

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Impact du dessalement sur l'environnement.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0028-10

APA Citation (APA توثيق):

Lounnas, Sabrina (2010). Impact du dessalement sur l'environnement[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Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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، مقالات دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة و يتم إدارته من طرف مديرة 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 DE L'HYDRAULIQUE
«ARBAOUI ABDELLAH »

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE.

Spécialité : Conception des Systèmes d'alimentation en eau potable

THEME :

**IMPACT DU DESSALEMENT SUR
L'ENVIRONNEMENT**

Présenté par :
M^{elle} LOUNNAS SABRINA

Promotrice :
M^{me} F.AMMOUR

Devant le jury composé de :
Président : M^r O.KHODJET-KESBA
Examineurs: M^r M.S.BENHAFID
M^r A.AYADI
M^{me} K.ZERHOUNI
M^{me} L.TAFAT

OCTOBRE 2010

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :

A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard;

A mes frères : Massi, Tarik, Riad, Wissam et Samy ;

A toute la famille Lounnas

A toute la famille Boudjenane

A ma très chère grand-mère

A ma belle sœur Zahia

A notre petit bout de chou Abdelkarim

A tous mes amis, sans exception.

S.Lounnas

Remerciements

Tout d'abord je tiens à exprimer mes vifs remerciements à ma promotrice « M^{me} F.AMMOUR » de m'avoir orienté et pour ses conseils judicieux et ses riches connaissances dans le but de mener à bien ce projet de fin d'études.

- ◆ Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur de juger ce travail, je les remercie vivement.

Mes remerciements vont également à :

- M^HABBOUCHE, responsable au niveau de l'A.N.R.H d'Alger.
- M^{me} Farida de l'A.N.R.H de Blida pour son aide précieuse.
- M^{me} S.LARDJENE pour ses orientations.
- M^{me} la Responsable de la station de Bou-Ismaïl qui m'a beaucoup appris dans le domaine du dessalement.
- M^r B.SALAH pour ses conseils et son aide.
- M^r D.KOLAI, pour ses orientations.
- Tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, et toute la famille de L'E.N.S.H

Enfin un grand merci tout spécial à ma famille, à mes parents qui m'ont beaucoup épaulé et toujours encouragé, à mes frères à tous mes amis qui n'ont cessé de me soutenir au cours de mes années d'études et pour m'avoir plus d'une fois remonté le moral. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

S.LOUNNAS

ملخص

بتحلية المياه نستطيع القضاء على نقص الماء الذي يعترض تحسن المستوى المعيشي و تقدم القطاعات التابعة، لكن العواقب الناتجة عن هذه يمكن ان تكون خطيرة .
في اطار هذه الدراسة ، اعتبرنا وحدة التحلية بطريقة الاسموز العكسي لبوسماعيل حتى نبين الاثار السلبية على البيئة البحرية عن طريق سلسلة من التحاليل المنجزة على عينات من الماء (خام محلل مركز) ثم اقترحنا حلول لتخفيف هذه الاثار.

Résumé :

Le dessalement des eaux peut remédier au manque d'eau qui fait obstacle à l'amélioration des niveaux de vie et au développement des secteurs qui en dépendent, mais les effets engendrés par celui ci pourraient être graves.

Dans ce cadre d'étude, nous nous sommes intéressés à la station de dessalement par osmose inverse de Bou-Isml, afin de montrer l'impact potentiel sur l'environnement côtier par une série d'analyse effectuée sur des échantillons d'eau (brute, traitée et saumure), puis on a proposé des solutions d'atténuation de cet impact.

Abstract :

Desalination of water can remedy to lack of water which hinder the improvement of the standars of life and the development of the depending sectors, but its effects could be very dangerous.

On this domaian of study, we paid great interest to Bou-Ismaïl desalination center by inverse osmosis, in order to show the potentiel impact on the coast environment through a series of analysis done on waters amples (brute, treated,and brine), and we have proposed attenuating solutions of this impact.

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : Les ressources hydriques dans le monde et en Algérie

I-1-Introduction.....	2
I-2-Répartition de l'eau dans la planète.....	2
I-3-Adéquation entre ressources et besoins en eau.....	3
I-3-1-Usages domestiques.....	5
I-3-2-Usages agricoles.....	5
I-3-3-Usages industriels.....	6
I-3-4-Indicateurs de ressources : Seuil de tension, Seuil de pénurie.....	6
I-4-Les ressources conventionnelles en eau en Algérie.....	7
I-4-1-Les ressources en eau de surface.....	8
I-4-2-Les ressources en eau souterraines.....	8
a) Dans le nord du pays.....	8
b) Dans le sud du pays.....	9
I-5-Situation et évolution du marché de dessalement.....	10
I-5-1-Le dessalement dans le monde.....	10
I-5-2-L'expérience algérienne dans le dessalement.....	13
I-5-2-1-Les stations existantes.....	14
• Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau.....	14
• Stations installées par la compagnie «SONELGAZ».....	15
• Stations installées par la compagnie «SONATRACH».....	15
• Stations installées par d'autres compagnies.....	17
• Station expérimentale du centre de Développement des Energies Renouvelables CDER.....	17
I-5-2-2-Le programme d'urgence (2002-2003).....	17
I-5-2-3-Programme de réalisation des usines de dessalement.....	19

CHAPITRE II : Classification des procédés de dessalement

II-1-Introduction.....	20
II-2-Classification des différents procédés de dessalement.....	21
II-2-1-Les procédés membranaires.....	22
II-2-1-1-Electrodialyse.....	22
• Description du procédé	22
• Principe de fonctionnement.....	22
a) Electrodialyse conventionnelle (EDC).....	23
b) Electrodéionisation (EDI)	24
II-2-1-2-Osmose inverse.....	26
II-2-2-Procédés thermiques.....	26
II-2-2-1-La distillation.....	26
a) Distillation à simple effet.....	26
b) Distillation à multiples (MED).....	27
c) Distillation à détente successives (MSF).....	29
d) Distillation par compression de vapeur.....	30
e) Distillation par l'énergie solaire.....	30
II-3-Les critères de choix d'un procédé de dessalement.....	31

CHAPITRE III : Procédé d'osmose inverse

III-1- Introduction	32
III-2- Le regroupement des membranes d'osmose inverse.....	33
III-3- Les membranes d'osmose inverse	34
III-3-1- Historique des membranes	34
III-3-2- Classification des membranes	35
a) Membranes organiques.....	35
b) Membranes minérales ou inorganiques	35
c) Membranes composites	35
d) Membranes échangeuses d'ions	36
III-3-3- L'écoulement du fluide sur la membrane	36
III-3-4- Mécanisme de transfert	37
III-4- Les modules d'osmose inverse	38
III-4-1- Module spirale	38
III-4-2- Module tubulaire	39
III-4-3- Module fibres creuses	39
III-4-4- Module plans.....	40
III-5- Les critères de choix d'un module d'osmose inverse	42
III-6- Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse	42
III -6-1- Description d'une filière de traitement par osmose inverse.....	42
III-6-2- Le prétraitement de l'eau avant osmose inverse	43
III-6-2-1- Chloration	44
III-6-2-2- Clarification de l'eau brute	44
a) La coagulation	44
b) La floculation	45
c) La décantation.....	45
d) La filtration sur sable	45
III-6-2-3- Prévention de l'entartage	45
III-6-2-4- Déchloration.....	46
III-6-2-5- Filtration de sécurité par cartouche (la microfiltration)	46
III-6-3- Dispositif de mise sous pression et système de récupération de l'énergie du concentrât	47
III-6-4- L'osmoseur.....	48
III-6-5- Poste de traitement	48
• Correction de l'agressivité.....	48
• Correction de la corrosivité.....	48
III-6-6- Nettoyage des membranes d'osmose inverse	48
III-7- Flux du solvant et de soluté.....	50
• Influence de la pression efficace sur la séparation	51
a) Influence de la pression efficace sur le taux de rejet	51
b) Influence de la pression efficace sur le flux de solvant	52
III-8- Mise en œuvre et condition d'une installation d'osmose inverse	52
III-8-1- Le procédé continu.....	53
• Montage en série rejet	53
• Montage en série production	54
III-8-2- Le procédé discontinu	55
• Le procédé discontinu à recyclage	55
• Le procédé discontinu sans recyclage	55

III-9- Les problèmes techniques rencontrés dans le dessalement	56
III-9-1- Le colmatage (Fouling).....	56
III-9-2- La polarisation	56
III-9-3- L'entartrage	57
III-9-4- La corrosion	57
III-10- Les facteurs influençant les performances d'un système d'osmose inverse.....	57
• Pression	58
• Température	58
• Recouvrement	59
• Concentration en sel de l'eau alimentant le système.....	59
III-11- Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse	60
a- Les avantages	60
b- Les inconvénients	60

CHAPITRE IV : Impact du dessalement par osmose inverse sur l'environnement

IV-1- Introduction	61
IV-2- Effet potentiels des rejets de saumure sur le milieu marin.....	62
IV-3- Origine et type des émissions et rejets.....	63
IV-3-1- La saumure concentrée.....	63
IV-3-2- Les rejets chimiques.....	63
• Produits de la corrosion.....	65
• Agents anti tartre.....	65
• Agents antisalissure	66
• Agents anti mousse.....	66
IV-3-3- Rejets des eaux de lavage à contre-courant des membranes.....	66
IV-3-4- Les émissions atmosphériques.....	68
IV-4- Pollution sonore.....	69
IV-5- Les enjeux techniques.....	69
IV-6- L'aspect économique.....	69
IV-7- Effets dus au prélèvement d'eau de mer.....	71
IV-8- L'aspect juridique du dessalement.....	72
a) La loi n° 12-03 du 12 mai 2003 relative aux études d'impact environnemental.....	72
b) La loi 11-03 du 9 juin 2003 relative à la protection de la mise en valeur de l'environnement	72

