Moyen Orient producteurs du pétrole, sont principalement équipés en procédés par distillation dont les principaux avantages :

- Des performances et des coûts indépendants de la salinité : cela est intéressant dans les pays du golfe arabique où la salinité peut dépasser 45 g/l ;
- Un prétraitement simple : dégrillage et chloration sont généralement suffisant ;
- Une très faible salinité de l'eau produite (5 à 30 mg/l) voire moins.

Pour l'osmose inverse, les avantages sont :

- Une faible consommation énergétique environ 3 à 4 kw/m³ pour une eau de mer à 38g/l ;
- Un coût d'investissement plus faible d'environ 20 % ;

- Une gamme étendue de capacités de quelques litres par jour pour des équipements de survie à des installations de plus de 100.000 m³/j ;
 - Une salinité d'eau produite de 300 à 500 mg /l qui convient bien aux usages domestiques.
- On constate que l'osmose inverse est en concurrence avec les procédés de distillation sur le plan de capacités globales installées. Sur une production journalière voisine de 32 millions de mètres cubes, près de la moitié l'est par osmose inverse dont 3 millions de m³ est à partir de l'eau de mer.

Tableau II-3 : Situation mondiale des procédés de dessalement de 1969 à 1989[7]

Année de contrat	MSF %	OI %	Autres %
1969	75	2	23
1972	72	8	20
1974	70	12	18
1976	64	20	16
1978	64	22	14
1980	65	23	12
1984	65	23	12
1985	52	37	11
1986	33	47	20
1987	11	65	24
1988	0	87	13
1989	3	85	12

Après les membranes en acétate de cellulose, l'apparition de nouveaux modèles en polyamide, plus performants et plus résistants, fait décoller la part de l'osmose inverse. Ainsi, les coûts de dessalement par osmose inverse ont considérablement diminué au cours de ces dernières années, cela est dû aux progrès dans tous les domaines :

- Le taux de rejet de sels des membranes est passé de 98,8 % à 99,8 % (le passage de sels est réduit d'un facteur de 7 !).
- La consommation énergétique de 8 à 3 kw/m³.
- Les coûts de membranes diminuent de 70 %.

- La conception des éléments s'est améliorée (par exemple de 30 à 40 m³ pour l'aire d'échange des éléments standards).

Des futurs progrès attendus :

- Au niveau de la membrane, amélioration du facteur de passage de sels soit 99,9 % .
- Au niveau des modules, augmentation de leur taille, par exemple passage à 280 m² .
- Au niveau de récupération d'énergie par généralisation des échanges d'énergie par système pistons ou tournants .
- Au niveau du prétraitement, par ultrafiltration ou microfiltration. [7]

III-1-Introduction sur l'osmose inverse:

Un système chimique évolue naturellement d'une enthalpie libre (rôle du potentiel) plus élevée vers une plus faible (premier principe de la thermodynamique), si les deux solutions sont mises en contact par l'intermédiaire d'une membrane semi perméable, sous l'effet de la pression générée par le gradient de concentration, l'eau passe de la solution la moins chargée vers la plus concentrée. Ce transfert continue jusqu'à ce que le système soit en équilibre, ce dernier est atteint quand la différence de hauteur entre les deux solutions de part et d'autre de la membrane correspond à la pression osmotique, c'est le phénomène d'osmose. Les lois du potentiel chimique nous permettent d'exprimer cette pression : $\Pi=C.R.T$

Dans laquelle :

C : concentration du soluté ;

R : constante des gaz parfaits, $R=8,314 \text{ J.mole.K}$;

Et T : température de la solution en Kelvin. [6]

L'osmose est réversible à condition de fournir de l'énergie, en appliquant une pression supérieure à la pression osmotique du côté de la solution la plus concentrée on inverse le flux : l'eau brute passe alors à travers les membranes qui retiennent les sels et les contaminants : c'est le principe de base de l'osmose inverse, la seule solution membranaire capable de séparer les sels de l'eau. Le flux ou encore la pression, constitue dans cette technologie le facteur déterminant pour atteindre des performances maximales.

III-2-Domains d'utilisation de l'osmose inverse :

La technologie de l'osmose inverse dont la taille des pores est de 0,1 à 1,5 nm s'applique dans les cas suivants :

- Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres ;
- Récupération d'eau d'effluents colorés ;
- Récupération d'eau d'effluents d'usine de blanchiment ultrafiltrés et d'eau blanche ultra filtrée ;
- Production d'eau ultra pure pour utilisation dans des procédés sensibles (pharmacie, tannerie, papeterie...) ;
- Récupération d'eau d'effluents miniers ;
- Concentration et purification d'effluents acides ou alcalins contaminés.

III-3-L'osmose inverse à travers le monde : [9]

Le procédé d'osmose inverse est apparu sur le marché dès les années 60 et il constituait 20 % des installations au début des années 80.

Entre 1990 et 2001, le procédé est passé de 40 à 53% de la part du marché et devrait atteindre les 70% à l'horizon 2020.

Le marché de l'osmose inverse présente actuellement plus d'un milliard de dollars et suit une croissance annuelle de 10 % ; il est principalement soutenu par les états unis (30 %) et le moyen orient (30 %), suivis de l'Asie (20 %) et de l'Europe (20 %).

Ashkelon à Tel Avive est la plus grande usine de dessalement au monde utilisant la technologie membranaire d'osmose inverse, traitant 320000 m³/j.

On note sur le tableau ci-dessous les réalisations à travers le monde dont les capacités sont supérieures à 3000 m³/j :

Tableau III-1-: Réalisations de l'osmose inverse à travers le monde[9]

Localisation	Capacités m ³ /j
Algérie	57500
Arabie Saoudite	91000
Bahreïn	46000
Chypre	60000
Egypte	20000
E.A.U	9000
Espagne	30000 à 130000
Etats-Unis	45455
Grèce	20000
Inde	4000
Italie	30000
Malte	27000
Maroc	7000
Russie	12500
Venezuela	3785

III-4-Description d'une filière de traitement des eaux par osmose inverse :

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

- La membrane proprement dite ;
- Le module ;
- La pompe haute pression ;
- Le système de récupération d'énergie ;
- Le poste de prétraitement.

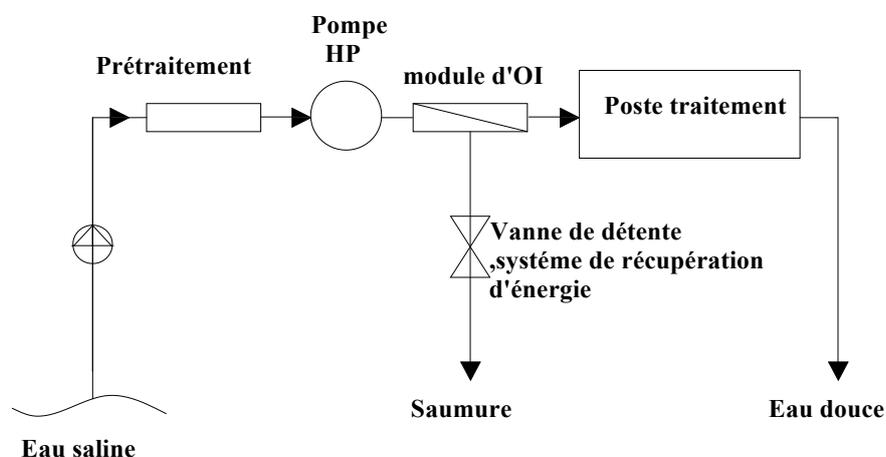


Figure III -1 : Schéma d'une filière de traitement par osmose inverse[10]

III-5-Choix d'un module d'osmose inverse :

Toute technologie membranaire requiert une membrane et un module qui lui tient lieu de support.

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

- Modules tubulaires ;
- Modules à fibres creuses ;
- Modules plans ;
- Modules spiraux.

Pour le choix d'un tel type de module, plusieurs critères sont à envisager :

- Régime d'écoulement permettant de minimiser les phénomènes de polarisation (écoulement laminaire ou turbulent) ;
- Compacité qui est exprimée par le rapport de la surface filtrante au volume de l'appareil ;
- Facilité de démontage et de remplacement des membranes défectueuses ;
- Volume mort de l'appareil (exprimé en l/m^2) ;
- Adaptation au produit à traiter (nécessité ou non de pré filtration).

III -5-1- Module tubulaire :

Le module tubulaire est basé sur une technologie simple, constitué de tubes métalliques ou plastiques poreux sur lesquels est fixée la membrane semi perméable, le diamètre du tube résulte d'un compromis entre la consommation énergétique (qui augmente avec le diamètre) et le coût de fabrication (qui diminue avec le diamètre).

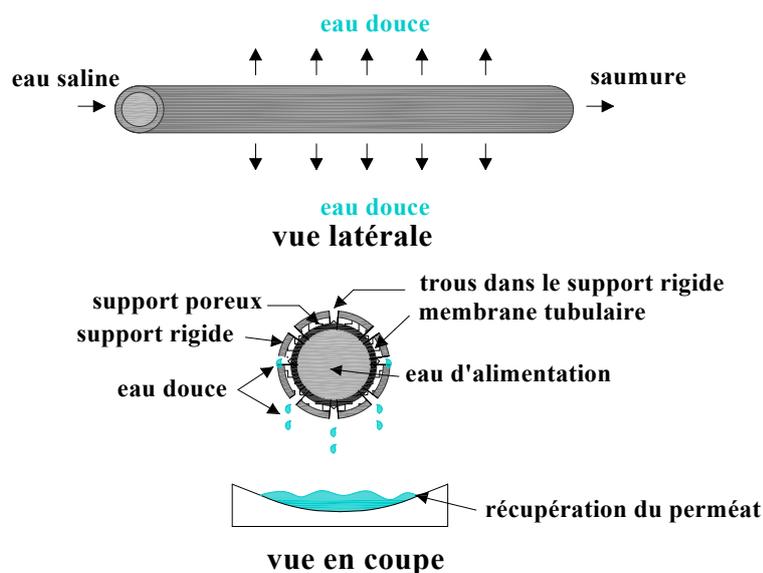


Figure III -2: Schéma de principe d'un module tubulaire[10]

III -5-2- Module à fibres creuses :

Ce module rassemble un ensemble de fibres creuses de diamètre inférieur au micromètre en un faisceau, mais à la différence des modules tubulaires qui sont constitués d'une membrane et d'un support inerte, les fibres creuses jouent à la fois le rôle de membrane et de support.

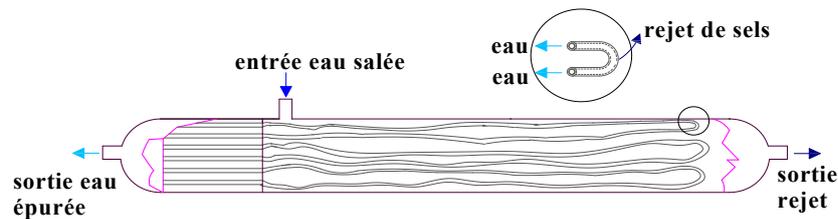


Figure III -3 : Schéma de principe d'un module à fibres creuses[10]

III -5-3- Module plan:

Ce type de module est le plus simple : les membranes sont empilées en mille feuilles séparées par cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides, et les plus anciens de technologie calquée directement sur celle des filtres presses, il peut se présenter soit sous forme de plaques unitaires soit sous forme de cartouches; un des paramètres le plus important est la distance entre les membranes.

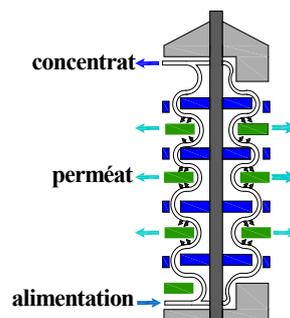


Figure III -4: Schéma de principe d'un module plan.[10]

III-5-4- Module spiralé :

Une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multi couches où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux.

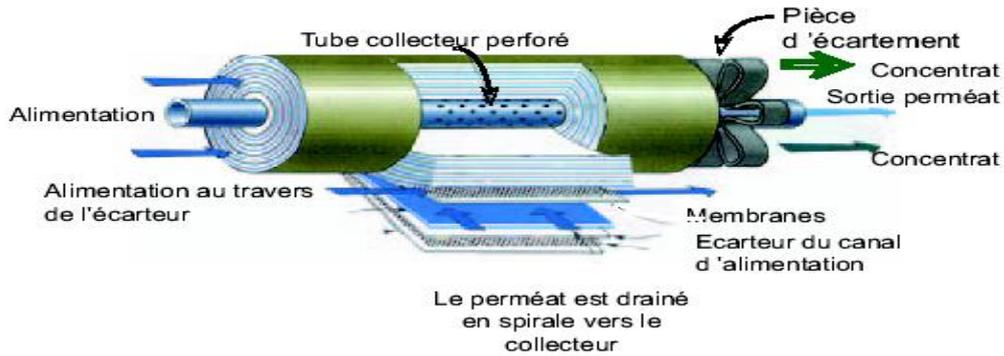


Figure III-5: Schéma d'un module spirale[10]

On retrouve souvent dans les installations d'osmose inverse des modules spirales.

Les avantages et les inconvénients des différents modules sont récapitulés sur le tableau suivant :

Tableau III -2 : Avantages et inconvénients des modules d'osmose inverse [10]

Type de module	Avantages	Inconvénients
Tubulaire	<ul style="list-style-type: none"> -Prétraitement facile : tolérer des fluides chargés de MES ayant une dimension inférieure à 1/10 le diamètre du tube, -Facilité de nettoyage, -La technologie est simple : changement facile de membrane défectueuse. 	<ul style="list-style-type: none"> -Consommation excessive d'énergie afin de diminuer les risques de dépôts par phénomènes de polarisation de concentration, -Faible compacité : la surface d'échange par unité de volume est la plus faible des systèmes existants < à 300 m²/m³. -Volume mort élevé.
Fibres creuses	<ul style="list-style-type: none"> -Compacité élevée : ont la surface d'échange la plus élevée de tous les systèmes existants,- Faible consommation énergétique résultant d'une faible vitesse et d'un régime laminaire, -Possibilité de nettoyage à contre courant. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibilité au colmatage à cause du faible diamètre des fibres, -Seulement en parallèle contrairement aux autres types de modules, -Basse pression obligatoire.

Plan	<ul style="list-style-type: none"> -Système modulaire aisément modifié par l'utilisateur (augmentation ou diminution du nombre d'élément), -Visualisation du perméat produit par chaque élément : permettant de détecter la détérioration d'une membrane, -Prétraitement simplifié. 	<ul style="list-style-type: none"> -Faible ratio surface membrane /volume d'encombrement (100-400 m²/m³), -Coût d'immobilisation important, -Difficultés de remplacer les membranes.
spirale	<ul style="list-style-type: none"> -Ratio surface membrane/volume d'encombrement important (300-1000 m²/m³), -Coût d'investissement faible, -Prétraitement simplifié par rapport aux fibres creuses. 	<ul style="list-style-type: none"> -Risque élevé de colmatage à cause de la faible distance entre membrane, -Difficulté de nettoyage.

III-6-Choix d'une membrane :

L'abbé Nollet à la fin du 17^{ème} siècle avait déjà observé le comportement d'une membrane constituée d'une vessie de porc : cette membrane laissait passer un flux d'eau douce pour diluer une solution saline séparée de la précédente par cette paroi : il avait observé le phénomène d'osmose. Au 19^{ème} siècle cette « curiosité de laboratoire » avait été étudiée par Van't Hoff qui donna sa loi au phénomène d'osmose, les parois utilisées étaient réalisées ainsi :

« On peut réaliser artificiellement une paroi semi perméable par le procédé de Traube .il consiste à plonger un vase poreux contenant une solution de sulfate de cuivre, dans une solution de ferrocyanure de potassium : les deux liquides, se rencontrant dans les pores du vase, donnent un précipité gélatineux de ferrocyanure de cuivre, qui forme une paroi semi perméable ».

Les technologies membranaires sont devenues des procédés de séparation physique sélective, par différence de pression, obtention d'un perméat de qualité constante, récupération de matières premières sont des atouts que peu de techniques offrent. Les membranes ont connu un essor sans précédent durant les vingt dernières années, l'essor des matériaux de synthèse a permis de réaliser des parois semi perméables éminemment plus pratiques, de ce fait les membranes peuvent être classées suivant le critère adopté en plusieurs catégories.

La structure de matériaux permet de distinguer trois types de membranes :

- Isotropes, où les propriétés structurales sont constantes sur toute l'épaisseur de la cartouche ;
- Anisotropes, où les propriétés structurales varient sur l'épaisseur de la cartouche, de la surface vers l'intérieur de la membrane ;
- Liquides.

En fonction de la nature des matériaux constitutifs des couches de membranes, on parle de :

III -6-1- Membranes organiques :

Fabriquées à partir de polymères organiques tels que l'acétate de cellulose, de polyamides, poly sulfones...

- **Membranes en acétate de cellulose :**

Constituées principalement de cellulose en remplaçant les groupements hydroxyyles par des groupements acétyle dont il permet d'obtenir soit le diacétate soit le triacétate de cellulose, on note que le degré de substitution d'un polymère d'acétate de cellulose est supérieur à 2,75 ce qui équivaut à un pourcentage d'acétyle de 42,3 %.

C'est le plus ancien des polymères mais il est toujours utilisé parce qu'il présente certains avantages.

- **Membrane en polyamides :**

Les formules chimiques des membranes ont évolué avec le temps : à l'origine en acétate de cellulose, elles sont aujourd'hui en majorité en polyamide vu les inconvénients de l'acétate de cellulose.

- **Membrane en poly sulfone :**

Caractérisées par un groupement $-SO_2-$ relativement stable relié à deux noyaux benzéniques.

- **Membrane en matériaux acryliques :**

- poly (acide acrylique),
- poly acrylonitrile (pan).

- **Membranes en matériaux fluorés :**

- poly (fluorure de vinyldène) ou PVDF,
- poly (tétrafluoroéthylène) ou PTFE. [11].

Tableau III-3: Avantages et inconvénients des membranes organiques : [10]

Membrane organique	Avantages	Inconvénients
En acétate de cellulose	-Perméabilité très élevée, -Mise en œuvre aisée, -Le matériau de base (cellulose) est répandu, - Colmatage moins élevé	-Sensibilité à la température, -Sensibilité au PH, -Sensibilité au chlore, -Sensibilité aux microorganismes, -Sensibilité au colmatage.
En polyamides	-Bonne stabilité chimique et thermique, -Meilleure résistance mécanique.	-Très grande sensibilité aux oxydants, - Faible perméabilité, -Problèmes d'adsorption
En poly sulfone	-Bonne stabilité thermique jusqu'à 75° C, -Bonne tenue au PH variant de 1 à 13, -Bonne résistance au chlore.	-Sensibilité au colmatage, aucune membrane de ce type ne supporte des pressions à 15 à 20 bar, -Problèmes d'adsorption.
En matériaux acryliques	-Bonne stabilité thermique, -Bonne stabilité chimique, -Possibilité de stockage à sec.	-Résistance mécanique limitée, -Difficulté d'obtenir de faibles diamètres
En matériaux fluorés	-Très bonne résistance thermique, -Très bonne résistance chimique.	-Faible perméabilité due au caractère hydrophobe de la membrane, -Utilisable seulement en microfiltration

III -6-2- Membranes minérales :

- Membranes à support carbone ;
- Membranes dynamiques ;
- Membranes en alumine.

Tableau III-4: Avantages et inconvénients des membranes minérales : [10]

Membrane minérale	Avantages	Inconvénients
A support carbone	<ul style="list-style-type: none"> -PH compris entre 0 à 14, -Températures pouvant atteindre 300°C, -Pressions allant jusqu'à 2 MPa. 	<ul style="list-style-type: none"> -Prix élevé, -Volume mort important, dû à la configuration tubulaire : 1,5 l/m².
Dynamiques	<ul style="list-style-type: none"> -Investissement faible pour la fabrication, -Bonne tenue en température, au PH et en milieu oxydant. 	<ul style="list-style-type: none"> -Performances (perméabilité et sélectivité) médiocres en osmose inverse. -Mise en œuvre nécessitant un savoir faire important
En alumine	<ul style="list-style-type: none"> -Bonne tenue en température élevée jusqu'à 300°C, -Bonne tenue en milieu acide jusqu'à PH=1, -Bonne tenue en pression. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibilité au milieu basique, ce qui pose de problèmes lors du nettoyage à la soude, -Prix élevé.

III -6-3- Membranes composites :

Apparues il y a dix ans, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo- minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels le zircon, l'alumine et le titane).

• Avantages :

- Perméabilité et sélectivité élevées ;
- Stables à des valeurs de PH de 2 à 11 ;
- Bonne tenue à des températures de 40° à 60°C suivant la pression.

• Inconvénients :

- Mauvaise tenue au chlore.