CHAPITRE V : Mesures d'atténuation et solutions proposées

V-1-Introduction.....	74
V-2-Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines.....	74
V-3-Programme de surveillance continue.....	75
V-3-1-Surveillance et informations de base sur les ressources marines avant la mise en service des usines.....	75
V-3-2-Surveillance des effets sur les ressources marines après la mise en service.....	76
V-4-Recommandations d'ordre général.....	76
a) Consommation d'énergie.....	76
b) Produits chimiques dangereux.....	76

c) Dilution des rejets.....	76
d) Étude d'impact sur l'environnement.....	77
V-5-L'élimination de la saumure.....	77
V-6- Dilution de la saumure (réalisée par Dégrément)	78
V-7-Optimisation énergétique et réduction des émissions.....	80

CHAPITRE VI : Etude expérimentale de l'impact sur la station de Bou - Ismail

V-1- Introduction.....	81
V-2- Les objectifs de notre étude expérimentale.....	81
V-3- Installation et processus.....	82
V-3-1- Prise d'eau de mer.....	82
V-3-2- Post de prétraitement.....	83
V-3-2-1- Les produits chimiques utilisés.....	83
V-3-2-2- Le décanteur lamellaire	83
V-3-2-3- Les filtres à sable.....	84
V-3-2-4- Injection des produits chimiques.....	85
V-3-2-5- L'appareil à ultraviolets (UV)	85
V-3-2-6- Filtration fixe (microfiltration)	86
V-4- L'unité d'osmose inverse.....	87
V-5- Post – traitement du perméat.....	89
V-6- Station de dosage.....	90
a) Dosage d'acide sulfurique.....	90
b) Dosage du chlore (hypochlorite de calcium)	90
c) Dosage du méta bisulfite de sodium.....	90
d) Dosage de la chaux (Ca(OH) ₂)	90
V-7- Station d'analyse.....	91
V-8- Poste de nettoyage des membranes.....	92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Réserves d'eau de la planète.....	3
Tableau I-2 : Bilan en eau d'une culture de maïs en pays tempéré.....	6
Tableau I-3 : consommation d'eau dans les industries de transformation.....	6
Tableau I-4: Seuil de tension, seuil de pénurie.....	7
Tableau I-5: Répartition des eaux de surface.....	8
Tableau I-6 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.....	9
Tableau I-7 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud.....	10
Tableau I-8: La capacité de dessalement installée au 1 ^{er} janvier 2004.....	11
Tableau I-9 : Stations exploitées par Sonelgaz	15
Tableau I-10: Stations exploitées par Sonatrach.....	16
Tableau I-11 : Stations exploitées par d'autres Compagnies.....	17
Tableau I-12 : Les Stations Monoblocs réalisées.....	18
Tableau I-13 : Les 15 grandes Stations réalisées ou en cours de réalisation.....	19
Tableau II-1 La dénitrification d'eau de consommation par électrodialyse conventionnelle...23	
Tableau III-1: Description et caractéristiques des modules.....	41
Tableau IV-1 : Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des produit utilisés.....	64
Tableau IV-2 : Composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer.....	67
Tableau IV -3 : Indicateurs de durabilité pour les usines d'OI et de MSF avec une source locale d'énergie électrique.....	68
Tableau IV -4 : L'évaluation des impacts associés à l'osmose inverse.....	70
Tableau VI-1: Les produits utilisés pour le prétraitement.....	83
Tableau VI-2: Les caractéristiques techniques des filtres.....	86
Tableau VI-3: Produits chimiques utilisées avant l'osmoseur.....	87
Tableau VI-4: Caractéristiques techniques des microfiltres.....	88
Tableau VI-5: Caractéristiques techniques des tubes de pression contenant les membranes..90	
Tableau VI-6 : Caractéristiques techniques des membranes.....	91
Tableau VI-7: Injection des produits chimiques utilisés pour conditionnement.....	92
Tableau VI-8: Le choix de la solution en fonction du type de dépôt.....	94

Tableau VI-9: Produits chimiques utilisés pour le nettoyage des membranes au niveau de la station de Bou-Smail.....	95
Tableau VI-10 : Les résultats des paramètres physico-chimique.....	101
Tableau VI-11 : Les résultats des analyses de la minéralisation globale.....	102
Tableau VI-12 : Les résultats des analyses biologiques.....	105
Tableau VII-1 : Les valeurs de K , m et β	112

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Diminution au cours du temps des ressources en eau renouvelables et variation en fonction des régions.....	4
Figure 1-2 : Évolution de la capacité mondiale cumulée des usines de dessalement au 1 ^{er} janvier de chaque année.....	11
Figure I-3 : Capacité de dessalement installée par pays – Situation au 1 ^{er} janvier 2004.....	12
Figure I-4 : Capacité de production des différentes techniques.....	14
Figure I-5 : Nombre de stations pour les différentes techniques.....	14
Figure I-6 : Répartition des stations monoblocs.....	19
Figure II-1: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.....	22
Figure II-2 : Représentation schématique d'une chambre EDI.....	24
Figure II-3 Schéma du Procédé d'électrodésionisation.....	25
Figure II-4 : Schéma du principe de la distillation à simple effet.....	27
Figure II-5 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).....	28
Figure II-6 : L'évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression... ..	28
Figure II-7 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages.....	29
Figure II-8 : Schéma de la distillation par compression de vapeur.....	30
Figure II-9 : Choix du procédé de dessalement selon la salinité des eaux	31
Figure III-1: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....	32
FigureIII-2: Schéma d'un tube de pression.....	33
FigureIII-3: Schéma d'un arrangement en parallèle des tubes de pression.....	34
FigureIII-4: Schéma de la filtration sur membrane.....	36
FigureIII-5: Comparaison entre filtration classique (ou frontale) et la filtration tangentielle.....	37
FigureIII-6: Schéma d'un module spirale.....	38
FigureIII-7: Module spirale.....	38
FigureIII-8: Schéma du principe d'un module tubulaire.....	39

FigureIII-9 : Coupe d'un module « fibre creuse »	40
FigureIII-10 :Schéma de principe d'un module plan.....	40
FigureIII-11 : Schéma du traitement par osmose inverse.....	42
Figure III-12 : Les systèmes de récupération d'énergie du concentrât.....	47
Figure III-13: Schéma du système de nettoyage des membranes.....	49
FigureIII-14 : Schéma de montage en série rejet.....	53
Figure III-15: Schéma de montage en série production.....	54
Figure III-16 : Schéma d'un système de dessalement discontinu à recyclage.....	55
FigureIII-17 : Mécanismes de limitation au transfert (colmatage et polarisation).....	56
FigureIII-18 : Les facteurs influençant les performances d'un système d'OI (a,b, c et d)...	58
Figure IV-1: herbier de posidonies de Méditerranée	62
FigureV-1 : Système de diffusion du rejet.....	78
FigureV-2 : Schéma d'un collecteur de rejet par diffusion.....	79
FigureVI-1 : Schéma de la crépine.....	82
FigureVI-2 : Illustration du décanteur lamellaire.....	84
FigureVI-3 : Le décanteur de la station de B-I.....	85..
FigureVI-4 : les filtres à sable de la station.....	87
FigureVI-5: les pompes des filtres à sable.....	87
FigureVI-6: L'appareil à (UV) de la station de B-I.....	88
FigureVI-7 : les microfiltres.....	89
FigureV-8 : Cartouches à fil bobiné.....	89
FigureVI-9 : Le rejet de la saumure sur la cote au niveau de la station de B-I	91
FigureVI-10 : Les tubes de pressions de l'osmoseur de la station.....	91
FigureVI-11 : La pompe haute pression utilisée au niveau des membranes.....	92
FigureVI-12: Post de préparation de produits chimiques.....	93
FigureVI-13: Tableau synoptique du fonctionnement de la station de Bou-Ismaïl.....	96
Figure VI-14:Chênes alimentaires du milieu marin.....	99
Figure VI-15 : filet de récolte du plancton.....	100
Figure VI-16 : Représentation graphique des résultats des paramètres physicochimiques...	103
Figure VI-17 : La répartition des phytoplancton et zooplanctons par rapport au point de rejet.....	106
Figure VI-18 : Photo des zooplanctons observés dans nos échantillons.....	107
Figure VI-19 : Photo des phytoplanctons observés dans nos échantillons.....	107
FigureVII-1 :L'emplacement du rejet existant dans la station de dessalement de B- I...	109

Introduction générale

Aujourd'hui, les ressources en eau oscillent entre les extrêmes. D'un côté, cyclones, inondations et autres événements climatiques l'apportent en surabondance. De l'autre côté, les sécheresses et la désertification entraînent des pénuries paralysantes et des conditions de vie misérables pour les populations. Cette opposition entre la pénurie et l'abondance couvre toute la planète, depuis les pays développés jusqu'aux pays en développement.

Pour pallier au manque d'eau et faire face aux besoins sans cesse grandissants en eau potable, vu la croissance de la population, les décideurs algériens ont misé sur les stations de dessalement de l'eau de mer en s'orientant vers une politique de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles.

Le dessalement de l'eau de mer est parfois présenté comme la solution miracle outre le fait qu'elle demeure financièrement inaccessible aux pays pauvres (en revenus ou en pétrole), ces technologies demeurent de grosses consommatrices d'énergie et la question de leur impact environnemental est loin d'être résolue. Trop souvent, la mise en place d'installations de dessalement est un moyen de contourner des problèmes criants de gâchis ou de mauvaise gouvernance de l'eau et d'esquiver les réformes nécessaires.

A travers cette étude nous allons montrer l'impact d'une station de dessalement par osmose inverse sur l'environnement « cas de l'usine de Bou-Ismaïl », et proposer par la suite les solutions adéquates pour réduire et minimiser cet effet préjudiciable sur l'écosystème marin.

I-1- Introduction :

Le cycle de l'eau (évaporation, condensation, ruissellement) devrait permettre de subvenir aux différents besoins. En effet, l'eau ne se perd ni ne se crée et, globalement, l'eau ne manquera pas alors que certaines ressources minières et les ressources en énergie fossile (pétrole, gaz et même charbon) pourraient manquer à l'échelle de quelques décennies ou de quelques siècles. Hélas, l'eau est très inégalement répartie. Plus d'un tiers des terres de la planète sont des étendues arides, soumises à des déficits en eau toute l'année ou d'une façon saisonnière. Actuellement, un tiers de la population mondiale vit dans les pays faisant face à un « stress hydrique ».

I-2- Répartition de l'eau sur la planète : [1]

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

- 97% de l'eau se trouve dans les océans, mais elle est salée ;
- l'atmosphère, qui retient seulement un cent millième de l'eau douce, joue cependant un rôle clé dans le cycle hydrologique par le recyclage rapide qu'elle assure ;
- les calottes polaires, notamment celle de l'atlantique, stockent les trois quarts de l'eau douce de la planète, cette réserve étant malheureusement inaccessible.

L'eau que nous utilisons provient essentiellement des lacs, des cours d'eau et des nappes d'eau souterraines. Si pour l'essentiel ces ressources sont renouvelables, il existe des gisements d'eaux souterraines dites fossiles peu impliqués dans le cycle de l'eau compte tenu de leur profondeur (jusqu'à 1000m), qui constituent des stocks quasi non renouvelables à l'échelle humaine : le renouvellement n'est jamais nul mais il est très lent, de l'ordre de plusieurs millénaires ou dizaines de millénaires. Accessoires à l'échelle mondiale, mais capitaux pour quelques pays, ces gisements d'eaux souterraines (fossiles) constituent par exemple d'importantes réserves d'eau de bonne qualité dans les grands bassins du Sahara et de la Péninsule arabique.

- Jordanie : 30 milliards de m³ ;
- Libye (nappe du Kuffra) : 3400 milliards de m³ ;
- Arabie Saoudite : 500 milliards de m³ ;
- Libye (nappe de Muzuk) : 4800 milliards de m³ .

L'exploitation de ces eaux souterraines n'est pas seulement minière par les techniques de recherches et de production, mais aussi parce que ces gisements d'eau s'épuisent comme des gisements de pétrole ou de minerai. Enfin des nappes aquifères réparties sur plusieurs pays peuvent provoquer des situations conflictuelles.

En comparant les flux des différentes parties de l'hydrosphère aux volumes de chacun des réservoirs, on peut estimer la durée de renouvellement moyen de chacun d'eux.

Tableau I-1 : Réserves d'eau de la planète [1].

Réservoirs	Volume (10 ⁶ km ³)	% Total	Temps de résidence
Océans	1350	97	2500ans
Glaciers	33	2,4	1000 à 10 000 ans
Eaux souterraines	8	0,6	1500 ans
Lacs	0,1	<0,01	17ans
Eau dans le sol	0,07	<0,01	1an
Eau de l'atmosphère	0,013	<0,001	8 jours
Rivières	0,0017	0,0001	16 jours
Eau dans la matière vivante	0,0011	0,0001	Quelques heures
Total	1391	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).

I-3- Adéquation entre ressources et besoins en eau : [1]

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 km³/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 7000m³/an/habitant soit 20 m³/jour /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 années 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.

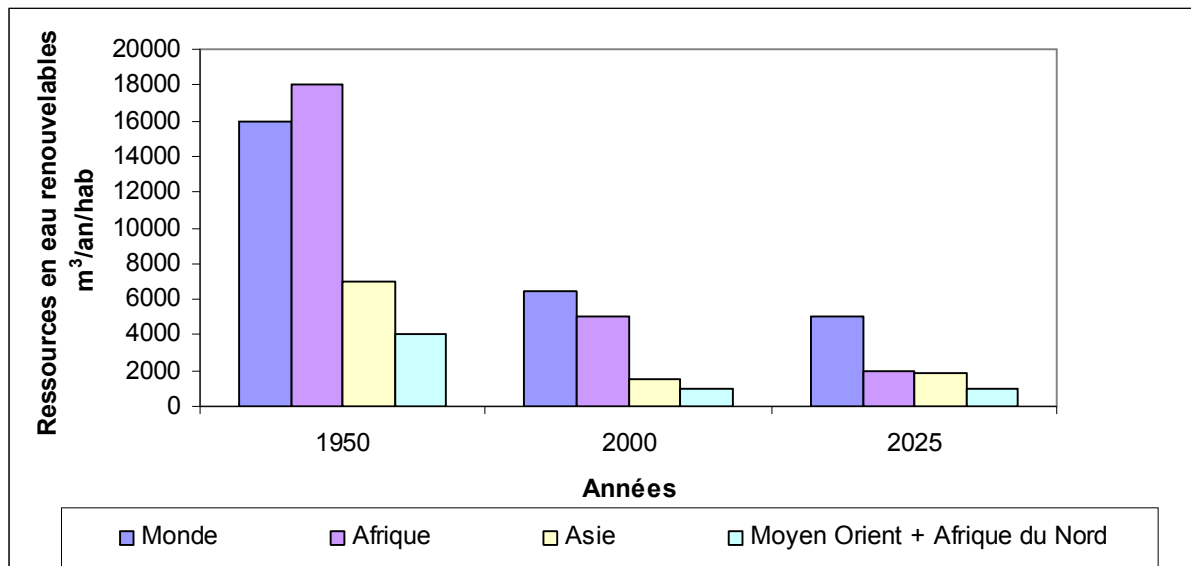


Figure I-1 Diminution au cours du temps des ressources en eau renouvelables et variation en fonction des régions [1].

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.

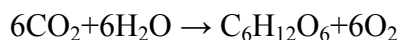
I-3-1-Usages domestiques :

Les usages domestiques concernent les diverses activités de lavage, d'évacuation des déchets, d'hygiène personnelle, d'arrosage des jardins. À 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'Égypte et l'Israël où la rareté physique de l'eau est déjà un problème préoccupant.

I-3-2-Usages agricoles :

À 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.

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	10 t d'eau
Distillation d'1 t d'alcool	100 t d'eau
Fabrication d'1 t de pâte papier	250 t d'eau
Fabrication d'1 t d'acier	270 t d'eau
Fabrication d'1 t de fibres synthétiques	5000 t 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 :

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

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 à fortiori au dessus ils indiquent des pénuries structurelles généralisées.

I-4-Les ressources conventionnelles en eaux en Algérie : [2]

La majeure partie du pays (87%) est un désert où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord du pays est caractérisée par son climat méditerranéen ; elle dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surface que pour les nappes phréatiques. Les 90% des eaux de surfaces sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 7% du territoire. Le pays est également caractérisé par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaines mais est peu arrosée. La partie Est du pays est une zone montagneuse où coulent les principaux fleuves. Les bassins occidentaux reçoivent 10% seulement des flux, pour une surface représentant le tiers de celle du Nord du pays. Les bassins orientaux drainent 40% des flux, alors qu'ils ne représentent que 20% de la superficie totale et les bassins du centre en drainent 50% pour une surface totale représentant les 50% restants.

Le pays compte 115 barrages, dont 45 ont une capacité supérieure à 10 millions de m³ et 55 sont de capacité inférieure. À l'avenir d'autres barrages sont à l'étude. On estime à 19,2 milliards de m³ le total des ressources en eaux de surface et souterraines.

I-4-1- Les ressources en eau de surface :

Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m³ 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 [2].

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Cheliff Zahrez	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellègue	Sud	Total
Ressources pot. (hm³/an)	1025	1840	4380	4500	600	12,34
Pourcentage (%)	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100.0

I-4-2- 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 [2].

Bassin hydrographique	Oranie chott chergui	Cheliff Zahrez	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellègue	Total
Ressources pot. (hm³/ an)	375	231	745	543	1894
Total (%)	19.7	12.2	39.2	28.9	100

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). Ces des nappes fossiles ou semi fossiles.

Les pourcentages d'exploitation sont indiqués sur le tableau suivant:

Tableau I-7 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud [2].

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- Situation et évolution du marché de dessalement : [1]**I-5-1-Le dessalement dans le monde :**

Au 1^{er} janvier 2004, la capacité totale de dessalement installée était d'environ 37,75 millions de m³ d'eau douce par jour qui se répartie comme suit :

- dessalement des eaux de mer : 21,90 millions de m³/j (58%) ;
- dessalement des eaux saumâtres : 15,85 millions de m³/j (42%).

Le nombre total d'usines de capacité supérieure, ou égale à 100 m³/j est de 17 348.

Le taux de croissance a été relativement important de 1973 à 1980 par suite des investissements importants des pays pétroliers. Puis il s'est ralenti par suite de la baisse du prix du pétrole et connaît actuellement un développement soutenu.

Du point de vue géographique, la capacité de dessalement installée au 1^{er} janvier 2004 se répartit comme suit :

Tableau I-8: La capacité de dessalement installée au 1^{er} janvier 2004 [1].