III-7-Pompe haute pression :

La pompe haute pression joue un rôle très important dans une installation d'osmose inverse, et elle est liée directement à la consommation d'énergie par son rendement.

Il existe plusieurs types de pompes haute pression sur le marché :

- Pompes centrifuges multi étagées ;
- Pompes centrifuges mono étagées à grande vitesse ;
- Pompes volumétriques à piston.

III-8-Poste de prétraitement :

Un des aspects essentiels de la technologie d'osmose inverse, est d'offrir le moins d'obstacles possible au passage de l'eau et d'éviter que les salissures ne s'agglomèrent sur la surface des membranes et réduisent leur efficacité. Celles-ci sont très sensibles au colmatage par matières colloïdales et les micro-organismes, raison pour laquelle le prétraitement de l'eau brute est primordial. Il peut être réalisé par acidification, décantation, flottation, décarbonatation et ajout de séquestrant pour empêcher la précipitation des carbonates et sulfates.

III-9-Système de récupération d'énergie : [12]

Dans le système d'osmose inverse le concentrât est rejeté sous haute pression arrivant jusqu'à 65 bars, c'est pourquoi il est important de récupérer de l'énergie du débit de concentrât, il existe actuellement deux systèmes de récupération de l'énergie hydraulique :

❖ Récupération indirecte :

La puissance hydraulique du concentrât sert à soulager le moteur de la pompe haute pression et ceci par l'intermédiaire d'une turbine.

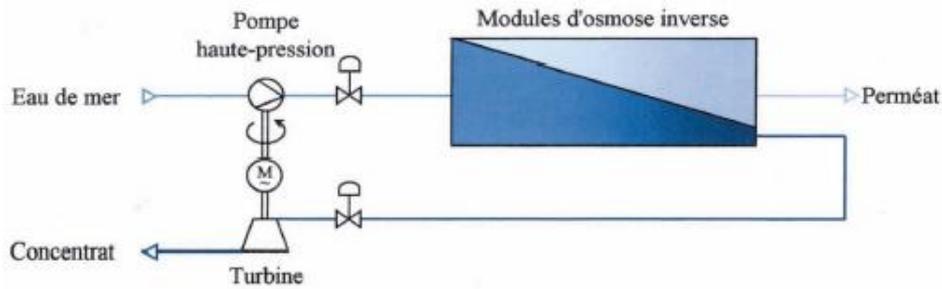


Figure III -6: Schéma de récupération directe de l'énergie[13]

❖ Récupération directe :

La puissance hydraulique est transférée directement dans le circuit d'alimentation, Le flux du concentrat provenant des membranes est dirigé à travers l'échangeur de pression, où il transfère directement de l'énergie à une partie du flux d'alimentation avec un maximum d'efficacité, pour cela il existe une pompe de surpression destinée à compenser les pertes de charge induites dans les échangeurs de pression comme le montre la figure suivante :

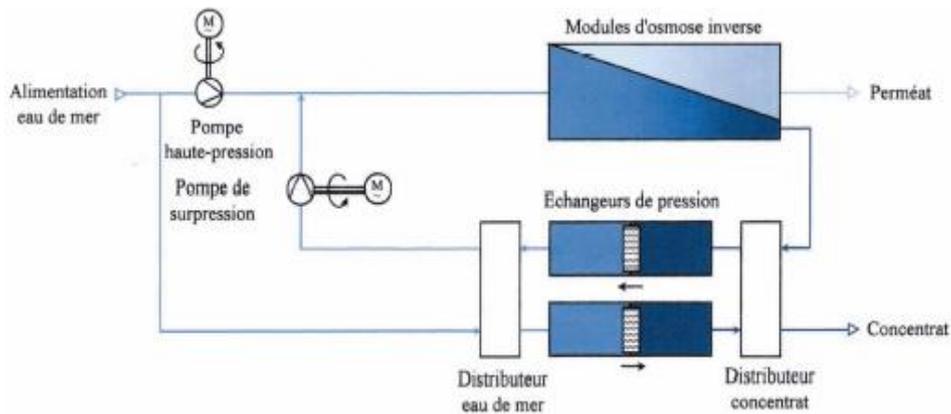


Figure III -7: Schéma de récupération indirecte de l'énergie[13]

III-10-Calcul d'une installation d'osmose inverse :

• Conditions de fonctionnement et choix des paramètres :

Les caractéristiques principales d'une unité de dessalement sont les suivantes :

III -10-1- Débit d'eau :

Le débit d'eau traversant la membrane est défini par l'équation suivante :

$$Q_e = \frac{K_1 (\Delta P - \Delta \Pi) S}{e}$$

Tels que :

Q_e : débit d'eau à travers la membrane ;

K_1 : coefficient de perméabilité de l'eau,

$\Delta\Pi$: pression osmotique différentielle entre pression osmotique de l'eau brute et
Celle de l'eau traitée,

ΔP : pression différentielle entre pression d'eau d'alimentation et pression en sortie,

S : surface de la membrane,

e : épaisseur de la membrane.

III -10-2- débit de sels :

Le débit de sels traversant la membrane est défini comme suit :

$$Q_s = \frac{K_2 \cdot \Delta C \cdot S}{e}$$

Q_s : débit de sels à travers la membrane ;

K_2 : coefficient de perméabilité aux sels,

ΔC : différence de concentration en sels transmembranaire,

S : surface de la membrane,

e : épaisseur de la membrane.

III -10-3- Taux de conversion :

Le taux de conversion est le rapport du débit du perméat au débit d'alimentation :

$$T_c = \frac{Q_p}{Q_a}$$

III -10-4- Passage des sels :

Le taux de passage de sels est le pourcentage de soluté qui passe à travers la membrane

$$P_s = \frac{C_p}{C_a}$$

C_p : concentration en sels dissous dans l'eau osmosée .

C_a : concentration de l'eau d'alimentation.

Une augmentation de la pression d'alimentation entraîne :

- Une augmentation du débit d'eau et par conséquent une diminution de la salinité de l'eau osmosée par une grande dilution des sels. [13]

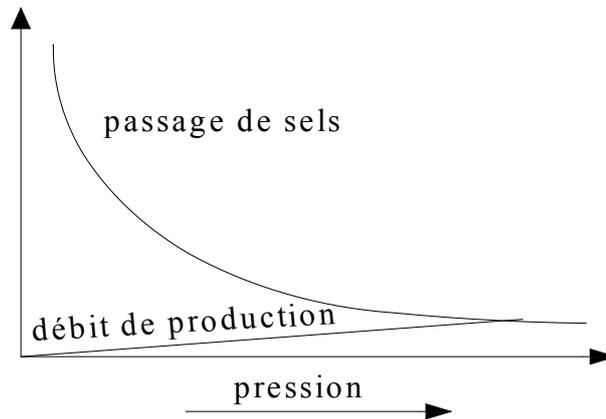


Figure III -8: Influence de la pression sur le passage de sels. [13]

III -10-5- Taux de rétention ou de rejet (sélectivité) :

Le taux de rejet est le pourcentage de soluté qui ne traverse pas la membrane :

$$T_r = \frac{C_r}{C_a} \text{ On a : } P_s + T_r = 1$$

III-11-Mécanisme de transfert :

Le procédé de traitement des eaux par membrane d'osmose inverse est l'une des techniques de filtration tangentielle membranaire, par opposition aux membranes microporeuses d'ultrafiltration ou de microfiltration, les membranes d'osmose inverse sont dites « denses » car elles ne sont pas poreuses et la séparation des espèces dissoutes n'est due en réalité qu'aux propriétés chimiques du polymère de surface. Les membranes fonctionnent hydrauliquement avec une circulation tangentielle de l'eau, de ce fait seulement 10% environ du flux est produit par élément sous forme de perméat pendant que la majeure partie de l'eau d'alimentation s'écoule le long de la surface de la membrane pour être évacuée ensuite sous forme de concentrât.

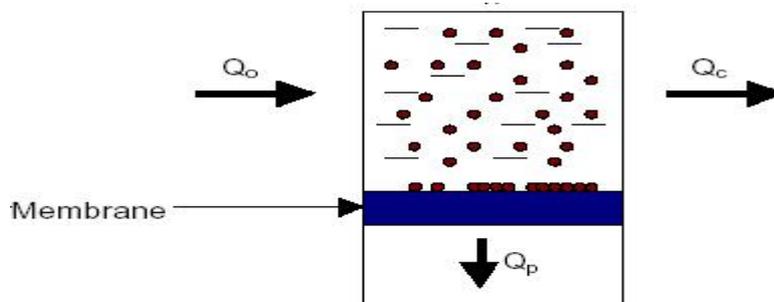


Figure III-9: Schéma de filtration tangentielle[13]

Ce mécanisme de type diffusif consiste à considérer que les transferts de solvant et de soluté se font par diffusion ; toutes les espèces moléculaires se dissolvent et diffusent à l'intérieur de la membrane sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. [13]

III-12-Flux du solvant et de soluté : [1]

Les flux de solvant et de soluté à travers la membrane sont donnés par les deux relations suivantes : $J_1 = A (\Delta P - \Delta \Pi)$

J_1 (g.cm⁻². s⁻¹) : flux de solvant à travers la membrane.

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

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

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

$$J_2 = B \Delta C$$

Avec :

J_2 (g.cm⁻². s⁻¹) : flux de sels à travers la membrane.

B (m.s⁻¹) : perméabilité de la membrane aux sels.

ΔC (kg.m⁻³) : différence de concentration en sels de part et d'autre de la membrane.

Le flux de sels à travers la membrane est fonction du gradient de concentration de part et d'autre de la membrane.

La salinité intervient sur la capacité de production d'une unité d'osmose inverse par la pression osmotique, cette dernière est proportionnelle à la concentration de la solution : $\Pi = C.R.T$.

- **Influence de la pression efficace sur la séparation :**

III -16-1- Influence de la pression efficace sur le taux de rejet :

Soient C_0 (g.cm⁻³) la concentration du soluté dans la solution qui arrive sur la membrane et C_p la concentration du soluté dans le perméat qui traverse la membrane.

L'équation peut s'écrire :

$$J_2 = B \Delta C = B (C_0 - C_p).$$

Pour des membranes très sélectives, c'est-à-dire où l'on a $C_p \ll C_0$, les équations précédentes peuvent être combinées pour déterminer le taux de rejet de la membrane T_r :

$$T_r = (C_0 - C_p) / C_0 = 1 - C_p / C_0$$

On a les relations suivantes basées sur la conservation de masses :

$$J_2 = J_1 \cdot C_p \text{ sachant que :}$$

$$J_1 = A (\Delta P - \Delta \Pi).$$

$$T_r = A (\Delta P - \Delta \Pi) / A (\Delta P - \Delta \Pi) + B.$$

D'après les équations, le flux de solvant est proportionnel à la pression efficace ($\Delta P - \Delta \Pi$), tandis que le flux de soluté en est indépendant ainsi le taux de rejet augmente avec l'augmentation de la pression et tend vers 1 lorsque cette dernière tend vers l'infini.

III -16-2- Influence de la pression efficace sur le flux de solvant :

La relation $J_1 = A (\Delta P - \Delta \Pi)$, montre que le flux de solvant varie proportionnellement avec la pression efficace mais ce n'est pas tout à fait vrai vu des deux phénomènes suivants :

- Le phénomène de compactage dû aux pressions élevées, le compactage des membranes se traduit par une diminution de la perméabilité.
- Le phénomène de polarisation de concentration.

III-13-Mise en œuvre –Arrangements d'une installation d'osmose inverse :

Pour qu'une installation d'osmose inverse fonctionne correctement il est nécessaire d'obéir à certains critères de choix d'un tel procédé .

Il existe plusieurs procédés de fonctionnement d'une installation d'osmose inverse :

- Procédé discontinu à recyclage ;
- Procédé discontinu sans recyclage ;
- Procédé continu à recyclage ;
- Procédé continu sans recyclage.
- **Procédé discontinu :**

Applicable pour le traitement de faibles volumes, on distingue :

a. Procédé discontinu à recyclage :

Une pompe additionnelle peut servir à une recirculation du concentrât à l'entrée du module, la solution à traiter est contenue dans une cuve, la recirculation se fait jusqu'à obtention de la concentration voulue.

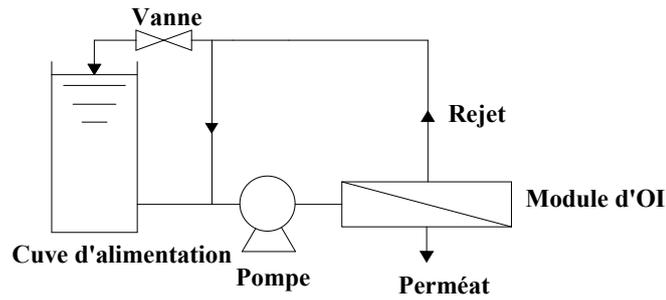


Figure III-10: Schéma d'un système de dessalement discontinu à recyclage[1]

b.Procédé discontinu sans recyclage :

Dans ce cas et pour réduire la consommation d'énergie il y a une suppression de la conduite de recirculation.

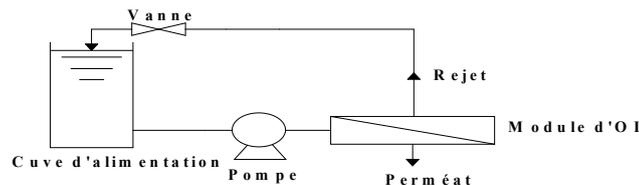


Figure III-11: Schéma d'un système de dessalement discontinu sans recyclage. [1]

c.Procédé continu :

Les procédés discontinus sont déconseillés pour le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres à cause de la discontinuité de l'alimentation, dans ce cas seul le procédé continu est utilisé, les modules étant montés en série-rejet ou en série-production.

c.1. Montage en série-rejet :

Ce type de montage est utilisé lorsqu'on veut obtenir un taux de conversion élevé, dans ce cas le rejet du premier étage alimente les modules du second étage et ainsi de suite. Dans le premier étage, on met un certain nombre de modules en parallèle tandis que dans les autres étages le nombre de modules diminue graduellement au fur et à mesure que la concentration de la solution à traiter augmente. Ceci permet d'augmenter progressivement les vitesses de passage et de minimiser les phénomènes de polarisation.

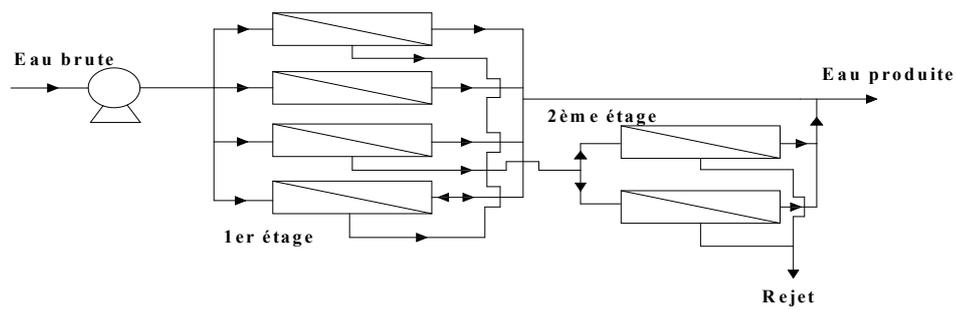


Figure III-12: Schéma de montage en série-rejet[1]

c.2 Montage en série production :

Ce type de montage est utilisé quand la sélectivité de la membrane n'est pas suffisante pour effectuer une séparation donnée, on l'utilise pour le dessalement de l'eau de mer ayant une salinité élevée.

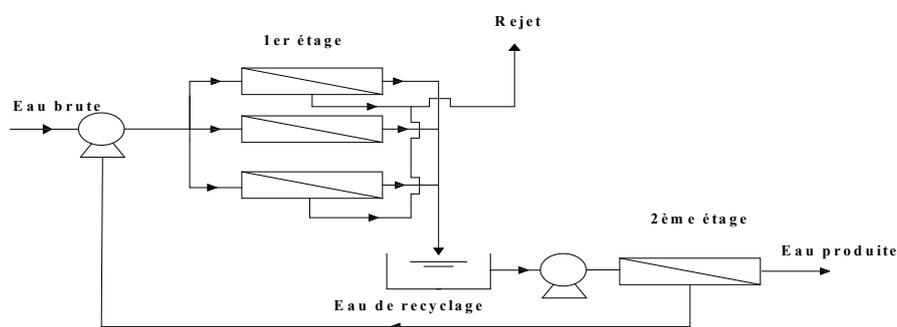


Figure III -13 : Schéma de montage en série production[1]

III-14-Influence de la température :

La capacité de production d'une unité d'osmose inverse augmente avec la température d'environ 2,5 à 3 % par °C, en revanche pour une pression donnée, le colmatage d'une membrane est d'autant plus important que la température est élevée.

III-15- Choix de la pression de fonctionnement :

Le choix repose sur des considérations techniques et économiques :

❖ Considérations techniques :

- La pression de fonctionnement doit être supérieure à la pression osmotique ;
- La sélectivité d'une membrane augmente avec la pression ; celle-ci doit être choisie de manière à obtenir le taux de conversion désiré ;
- Lorsque la pression est élevée, des problèmes de tenue mécaniques se posent pour les membranes (compactage) et les modules, actuellement la pression maximale est d'environ 7 Mpa.

Il existe une pression au delà de laquelle le flux de perméat n'augmente plus et cela pour une vitesse de circulation donnée il en résulte le phénomène de polarisation, il est donc impératif de choisir une pression inférieure à cette valeur limite.

❖ Considérations économiques :

Le choix de la pression de fonctionnement doit être compris entre le coût de la consommation énergétique et le coût réservé à la surface membranaire.

Lorsque la pression augmente, la consommation d'énergie devient importante, tandis que la surface membranaire nécessaire devient plus faible pour la production donnée. [1]

III-16-Avantages et les inconvénients de l'osmose inverse :

L'osmose inverse a les avantages et les inconvénients suivants :

III-16-1- Avantage :

• Faible consommation d'énergie :

- Pour une eau saumâtre : de salinité de 2,5 g/l, la consommation énergétique est de 3 kWh/m³ et cela résulte des faibles pressions osmotiques de 2 à 4 MPa ;
- Pour une eau de mer : de salinité d'environ 35 g/l, la consommation énergétique est de 12 à 13 kWh/m³ dans le cas où il n'y a pas de récupération d'énergie, dans le cas contraire la consommation énergétique est de 6 à 8 kWh/m³.

• Simplicité du procédé :

- L'osmose inverse peut être schématisée par une pompe à haute pression (3 à 6 MPa) et un ou plusieurs modules ;
- Ce procédé peut fonctionner à froid et ne demande pour sa mise en marche ou arrêt que quelques secondes.

Après l'osmose inverse ; on obtient une eau très pure :

- pH légèrement acide de 6.6 (idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments et rééquilibrage de pH du sang généralement trop toxique) ;
- Résistivité élevée 20000 à 30000 ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins ;
- L'eau osmosée est antioxydante, alors que l'eau en bouteille est plus oxydée du fait du délai souvent trop long entre la mise en bouteille et la consommation.

III-16-2- Inconvénients :

- Nécessité d'un prétraitement de l'eau ;
- La membrane est le point clef des installations d'osmose inverse, son remplacement représente 5 % du coût de traitement or la séparation membranaire possède un talon d'Achille : le colmatage de la membrane ;
- Les dépôts de matières entraînent la formation d'une couche à la surface de la membrane ce qui a pour conséquence de réduire le débit de filtration et donc les performances du procédé. Le colmatage est responsable dans 3 quarts des cas du vieillissement de la membrane ;
- La capacité unitaire d'un module d'osmose inverse ne dépasse pas 20 m³/j d'eau douce à partir de l'eau de mer et de ce fait une installation de grande capacité va être constituée de plusieurs modules, ce qui entraîne une complexité de l'installation et un coût élevé. [6]

IV-1- Introduction :

Ce projet comprend la réalisation et l'exploitation d'une usine de dessalement par osmose inverse de l'eau de mer de (5×20.000m³/j). Le site est situé sur la côte méditerranéenne d'Algérie dans le complexe pétrochimique de la wilaya de SKIKDA, dans la zone de développement1(DEV1).