	Mm ³ /jour	%
Moyen-Orient	19,05	50
Amérique du Nord	6,70	18
Asie	5,00	13
Europe	4,80	13
Afrique	2,20	6
Total	37,75	100

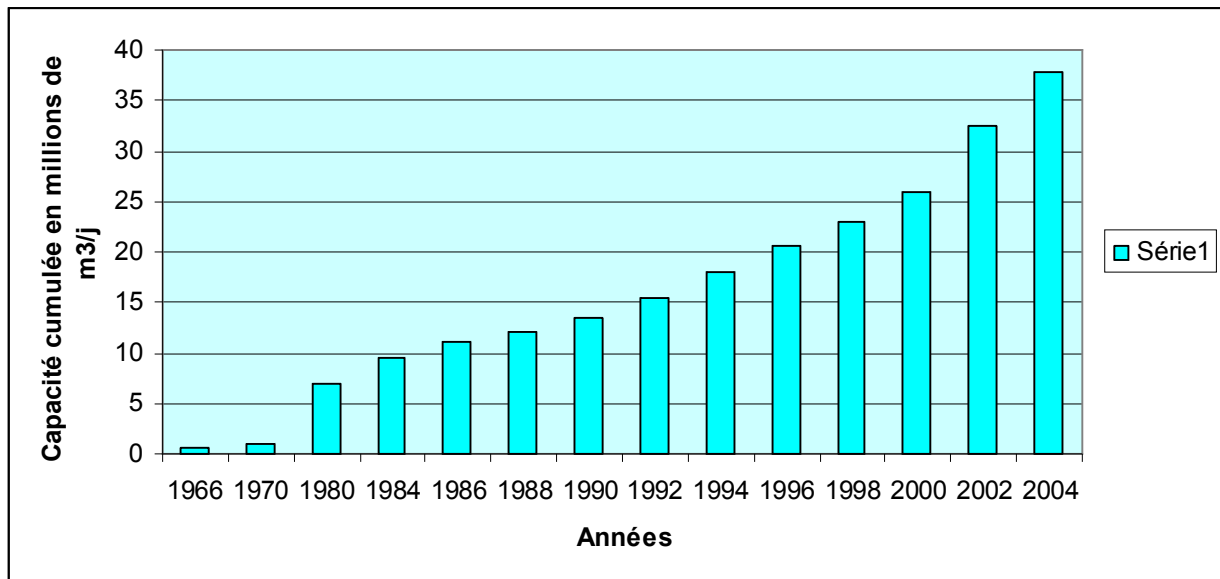


Figure 1-2 : Évolution de la capacité mondiale cumulée des usines de dessalement au 1^{er} janvier de chaque année [1].

La plupart des installations de dessalement se situent au Moyen-Orient et principalement dans les pays du Golfe (Arabie Saoudite, Koweït, Qatar, Émirats Arabes Unis), ceci s'explique par le fait que ces pays, désertiques pour la plupart, n'ont pas d'eau douce mais en revanche disposent de moyens financiers importants provenant des revenus pétroliers.

Il faut noter toutefois que les États-Unis arrivent juste après l'Arabie Saoudite pour la capacité de dessalement installée. La plus grande partie de cette capacité est constituée d'unités d'osmose inverse utilisées pour le dessalement d'eau saumâtres.

Notons qu'au Maghreb, l'Algérie a lancé, ces dernières années, un programme ambitieux de construction d'installation de dessalement. Dans un premier temps, 21 stations monobloc de dessalement d'eau de mer par osmose inverse totalisant une capacité installée de 57 500 m³/j ont été construites sur le budget de l'État, dans un second temps, 12 unités de grande taille totalisant une capacité installée de 1 086 000 m³/j.

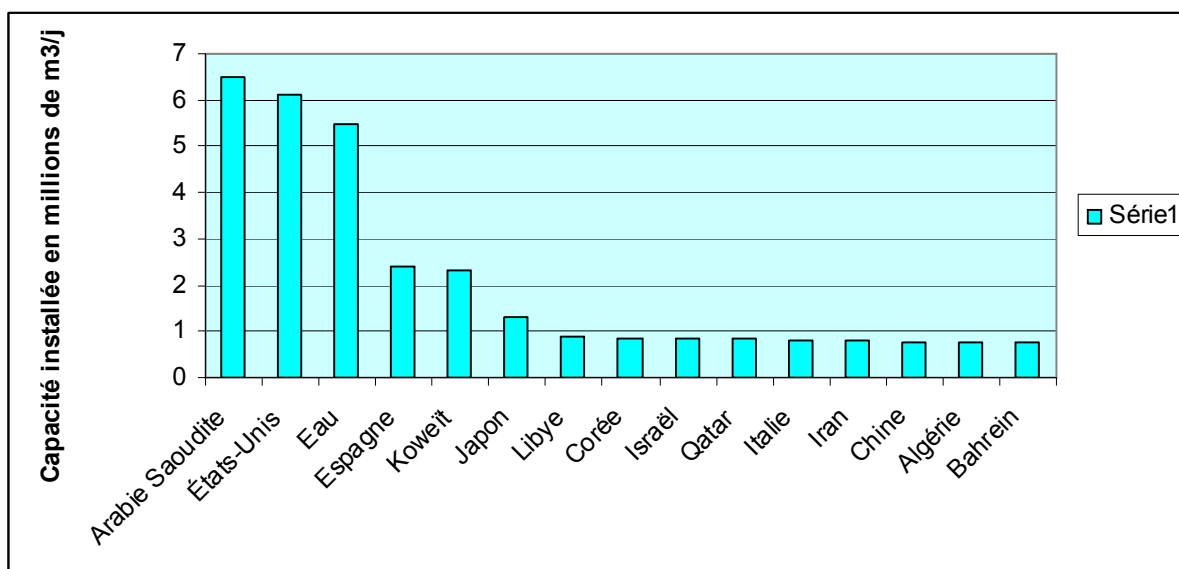


Figure I-3 : Capacité de dessalement installée par pays – Situation au 1^{er} janvier 2004 [1].

I-5-2- L'expérience Algérienne dans le dessalement : [3]

La variante du dessalement de l'eau s'avère la solution convenable : le pays dispose de 1200 km de côtes sur la mer méditerranée.

La première installation de dessalement remonte à l'année 1964 à Arzew, d'une capacité de 576 m³ /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.

Le nombre de stations de dessalement installées à ce jour est de 56 stations ayant une capacité totale de 146.000 m³ /j environ. 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 2011.
- 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.

I-5-2-1-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 4 et 5).

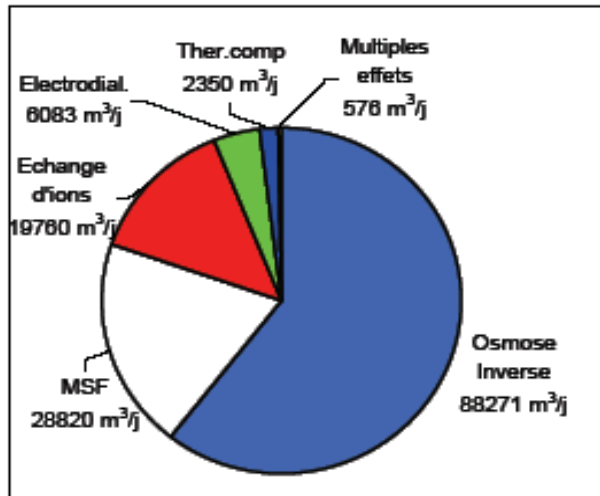


Figure I-4 : Capacité de production des différentes techniques [3]

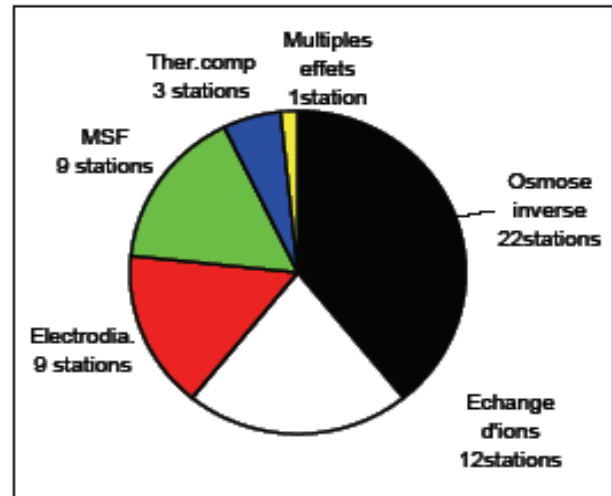


Figure I-5 : Nombre de stations pour les différentes techniques [3]

- **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 4.320 m³/J ; mise en service en 1981.

- **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-9).

Tableau I-9 : Stations exploitées par Sonelgaz [3].

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

- **Stations installées par la Compagnie «SONATRACH»:**

A l'époque de l'inauguration de la station de Mostaghanem par la Compagnie citée plus haut, dont la capacité est de 57600 m³/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 m³/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-10).

Tableau I-10: Stations exploitées par Sonatrach [3].

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
Reghaia	160	Echangeurs d'ions	1982

- **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 3).

Tableau I-11 : Stations exploitées par d'autres Compagnies[3].

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

- **Station expérimentale du Centre de Développement des Energies Renouvelables 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-5-2-2- 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.

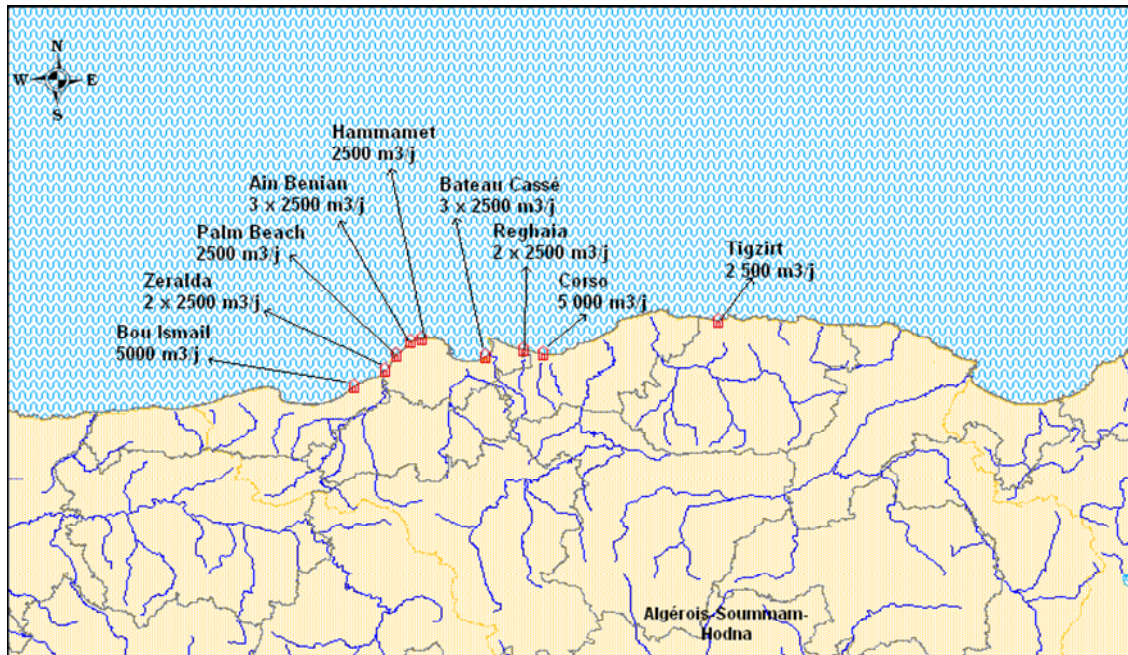


Figure I-6 : Répartition des stations monoblocs [3].

Tableau I-12 : Les Stations Monoblocs réalisées [3].

Wilaya	Site	Commune	Capacité m ³ /j	Population à servir
Alger	Palm Beach	Staoueli	2 500	16 660
Alger	Champ de tir	Zéralda	5 000	33 330
Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	5 000	33 330
Tipasa	Bou Ismail	Bou Ismail	5 000	33 330
Skikda	L.BenMhidi	L.BenMhidi	7 000	47 000
Tizi Ouzou	Tigzirt	Tigzirt	2 500	16 660
Oran	Bou Sfer	Bou Sfer	5 500	33 330
Oran	Les Dunes	Ain Turk	5000	33 330
Alger	La Fontaine	Ain Benian	5 000	33 330
A.Temouchent	Bou Zdjer	Bou Zdjer	5 000	33 330
A.Temouchent	Chatt el Ward	Bou Zdjer	5 000	33 330

I-5-2-3-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 5 wilayas à travers un transfert géant.

Tableau I-13 : Les 15 grandes Stations réalisées ou en cours de réalisation [3].

Localité	Capacité (10 ³ m ³ /j)	Date de mise en service Ou échéancier prévisionnel
Kahrama (Arzew)	90	Novembre 2005
Skikda	100	Juin 2008
Hamma (Alger)	200	Février 2008
Béni Saf (A.Témouchent)	200	2010-2011
Fouka (Tipaza)	120	2010-2011
Souk Tleta (Tlemcen)	200	2010-2011
Magtaa (Oran)	500	2011
Mostaganem	200	2011
Oued Sebt (Tipaza)	100	2011
Cap Djinet (Boumerdes)	100	2011
Tenes (Chlef)	200	2011
Honaine	200	2011
El Kala (El Taref)	50	2011
Djijel	100	-
Bejaia	100	-
Total : 15 Stations	2460	

II -1-Introduction :

Le dessalement concerne principalement deux catégories d'eaux salées :

- L'eau de mer dont la salinité est d'environ 35 g/l pour les mers ouvertes (Atlantique, Mer du Nord, Pacifique) mais qui peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques : 39 g/l pour la Méditerranée, 40 à 70 g/l pour le golf arabo-persique.

- Les eaux saumâtres de salinité comprise entre 2 et 10 g/l qui sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl .

La totalité des installations de dessalement fait appel à deux grandes familles de procédés, les procédés thermiques et les procédés de séparations par membranes qui sont plus récents. Actuellement, cinq technologies seulement sont présentes sur le marché du dessalement de l'eau de mer :

- la distillation Flash
- la distillation à multiples effets
- la distillation à compression de vapeur
- l'osmose inverse
- l'électrodialyse.

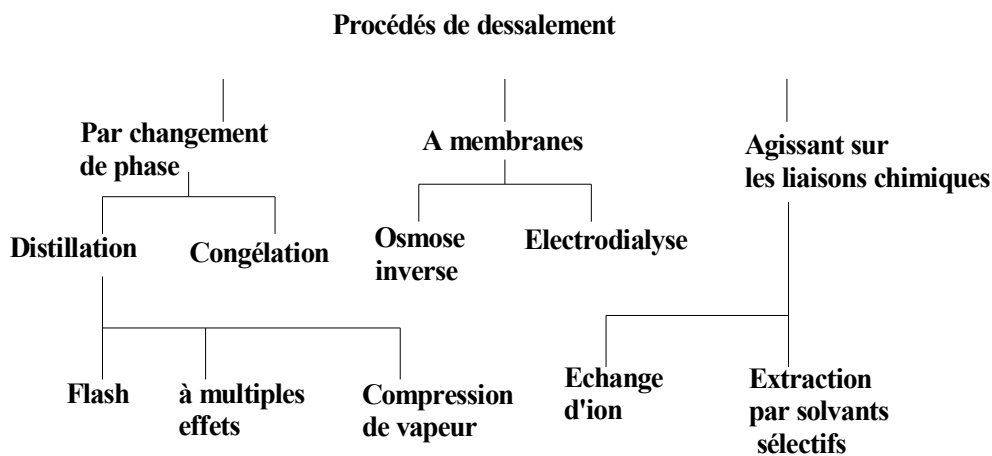
II- 2-Classification des différents procédés de dessalement : [1]

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 :

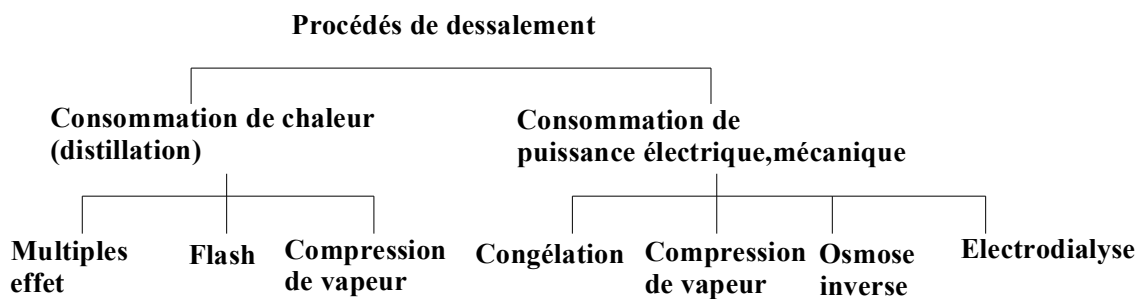
- Les procédés qui font intervenir un changement de phase (distillation et congélation) ;
- Les procédés qui utilisent des membranes (électrodialyse et osmose inverse) ;
- Les procédés qui agissent sur les liaisons chimiques (échange d'ions et extraction par solvant sélectif).

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- 2-1-Les procédés membranaires :

II 2-1-1- Électrodialyse : [4]

- **Description du procédé :**

L'électrodialyse est un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution. L'extraction se fait par migration des ions à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques) sous l'action d'un champ électrique. Ainsi seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. Dans certains compartiments il y a concentration des ions et dans d'autres les ions sont éliminés. En fin de chaîne de traitement on récupère à la fois de l'eau douce et de la saumure.

- **Principe de fonctionnement :**

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative et les ions Cl^- vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes (c'est à dire les ions Na^+ peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et les ions Cl^- les membranes anioniques), on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments.

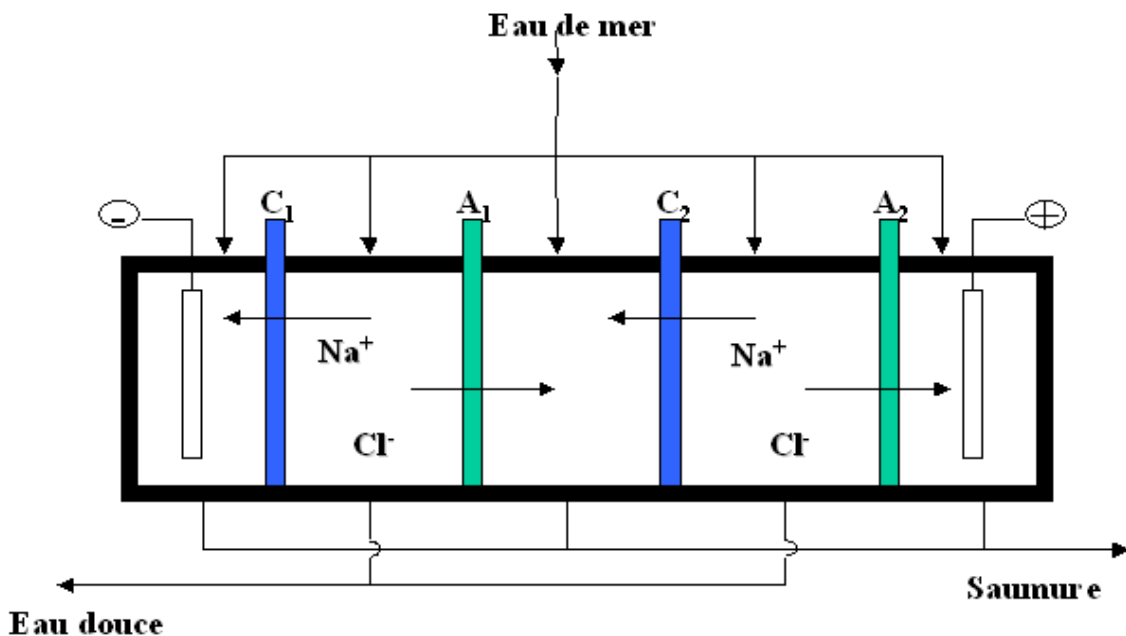


Figure II-1 Principe de fonctionnement de l'électrodialyse [4].