L'usine de dessalement a été étudiée sur la base des objectifs généraux suivants :

- Durée technique de 25 ans ;
- Fiabilité des installations ;
- Sécurité du personnel et des équipements ;
- Equipement, matériaux et procédés surs et testés ;
- Maintenance des installations ;
- Facilité de l'exploitation des installations ;
- Protection de l'environnement ;

IV-2-Principales données techniques du projet :

TABLEAU IV-1 : Généralités et données sur la station [19]

Paramètre	Unité de mesure	valeur
Production d'eau	M ³ /j	100.000
Superficie	M ²	40.000
Prise d'eau de mer	M ³ /h	8.998
Salinité de l'eau de mer	ppm	39.381
Température de prise d'eau de mer	°C	24
Volume d'eau rejetée	M ³ /h	4831.56
Qualité de l'eau	ppm	<400
Température de l'eau rejetée	°C	24
Taux de rendement de dessalement	%	47
Durée de la construction	Mois	24
Coût	Million d'USD	110

IV-3- Description de la station de dessalement d'eau de mer de skikda

La station de dessalement d'eau de mer de Skikda de compose essentiellement :

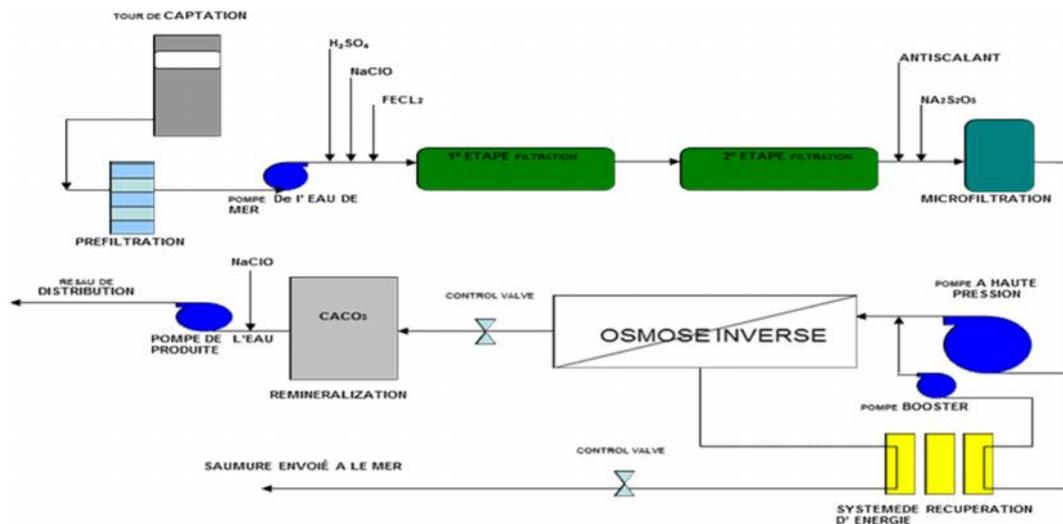


Figure IV-1 : les différentes étapes dans la station de dessalement[19]

- 1) Une tour de captation d'eau de mer située à 1200m du rivage.
- 2) Une section de pompage d'eau de mer composée de : deux batardeaux de mer, deux filtres rotatifs, d'un bassin de pompage et 6 pompes d'eau de mer d'une capacité chacune 1800m³/h.
- 3) une première filtration composée de 25 filtres à sable, de 100 m³ chacun.
- 4) une deuxième filtration composée de 15 filtres à anthracite d'une capacité chacun de 100m³.
- 5) une dernière filtration composée de 10 microfiltres à cartouches, chaque filtre se compose de 277 cartouches.
- 6) 5 filières de traitement par osmose inverse où a lieu de séparation entre le sel et l'eau.
- 7) Une série de tour de dolomite (calcite) 10 pour la reminéralisation.
- 8) Annexes :-une section d'H₂SO₄ (acide sulfurique).
 -une section NaOCl (hypochlorite du sodium).
 - une section de Na₂S₂O₅ (bisulfite de sodium).

- une section d'antitartre.
- une section de $Fe(Cl)_2$ (chlorure ferrique).

IV-4- Les différentes étapes du procédé :

• **1^{ère} étape : le prise d'eau de mer :**

La prise d'eau pour une usine de dessalement, peut être dérivée de la plage à partir d'un puits ou d'une prise ouverte sur mer.

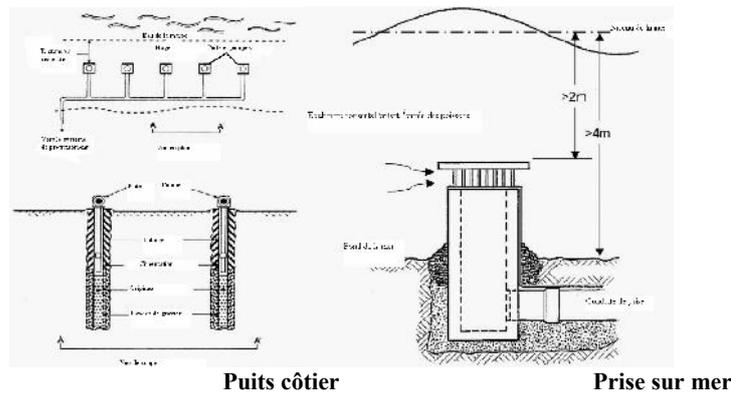


Figure IV-2 : Puits côtier et prise sur la mer[1]

Dans notre station de dessalement, la prise d'eau est de type de ouvert ; l'eau captée à une distance 1.431 m, est acheminée gravitairement par un canal d'amenée et recueillie dans un réservoir. Les caractéristiques de la tour de captage, sont consignées dans le tableau suivant :

TABLEAU N° IV-2- : Caractéristiques techniques de la prise d'eau [19]

Production nominale du dessin	100.000 m ³ /j
Débit d'eau du mer pour le dessin	9.091 m ³ /h
Type de captation	Captation ouvert
Nombre de tuyauteries de captage	1 Uts.
Longueur de tuyauteries de captage	1.431 m
Diamètre de tuyauteries de captage	2.000 mm.
Pertes de charge de tuyauteries de captage	0,488 m.c.e.
Nombre de tuyauteries de décharge	1
Diamètre de tuyauteries de décharge	1.600 mm.
Longueur de tuyauteries de décharge	714 m.
Pertes de charge de tuyauteries de décharge	0,225 m.c.e.

❖ Description de la tour de captage d'eau de mer :

L'eau est captée par la tour de captage et envoyée vers le réservoir situé sur la plage d'où elle est pompée par 6 pompes jusqu'à la première batterie de filtres. Le choix du point de captage a été décidé après différentes études pour obtenir une bonne qualité d'eau durant toute l'année, et loin des problèmes provoqués par l'embouchure de la rivière et ses apports d'eau douce et turbide, pendant les périodes de crues.

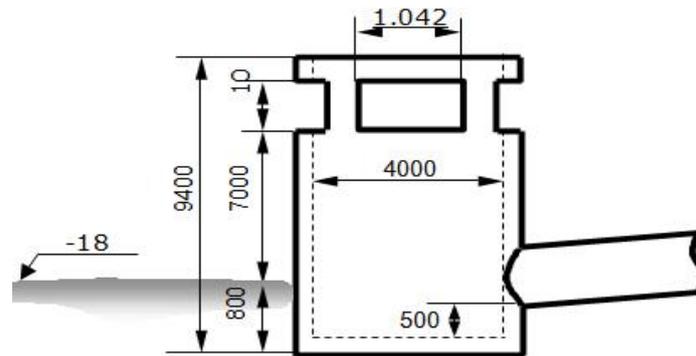


Figure IV-3 : Tour de captage d'eau de mer [19]

Tableau IV-3 : Caractéristiques techniques de la tour de captage [19]

Vitesse max. d'entrée dans la tour	0,303 m/s
Surface min. des fenêtres d'entrée dans la tour	8,33 m ²
Nombre de fenêtres d'entrée	8 Uts.
Hauteur des fenêtres d'entrée	1000 mm.
Largeur des fenêtres d'entrée	1.042 mm
Vitesse max. à l'intérieur de la Tour	0,21 m/seg.
Diamètre intérieur de la Tour	4 m.
Hauteur du fond de tour à génératr. inf. tuyau captage	0,5 m.
Hauteur de la tour enfouie dans le fond de mer	0,8 m.
Hauteur totale de la tour	9,4 m.
Cote bathymétrique du fond de la mer	-18 m
Hauteur de la vague la plus grande	6 m
Max. tirant d'eau des bateaux sur la tour	3,4 m.

L'eau de mer sera pompée par un ouvrage de prise, Un système de filtration de l'eau de mer comprenant des grilles à 15 mm d'ouverture et des filtres pour empêcher le passage des débris, des algues etc. Cet équipement empêchera également l'ingestion et la destruction de poissons et d'autres organismes de la flore et de la faune marine à l'entrée du système de pompage.

IV -4-2-deuxième étape :

- 1) L'eau est pompée à l'aide de 6 pompes, 5 en service et une de réserve, vers les filtres à sable (1^{er} filtration) elle doit subir au préalable une désinfection (NaOCl), un traitement à l' H_2SO_4 (contrôle du pH) et un traitement au chlorure ferrique (un coagulant)
- 2) L'eau passera à travers les 25 filtres à sable d'une manière parallèle où elle subira une première filtration, ensuite elle passera en parallèle à la deuxième filtration (15 filtres à anthracite). Cette filtration élimine les matières en suspension existantes dans l'eau de mer et prépare l'eau pour passer au prochain processus. L'eau subira ensuite un traitement avec le bisulfite de sodium pour éliminer le chlore résiduel et l'antitartre pour prévenir un éventuel entartrage de l'eau.



Figure IV-4 : Les filtres bicouches à sable et anthracite[19]

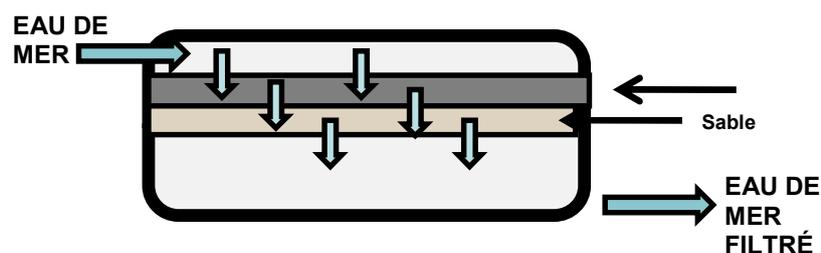


Figure IV-5 : Partie supérieure de l'intérieur d'un filtre à sable ou à anthracite-sable[19]

Tableau IV-4 : Caractéristiques techniques du filtre à sable [19]

Débit d'eau du mer à être filtrée	8.998 M ³ /h
Type de filtres	à pression
Position des filtres	horizontale
Vitesse de filtration maximale	9 m/h
Surface du filtre	40.70m ²
Nombre de filtres	25
Diamètre du filtre	3.7m
Hauteur du filtre	11m
Pression dans le filtre	6 bars
Vitesse de filtration opérationnelle	8.8m/h
Vitesse de filtration pendant le lavage	9.2m/h
Perte de charge minimale dans le filtre	1.40m.c.e
Perte de charge maximale dans le filtre	10m.c.e
Nombre de couches filtrantes	2
Matériel de la 1ere couche	sable
Hauteur de la 1ere couche:	1m
Taille effective de la 1ere couche	0.9mm
Coefficient d'uniformité	1.4
Matériel de la 2eme couche	sable
Hauteur de la 2eme couche	0.3m
Taille effective de la 2eme couche	2mm

Tableau IV-5: Caractéristiques techniques des filtres à anthracite[19]

Débit d'eau de mer à l'entrée du filtre	8.998m ³ /h
Type de filtres	A pression
Position des filtres:	Horizontale
Vitesse de filtration maximum:	15m/h
Surface de chaque filtre	40.70m ²
Nombre de filtres:	15

Diamètre du filtre	3.7m
Longueur du filtre	11m
Pression de dessin du filtre	6 bars
Vitesse de filtration en opération	14.7m/h
Vitesse de filtration pendant le lavage	15.8m/h
Perte de charge minimum de les filtres	0.54m.c.e
Perte de charge maximum de les filtres	10m.c.e
Nombre de couches filtrantes	1
Matériel de la 1ere couche	anthracite
Hauteur de la 1ere couche	1m
Taille effective de la 1ere couche	1.2mm
Coefficient de uniformité	1.4

La filtration sur sable est le moyen le plus simple et le plus économique pour éliminer la plus grosse partie des MES, de taille supérieure à 186micron, contenues dans l'eau de mer brute.

La taille moyenne des matériaux les plus utilisés est : anthracite 0,8-1,2 mm, sable 0,5-0,8 mm, L'écoulement de l'eau dans ces filtres est toujours dans le sens vertical, pénétrant par la partie supérieure du filtre et descendant à travers la couche ou les couches filtrantes qui retiennent les matières solides et les algues qu'elle transporte. Dans sa partie inférieure, il y a un collecteur muni de buses qui laissent passer l'eau filtrée qui est recueillie par un collecteur qui la conduit à un autre réservoir situé à un niveau inférieur et on a besoin pour cela d'équipement de pompage supplémentaire, pompes de transfert ou Booster pour dépressuriser l'eau et la conduire aux filtres à cartouches.

Le nettoyage des filtres se fait par l'air et l'eau qui s'incorporent depuis la partie inférieure de sorte que l'eau dans son mouvement ascendant entraîne les matières qui obstruent le filtre et elle est éliminée par la partie supérieure. Pour cela on utilise la saumure provenant du processus. Il faut un équipement spécial pour ce travail, formé de pompes et de compresseurs d'air de capacité adéquate à la taille du filtre.

L'installation doit être munie d'un by-pass qui permet de se passer des filtres, ce qui peut être nécessaire en cas de panne quelconque.

Tableau IV-6 : Caractéristiques techniques du lavage des filtre a sable et anthracite[19]

Nombre de pompes en opération	1
Nombre de pompes de réserve	1
Vitesse de lavage recommandée	20 m/h
Débit de la pompe de lavage	814m ³ /h
Pression de refoulement de la pompe de lavage	2.7 bars
Fluide de lavage	saumure
Débit total d'eau pour lavage de filtres	814 m ³ /h
Nombre de machines à air en opération	1
Nombre de compresseurs à air de réserve	1
Vitesse de l'air de lavage	50 m ³ /h
Débit d'air de lavage	2.035 m ³ /h
Pression de refoulement du compresseur	1.6 bars
Procédé de lavage	Eau + Air
Temps estimé du cycle de lavage	40min
Fréquence de nettoyage de chaque filtre	0.67 nettoyage/jour

IV -4-3-Troisième étape : La microfiltration :

- L'eau passera à travers les 10 filtres à cartouches (polypropylène) pour y subir une microfiltration. Cette troisième filtration a pour objectif de garantir une meilleure qualité d'eau à l'entrée des membranes.

**Figure IV-6** :une cartouche[19]

- Les filtres à cartouches sont une sécurité obligatoire que l'on place avant les modules d'OI. Ce type de filtre est constitué d'une enveloppe sous pression contenant plusieurs cartouches filtrantes destinées à retenir les impuretés. Il existe une large gamme de filtres à cartouches, avec différentes tailles, matériaux et seuils de filtration.

Tableau IV-7 : Caractéristiques techniques des microfiltres [19]

Débit d'eau du mer à l'entrée du filtre	8.998m ³ /h
Type de filtres	Cartouche
Position des filtres	Vertical
Type de cartouche	pp-5
Modèle de cartouche	Bobina do-5
Matériel du cartouche	Polypropylène
Nombre de cartouches par filtre	277
Efficacité de la filtration	99.6 %
Débit maximum par cartouche	3.255 m ³ /h
Diamètre du cartouche:	61mm
Longueur du cartouche	1.270mm
Surface filtrante du cartouche	0.24m ²
Perte de charge maximum admissible	2 bars
Perte de charge maximum de dessin	15m.c.e
Nombre de filtres	10
Diamètre du filtre	1.560mm
Hauteur de le filtre	2.566mm
Pression de dessin du filtre	6bar
Vitesse de filtration à l'opération	13.40 m/h
Durée estime de les cartouches	116 jours
Distance entre les cartouches	15mm

IV-4-4-quatrième étape : Système à haute pression (Osmose Inverse)

L'eau filtrée est aspirée par les pompes à haute pression et refoulée à une pression comprise 67,8 bars, avant d'être envoyée vers les tubes de pression pour une séparation du sel et de l'eau.



Figure IV-7 : Unité d'Osmose Inversée[19]

-La capacité de production pour chaque filière est de l'ordre de $850 \text{ m}^3/\text{h}$,Le taux de conversion est de l'ordre de 47% , les 53% restant constituent la saumure, Le procédé d'osmose inverse consiste à faire passer l'eau à une pression élevée (60-75bars) à travers les membranes.

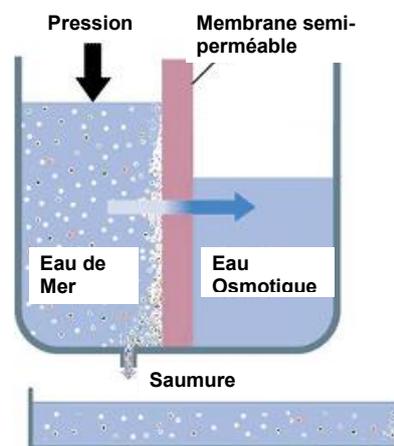
Tableau IV-8- : Caractéristiques techniques du système à haute pression [19]

Débit total d'eau pompée	4.317 m ³ /h
Nombre de pompes en opération	5
Débit nominal de la pompe	863
Température (°C)	27
Densité d'eau de mer	1,0257
Viscosité d'eau de mer	0,9266
Pertes de charge dans le tuyauteries et valves	1,4
Pression à l'entrée des membranes	66,1 bars
Hauteur géométrique (Point moyen du rack)	0.39
Pression total de refoulement de la pompe	67.8 bars
Pression d'aspiration de la pompe	2,00 bars
Pression différentielle dynamique total (T.D.H.)	671,6
Rendement de la pompe	84.5%
Rendement du moteur	97,0%

Tableau IV-9: Caractéristiques techniques des membranes d'osmose inverse[19]

Production continue de dessin	101.500m ³ /j
Nombre total d'unités installées	5
Production de dessin de chaque unité	20.300 m ³ /j
Température de dessin (min):	18 °C
Température de dessin (max):	27 °C
Type de membrane à installer	Arrollamiento en espirale
Matériel de couche active	Polyamide aromatique
Rejet minimum de sels	99,45%
Nombre de membranes par tube de pression:	7
Flux spécifique maximum	13,96 l/m ² /h
Pression d'entrée avec membranes	62.13 bars
Pression d'entrée avec membranes sale	66.1bars

Les membranes séparent le flux d'eau en deux : le perméat, débarrassé du sel sera utilisé pour l'alimentation en eau potable et la saumure hypersaline sera renvoyée vers le récupérateur d'énergie (ERI) avant d'être rejetée à la mer.

**Figure IV-8 :** techniques d'osmose inverse[19]

Exemple : Pour 100m³ d'eau de mer 47m³ d'eau produite appelée perméat, 53m³ d'eau (saumure) serait envoyée vers le récupérateur d'énergie (ERI).

*Système de récupération d'énergie :

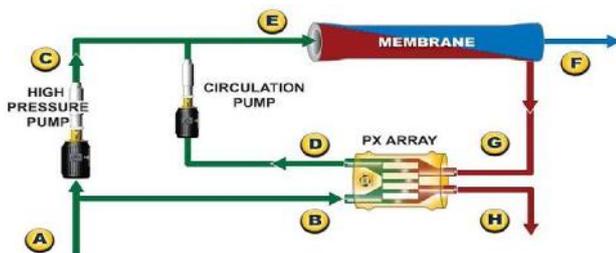


Figure IV-9: Système de récupération d'énergie(ERI) [19]

Le système de récupération d'énergie permet de récupérer pratiquement toute l'énergie du courant de saumure pour ainsi réduire la consommation énergétique du procédé

❖ **Nettoyage chimique des membranes :**

L'eau de mer s'écoule le long de la membrane, créant un gradient de concentration horizontal sur la longueur de la membrane. Le nettoyage des membranes s'impose, lorsque :

- Le débit normalisé du perméat a baissé de 10%.
- Les sels dissous totaux normalisés du perméat ont augmentés de 10%
- La perte de charge entre circuit d'alimentation et concentrat a augmentée de 15% par rapport a la perte de charge initiale.[12]

*Méthode de nettoyage chimique des membranes :

1/nettoyage à l'acide citrique : même sens que le filtration

2/nettoyage basique avec le soude : deux heures recirculation après une heure conservation (trois fois).

Les produits de nettoyage doivent être neutralisés avant leur rejet en mer.

3/nettoyage biocide : 500L de biocide dans le réservoir pendant une heure avec recyclage

Tableau IV-10: Caractéristiques techniques des pompes et tanks de produits chimiques[19]

Nombre de tubes de pression à nettoyer simultanément	276
Débit par tubes de pression	9m ³ /h
Pression minimum de nettoyage	6bars
Volume additionnel dans le tuyauteries	30 m3
Nombre de pompes de nettoyage en opération	2
Nombre de pompes de nettoyage de réserve	0
Volume à remplir avant retourner la solution au tank	49,32 m3
Volume minimum de sécurité dans le tank	20m ³
Volume minimum du tank de nettoyage	69m ³
Volume du tank installé	100m ³
Temps de séjour	2,4min
Délai estimé entre deux nettoyages	88jours
Nombre de pompes d'agitation	2
Débit de les pompes d'agitation	500m ³ /h
Pression a le sortie de les pompes d'agitation	0.6bars
Puissance du moteur des pompes d'agitation	15,4kw
Temps pour l'échauffement	1,5heures
Puissance de le résistance de chauffage	1.318kw

❖ Contraintes d'exploitation : [24]

- Ne jamais démarrer une pompe haute pression si :
 - La pompe de recirculation associée n'est pas en fonctionnement.
 - Les filtres à cartouches ne sont pas en fonctionnement.
 - Les caractéristiques de l'eau d'alimentation du système haute pression peuvent nuire aux membranes OI. Vérifier au moins les valeurs suivantes :

* SDI < 3

* pH < 6,6

IV-4-5-cinquième étape :

L'eau produite (perméat) est dépourvue de sels et corrosive, pour l'équilibrer et améliorer sa qualité il faut ajuster son pH et la reminéraliser par passage sur des lits de dolomite (mélange de carbonate de calcium et carbonate de magnésium), L'eau est enfin envoyée vers les réservoirs de stockage avant d'être distribuée aux consommateurs

IV-5-Les des produits chimiques :

- 1) Acide sulfurique (H_2SO_4) à 0.85ppm pour ajuster le pH de l'eau, dosage.
- 2) hypochlorite de sodium ($NaOCl$) pour oxyder la MO et les algues et désinfection de l'eau de mer pour réduire le risque du colmatage biologique.
- 3) chlorure ferrique ($Fe(Cl)_2$) à 0.45ppm, pour la coagulation des particules en suspension.
- 4) bisulfite de sodium ($Na_2S_2O_5$) à 1.20 ppm pour l'élimination des chlore résiduel.
- 5) tartrifuge à 1.5 ppm pour l'élimination des tartes.

IV-6- Le système d'injection dans la station :

- Système d'injection d'hypochlorite de sodium dans l'eau de mer, situé dans la station des pompes de captage ou encore dans la tour de prise d'eau de mer, pour élimination de la matière organique.

- Système d'injection d'hypochlorite de sodium dans l'eau produite pour stérilisation.

- Système d'injection d'acide sulfurique dans l'eau de mer, situé en amont des filtres à sable, afin d'ajuster le pH et d'éviter la précipitation de carbonates et de bicarbonates dans les membranes, ainsi que pour produire du CO_2 en quantité suffisante pour la reminéralisation de l'eau produite dans les tours de dolomites.

- Système d'injection de chlorure ferrique dans l'eau de mer, situé en amont des filtres à sable, pour coaguler les matières colloïdales et les matières en suspension.

- Système d'injection de bisulfite de sodium dans l'eau de mer, situé en amont des filtres à cartouches dans le but d'éliminer le chlore résiduel et de prévenir l'oxydation des membranes.

- Système d'injection d'antitartre, en amont des filtres à cartouches, pour éviter l'entartrage des membranes.

- Système d'injection d'acide sulfurique pour neutraliser les effluents de lavage des membranes.

IV-7-Les paramètres à surveiller pendant le process :

- pH avant entrée filtre à sable (6.5-6.5)
- pH après châssis (4.8-5.1)
- pH sortie bac d'eau produite (8.15-8.30)
- Chlore résiduel dans l'eau produite (0.5-0.55 ppm).
- Capacité de production de installation 100000m³/jour.
- SDI (l'indice de colmatage des membranes, mesuré trois fois par jour en quatre points :
 - avant et après la filtration à sable
 - avant et après la filtration à cartouche
- les analyses physico-chimiques

IV-8- Salle de contrôle :

Cette salle de contrôle (ou de commande) est gérée par des opérateurs spécialisés dans l'automatisme, à l'aide des capteurs électriques intégrés dans les installations du procédé. Tous les paramètres seront affichés sur l'écran d'un microordinateur relié à l'unité de contrôle et de transmission, un schémas fonctionnel de la station de dessalement d'eau de mer (chaîne de traitement) apparait sur l'écran qui permet de suivre le procédé (Tableau synoptique de la station)

Tableau IV-12 : Synoptique du fonctionnement de la station de Skikda[19]

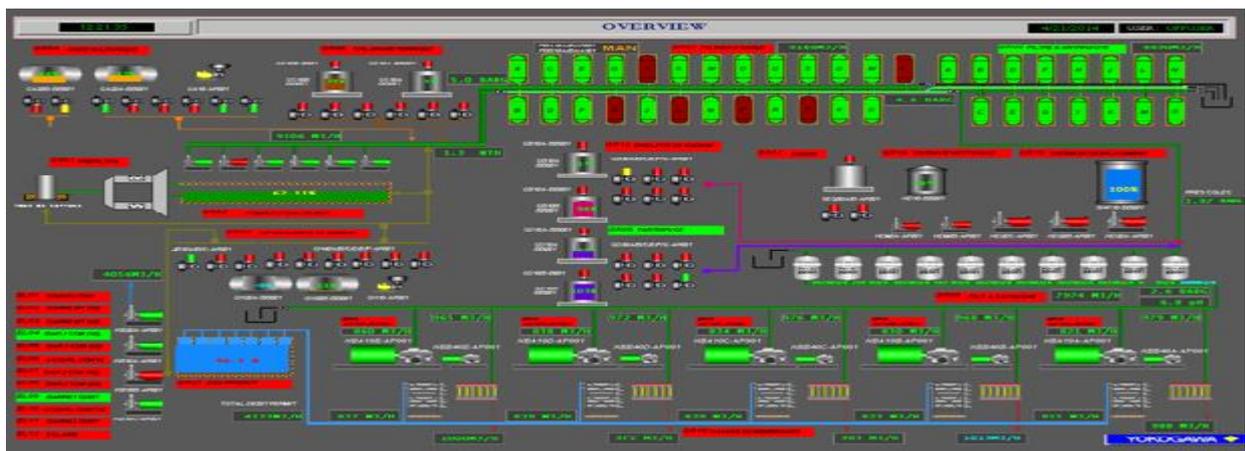


Figure IV-10 : représente le fonctionnement total de la station dans la salle de contrôle [19]

V-1-Introduction :

Les principaux problèmes que l'on rencontre dans la station de dessalement de l'eau de mer de Skikda et sont des problèmes de corrosion et des problèmes de colmatage des surfaces d'échange (fouling) et cavitation des pompes d'eau de mer et l'absence de l'hypochlorite de sodium dans la tour de captage.

Dans ce chapitre, on va présenter ces différents problèmes qui ont un impact très important sur le fonctionnement d'une station de dessalement, Ceci nécessite une approche scientifique pour donner plus d'informations qui permettent une bonne compréhension afin de résoudre ces sérieux problèmes.

V-2-Identification origines et causes des dysfonctionnements de la station :

L'eau de mer est chargée de sel, de gaz dissous et de solides en suspension, elle contient une variété très riche de faune et de flore. Par conséquent, si elle n'est pas traitée, son utilisation pose un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent l'efficacité des installations, et réduit les performances de la station de dessalement de Skikda. La chute de performances d'une installation d'osmose inverse est due à l'entartrage, corrosion et au colmatage des surfaces de membranes qui sont très sensibles à la température, au pH et aux différents oxydants.

Le choix d'un prétraitement est d'une importance majeure pour les procédés de dessalement en particulier l'osmose inverse, puisqu'il assure aux membranes une durée de vie maximale et optimise les performances du système. Ce choix n'est jamais simple, il dépend de l'origine et de la qualité de l'eau brute, et du procédé de dessalement retenu.

V-2-1- Diagnostic des ouvrages et difficultés d'exploitation :

Le diagnostic effectué sur les différents ouvrages de la station permet d'exposer les problèmes suivants :

V-2-1-1-Pompage de l'eau de mer :

L'eau de mer est pompée à partir de bassin de pompage à l'aide de 6 pompes, 5 en service et une de réserve, vers les filtres à sable (1^{er} filtration), Les pompes sont des équipements mécaniques qui servent à élever l'eau de mer jusqu'aux étapes de filtration. Le problème rencontré au niveau de ces pompes c'est le phénomène de cavitation.

a-Définition de la cavitation :

On appelle cavitation la naissance et l'oscillation radiale de bulles de gaz et de vapeur dans un liquide soumis à une dépression. Si cette dépression est suffisamment élevée, la pression peut

devenir inférieure à la pression de vapeur saturante, et une bulle de vapeur est susceptible de se former.

b-Définition de la pression de vapeur saturante :

La pression de vapeur saturante est la pression à laquelle un fluide passe de l'état gazeux à l'état liquide (ou de l'état liquide à gazeux) pour une température donnée, Si la température du fluide augmente, la pression de vapeur saturante augmente, C'est ainsi qu'un liquide comme l'eau peut se transformer en vapeur à pression ambiante par apport de chaleur, mais il est possible de faire cette transformation sans varier la température en abaissant la pression ambiante au-dessous de la pression de vapeur saturante (**Fig V-1**)

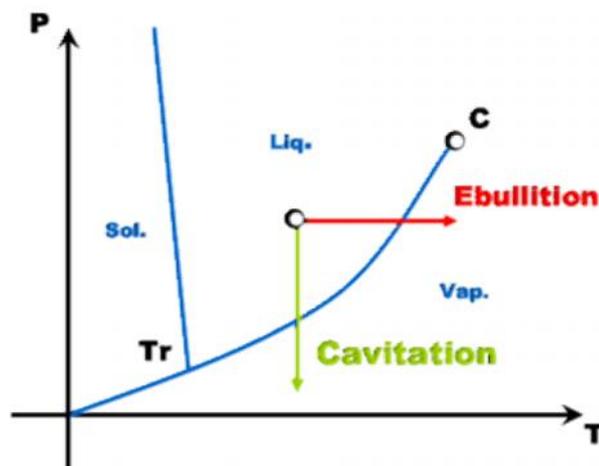


Figure V-1 : variation de la température en abaissant la pression ambiante[20]

Lorsque l'on aspire un liquide dans un conduit on crée une dépression, si cette baisse de pression fait descendre la pression du liquide au-dessous de sa pression de vapeur saturante, le liquide se met en ébullition. (Production de vapeur), en hydraulique, on appelle ce phénomène la cavitation.

Le critère qui sert à définir la pression nécessaire à l'aspiration pour obtenir un bon fonctionnement de la pompe, cad pour maintenir en tout point du fluide une pression supérieure à la pression de vapeur saturante, est le « NPSH » (Net Positive Section Head).

Cette caractéristique, donnée par le constructeur est qualifiée de « NPSH requis ». Elle tient compte en particulier de la chute de pression que subit le fluide lors de son accélération à l'entrée de la roue.

On appelle « NPSH disponible » la différence entre la pression totale à l'entrée et la pression de vapeur saturante.

c-Définition de NPSH« Net Positive Suction Head » :

Ce paramètre indique l'incapacité de la pompe à créer le vide absolu, ou l'incapacité de toutes les pompes centrifuges à aspirer à une hauteur égale ou supérieure à 10,33 m (qui correspond généralement à la valeur de la pression atmosphérique au niveau de la mer). Du point de vue physique, le NPSH indique la pression absolue qu'il doit y avoir à l'entrée de la pompe pour éviter les phénomènes de cavitation. Quand une pompe essaye d'aspirer une certaine quantité de liquide d'une profondeur supérieure à celle consentie par ses caractéristiques, La cavitation peut être prévue par le calcul du NPSH disponible à l'aspiration de la pompe, et sa comparaison avec le NPSH requis par la pompe. La cavitation apparaît pour $NPSH_{dispo} = NPSH_{requis}$.

d-NPSHrequis pour une pompe :

Le NPSH requis est le NPSH disponible minimal que doit avoir la pompe sous peine de cavitation. En effet, la pression statique en e baisse entre l'entrée de la pompe (bride d'aspiration) et l'entrée de la roue, notamment à cause de l'accélération du fluide pompé (une partie de la pression statique en e est ainsi transformée en vitesse).

Le NPSH requis est une donnée constructrice, il est généralement donné sous forme de courbe en fonction du débit, sur le même graphique que la courbe de HMT, Certaines pompes ont un très faible NPSH requis et c'afin de pouvoir limité le risque de cavitation dans certain montages en aspiration .

Dans notre cas Le NPSH requis égale : 4.19m

La condition de non-cavitation de la pompe est : $NPSH_{disponible} > NPSH_{requis}$

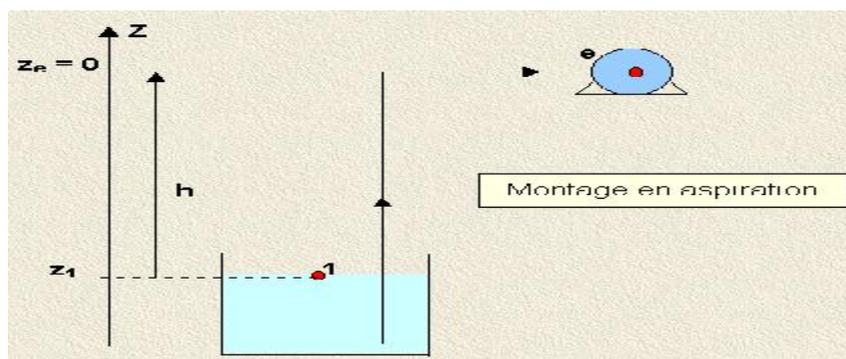


Figure V-2 :installation en aspiration. [20]

On envisage une installation dans laquelle une pompe montée en aspiration aspire un liquide contenu dans un réservoir situé à la côte z_1 ; La référence des côtes $z = 0$ est prise sur l'axe

horizontal passant par l'arbre entraînant la roue de la pompe, Le raisonnement est du même type que celui de l'installation avec pompe en charge. [20]

Or : $NPSH_{disponible} =$

$$P_{at}/\rho g - P_v/\rho g - (h_a + V_a^2/2 * g + \sum hp_{asp.})$$

e-Verifications de la condition de non cavitations pour les pompe d'eau de mer:

e-1-Pour la premier pompe on a :

- H_a :est la hauteur géométrique .
- $\sum hp_{asp}$:est la perte de charge totale (linéaire et singulière) .
- P_{vac} :est la pression de vapeur saturante.
- ρ :est masse volumique du fluide .
- g :est l'accélération de la pesanteur= $9.81m/s^2$
- P_{at} : Pression atmosphérique (m) dépend de l'altitude d'implantation de la station de pompage (dans notre cas l'altitude est : $H = 2m$) , nous avons :

$$P_{at}/\rho g = 10,33 - 0,00139 \times H \rightarrow P_{at}/\rho g = 10.33 \text{ m.}$$

Tableau V-1 : variation de tension de vapeur d'eau en fonction de la température :

$T^{\circ} (c^{\circ})$	5	10	20	30	40	50	80	100
T_v (mce)	0.09	0.12	0.24	0.43	0.75	1.25	4.82	10.33

- $P_{vac}/\rho g = 0.24m$ a $T^{\circ} = 20c^{\circ}$
- $H_a = 5m$.
- $V_{a1} = 3.98m/s$.
- $\sum hp_{asp}$: Perte de charge de la conduite d'aspiration.

Les pertes de charge d'aspiration seront calculées par la formule de Darcy-Weisbach :

$$\sum hp_{asp1} = 1,1 \times \frac{8 \times L_{asp} \times \lambda \times Q^2}{\pi^2 \times D^5} \dots\dots\dots(V.1)$$

Avec : $L_{asp} = 16 \text{ m}$.

$$\lambda = [1,14 - 0,86 \times \ln(\epsilon/D)]^{-2}; D = 400mm, \epsilon = 0.01mm \rightarrow \lambda = 0.00951$$

$$Q_1 = 0.50m^3/s \rightarrow \sum hp_{asp1} = 0.33 \text{ m.}$$

$$NPSH_{disponible1} = P_{at}/\rho g - P_v/\rho g - (h_a + (V_{a1})^2/2 * g + \sum hp_{asp1})$$

Application : $NPSH_{disponible1} = 10.33 - 0.24 - (5 + 0.80 + 0.33) = 3.96m < NPSH_{requis} = 4.19m$ Donc la pompe Cavite.

e-2-Pour la deuxième pompe on a :

$$L_{asp} = 16\text{m et } Q_2 = 0.52\text{m}^3/\text{s}.$$

$$\lambda = [1,14 - 0,86 \times \text{Ln}(\epsilon/D)]^{-2}; D = 400\text{mm} \rightarrow \lambda = 0.00951 \text{ et } V_{a2} = 4.14\text{m/s}.$$

$$\text{d'après l'équation (V.1) } \sum h_{p_{asp2}} = 0.36\text{m}.$$

$$\text{NPSH}_{disponible2} = P_{at}/\rho g - P_v/\rho g - (h_a + (V_{a2})^2/2 * g + \sum h_{p_{asp2}})$$

Application : $\text{NPSH}_{disponible2} = 10.33 - 0.24 - (5 + 0.86 + 0.36) = 3.87\text{m} < \text{NPSH}_{requis} = 4.19\text{m}$ Donc la pompe Cavite.

e-3-Pour la troisième pompe on a :

$$Q_3 = 0.49\text{m}^3/\text{s et } L_{asp} = 16\text{m et } V_{a3} = 3.90\text{m/s}.$$

$$\lambda = [1,14 - 0,86 \times \text{Ln}(\epsilon/D)]^{-2}, D = 400\text{mm} \rightarrow \lambda = 0.00951 \text{ et d'après l'équation (V.1)}$$

$$\sum h_{p_{asp3}} = 0.32\text{m}$$

$$\text{NPSH}_{disponible3} = P_{at}/\rho g - P_v/\rho g - (h_a + (V_{a3})^2/2 * g + \sum h_{p_{asp3}}).$$

Application : $\text{NPSH}_{disponible3} = 10.33 - 0.24 - (5 + 0.77 + 0.32) = 4\text{m} < \text{NPSH}_{requis} = 4.19\text{m}$ Donc la pompe est Cavite.

e-4-Pour la quatrième pompe on :

$$Q_4 = 0.51\text{m}^3/\text{s}.$$

$$\text{d'après } L_{asp} = 16\text{m et } V_{a4} = 4.06\text{m/s}.$$

$$\lambda = [1,14 - 0,86 \times \text{Ln}(\epsilon/D)]^{-2}; D = 400\text{mm} \rightarrow \lambda = 0.00951, \text{ d'après l'équation (V.1)}$$

$$\sum h_{p_{asp4}} = 0.34\text{m}$$

$$\text{NPSH}_{disponible4} = P_{at}/\rho g - P_v/\rho g - (h_a + (V_{a4})^2/2 * g + \sum h_{p_{asp4}})$$

Application : $\text{NPSH}_{disponible4} = 10.33 - 0.24 - (5 + 0.84 + 0.34) = 3.91\text{m} < \text{NPSH}_{requis} = 4.19\text{m}$ Donc la pompe Cavite.

e-5-Pour la cinquième pompe on :

$$\text{d'après } Q_5 = 0.50\text{m}^3/\text{s et } L_{asp} = 16\text{m et } V_{a5} = 3.98\text{m/s}.$$

$$\lambda = [1,14 - 0,86 \times \text{Ln}(\epsilon/D)]^{-2}, D = 400\text{mm} \rightarrow \lambda = 0.00951, \text{ d'après l'équation (V.1)}$$

$$\sum h_{p_{asp5}} = 0.33\text{m}$$

$$\text{NPSH}_{disponible5} = P_{at}/\rho g - P_v/\rho g - (h_a + (V_{a5})^2/2 * g + \sum h_{p_{asp5}})$$

Application : $\text{NPSH}_{disponible5} = 10.33 - 0.24 - (5 + 0.80 + 0.33) = 3.96\text{m} < \text{NPSH}_{requis} = 4.19$ Donc la pompe Cavite.

e-6-Pour la sixième pompe on :

$$\text{d'après } Q_6 = 0.48\text{m}^3/\text{s et } L_{asp} = 16 \text{ et } V_{a6} = 3.81\text{m/s}.$$

$$\lambda = [1,14 - 0,86 \times \text{Ln}(\epsilon/D)]^{-2}; D = 400\text{mm} \rightarrow \lambda = 0.00951, \text{ d'après l'équation (V.1)}$$

$$\sum h_{p_{asp6}} = 0.33\text{m}.$$

$$NPSH_{\text{disponible6}} = P_{at}/\rho g / - P_v/\rho g - (h_a + (V_{a6})^2/2 * g + \sum h_{p_{asp6}})$$

Application : $NPSH_{\text{disponible6}} = 10.33 - 0.24 - (5 + 0.74 + 0.33) = 4.04 \text{ m} < NPSH_{\text{requis}} = 4.19$ Donc la pompe est Cavite.

f-les conséquence de la cavitation :

- les bruits de proximité résultants de cavitations sont en général de 30 dB , mais peuvent atteindre jusqu'à 130 dB(dicibles).
- La cavitation provoque une érosion localisée aux endroits où s'écrasent les bulles de vapeur, fatigue le métal par chocs répétés et arrache des particules de métal. Il en résulte généralement des vibrations et des dégâts importants.
- La formation de bulles de vapeur due à une baisse de pression. En se formant ces bulles augmentent le volume de fluide présent dans la zone de basse pression ce qui à pour effet d'augmenter la pression en certains endroits ou la bulle de gaz se condense violemment en implosant. Les chocs créés par l'éclatement des bulles détruisent les parois des organes en contact avec le fluide. Une pompe qui Cavite s'use rapidement.
- Les parties métalliques les plus proches du phénomène seront soumises à des chocs entraînant une détérioration prématurée. De plus, la lubrification de ces cavités n'est plus assurée et Arrachement de métal sous forme de cratères sur les glaces.[23]

V-2-1-2-suppression de la chloration :

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes, les bactéries et les germes présents dans l'eau, la désinfection est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore Cl₂, le dioxyde de chlore ClO₂, l'ozone O₃, et dans certains cas par un procédé physique comme le rayonnement Ultra Violet.