Il est nécessaire parfois d'effectuer un prétraitement avant l'électrodialyse, Certaines particules doivent être éliminées, sinon elles risquent de boucher les pores de la membrane. Il y a aussi des substances qui sont capables de neutraliser la membrane, comme par exemple les anions organiques de grande taille, les colloïdes, les oxydes de fer et de manganèse. Les méthodes de prétraitement, qui aident à empêcher ces effets sont la filtration sur charbon actif (pour la matière organique), la floculation (pour les colloïdes) et les différentes techniques de filtration.

a. Électrodialyse conventionnelle (EDC)

C'est la plus ancienne et reste encore la plus utilisée. Elle repose sur l'utilisation de membranes échangeuses d'ions. Différentes configurations peuvent être employées pour constituer le motif élémentaire afin de permettre diverses opérations de transformation.

Le tableau ci après donne les caractéristiques d'une eau brute et d'une eau traitée par l'EDC (les concentrations sont exprimées en mg/l)

Tableau II-1 La dénitratisation d'eau de consommation par électrodialyse conventionnelle [1].

Minéralisation	Composition de l'eau avant traitement	Composition de l'eau après traitement	Composition du concentrât
	1156	590	10281
NO ₃ ⁻	80	13	1289
Cl ⁻	150	54	3336
HCO ₃ ⁻	366	40	2064
SO ₄ ²⁻	240	229	449
Na ⁺	135	112	580
Ca ²⁺	130	40	1843
pH	7,7	7,4	6,5

b. Électrodesionisation (EDI) :

L'EDI est un procédé qui combine une technologie à membrane semi-perméable avec un média d'échangeur d'ion pour fournir un procédé de déminéralisation à grande efficacité (eau d'une grande pureté).

Une cheminée EDI a la structure basique d'une chambre de désionisation. La chambre contient une résine échangeuse d'ions, placée entre une membrane d'échange cationique et une membrane d'échange anionique (voir Figure II-2).

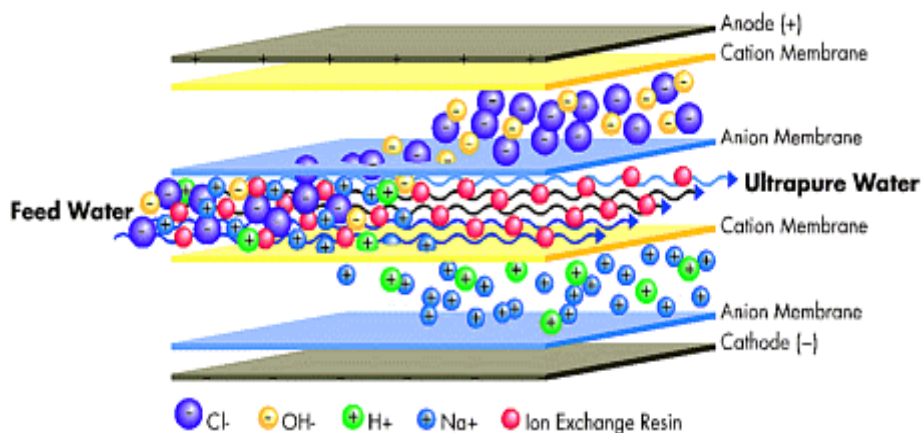


Figure II-2 Représentation schématique d'une chambre EDI [5].

- **Principe de fonctionnement**

Lorsque le liquide entre dans le compartiment de dilution rempli de résine, les ions forts sont enlevés du courant d'alimentation par les couches de résine. Sous l'influence d'un courant continu fort, un champ électrique est appliqué à travers les composants. Les ions chargés sont retirés de la résine et envoyés vers les électrodes respectives et de charges opposées. Dans cette voie, les espèces fortement chargées sont continuellement éliminées et transférées dans les compartiments adjacents, la conductivité devient alors assez faible. L'intensité du potentiel électrique appliqué divise alors l'eau à la surface des grains de résine, produisant des ions hydrogène et hydroxyde qui agissent comme des agents de régénération continue pour la résine échangeuse d'ions.

Ces résines régénérées permettent l'ionisation des espèces neutres ou faiblement ionisées tels que le dioxyde de carbone ou la silice. L'ionisation est suivie par une élimination grâce au courant continu et les membranes d'échange d'ion.

Les réactions d'ionisation se produisant dans la résine sous forme d'hydrogène ou d'hydroxyde pour l'élimination des composés faiblement ionisés sont énumérées ci-dessous :

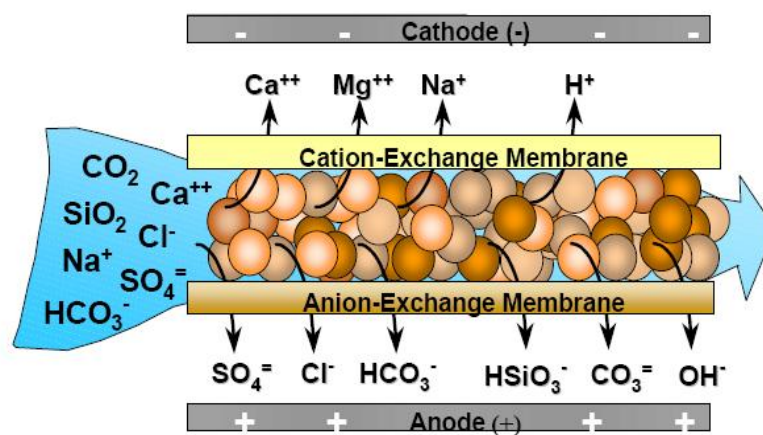
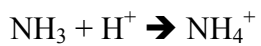
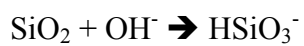
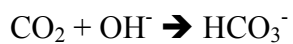


Figure II-3 Schéma du Procédé d'électrodésionisation [5].



II -2-1-2-Osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant d'une solution diluée vers une autre concentrée à travers une membrane.

L'osmose inverse a le même principe que l'osmose sauf que cette fois ci, ce n'est pas l'eau pure qui se dirige vers l'eau salée mais c'est l'eau salée qui est filtrée grâce à la membrane et au piston, qui se dirige vers l'eau pure. (Ce procédé fera l'objet de notre étude et sera bien développé dans le chapitre III).

II-2-2-Procédés thermiques : [6]**II-2-2-1-La distillation :**

Le principe de la distillation est de séparer le sel de l'eau. L'eau salée contenue dans un récipient est chauffée. L'eau se vaporise tandis que le sel, qui constitue la saumure (eau ayant une concentration élevée en sel) reste au fond du récipient pour être ensuite évacué. L'eau vaporisée est ensuite refroidie et est désormais d'une très grande pureté. Afin de porter à ébullition la solution plus rapidement, un compresseur est installé. Ainsi, en diminuant la pression à l'aide du compresseur, la température d'ébullition augmente.

On distingue 4 procédés de distillation :

- Distillation à simple ou multiple effet ;
- Distillation par compression de vapeur ;
- Distillation par détente successives ;
- Distillation par énergie solaire.

a)Distillation à simple effet :

L'eau de mer est chauffée dans un récipient étanche par la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire. La vapeur formée est condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute de l'enceinte et parcouru par de l'eau de mer froide.

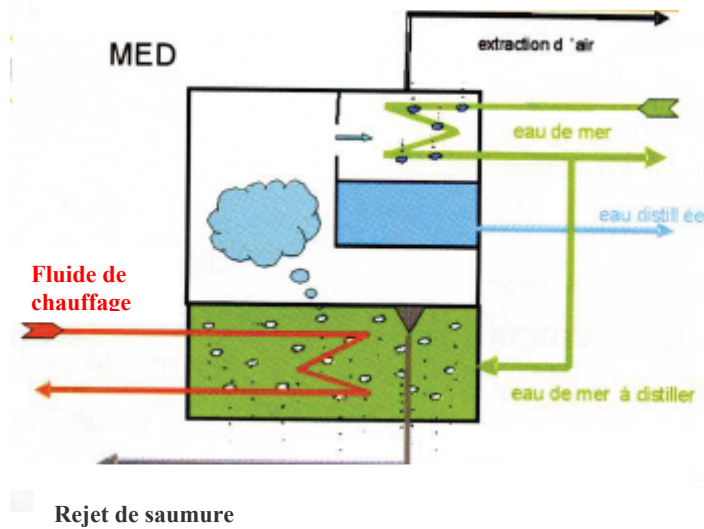


Figure II-4 : Schéma du principe de la distillation à simple effet [6].

b) Distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED).

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur.

La vapeur ainsi produite dans le 1^{er} effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite. Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite).