La chloration de l'eau de mer permet de contrôler le biofouling. Toutefois la plupart des membranes utilisées actuellement en OI ne tolèrent pas le chlore, pour les protéger une solution de bisulfite de sodium est ajoutée.

Dans plusieurs stations de dessalement les membranes sont sévèrement endommagées suite à un mauvais dosage du chlore ou du bisulfite ou à une défection des équipements d'injection de ces derniers, Ce problème a touché la station de dessalement de Skikda, durant les premières années de sa mise en service, ceci a engendré une perte des membranes dont le cout est très important, Cet incident a conduit les exploitants à éliminer l'étape de chloration, ce qui pourrait avoir comme conséquences :

- L'augmentation de l'encrassement biologique des membranes (biofouling) ;

- l'entartrage dans la zone de concentrât dû à la précipitation de certains sels si leur produit de solubilité maximum est dépassé.

a-Principe de désinfection :

Le taux de destruction des micro-organismes par un désinfectant est lié à plusieurs paramètres : concentration du désinfectant, temps de contact, nombre et type des micro-organismes à éliminer, température et pH de l'eau. Il n'existe pas de loi mathématique qui permet de calculer le taux de destruction des micro-organismes en tenant compte de tous ces paramètres. C'est pourquoi, on doit d'abord effectuer des mesures au laboratoire avant d'opter pour une désinfection quelconque puis procéder à des vérifications concernant l'eau à traiter afin de déterminer la concentration du désinfectant à appliquer, Les tests effectués au niveau du laboratoire de la station, montrent qu'une dose de 5 ppm de chlore libre, est généralement suffisante.

b-Choix du désinfectant :

Le désinfectant à utiliser est choisi en fonction des caractéristiques et la destination de l'eau à traiter et le type de micro-organismes à éliminer. En général, la désinfection se fait à l'aide du chlore car il présente plusieurs avantages, mais dans certains cas, il peut s'avérer insuffisant pour éliminer certains micro-organismes très résistants comme les virus et les protozoaires. Afin de remédier à ces carences, on utilise le dioxyde de chlore ou l'ozone qui toutefois, présentent l'inconvénient d'être instable.

c-Désinfection par le chlore :

Les produits les plus utilisés pour obtenir une désinfection des eaux par le chlore sont : le chlore gazeux Cl_2 , l'hypochlorite de sodium $NaOCl$, l'hypochlorite de calcium $Ca(OCl)_2$ et le dioxyde de chlore ClO_2 , Le chlore gazeux est le plus utilisé pour le traitement des eaux destinées à la consommation humaine. Le chlore réagit rapidement dans l'eau pour former de l'acide hyperchloreux $HOCl$, qui est le produit actif dans la désinfection, La réaction du chlore gazeux dans l'eau se fait selon l'équation suivante : $Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + Cl^- + H^+$ qui est suivie de la réaction secondaire : $HOCl \rightarrow ClO^- + H^+$

L'effet bactéricide du chlore étant plus grand lorsqu'il se trouve sous la forme $HOCl$, il est donc plus efficace dans un milieu acide qu'en milieu alcalin.

d-Désinfection par le dioxyde de chlore :

Le dioxyde de chlore est un gaz de couleur jaune et possède une odeur piquante, Il doit être utilisé de préférence au chlore lorsque l'eau à traiter présente des traces de phénol susceptible

de combiner avec le chlore et de donner à l'eau un goût désagréable de chlorophénol, On utilise le dioxyde de chlore pour son pouvoir oxydant élevé, grâce auquel on peut éliminer les goûts, les odeurs, le fer et le manganèse présents dans l'eau. Le dioxyde de chlore est employé principalement lorsque l'eau à traiter contient beaucoup de matière organique. En effet, il permet de la désinfecter et de l'oxyder et d'éliminer les goûts et les odeurs. Lorsqu'une fraction importante de la matière organique est éliminée ou oxydée, on effectue une post chloration qui permet de maintenir une concentration résiduelle du chlore.

e-Désinfection par l'ozone :

L'ozone est un gaz de couleur bleue dont les principales caractéristiques physiques sont :

- _ Masse molaire : 48g/mole
- _ Densité par rapport à l'air : 1,657
- _ Masse volumique à 0°C : 2,143Kg/m³

L'ozone est un gaz instable composé de molécules d'oxygène triatomique O₃, Son pouvoir oxydant très élevé le rend intéressant pour le traitement des eaux. En effet, il permet de réduire la couleur, les goûts et les odeurs, d'oxyder les ions ferreux et manganéux solubles en hydroxydes insolubles, La quantité d'ozone que nous devons ajouter à l'eau pour obtenir une bonne désinfection varie en fonction de la présence des matières organiques et inorganiques dans l'eau à traiter. Tout comme pour le chlore, nous devons maintenir une certaine concentration résiduelle après un temps de contact déterminé.

f-Désinfection par rayonnement Ultra Violet :

Les rayons Ultra Violets font partie des radiations non visibles émises par le soleil, de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nanomètres. Seuls les UVC(longueur d'onde : 200 à 280 nm) ont un effet germicide : ils détruisent les bactéries, virus, champignons, levures et algues en agissant directement sur des composés cellulaires essentiels, La désinfection par Ultra Violets se fait à l'aide d'un appareil composé d'une chambre d'irradiation, à l'intérieur de laquelle l'eau est au contact avec des lampes à UV.

Contrairement à la désinfection par le chlore et ses dérivés, une eau traitée par Ultra Violets ne contient pas une dose résiduelle de produits désinfectants.

On peut donc craindre une dégradation de la qualité microbiologique des eaux en aval du traitement sur le réseau des distributions.

j-Élimination du l'hypochlorite de sodium avant la microfiltration :

L'injection de chlore doit s'effectuer le plus en amont possible. Pour qu'il ait le temps de réagir sur les matières biologiques, il est nécessaire d'aménager un temps de contact entre le chlore et l'eau, contact qui peut s'effectuer dans le bassin de tête de l'usine, Pour ne pas dégrader les membranes il faut éliminer toute trace de l'hypochlorite de sodium. Cela s'effectue à l'aide de métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_5$) avec une dose de 1,81ppm. Ce produit en poudre, mélangé à l'eau pour obtenir une solution injectable, se transforme en bisulfite de sodium suivant la réaction :



Pour contrôler l'efficacité de l'élimination de l'hypochlorite de sodium, il est installé en aval des prétraitements un redoxmètre, Il est très important de vérifier que le métabisulfite de sodium est de grade alimentaire. [13]

V-2-1-3-L'absence d'ouvrages de coagulation-floculation-décantation :

Dans la plupart des cas, une usine d'OI doit être précédée d'un bon prétraitement pour éviter l'encrassement de la membrane par les sédiments, la dureté, les matières organiques, les bactéries, les oxydes métalliques, ou même de chlore.

Un prétraitement insuffisant ou mal contrôlé peut affecter les performances de la station et réduire la durée de vie des membranes.

En période de crues la qualité de l'eau à l'entrée de la station se dégrade ce qui conduit parfois à l'arrêt total de la station, Cette dégradation observée notamment par l'augmentation de la turbidité, est due au charriage de sédiments et matières colloïdales par Oued SAFSAF dont l'embouchure se situe à proximité de la station. (voir plan de situation)

Ces particules n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres à cause de leur concentration stable, On a alors recours aux procédés de coagulation et de floculation pour éliminer les matières en suspension (MES) qui sont soit de nature minérale (argiles, limons, sables...) soit de nature organique (produits de décomposition de matières végétales...). L'élimination des substances dissoutes nécessite pour chaque espèce un traitement spécifique. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les MES en facilitant leur agglomération. Ce procédé consiste dans l'injection de produits chimiques, La floculation a pour objectif de favoriser le contact entre les particules déstabilisées, Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par décantation.

Le contrôle de niveau de prétraitement permet de sauver les performances des membranes et augmenter leur durée de vie, et par conséquent réduire le coût de l'eau produite, MO particules et colloïdes peuvent être enlevés par un traitement conventionnel, à savoir une coagulation suivie d'une filtration sur média pour une eau peu trouble, Des étapes additionnelles comme la floculation et la décantation sont ajoutées dans le cas d'eaux très troubles provenant d'eaux peu profondes, Le traitement non conventionnel pour les MO, particules et colloïdes est l'ultrafiltration, Un anticalcaire devrait être ajouté avant le passage dans les membranes pour disperser les carbonates de calcium et les précipités de sulfate afin d'éviter l'entartrage. [24]

a-Coagulation :

La coagulation est le phénomène de déstabilisation des particules colloïdales, consistant en la neutralisation de leurs charges électriques, par addition de réactifs chimiques appelés coagulants, généralement des sels métalliques (de fer et d'aluminium). Elle permet de supprimer les répulsions inter colloïdales : Les cations métalliques se lient aux colloïdes et les neutralisent, ce qui permet la rencontre de ces derniers.

b-Floculation :

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales s'agglomèrent lorsqu'elles entrent en contact. C'est le phénomène de floculation, L'agglomération des colloïdes est favorisée soit par floculation péri cinétique définie comme étant la différence de vitesse des particules appelé mouvement brownien soit par floculation ortho cinétique qui est une agitation mécanique de l'eau.

c-Décantation :

La décantation est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc suite à l'étape de coagulation-floculation. Si la densité de ces floes est supérieure à celle de l'eau, ceux-ci décantent grâce à la force de gravité, Dans le cas contraire, les particules flottent à la surface de l'eau. [14]

V-2-1-4-Le colmatage des membranes :

En raison de la faible porosité, de la rugosité et de la sensibilité chimique des membranes, du facteur de concentration des sels dans l'osmoseur, les phénomènes d'entartrage, d'encrassement et de dégradation chimique, peuvent affecter les performances du système :

- Diminution du débit.
- Augmentation de la salinité.
- Augmentation des pertes de charges.
- Réduction de la durée de vie des membranes.

a-Définition de colmatage des membranes :

Les eaux naturelles eaux de mer contiennent la plupart du temps des matières organiques en suspension qui vont avoir tendance à se déposer sur les surfaces d'échange et à les colmater. Il va en résulter une augmentation de la résistance de transfert et une diminution de la capacité de production de l'installation.

Les développements de microorganismes, dans les parties des installations où les conditions physico-chimiques le permettent, peuvent accentuer le phénomène par la suite de la formation de films biologiques sur les surfaces de transfert (biofouling).

Bien que la nature des dépôts dans le cas d'un colmatage par des matières organiques (fouling ou biofouling) soit différente de celle rencontrée dans le cas de l'entartrage (dépôts minéraux ou scaling), dans le cas de cette station l'encrassement est mixte c'est-à-dire il résulte de la contribution des deux types de dépôts (biofouling et le colmatage).

b-Encrassement dans le procédé d'OI:

L'expérience a montré que la rapidité de colmatage d'un module d'OI dépend non seulement de la quantité de MES contenue dans l'eau brute mais surtout de la nature de ces MES, C'est pourquoi il est nécessaire de déterminer le pouvoir colmatant de l'eau avant OI, Ce pouvoir colmatant est couramment appelé Fouling Index (FI) ou Silt Density Index (SDI) ou Silting Index (SI), dans notre cas de cet station on mesure le (SDI) sur quatre points avant et après la filtration à sable, et microfiltration.

c-Principe du colmatage :

Il existe deux principales catégories de colmatage :

- Le colmatage abiologique.
- Le colmatage microbiologique.

c-1-Le colmatage abiologique (encrassement) :

Il y a de nombreux éléments colmatant présents dans les eaux tels que les particules, les colloïdes, les substances organiques dissoutes et les substances inorganiques peu solubles, toutefois les matières inorganiques sont considérées comme peu influentes sur le colmatage par rapport à la matière organique dans le cas des eaux douces de surface colorées et peu minéralisées. C'est la fraction humique de la matière organique qui par sa nature hydrophobe

contribue, à priori, le plus significativement au colmatage. Ces agents colmatant sont associés au colmatage abiotique qui peut se manifester de deux façons : par le dépôt de matière à l'intérieur des pores de la membrane et par le dépôt de matière à sa surface. La figure suivante illustre différents scénarios de colmatage abiotique d'une membrane.

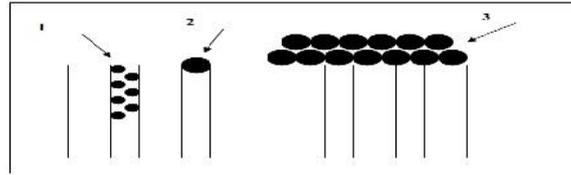


Figure V-3 : Scénarios de colmatage d'une membrane[15]

Dans le scénario 1, il y a blocage partiel du pore par l'adsorption de fines particules à l'intérieur de celui-ci. Dans le scénario 2, il y a blocage total du pore par rétention stérique d'une plus grosse particule. Enfin, dans le scénario 3, il y a formation d'un dépôt de particules à la surface de la membrane, C'est le « gâteau ». Le colmatage à l'intérieur ou à l'entrée des pores est un phénomène à priori très rapide tandis que le colmatage par formation d'un gâteau est un phénomène qui s'échelonne dans le temps.

Le gâteau peut être assimilable à une deuxième membrane, Il génère en effet une résistance hydraulique additionnelle à l'écoulement de l'eau à travers les pores de la membrane, Le concept de résistance hydraulique est présenté à la section. Ensuite, le gâteau peut permettre une séparation plus poussée de la matière, ce qui va d'autant plus augmenter le colmatage (phénomène auto-accélérateur).

c-2- Le colmatage microbiologique (bio encrassement) :

Dans le cas d'un colmatage microbiologique, des microorganismes peuvent s'attacher, croître à la surface des membranes et produire suffisamment de substances polymériques extracellulaires, mais si en même temps, ils y trouvent une concentration de nourriture de carbone organique biodégradable qu'elle qu'en soit l'origine (naturelle, pollution, sous produits d'oxydation ...), ils vont proliférer et peu à peu s'accrocher à la membrane via leurs exopolymères provoquant un biofilm qui se développe à la surface des membranes.

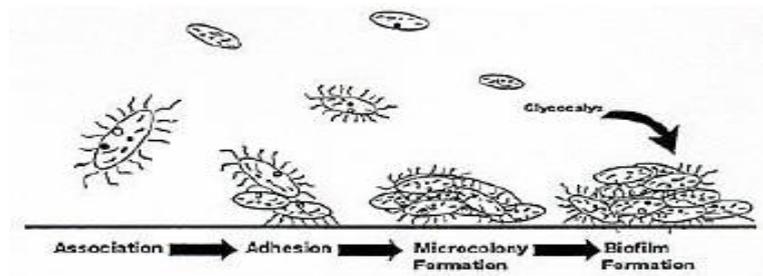


Figure V-4: Formation d'un biofilm[15]

d-Polarisation de la concentration :

Lors du transport d'une solution d'alimentation à travers une membrane, les molécules ont tendance à s'accumuler à la surface de la membrane. Les molécules les plus petites traversent la membrane et la concentration des molécules retenues est plus importante sur la paroi de la membrane, qu'au milieu du flux principal. Ce phénomène s'appelle la polarisation de concentration et peut avoir comme conséquences :

- Diminution du flux perméat: L'augmentation de la concentration près de la membrane, fait augmenter la pression osmotique de la solution ($\pi = CRT$), Or le flux du solvant est exprimé par : $J_1 = A (\Delta P - \Delta \pi)$, Ce qui entraîne donc une diminution de J_1 .
- Diminution de la sélectivité: Une augmentation de la concentration près de la membrane, se traduit par une augmentation du taux de passage en sel.
- Diminution du taux de rejet: Une augmentation de la concentration près de la membrane, se traduit par une diminution du taux de rejet : $R = 1 - C_p / C_0$
- Colmatage dû à la précipitation.

Les procédés membranaires permettent la rétention de solutés ioniques et de molécules organiques de faibles masses molaires. Pour ces procédés, le phénomène de polarisation de la concentration peut avoir des conséquences importantes sur leur productivité surtout lors de la filtration d'eaux de mer ou d'eaux saumâtres, En cours de filtration, les ions et les molécules organiques s'accumulent à proximité de la membrane.

Leur concentration est donc plus élevée à la surface de la membrane que dans le cœur de l'écoulement tangentiel, En effet, il se crée une zone où la concentration augmente, du cœur de l'écoulement vers la membrane, avec une valeur maximale à la surface de la membrane. Cela survient à cause du transport rapide des solutés par convection vers la membrane comparativement à leur lente rétrodiffusion vers le cœur de l'écoulement, C'est ce qu'on appelle la polarisation de la concentration. [15]

e-Quelques signes de colmatage :

Ces signes sont présents dans le tableau ci-dessous :

Tableau V-2 : Quelques signes de colmatage

OI	Pertes de charge	Pression d'alimentation	Cause possible - de colmatage	Passage en sel	Débit entrée (m ³ /h)	Débit permeat (m ³ /h)	Débit rejet (m ³ /h)	Le taux de conversion $Y=O_p/O_{ali}$
A	1.88bar	70.07bar	Pas de colmatage	diminution	1780	800	980	44.94%
B	1.22bar	67.90bar	Pas de colmatage	diminution	1841	861	980	46.76%
C	1.23bar	66.68bar	Pas de colmatage	diminution	1720	860	860	50%
D	2.55bar	69.51bar	Matière colloïdale et organique	Augmentation rapide	1778	792	986	44.54%
E	2.90bar	2.84bar	Matière colloïdale et organique	Augmentation rapide	1781	781	1000	43.85%

f-Facteurs influençant le colmatage des membranes :

Il est important de bien connaître les facteurs influençant le colmatage afin de développer des stratégies visant à minimiser ce phénomène. Ces facteurs sont : les caractéristiques de la membrane, les caractéristiques de l'eau à traiter et les conditions d'opération du procédé membranaire.

j/Caractéristiques de la membrane :

Parmi les caractéristiques des membranes influençant le colmatage, il y a le seuil de coupure, la charge de surface et l'hydrophobicité, Les fabricants cherchent à rendre leurs membranes plus hydrophiles et donc moins susceptibles d'être colmatées par les substances hydrophobes présentes dans les eaux naturelles.

D'autre part, plus le seuil de coupure d'une membrane est petit, plus la séparation effectuée risque d'être importante, En conséquence, s'il n'y a pas de prétraitement approprié, le colmatage de cette membrane risque d'être plus important.

Pour ce qui est de la charge de la membrane, si elle est de même signe que la charge des particules, il y aura alors répulsion entre la membrane et les particules et donc moins de risques de colmatage, C'est pourquoi certains auteurs recherchent un prétraitement membranaire qui serait capable de charger les particules présentes dans les eaux naturelles afin qu'elles acquièrent une charge similaire à la charge de la membrane utilisée.

k- Caractéristiques de l'eau à traiter :

Le colmatage est aussi dépendant de la nature de l'eau à traiter et de la concentration de ses principaux constituants. En général, plus une eau est chargée en particules et plus elle aura tendance à colmater les membranes, Le pouvoir colmatant des particules en suspension d'une eau s'exprime en terme de (SDI) « indice de Stiff et Davis », Le test de SDI consiste à filtrer l'eau sur un filtre de 0.45 μm et à mesurer la baisse de vitesse de perméation associée au colmatage.

Toutefois, pour l'osmose inverse, l'utilisation d'un prétraitement adéquat fait en sorte que les colloïdes et les molécules organiques dissoutes sont beaucoup plus influents sur le colmatage des membranes que les particules.

f- Conditions opératoires du procédé membranaire :

Enfin, la cinétique de colmatage d'une membrane, dépend aussi des conditions d'opération des procédés membranaires, Ces conditions sont la vitesse de pénétration ,le taux de récupération global, la vitesse d'écoulement tangentielle et la pression d'opération, La vitesse d'écoulement tangentielle est simplement le débit d'écoulement tangentiel divisé par la section du canal d'écoulement tangentiel.