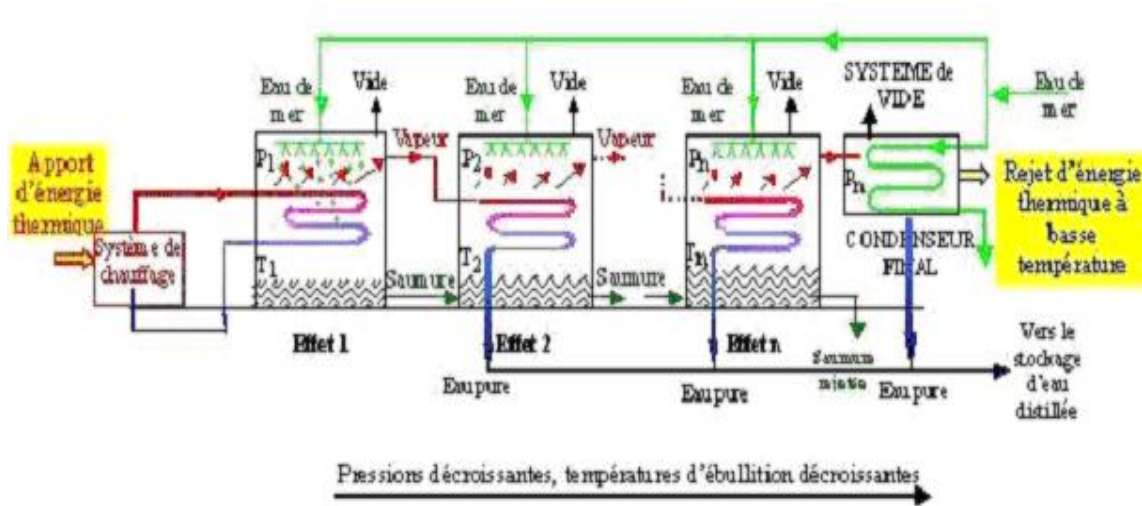


Figure II-5 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) [6].

Dans le procédé MED, l'ébullition de l'eau de mer au sein de chaque cellule (effet) se fait au contact de la surface d'échange de chaleur, il y a des risques d'entartrage dû à la précipitation de sels tels que CaSO_4 ou CaCO_3 dont la solubilité diminue quand la température augmente. Pour limiter ces risques, il faut donc utiliser un traitement à l'acide et limiter la température de tête (du 1^{er} effet ou étage) à moins de 70°C .

À titre d'information pour comprendre la nécessité de réduire la pression dans les systèmes multiples-effets ou à détente étagées, la figure ci-dessous donne l'évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.

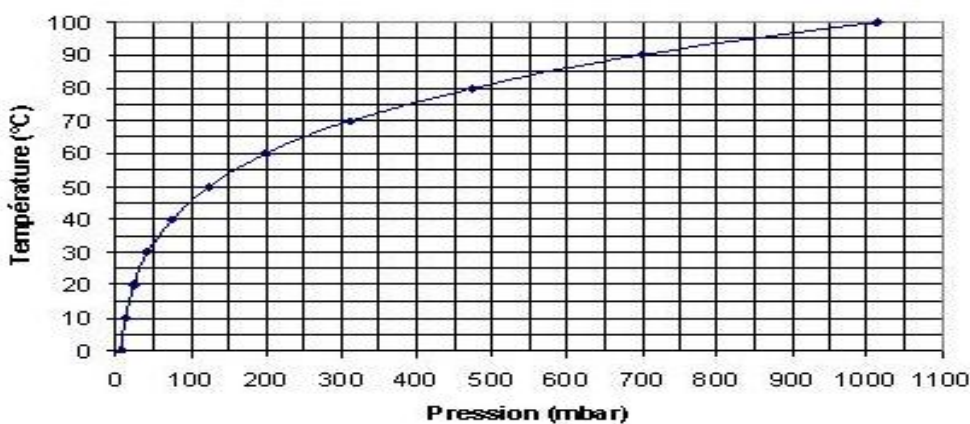


Figure II-6 : L'évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression [6].

c) Distillation à détentes successives (Multi-Stage Flash distillation MSF) :

C'est un procédé qui s'est développé par suite des difficultés dues à l'entartrage des surfaces d'échange de la distillation à multiples effets en particulier dans les évaporateurs noyés : il consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée de chauffage. Cet eau est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite, il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. La vapeur formée va se condenser. Le phénomène se reproduit ensuite dans un 2^{ème} étage où règne une pression plus faible. La vaporisation de l'eau est réalisée par détentes successives jusqu'à T_{max} et de pression de plus en plus réduites.

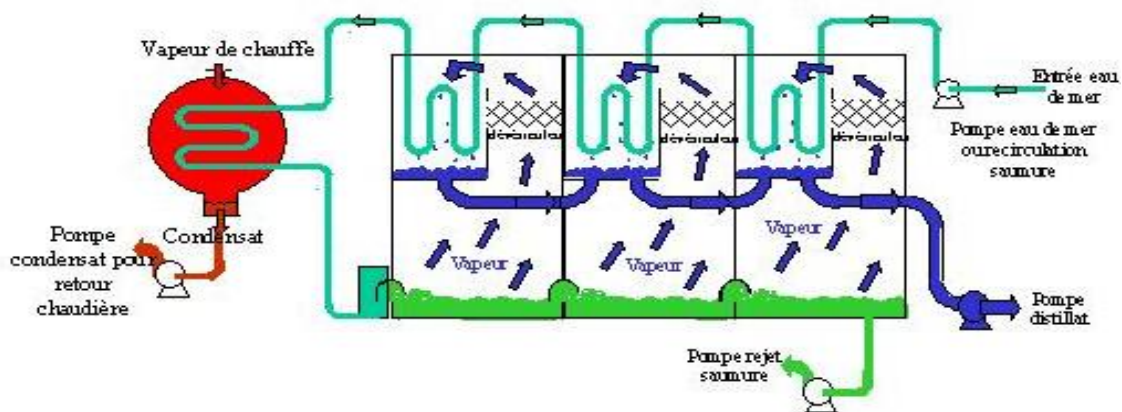


Figure II-7 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages [6].

d) Distillation par compression de vapeur :

L'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation.

Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée.

L'eau de mer se vaporise, par exemple, à la température de 90°C et à la pression de 0,7 bar absolu. La vapeur ainsi produite est ensuite comprimée jusqu'à la pression de 1 bar absolu, puis envoyée dans le faisceau de chauffe du bouilleur où elle se refroidit à pression constante puis se condense en cédant à l'eau de mer la chaleur nécessaire à son ébullition.

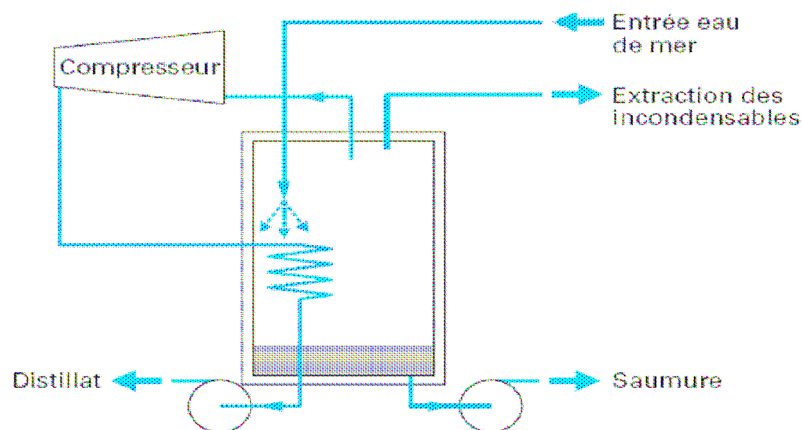


Figure II-8 : Schéma de la distillation par compression de vapeur [5].

e) Distillation par l'énergie solaire :

Elle consiste à faire évaporer à l'intérieur d'un châssis vitré exposé au soleil une lame d'eau salée. Une condensation se forme contre la vitre du châssis et à l'intérieur de ceci, condensation qui suffit de recueillir pour avoir de l'eau douce. [8]

II-3-Les critères de choix d'un procédé de dessalement : [5]

Le choix d'un procédé de dessalement dépend de plusieurs paramètres techniques et économiques :

- L'énergie consommée ;
- Composition physico-chimique de l'eau à traiter (turbidité, salinité, T°....);
- Coût des produits chimiques ;
- Coût des équipements ;
- Qualité de l'eau produite exigée ;
- Capacité de production de l'unité ;
- Durée de vie de l'unité ;
- Coût de la main d'œuvre ;
- Impact sur l'environnement ;
- Qualité d'eau brute.