Des essais ont montré que :

- Plus la vitesse de pénétration initiale est élevée, plus elle décroît rapidement dû au plus grand apport de matière à la surface de la membrane par convection.
- Plus la vitesse d'écoulement tangentielle est élevée, moins la membrane aura tendance à se colmater dû à la rétrodiffusion plus rapide des solutés vers le cœur de l'écoulement.

s-Conséquences du colmatage :

Quelle que soit la nature de ses composants, un colmatage se traduit par un ou plusieurs effets :

- Une augmentation de la perte de charge, c'est souvent ce paramètre qui pourra donner l'alerte par l'obturation des espaces libres dans les espaces, il provoque une perte de charge dans le liquide en circulation et un risque de mauvaise irrigation de la surface de membrane.
- Une augmentation du passage de sels, le colmatage empêche la rétrodiffusion des sels rejetés par la membrane, ce dépôt augmente les phénomènes de polarisation de concentration.
- Une perte de flux. [24]

V-2-1-5-problème de la corrosion :

La corrosion est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance, dans cette station les premières causes de la corrosion sont les fuites et le climat humide de la région de Skikda. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux, La corrosion est une réaction entre un métal et un réactif, Si ce dernier est gazeux, on parle de corrosion sèche , s'il est liquide, il s'agit de la corrosion en solution.

Au niveau de la station la corrosion est observée aux points suivants :

- corrosion au niveau de la microfiltration.
- corrosion au niveau de prétraitement.



Figure V-5 : au niveau de la microfiltration.



Figure V-6 : au niveau de prétraitement.

a-Mécanismes de la corrosion : [9]

Le Mécanismes de la corrosion est selon :

a-1-Oxydoréduction:

La corrosion est toujours composée de réactions d'oxydoréduction, l'exemple le plus courant de corrosion en solution est la rouille de fer, réaction chimique complexe dans laquelle le fer se combine à la fois avec l'oxygène et avec l'eau pour former l'oxyde de fer hydraté.

a-2-Aspects électrochimiques de la corrosion :

Les principaux facteurs de la corrosion sont les suivants :

- Nature des matériaux.
- Effet de l'humidité.
- Présence des sels.
- Facteurs du milieu, exp. présence d'oxygène.

Il existe deux aspects de corrosion :

- Aspect thermodynamique.
- Aspect cinétique.

➤ Aspects thermodynamique :

Si un métal M est plongé dans un électrolyte, à l'interface métal – solution se forme une couche double, dont la première est compacte par les ions adsorbés : c'est la couche Helmholtz qui est chargée de la charge du métal : $M \longrightarrow Mn^+ + ne^-$

La deuxième couche est une couche diffuse dont laquelle la concentration des ions métalliques est supérieure à celle du milieu où se mêlent des colloïdes chargées électriquement c'est la couche Guy Chapman.

➤ **Aspect cinétique :**

L'aspect cinétique est défini par les mécanismes qui conditionnent la vitesse de corrosion, cette dernière est intimement liée à l'intensité du courant de corrosion. [15]

b-Principaux types de corrosion :

Les Principaux types de corrosion sont :

b-1-Corrosion galvanique :

Se produit lorsque deux métaux différents en contact électrique sont immergés dans une solution conductrice, elle résulte de la différence de potentiel électrochimique des deux métaux.

b-2-Corrosion généralisée :

Si les produits de la réaction de corrosion sont solubles et si le matériau corrodé est de composition uniforme, la corrosion sera uniforme sur toute la surface.

b-3-Corrosion localisée :

La corrosion qui n'est pas uniformément répartie sur une surface, mais se concentre sur une petite surface, est définie comme « corrosion localisée ».

b-4-Corrosion sous contrainte :

La corrosion sous contrainte résulte de l'interruption de films protecteurs de surface par une déformation due à une contrainte. Cette forme de corrosion produit fréquemment des fissures qui peuvent entraîner le bris de l'élément affecté.

c-Facteurs de corrosivité d'une eau :

les Facteurs de corrosivité d'une eau sont :

c-1-Oxygène dissous :

Dans une solution neutre, l'oxygène est important pour qu'il y'ait corrosion, sauf que la formation d'oxyde ferrique réagit comme barrière vis-à-vis de l'oxygène. Une eau mal aérée ne favorise pas la formation de cette couche mais elle favorise une corrosion.

c-2- CO₂ libre :

Un déséquilibre chimique peut engendrer des quantités de CO₂ libre ce qui fait augmenter le PH et rendre l'eau agressive. Dans une canalisation, les points hauts qui ne sont pas muni de ventouses ou par l'effet des coups de bélier, des accumulations gazeuses et des surpressions sont inévitables et par conséquence des émulsions corrodantes.

c-3-Les ions de chlorures et de sulfates (Cl⁻, SO₄²⁻) :

Ces ions peuvent être adsorbés par les couches passives de protection et peuvent les détruire

c-4-L'ammonium (NH₄) :

Les ions d'ammonium favorisent la corrosion par piqûres, surtout lorsqu'il s'agit des alliages cuivreux.

c-5-La température :

Comme toute réaction chimique, une augmentation de la température favorise les réactions électrochimiques de corrosion.

c-6-La résistivité :

Une eau de résistivité faible facilite les échanges électrochimiques.

c-7-La turbidité :

Toutes les matières en suspension de type minéral ou organique, se déposent en film discontinu sur une surface et la corrodent biochimiquement. La corrosion est différentielle par la présence des zones d'aération différentielles du fait de la discontinuité des dépôts.

c-8-Le déséquilibre calcocarbonique :

L'eau doit être en équilibre calcocarbonique pour éviter toute sorte d'entartrage ou de corrosion, pour cela il faut que le PH de l'eau soit égale au PH d'équilibre dit : PH de saturation.

d-Les conséquences de corrosion :

- Rupture des conduites.
- Augmentation de la rugosité.
- Fuites d'eau.
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs. [17]

V-2-1-6-problèmes liés aux rejets chimiques :

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

Ces produits chimiques ne sont pas les mêmes pour les principaux procédés de dessalement, à savoir MSF et l'osmose inverse. Les phases de traitement du procédé d'osmose inverse de production d'eau potable sont exposées sur le tableau suivant :

Tableau-3:Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir du produit utilisé[25].

Phases	objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des produits
Ajustement du pH	Diminue la concentration de carbonate. -protège la membrane contre l'hydrolyse	Acide sulfurique	-Modifie le pH de l'eau brute et de la saumure ; -Le sulfate est retenu dans la saumure concentrée.
Antitartre	-Prévient la formation de tartre sur les membranes	Agents chélateurs et dispersants	Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée
Coagulation - Flocculation	- Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants- Flocculat	Les agents flocculant formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration.
Désinfection	-prévient l'encrassement biologique ; - Elimine les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes.	Chlore (ou biocide,UV)	-Chlore également répartie dans le perméat et la saumure concentrée
Décoloration	-Protège les membranes sensibles au chlore.	Bisulfite de sodium ou charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure.
Oxygénation	Accroît l'oxygène dissout à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique.	Aération	Accroît l'oxygénation dans la saumure concentrée.

<p>Élimination d'autres formes chimiques.</p>	<p>Diminue tous les polluants susceptibles d'être présents dans l'eau brute</p>	<p>Est fonction des formes chimiques.</p>	<p>-Les complexes formés sont retenus dans la saumure concentrée</p>
--	---	---	--

Les produits chimiques rejetés dans le milieu marin se répartissent entre les catégories suivantes:

- **Produits de la corrosion :**

Les produits de la corrosion ne sont pas si importants dans le procédé OI puisque celui-ci se déroule à des températures ambiantes et que les parties métalliques du système sont sur tout en acier inoxydable.

- **Agents antitartre :**

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement industriel, La présence de tartre entraîne inmanquablement des difficultés d'exploitation et/ou une perte de rendement. Dans les usines OI, l'acide sulfurique est utilisé avec des adjuvants polymères pour prévenir la formation de tartre.

- **Agents antisalissure :**

Les salissures «fouling» constituent un processus à phases multiples dans lequel Interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elles commencent par l'adsorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries. À ce premier biofilm adhérent des périphytes, puis des microalgues, des protozoaires et des champignons, et enfin des débris, détritiques et particules inorganiques.

Depuis longtemps, les composés de chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer et l'usine située en amont, afin de prévenir les salissures, Habituellement, on ajoute du chlore.

- **Agents antimousse :**

La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques. Dans le cas de l'OI, il est donc nécessaire d'ajouter des agents antimousse. [25]

V-2-1-7-problèmes liés aux rejets chimiques :

Dans les usines OI, le nettoyage et le stockage des membranes peuvent engendrer des eaux potentiellement dangereuses, Les membranes doivent être nettoyées à des intervalles de trois à six mois en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation et du fonctionnement de l'usine, Les formulations utilisées pour le nettoyage des membranes sont habituellement des solutions alcalines ou acides aqueuses, De plus, une solution chimique de préservation (généralement à base de bisulfite de sodium) doit être utilisée si les membranes sont stockées pendant la fermeture de l'usine. [25]

V-2-2-Etude des performances de la station :

L'étude des performances de la station a été faite suivant les points ci-dessous :

V-2-2-1-Matériel et méthodes :

a- Zone d'étude :

la station de dessalement de SKIKDA est située sur la côte méditerranéenne à l'Est de l'Algérie dans le complexe pétrochimique de la wilaya de SKIKDA (fig v-7).

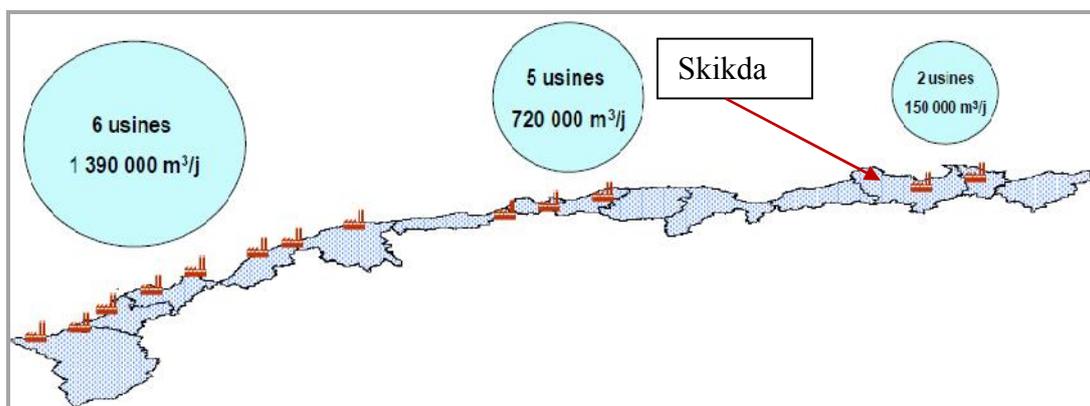


Figure V-7: Localisation des stations de dessalement de Skikda [19]

Les spécifications techniques sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau V-3: spécifications techniques de la station de dessalement de Skikda [19]

Capacité de production	100000 m ³ /J
Taux de conversion	47%
TDS eau traitée	< 400 ppm
Application	AEP-Industrie

b- Mode de prélèvement :

Pour évaluer l'impact du rejet de saumure sur l'écosystème marin, plusieurs campagnes d'échantillonnage ont fait sur durant le mois du Mai.

Des échantillons d'eau de mer, d'eau dessalée et de saumure ont été prélevés, Des analyses

physico-chimiques et biologiques ont été effectuées dans les laboratoires du complexe SONATRACH (GNL-RAF) et SONELGAZ et l'ADE, Les prélèvements ont été effectués dans des bouteilles en verre de 1.5 litres préalablement nettoyées et rincées avec l'eau à analyser.

Elles ont été remplies jusqu'au débordement afin d'éviter la pénétration des bulles d'air, Elles sont ensuite été bouchonnées et étiquetées, où sont notés : origine de l'eau, et date du prélèvement.

c- Techniques d'analyse :

c-1-Analyses physico-chimiques des échantillons prélevés :

Les paramètres physico-chimiques retenus sont soit mesurés in situ ou analysés au laboratoire: La température, le pH et la conductivité électrique sont mesurés sur le terrain, à l'aide d'un analyseur multi paramètres.

Les analyses des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} et PO_4^{3-}), ont été effectuées dans les laboratoires du complexe SONATRACH.

c-2-Analyse des cations :

➤ Dosage de sodium et potassium :

Les teneurs des ions Na^+ et K^+ ont été déterminées par spectrophotométrie d'émission de flamme, à l'aide d'un appareil (JENWAY / PFP 7).

➤ Dosage de calcium et magnésium :

Le Ca^{2+} et Mg^{2+} sont dosés par la méthode volumétrique, par l'EDTA en présence de l'indicateur noir d'ériochrome.

c-3-Analyse des anions :

➤ Dosage des sulfates :

Les ions sulfates sont dosés par méthode néphélométrique par spectrophotométrie à UV, model (Vis BECKMAN/DU520), à une longueur d'onde du **650 nm**.

• Dosage des Chlorures :

Les chlorures Cl^- sont déterminés par volumétrie selon la méthode de Mohr, on faisant précipiter le chlorure d'argent par réaction des ions chlorures avec les nitrates d'argent (AgNO_3), en présence de bichromâtes de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

➤ Dosage des bicarbonates :

Le dosage des ions bicarbonates est réalisé par un titrage alcalimétrique, en présence d'un indicateur méthylorange.

➤ **Dosage des phosphates :**

Le principe est basé sur la réaction des phosphates (PO_4^{3-}) avec le molybdate d'ammonium en présence d'un catalyseur (le tartrate d'antimoine de potassium) en milieu acide. Le complexe phospho-molybdique développe une coloration bleue en présence d'acide Ascorbique. [24]

c-4- Analyses biologiques des échantillons prélevés :

L'analyse biologique a pour but de mettre en évidence un certain nombre de planctons (phytoplanctons et zooplanctons), dans l'eau brute et à différentes distances du point de rejet afin de démontrer l'impact de la salinité sur la survie de la faune et la flore.

➤ **Quelques généralités :**

• **Définition du phytoplancton :** Le phytoplancton est constitué de diverses algues unicellulaires et microscopiques. Ces algues sont à la base de l'alimentation de certains animaux comme les bivalves filtreurs. Il est présent essentiellement dans les zones superficielles car il utilise la photosynthèse pour se développer. Les radiations lumineuses doivent être favorables à la photosynthèse (jaune). Le phytoplancton correspond à la 1ère étape de la chaîne alimentaire. Toutefois, ce dernier ne sert pas à nourrir directement les larves de poissons mais à développer du zooplancton herbivore (rotifères, copépodes, nauplii d'artémias...). Le phytoplancton est utilisé pour enrichir et faire croître le zooplancton en éléments nutritifs essentiels. En effet, le zooplancton prend la valeur nutritionnelle du phytoplancton qu'il consomme. La valeur nutritionnelle du phytoplancton est donc d'une importance primordiale pour la réussite d'un élevage. Il existe des produits susceptibles de remplacer le phytoplancton afin d'assurer la croissance du zooplancton, mais nos meilleurs résultats ont été obtenus à travers l'utilisation de ces algues unicellulaires.

• **Définition du zooplancton :** Il faut considérer le phytoplancton comme étant le carburant du zooplancton, lui-même étant le carburant des larves de poissons. C'est à partir du zooplancton que les larves de poissons vont pouvoir se développer. Pour l'élevage des poissons d'eau de mer, on va utiliser principalement trois grands groupes d'organismes marins appartenant au zooplancton : les rotifères, les copépodes et les artémias. [26]

• **La position des micro- algues dans la chaîne alimentaire :**

La base de la chaîne alimentaire du milieu aquatique est constituée par des organismes végétaux composant le phytoplancton. Ces derniers sont consommés par de petits animaux phytophages formant le zooplancton, eux-mêmes mangés par des espèces de zooplanctons carnivores. Un grand nombre d'espèces marines, comme le hareng ou la baleine,

microphages, se nourrissent à leur tour de zooplancton, tandis que les prédateurs de second ordre, macrophages, chassent les petits poissons. Au final, ils seront eux-mêmes chassés par des super prédateurs comme l'orque, Enfin, les déchets des organismes vivants et les cadavres sont décomposés par les détritivores qui les transformeront en éléments minéraux indispensables pour le phytoplancton, La chaîne alimentaire peut être présentée de la manière suivante : (Fig. V-8).

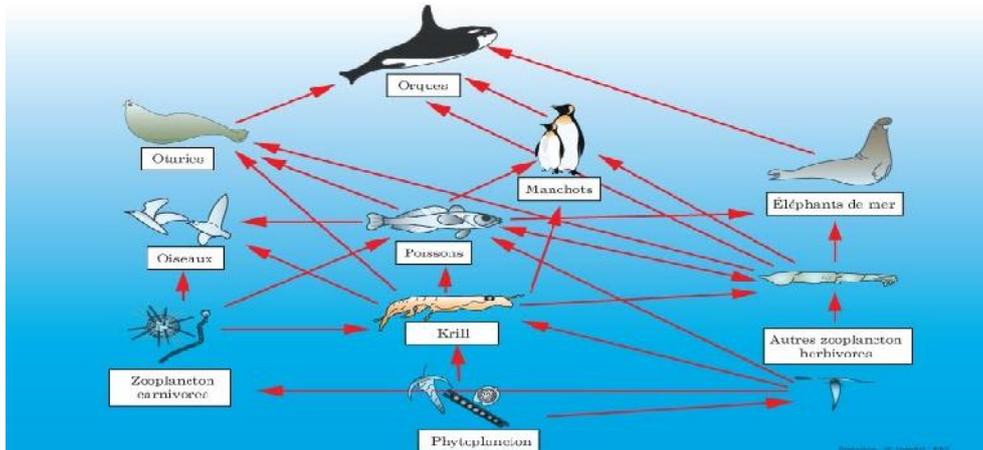


Figure V-8 : Chaîne alimentaire du milieu marin

➤ **Mode opératoire :**

Pour les analyses quantitatives, le microscope à plancton inversé type Utermohl apparaît comme le plus pratique.

Les objectifs sont orientés vers le haut et permettent d'observer les organismes sédimentés sur la lamelle transparente qui constitue le fond d'une petite cuve cylindrique.

Il existe des coupelles de sédimentation de différents volumes, et l'on choisira le volume du sous échantillon à étudier en fonction de la densité planctonique existant dans l'échantillon, quelques réactifs colorés comme le lugol et le violet de gentiane sont utilisés.

À la fin, les résultats de comptage sont exprimés en nombres de cellules par litre par la méthode de comptage des phytoplanctons.

V-2-2-2-Résultats et discussion :**a-Résultats des analyses physicochimiques:**

Les résultats obtenus sont exprimés dans les tableaux ci après :

Tableau V-4: Les résultats des paramètres physico-chimiques.

	l'eau brute	l'eau traitée	La saumure	unité
pH	8.22	8.00	5,44	-
Conductivité	560	408	936	µs/cm
Température	17.50	18.50	18.40	°C
Turbidité	1.30	0.20	0.15	NTU
TDS	29000	274	53560	mg/l
salinité	43,805	30,316	78,781	mg/l
MES	15	-	-	mg/l
Couleur	-	Réelle	-	
odeur	-	0.6	-	Seuil de perception à 25°C
DBO ₅	<1mg/l	0.00	-	mg/l
COT	1mg/l	-	-	mg/l

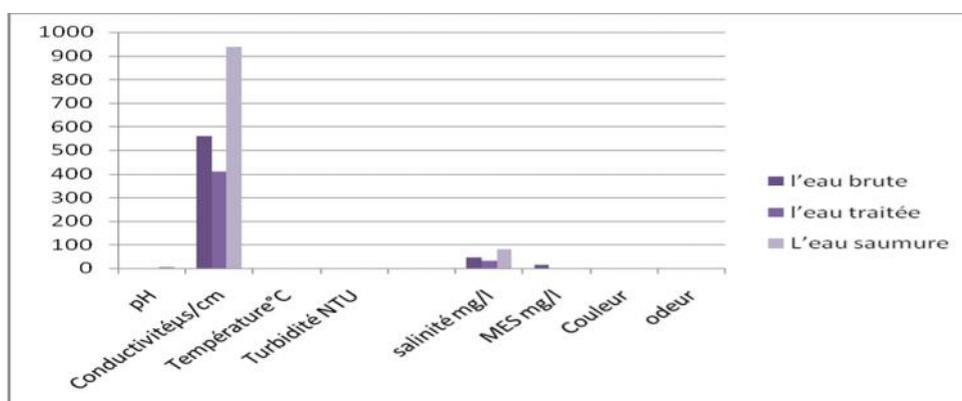
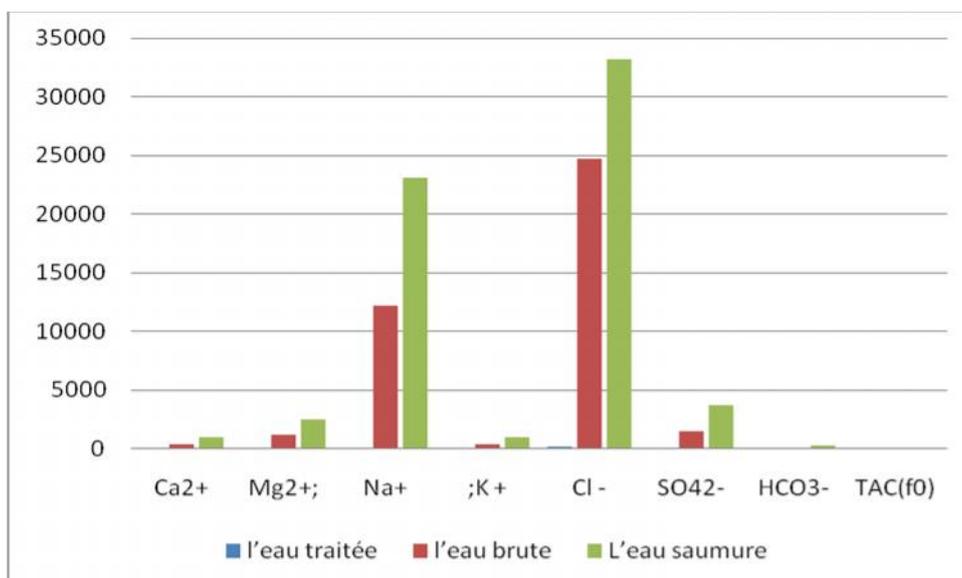
Tableau V-5: Les résultats des analyses de la minéralisation globale.

Les éléments	l'eau brute	l'eau traitée	La saumure
Ca ²⁺	400mg/l	110mg/l	880.03mg/l
Mg ²⁺	1200mg/l	4mg/l	2398,93mg/l
Na ⁺	12200,18mg/l	123,04mg/l	23102,19mg/l
K ⁺	450mg/l	4,8 mg/l	918,36mg/l
Cl ⁻	24710mg/l	177.5mg/l	33230mg/l
SO ₄ ²⁻	1560mg/l	140mg/l	3690mg/l
HCO ₃ ⁻	139,50mg/l	132.55mg/l	251,15mg/l
PO ₄ ³⁻	0.43mg/l	0.28mg/l	0.45mg/l
NO ₃ ⁻	-	1.72 mg/l	-
Fer	0.5mg/l	<0.001 mg/l	-
Aluminium	<1mg/l	-	1.89mg/l
TA(°F)	0,00	0,00	0,00
TAC(°F)	12.8	5.3	17.6

Tableau V-6: Les résultats des analyses de métaux lourds et éléments toxiques:

Les éléments	l'eau brute	l'eau traitée	La saumure
plomb	<0.2mg/l	-	-
cadmium	<0.03mg/l	-	-
mercure	<0.0001mg/l	0.00	-
Chrome total	0.011mg/l	-	-
hydrocarbures	<2mg/l	0.00	0.00
Cu	0.00	0.00	0.00

(Échantillons analysés au laboratoire du complexe SONATRACH (GNL-RAF) et SONALGAZ et ADE)

**Figure V-9:** Représentation graphique des résultats des paramètres physicochimiques.**Figure V-10:** Représentation graphique Les résultats des analyses de la minéralisation globale.

➤ **Interprétations des résultats :**

Une eau dessalée destinée à la consommation humaine doit répondre du point de vue organoleptique, physico-chimique et biologique, à des normes préétablies qui sont représentées par le niveau guide (NG) et concentrations seuil (CMA) L'organisation mondiale de la santé (OMS) publie régulièrement des directives de qualité pour l'eau de boisson, dont de nombreux pays s'inspirent pour élaborer leurs propres normes nationales, [annexe I et II et III].

➤ **Le potentiel d'Hydrogène pH :**

Le pH, associé à d'autres paramètres tels que la température, le TAC et le TH peut révéler le caractère corrosif ou incrustant de l'eau analysée.

La valeur moyenne du pH de l'eau brute est de 8,22. A la sortie des membranes le pH de l'eau traitée a sensiblement baissé pour atteindre une valeur moyenne de 5 ce qui peut provoquer une corrosion sévère des tuyauteries métalliques conduisant à une augmentation des concentrations de certains éléments toxiques ou gênants (plomb, fer,...) ; d'où la nécessité d'élever cette valeur, La reminéralisations par ajout d'eau filtrée, a permis de corriger le pH à la sortie pour atteindre une valeur conforme aux normes qui se situe aux alentours de 8,00.

De même pour la saumure dont le pH est très faible, ce qui explique les traces de corrosion observés sur le circuit saumure.

➤ **Température T° :**

La température pour le dessalement se situe théoriquement entre 12°C et 15°C. En pratique, elle n'a pas d'action directe sur la santé de l'homme, mais des températures élevées peuvent causer des problèmes sur la qualité bactériologique de l'eau, D'après les résultats l'eau produite a une température inférieure ou égale à la norme fournie (<25°C), ce qui rend ce paramètre sans danger pour le consommateur.

➤ **La couleur :**

L'eau et traitée par la station de dessalement de l'eau de mer de Skikda est transparente et très claire, les tests de la couleur sont effectuées à l'aide d'un colorimètre.

➤ **Odeur :**

Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs, elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés mais dans notre cas l'odeur est absente.

➤ **Conductivité, TDS, salinité :**

La conductivité est un paramètre qui a une relation directe avec la minéralisation qui, elle-

même est en relation directe avec le TDS et la salinité de l'eau, Elle peut entraîner cependant, selon les cas, un gout salé et même une accélération de la corrosion au niveau des dépôts dans la canalisation. La conductivité de l'eau brute est de 560 μ s/cm, Après le passage de l'eau de mer prétraitée dans l'unité d'Osmose Inverse, la conductivité a baissé pour atteindre une valeur moyenne égale à 408 μ s/cm.

Mais la norme Algérienne relative à la conductivité est de l'ordre de 2800 μ s/cm, Le mélange de l'eau traitée avec une certaine quantité d'eau filtrée et l'ajout de calcite permettent d'augmenter la conductivité pour d'atteindre des valeurs conformes aux normes algériennes.

Les usines de dessalement rejettent 55,60% de la salinité par rapport à l'eau de mer, exerçant ainsi le plus fort impact sur le milieu marin.

En Europe la salinité de la saumure ne doit pas excéder 10% au-delà de la salinité de la mer, Une augmentation de la salinité, provoquant aussi l'augmentation de la pression osmotique, peut être compensée par une augmentation de la pression d'alimentation, jusqu'à atteindre la valeur maximum admissible, Au-delà de cette valeur, le débit du perméat diminuera, ainsi que la valeur du taux de conversion, Une baisse de la salinité de l'eau permet de diminuer la pression d'alimentation et/ou d'augmenter le taux de conversion, et/ou d'augmenter le débit du perméat.

➤ **La Turbidité :**

La valeur de la turbidité de l'eau de mer est aux alentours de 1.30 NTU en été mais en hiver la turbidité atteint des valeurs beaucoup plus importantes, ce qui entraîne parfois l'arrêt total de la station, Ces fortes turbidités observées en hivers sont la conséquence directe du charriage de sédiments et matières colloïdales par Oued Safsaf dont l'embouchure se situe à 3Km de la station.

Après la microfiltration et l'osmose inverse, la turbidité de l'eau traitée est réduite à une valeur moyenne égale à 0,20 NTU

➤ **Calcium (Ca⁺²) magnésium (Mg⁺²) :**

Nous savons que Ca⁺² et Mg⁺² sont des substances minérales essentielles pour l'organisme humain, C'est pourquoi nous devons toujours avoir une eau riche en ces éléments (ne dépassant pas la norme). Notre contient Les concentrations respectives de eau de mer en Ca⁺² et Mg⁺² sont 400mg/l et 1200mg/l et le TAC est d'environ 12.8°F. Après le traitement par Osmose Inverse, l'eau obtenue présente les valeurs suivantes: 110mg pour Ca⁺², 4mg/l pour Mg⁺² et 5,3°F pour le TAC, Avant la reminéralisations l'eau est trop douce ce qui la rend plus corrosive, d'où la nécessité de la reminéraliser. Cette opération a été effectuée au niveau

du poste de conditionnement par l'ajout de calcite et une certaine quantité d'eau filtrée.

➤ **Les chlorures (Cl⁻) :**

Des concentrations élevées de chlorures, nuisent aux goûts de l'eau, en lui conférant une saveur salée, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium, ils sont aussi susceptibles d'amener une corrosion dans les canalisations et les réservoirs. L'eau de mer contient des quantités élevées (24710mg/l) qui peuvent provenir de différentes sources, telles l'altération des roches, les pollutions liées aux rejets de la SONATRACH et l'influence du Oued Safsaf.

Après traitement, nous avons obtenu, une eau dont la concentration a diminué jusqu'à atteindre 177,5mg/l, cette dernière est inférieure à la norme <400mg/l.

➤ **Titre Alcalimétrique complet (TAC) et les bicarbonates (HCO₃⁻) :**

Dans les eaux potables, la concentration en OH⁻ étant faible et donc négligeable, l'alcalinité de l'eau est constituée des HCO₃⁻ seul ou d'un mélange CO₃²⁻ et HCO₃⁻.

Dans un souci de protection des réseaux de distribution, on donne à l'eau une tendance légèrement incrustante afin qu'un léger dépôt de CaCO₃ tapisse les canalisations, et éviter ainsi les risques de corrosion (CO₂ agressif).

L'eau de mer contient des quantités importantes de bicarbonates (139,50mg/l); après traitement nous avons obtenu une valeur de 132,55mg/l, un TAC d'une valeur moyenne égale à 5,3°F, sachant que pour les eaux adoucies la valeur minimale recommandée pour le TAC est de 2,5°F, donc l'eau produite reste supérieure à la limite minimale.

➤ **Les paramètres de pollution :**

Tout présence excessive de ces paramètres (NO₃⁻, PO₄³⁻) dans l'eau potable est un signe de pollution qui doit être traité avant la distribution au consommateur.

➤ **Les nitrates (NO₃⁻) :**

Pour l'eau traitée la teneur en nitrate est de 1,7mg/l, cette teneur est inférieure à la norme.

➤ **Les phosphates (PO₄³⁻) :**

les teneurs de phosphates est de 0,43mg/l pour l'eau brute et 0,28mg/l pour l'eau traitée, Ces phosphates proviennent de la dégradation de la matière organique ou des poly phosphates (utilisés pour le traitement des eaux de la sonatrach), sa présence dans l'eau est également liée à l'utilisation des engrais. Pour l'eau de mer la teneur en phosphates sont un peu plus élevées mais restent inférieures à 0,5mg/l, teneur qui constitue un indice de pollution. (rodier,2005).

➤ **Pour Le sodium et le potassium :**

Présents dans les roches des terres émergées, ces deux éléments sont dissous lors des pluies et entraînés par les cours d'eau dans la mer, aussi liées aux rejets de la sonatrach, la présence du

potassium dans l'eau de mer et saumâtre dépasse la norme algérienne qui est 12mg/pour le potassium et 200mg/l pour le sodium.

➤ **Pour Les sulfates :**

Les sulfates sont présents dans l'eau destinée à la consommation humaine, mais des concentrations élevées peuvent engendrer une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande comme valeur limite 200 mg/l, les teneurs élevées dans l'eau de mer et la saumure, dépendant généralement de l'étape de dosage de réduction de chlore par le bisulfite de sodium qui enrichie également cette eau en sulfate. Pour l'eau traitée on a une teneur de 140mg/l qui est inférieure à 200mg/l.

➤ Le reste des éléments sont conformes aux normes en vigueur.

b-Résultats des analyses biologiques :

Les résultats d'analyse du Phytoplancton et du zooplancton dans l'eau de mer et à différentes distances du point de rejet, sont donnés dans le tableau V-7.

Tableau V-7: Les résultats des analyses biologiques.

La distance(m)	Phytoplanctons (Cellule/l)	zooplanctons (Cellule/l)
7	1870	10
25	2000	12
3000	2190	1800

(Échantillons analysés à l'université d'ANNABA BAJI MOKHTAR département biochimie)

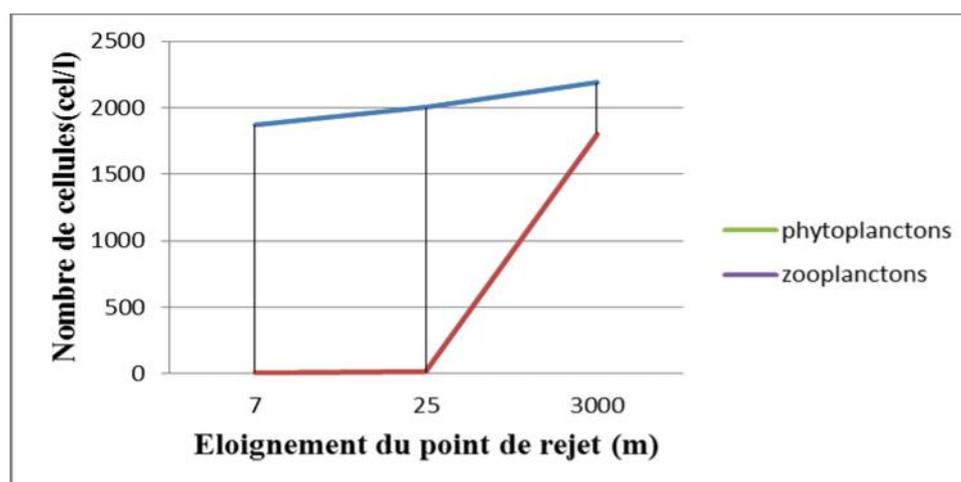


Figure V-11:Le nombre des phytoplanctons et zooplanctons par rapport au point de rejet.

➤ A la lumière de nos résultats, on remarque que la saumure rejetée dans l'environnement marin près des côtes provoque des changements dans l'abondance et la diversité des communautés de phytoplancton et du zooplancton dans la zone d'étude. Cet impact négatif est

très important à proximité de l'exutoire, où l'influence de la décharge de la saumure est plus élevée (Fig. V-11) et s'atténue quand on s'éloigne de celui-ci, ce qui se traduit par une meilleure croissance du plancton.

De surcroît la concentration en sels de la saumure est de 78.8 g/L et a une densité beaucoup plus élevée que l'eau de mer, Ainsi, la saumure tombe sur le sol sous-marin proche de la sortie de la conduite (effet panache) et forme une couche très salée pouvant provoquer un appauvrissement de la communauté benthique.

Plusieurs études ont évoqué le stress exercé par les variations de la salinité et qui perturbe de façon sévère la croissance cellulaire chez la faune et la flore (phytoplanctons et zooplanctons) et menace leur survie.

➤ Sur les figures V-12 et V-13, nous avons présenté certains zooplanctons et phytoplanctons qui ont été observés sous microscope inversé, dans nos échantillons :

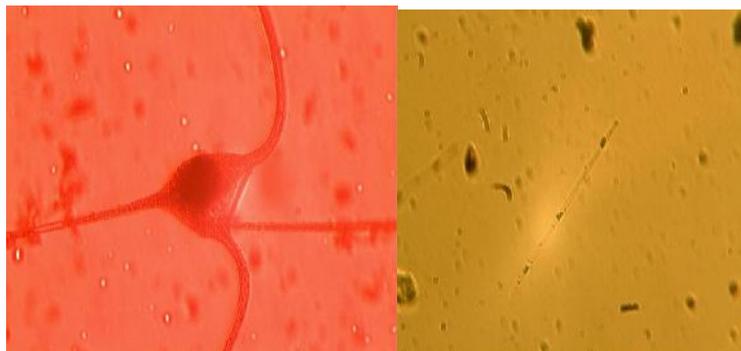


Figure V-12 : Photo des phytoplanctons observés dans les échantillons prélevés.



Figure V-13 : Photo des zooplanctons dans les échantillons prélevés.

➤ Conclusion :

D'après Les analyses physico chimiques et biologiques on conclus sur nos échantillons en évidence une forte concentration de salinité et certains ions (ex. Cl^- , Na^+ , etc) qui sont toxiques pour la plupart des organismes vivants, les phytoplanctons et les zooplanctons sont des indicateurs de l'état du milieu marin et de la pollution, la forte augmentation de la salinité du rejet et son impact sur le développement du phytoplanctons et zooplanctons qui constituent les premiers maillons de la chaîne alimentaire, Aussi l'eau traitée doit subir un post-traitement en vue d'améliorer sa qualité, de l'équilibrer pour mieux protéger les infrastructures.

V-2-2-3-impact de la station de dessalement de Skikda sur l'environnement :

Si le dessalement offre une opportunité pour résorber le déficit hydrique et assurer le développement du pays, cette technologie influe négativement sur le milieu marin et affecte son écosystème, Ces répercussions négatives sur l'environnement peuvent tenir à divers éléments :

- Evacuation de la saumure ou des eaux résiduelles produites par le dessalement.
- Rejet des produits chimiques des traitements correctifs : antisalissure, anticorrosion ou détartrants
- Emission de gaz à effet de serre dérivant de la consommation d'énergie .
- Impact visuel au niveau du paysage .
- Bruit.

Toutefois la préoccupation majeure reste l'impact potentiel sur l'environnement causé par le déversement de la saumure. Un concentrât hyper salin qui modifie le milieu au point de rejet.

V-2-2-4-Effets dus au prélèvement d'eau de mer :

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins, Ce processus comporte des impacts potentiels pour la flore et la faune de la zone concernée, Par exemple, des tambours tamiseurs sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de prétraitement, Cependant le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact :

- le heurt du poisson et d'autre organismes marins sur les tambours avec pour conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une

désorientation, Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation.

- L'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation, qui est une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton.
- Les principaux impacts associés au passage dans les circuits de prétraitement et de dessalement, sont liés à des activités telles que la chloration, les lésions de cisaillement et le changement rapide de pression dans le circuit, La conséquence générale de l'entraînement d'organismes dans le circuit est une réduction du recrutement pour les habitats existants et une chute de la productivité de l'écosystème.

V-2-2-5-Impact de la saumure sur la faune et la flore :

➤ Définition du rejet de la saumure :

Après le processus de dessalement l'eau est séparée en deux parties :

- perméat (fraction de l'eau qui a été dessalée).
- concentrât (de concentration élevée et rejeté à la mer).

Ce dernier contient une concentration en sel très élevée car il regroupe les quantités de sel qui se trouvait dans l'eau avant le processus de dessalement en plus de produits chimiques utilisés dans le prétraitement et l'entretien des installations.

Bien que le nombre de publications scientifiques consacrées à la question soient restreint, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifique des impacts possibles sur le milieu marin, les rejets de saumures fortement chargées ont pour conséquence la variation de la composition chimique de l'eau de mer qui altère l'équilibre des éco systèmes et l'environnement marin, La diminution de la concentration en oxygène dissous d'après les résultats de cette étude a une conséquence sur la vie des espèces marines.

L'eau de mer, par ses propriétés physico-chimiques et également par la fraction vivante qu'elle comporte, est une eau de nature entartrant et corrosive pose des problèmes dans l'exploitation tel que l'entartrage et la corrosion des équipements de l'installation de dessalement.

Les solutions à apporter pour la production d'eau par dessalement sont le choix du procédé adéquat sur tous ses aspects économiques, technologiques et environnementaux, les traitements de neutralisation de la saumure, les dosages précis dans les traitements de correction de l'eau à dessaler.

➤ Produits contenus dans la saumure :

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

➤ L'impacte sur l'environnement :

La saumure est un vrai problème environnemental devant être pris en considération et étudié lors de l'implantation d'une unité de dessalement, La concentration en saumure varie de 50 à 80 g/L et a une densité beaucoup plus élevée que l'eau de mer, La forte salinité des eaux de rejets est à l'origine des principaux impacts des usines de dessalement sur les écosystèmes marins. Le rejet de saumure dans la mer aboutit en effet à la formation d'un système stratifié de couches de plus en plus salées vers le fond , Une couche sur salée recouvre le fond, induisant une diminution du taux d'oxygène des sédiments et une augmentation de la turbidité de l'eau de fond (l'eau devient moins transparente), Dans certains cas et en fonction des courants marins locaux, 40% de la zone environnante est recouverte de sel , L'ensemble de ces modifications du milieu marin peut avoir plusieurs conséquences : les espèces photo synthétiques benthiques sensibles(organismes du fond de mer qui puisent leur énergie de la lumière) ne peuvent plus se développer et meurent, tout comme les larves et juvéniles de la faune locale, les algues retiennent les sols et sont une source de nourriture pour la faune locale, Très sensibles aux variations de salinité, ils sont menacés par les rejets de saumure.

V-2-3-Solutions proposées :

Pour améliorer les performances de la station nous suggérons les solutions suivantes :

V-2-3-1-Pompage de l'eau de mer (la cavitation) :

On peut dresser une liste de conseils à respecter, si le procédé le permet, pour éviter la cavitation:

- préférer si possible les montages de pompes en charge.
- éviter de transporter des liquides à des températures trop élevées.
- éviter une alimentation à partir d'un réservoir sous pression réduite.
- diminuer les pertes de charge du circuit d'aspiration.
- Si ces conseils ne peuvent être appliqués en raison des exigences du procédé, il ne reste

plus qu'à trouver une pompe dont les caractéristiques montrent des valeurs de N.P.S.H.requis suffisamment faibles.

➤ Changée les hauteurs d'aspiration a des hauteurs admissible :

H_{ad} : hauteurs d'aspiration admissible.

Pour la premier pompe on a :

$$H_{ad1}=(n\text{psh})_d-P_{at}/\rho g/+ P_v/\rho g + V_{a1}^2/2*g+\sum h_{p\text{asp}1}=4.19-10.33+0.24+0.80+0.33=-4.77\text{m}$$

❖ **Pour la deuxième pompe on a :**

$$H_{ad2}=(n\text{psh})_d-P_{at}/\rho g/+ P_v/\rho g + (V_{a2})^2/2*g+\sum h_{p\text{asp}2}=4.19-10.33+0.24+0.86+0.36=-4.68\text{m}$$

❖ **Pour la troisième pompe on a :**

$$H_{ad3}=(n\text{psh})_d-P_{at}/\rho g/+ P_v/\rho g + (V_{a3})^2/2*g+\sum h_{p\text{asp}3}=4.19-10.33+0.24+0.77+0.32=-4.81\text{m}$$

Pour la quatrième pompe on :

$$H_{ad4}=(n\text{psh})_d-P_{at}/\rho g/+ P_v/\rho g + (V_{a4})^2/2*g+\sum h_{p\text{asp}4}=4.19-10.33+0.24+0.84+0.34=-4.72\text{m}$$

Pour la cinquième pompe on :

$$H_{ad5}=(n\text{psh})_d-P_{at}/\rho g/+ P_v/\rho g + (V_{a5})^2/2*g+\sum h_{p\text{asp}5}=4.19-10.33+0.24+0.80+0.33=-4.77\text{m}$$

Pour la sixième pompe on :

$$H_{ad6}=(n\text{psh})_d-P_{at}/\rho g/+ P_v/\rho g + (V_{a6})^2/2*g+\sum h_{p\text{asp}6}=4.19-10.33+0.24+0.74+0.33=-4.83\text{m}$$

➤ **Remarque :** il faut change le type d'installation en charge par ce que l'hauteur d'aspiration Admissible est négatif.

V-2-3-2-l'obligation de la chloration :

Il faut injecter l'hypochlorite de sodium dans la tour de captage ; une dose de 5ppm (chlore libre) est suffisante. Pour ne pas dégrader les membranes il faut éliminer toute trace de chlore. En injectant du de bisulfite de sodium avant les pompes hautes pression.

V-2-3-3-l'ouvrages de coagulation-floculation-décantation :

On utilise cet ouvrage en hivers puisque le SDI augmente jusqu'à 5 à l'entrée des membranes.

a-La coagulation :

Les sels métalliques les plus employés dans le traitement des eaux sont le sulfate d'alumine et le chlorure ferrique, Mais pour le traitement de l'eau destinée à l'alimentation des osmoseurs(dessalement), le sulfate d'alumine n'est jamais employé, car son minimum de solubilité ne peut être atteint dans la gamme des pH de l'eau de mer (~ 8,2). Ainsi le résiduel d'aluminium se trouvant dans l'eau, présentant des charges positives, réagira avec les produits

séquestrants et les membranes elles mêmes, tous deux étant chargés négativement.

C'est donc des sels de fer (chlorure ferrique, sulfate ferrique) qui sont choisis, car pour tout pH supérieur à 5,5, l'eau ne présentera aucun résiduel de fer pouvant dégrader la solution de séquestrant ou colmater fortement les membranes.

b-La floculation :

Pour grossir les micro-flocs il est employé des polymères anioniques (-) et non cationiques, ces derniers pouvant colmater irrémédiablement les membranes (-) par formation d'un gel, L'utilisation d'un polymère permet d'améliorer très sensiblement l'indice de colmatage.

c-Mise en œuvre de la coagulation-floculation :

Le coagulant et le floculant sont injectés, soit directement dans la conduite alimentant le poste de filtration, soit à l'entrée du décanteur si l'installation en possède un.

Le coagulant est injecté en premier.

Après chaque point d'injection on ménage une zone de forte turbulence pour assurer la bonne diffusion des produits dans toute la veine liquide, avant l'admission de l'eau dans le poste de filtration (ou le décanteur).

• **Remarque :**

Si le site de prélèvement de l'eau de mer a été bien choisi et que le système de prise a été convenablement conçu, dimensionné et installé, il n'y a pas de raison de prévoir un ouvrage de décantation, une filtration directe étant possible.

V-2-3-4-le colmatage des membranes :

Les solutions techniques au colmatage Plusieurs procédures permettent de réduire l'impact du colmatage :

• **construction d'ouvrages de coagulation, floculation et décantation :**

la présence de cet ouvrage permet d'éliminer les matières en suspension (MES) qui sont soit de nature minérale (argiles, limons, sables...) soit de nature organique (produits de décomposition de matières végétales...) qui réduit le colmatages des membrane.

• **Nettoyage chimique des membranes :**

En règle générale il est utilisé des solutions acides pour éliminer le colmatage dû à des hydroxydes métalliques ou l'entartrage provoqué par le dépôt de carbonate de calcium, Pour des colmatages provoqués par des matières organiques ou biologiques on utilisera une solution alcaline, Si l'origine du colmatage, ou de l'entartrage, n'est pas connue, on procédera à deux types de nettoyage acide et alcalin, en commençant par le nettoyage acide. Ces deux

nettoyages pourront être complétés par une désinfection, pour la méthode de nettoyage, il est dans le chapitre IV, l'utilisation d'anti-tartres ne peut pas toujours être évitée, Diminuer le taux de recouvrement de 25% réduit les risques de sursaturation et de précipitation des sels (entartrage).

• **l'injection de l'hypochlorite de sodium dans la tour de captage :**

pour éliminer les bactéries, l'argile qui sont responsable du colmatage biofouling.

• **la mesure du MFI (modified fouling index) :**

Dans les systèmes d'osmose inverse la pollution par les colloïdes peut sérieusement diminuer les performances en diminuant la productivité un des signes de ce type de pollution est l'augmentation du gradient de pression, Les origines de cette pollution peuvent varier. les produits chimiques qui sont utilisés lors du prétraitement peuvent aussi provoquer l'encrassement des membranes, La meilleure technique disponible pour déterminer le potentiel d'encrassement par les colloïdes d'une eau d'alimentation est la mesure du MFI (modified fouling index).

C'est une mesure importante que l'on effectue avant de concevoir le système de prétraitement. Cette mesure doit être effectuée régulièrement lorsque le système est utilisé.

• **Remarque :**

La filtration de l'eau brute est arrêtée pour permettre le nettoyage des membranes lorsqu'une consigne de perte de charge maximale due à l'écoulement tangentiel ou une consigne de pression transmembranaire maximale ou lorsqu'une consigne de temps est atteinte, Le nettoyage des membranes vise à limiter le colmatage irréversible des membranes et donc à limiter la perte irréversible de perméabilité, et par le fait même, à prolonger la durée de vie des membranes.

V-2-3-5-problème de la corrosion :

a-Méthodes de lutte contre la corrosion :

• **Choix du matériau :**

Le choix des matériaux d'une unité de dessalement par osmose inverse doit tenir compte des conditions particulières du procédé :

- Température ambiante (0 à 45°C) .
- Eau saline complètement aérée .
- PH pouvant être légèrement acide (PH=6) .
- Cycles de lavage à PH acide (PH=2) et basique (PH=12) .

- Pression élevée (50 à 70 bar) .
- Vitesses variables.

-Pour le circuit basse pression, les matériaux plastiques (PVC, polyéthylène) sont le plus souvent utilisés et les plus compatibles.

- Le choix de matériaux ne pose un problème que pour le circuit haut pression qui englobe :

- La pompe haute pression ;
- Les canalisations haute pression (entre pompes et modules et entre modules et vannes de réglage).

• **Aciers austénitiques :**

Les aciers austénitiques sont constitués d'aciers chrome- nickel comportant de nombreux éléments d'addition (Mo, Cu,Si,Ti,Nb). Leurs compositions sont équilibrées qu'ils conservent après traitements thermomécaniques et à température ambiante une structure austénitique. Les additions de ces éléments modifient les propriétés :

- Le molybdène améliore la tenue à la corrosion localisée de type piqûres et crevasses,
- Une stabilisation (Ti-Nb) : un bas carbone réduit la sensibilisation à la corrosion intergranulaire,
- L'azote améliore la tenue à la corrosion localisée et augmente les caractéristiques mécaniques,
- L'augmentation des teneurs en Ni et Cr améliore la tenue à l'oxydation à chaud,
- L'augmentation de la teneur en Ni stabilise la tenue à la corrosion sous contrainte.

• **Alliages super austénitiques :**

C'est des alliages austénitiques avec une forte teneur en Ni de 25 à 35 % et à teneurs en molybdène et chrome respectivement de 3,5 à 6 % et 20 à 25, Ces compositions assurent une bonne stabilité en milieux très agressifs.

• **Aciers austéno-ferritiques (Duplex) :**

Ce sont des alliages fer-chrome-nickel dont la composition équilibrée pour obtenir une structure Duplex avec environ 50% d'austénite et 50% de ferrite, Ces alliages de faible teneur en nickel présentent des caractéristiques mécaniques élevées par rapport aux austénitiques et une bonne tenue à la corrosion intergranulaire et localisée.

• **Aciers ferritiques :**

Ces des aciers avec 12 à 30 % de chrome et des teneurs en carbone inférieures à 0,02 à 0,1 %. En milieux agressifs, les nuances utilisées ont des faibles teneurs en carbone, Les

nuances à moyenne teneur en chrome présentent de bonnes caractéristiques de soudabilité, une résistance mécanique et une résilience mais une résistance moyenne à la corrosion. L'accroissement de la teneur en chrome améliore la résistance à la corrosion avec cependant un abaissement des propriétés mécaniques, notamment la résilience.

- **Alliages à faibles teneurs en chlore :**

Outre le titane, les alliages de forte teneur en nickel assure à leur tour une bonne tenue à la corrosion avec les alliages (Ni-Cr-Mo-Fe).

- b-Lutte contre la corrosion par piqûres :**

La corrosion par piqûres est initiée par la création des points faibles dus aux inclusions de sulfures ou d'oxydes. Elle progresse si le potentiel Redox de l'électrolyte est plus élevé que le potentiel de piqûres de l'acier inoxydable. On utilise en particulier la notion de « Pitting Resistance Equivalent » ou « PRE » :

$$PRE = Cr \% + Mo \%$$

On a constaté qu'une teneur élevée en azote augmenterait la résistance aux piqûres.

- c-Lutte contre la corrosion galvanique :**

Ce type de corrosion ne peut se produire seul, c'est-à-dire sans qu'il y ait une action protectrice correspondante à l'égard du second métal, plus noble. Les règles à observer sont les suivantes :

- Chaque fois qu'il est possible, n'utiliser qu'un seul métal pour construire un équipement destiné à assurer un service dans l'eau de mer.

- Là, où il n'est pas possible de construire en un seul alliage, s'assurer que les éléments essentiels sont en alliages nobles et donc protégés. Pour cela, il faut s'assurer que ces éléments essentiels sont plus cathodiques dans l'échelle des potentiels galvaniques.

V-2-3-6-la solution pour réduire l'impact de la saumure :

La solution adoptée aujourd'hui est la mise en place de systèmes de diffuseurs afin de maîtriser la dilution de la saumure avec l'eau de mer, limitant spatialement la zone d'impact.

C'est la solution qui a été adoptée sur l'installation de dessalement de Perth.

L'installation dispose d'une licence d'exploitation assujettie à une obligation de performance liée à la gestion de ses rejets en mer, Le système de dilution doit permettre d'atteindre un taux de dilution de 45 à 50 m autour du point de rejet.

Le système de diffusion a été dimensionné avec l'aide d'une modélisation assistée par ordinateur (CFD).

Les résultats ont été validés par une maquette réalisée à l'échelle 1 :15

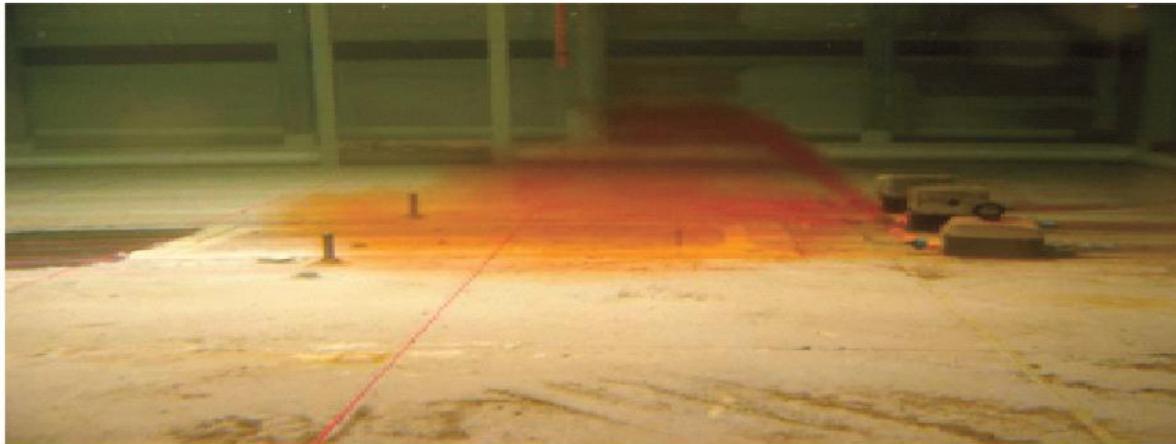
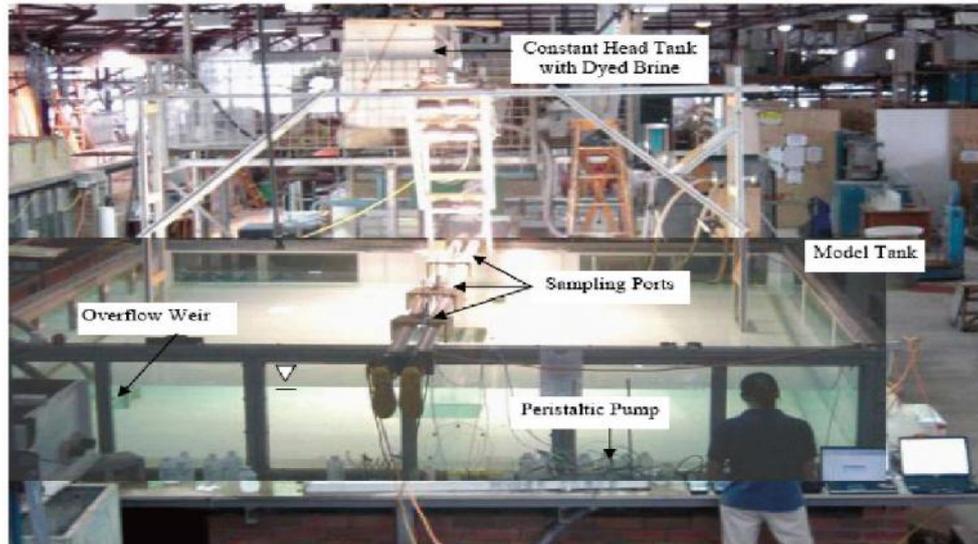


Figure V-14 : Maquette au 1 :15 des systèmes de diffusion de concentrât de l'installation de Perth.(Université de l'Australie de l'ouest) [18].

Dans le but de contrôler et minimiser la perturbation des écosystèmes.

On a opté pour une solution qui parait la plus stratégique du point de vue technique et économique.

À cet effet on a prévu un collecteur de rejet de la saumure situé au large, et dont l'emplacement est Soigneusement choisi en fonction des flux marins, afin d'éviter les zones biologiques sensibles et de favoriser la dispersion des saumures.

CONCLUSION GENERALE

A l'issue de cette étude, on remarque que la performance de la station de dessalement de la w.skikda réduira à cause : (la cavitation, suppression de la chloration, L'absence d'ouvrages de coagulation-floculation-décantation, Le colmatage des membranes, problème de la corrosion, problèmes liés aux rejets chimiques, Rejet des eaux de lavage à contre-courant de membranes).

Le grand problème de la station est la période de l'hiver comme MES augmente à cause du oued SAF qui est à 3km de la station, les membranes se colmatent et les filtres à cartouche aussi et l'amputation économique.

Le dessalement d'eau de mer apporte une solution rapide à la pénurie d'eau douce, mais apporte avec lui beaucoup d'inconvénients tel que

- Besoin énergétique important.
- Utilisation de produits chimiques.
- Rejets des saumures concentrées
- Aucune législation spécifique au rejet de saumure.

L'analyse physicochimique et biologique réalisées dans cette étude en évidence la forte augmentation de la salinité du rejet et son impact sur les phytoplanctons et les zooplanctons qui constituent les premiers maillons de la chaîne alimentaire du milieu marin.

Les saumures fortement salines en contact avec la mer descendraient au fond de la mer et prolongeraient sur un rayon de centaines de mètres présentent une source continue et cumulative de pollution, qui aurait comme conséquence des détriments continus sur la vie aquatique à proximité (zone hyper saline).

Le problème des rejets est un problème dont il faut traiter en urgence vu la vitesse à laquelle le nombre d'installations de dessalement d'eau de mer augmente mais aussi la capacité de dessalement augmente, donc la quantité de rejet augmente avec elle.

Bibliographie

- [1]- Alain Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », éditions Technique & Documentation, 2001.
- [2]-Georges Mutin« L'eau dans le monde arabe » : enjeux et conflits, éditions Ellipses 2000.
- [3]-**A.N.R.H** « Bilan des ressources en eau en Algérie »2005.
- [4]- **PHILIPPE APTEL**, «Techniques de l'ingénieur », (OI, NF, UF) application en traitement des eaux,
- [5]- Raymond Desjardins « le traitement des eaux » 2^{ème} édition de l'école polytechnique de Montréal, 1990.
- [6]- Arnoult et Fournier « Dessalement de l'eau de mer »,
- [7]- **PHILIPPE APTEL**, «Techniques de l'ingénieur », (OI, NF, UF) application en traitement des eaux, W4120- (2-3).
- [8]- « *La gestion des ressources en eau en Algérie :Situation, défis et apport de l'approche systémique* »**ROUISSAT** Bouchrit.
- [9]- Le magazine Odyssée « l'osmose inverse la vapeur », n°48, Degrémont. Mai 2004
- [10]- Technologies Saint Laurent, potentiel des technologies membranaires.
- [11]- Christian René Bouchard : « Principes généraux de l'osmose inverse » science et techniques de l'eau. Volume 21 n°03 Août 1988.
- [12]- Formation à l'exploitation et à la maintenance des unités de dessalement d'eau de mer de l'Algérienne des Eaux.
- [13]- « Descriptif technique de l'installation de BREDEAH, ORAN », Degrémont, 2000.
- [14]- Claude Cardot, Les traitements de l'eau, Ellipses 1999.
- [15]- Mfe Diagnostic de la corrosion aqueuse liée au dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (Station de Bouismail) et la reminéralisation comme moyen de prévention fait par Mr. **GHERNAOUT DJAMEL**
- [16] - Mfe **BOUKEMIDJA Sarah** AEP 2007 (ensh)
- [17]- « Mémento technique de l'eau Tome II » Degrémont, 1996.
- [18]-« **(HABI M. BENMOUSSAT A** : procédés de dessalement de l'eau de mer)
- [19]- (**Document de desaladora**) Dimensionnement de la station de dessalement de Skikda.

Bibliographie

[20]-www.wikipédia.com

[21] –www.ADE.dz

[22]-www.eldjazaircom.dz

[23]- www.bernarderic4926.perso.fr

[24]-www.lenntech.com.

[25]-« Programme des Nation Unis pour le dessalement » ,www.impact du dessalement .com

[26]- www.plancton.fr