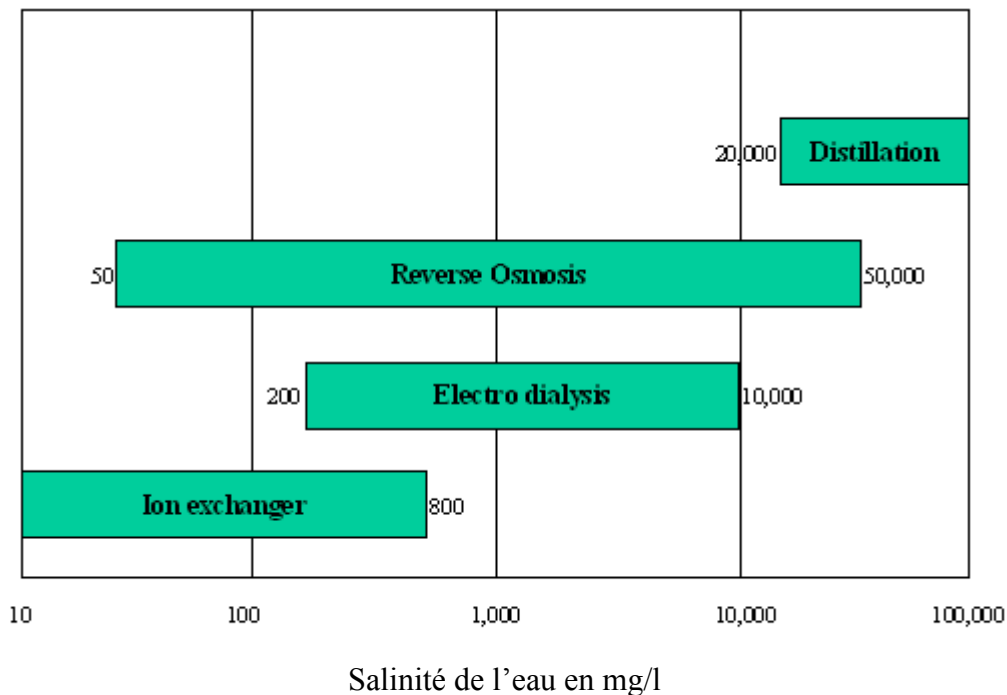


Figure II-9 : Choix du procédé de dessalement selon la salinité des eaux [5].

III-1-Introduction :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de $0,5 \text{ g.L}^{-1}$. On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

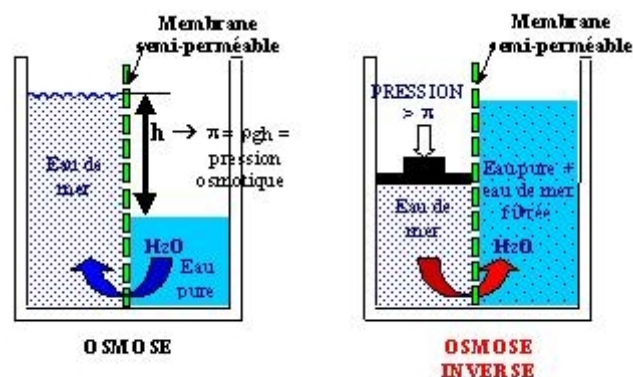


Figure III-1: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse [8].

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse.

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée π peut être calculée d'après la loi de Van't Hoff :

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

Avec :

i : est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte

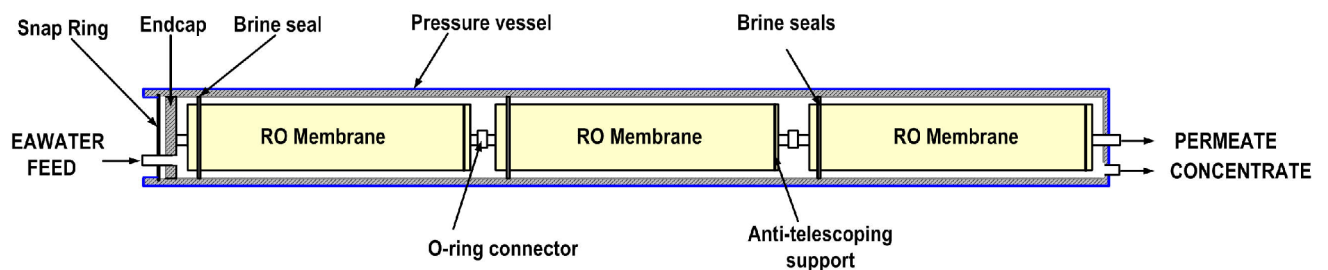
C : la concentration en sels en mol.m^{-3}

R : la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

T : la température absolue de la solution en Kelvin.

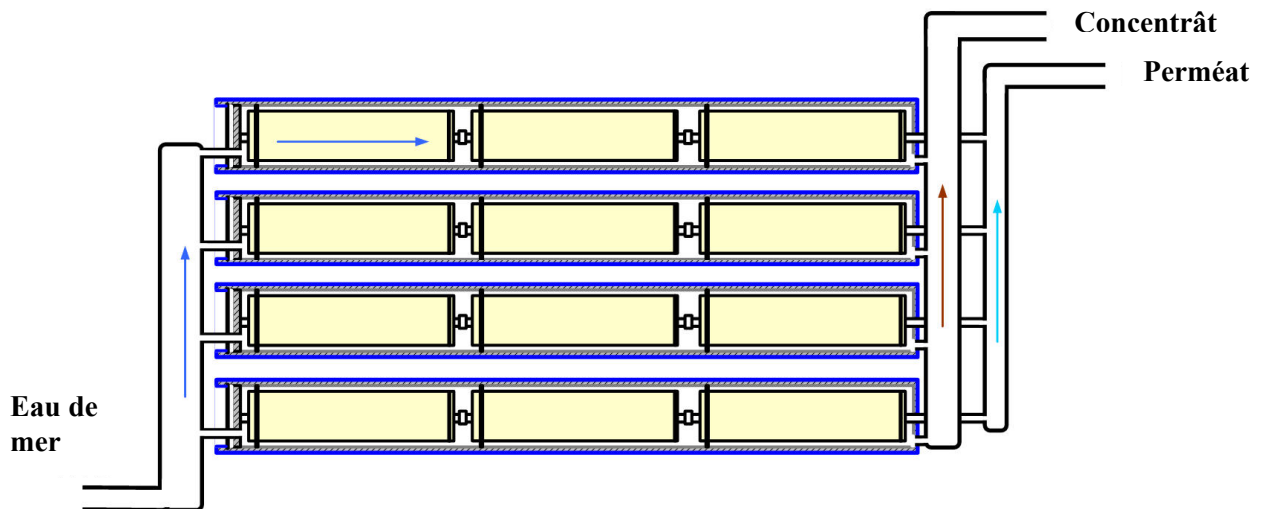
III-2-Le regroupement des membranes d'osmose inverse :

Les membranes sont regroupées en séries dans des tubes de pression et le nombre de membranes par tube de pression varie entre 1 et 8.



FigureIII-2: Schéma d'un tube de pression [9]

Les tubes de pression sont alors arrangés en parallèle pour satisfaire les caractéristiques de débit et de pression des membranes ainsi que les besoins de l'installation:



FigureIII-3: Schéma d'un arrangement en parallèle des tubes de pression[9].

Le nombre total de membranes et de tubes de pression requis et leur arrangement dépendent du débit de perméat et de la pression appliquée, de la salinité et température de l'eau de mer et de la qualité requise de l'eau produite.

III-3-Les membranaires d'osmose inverse :

III-3-1- Historique des membranes :

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 semi-perméables 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.

III-3-2- Classification des membranes : [10]

L'essor des matériaux de synthèse a permis de réaliser des parois semi-perméables éminemment plus pratiques et on peut les classer suivant le critère adopté en plusieurs catégories.

La structure des matériaux permet de distinguer trois types de membranes : les membranes isotropes, elles ont des propriétés structurelles constantes sur toute leur épaisseur ; les membranes anisotropes, leur structure composite varie de la surface de la membrane vers l'intérieur ; les membranes liquides. Selon la nature des matériaux constitutifs des membranes on parle également de :

a) Membranes organiques :

La plupart d'entre elles sont actuellement fabriquées à partir de polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfones, polyamides, etc) dont les qualités leurs confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. La majeure partie des membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constituées de membranes organiques (90%).

b) Membranes minérales ou inorganiques :

De commercialisation plus tardive que les membranes organiques, ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement les matières céramiques, le métal fritté et le verre. Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique, ce qui a ouvert de nouvelles voies dans la séparation par membrane.

c) Membranes composites :

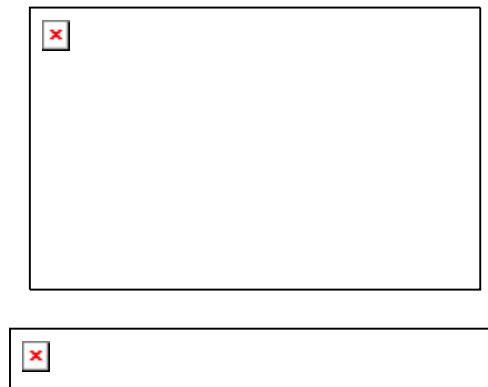
Apparues de cela il y a une dizaine d'années, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. 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).

d) Membranes échangeuses d'ions :

Introduites en 1950, elles fonctionnent sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques d'électrodialyse, la dialyse et l'électro-désionisation font appel à cette technologie. Leur principal domaine d'application actuel est le dessalement de l'eau et le traitement des effluents des installations de protection et de décoration des métaux."

Il y a deux facteurs qui déterminent l'efficacité d'un procédé de filtration sur membrane, la sélectivité et la productivité. La sélectivité est exprimée par un paramètre appelé la rétention ou le facteur de séparation. La productivité est exprimée par un paramètre appelé le débit (ou flux). La sélectivité et la productivité sont dépendantes de la membrane.

Eau brute membrane perméat



FigureIII-4: Schéma de la filtration sur membrane[5].

III-3-3- L'écoulement du fluide sur la membrane :

L'écoulement du fluide sur la membrane d'osmose inverse est tangential, l'objectif de celui-ci est d'éviter l'accumulation continue sur la membrane des espèces (particules, molécules, ions) retenues, (voir FigureIII-5). La solution à traiter (débit Q_0) se divise en deux parties :

- une partie qui passe à travers la membrane appelée perméat (Q_p) ;
- une partie qui ne passe pas à travers la membrane appelée concentrât ou retentât (Q_c)

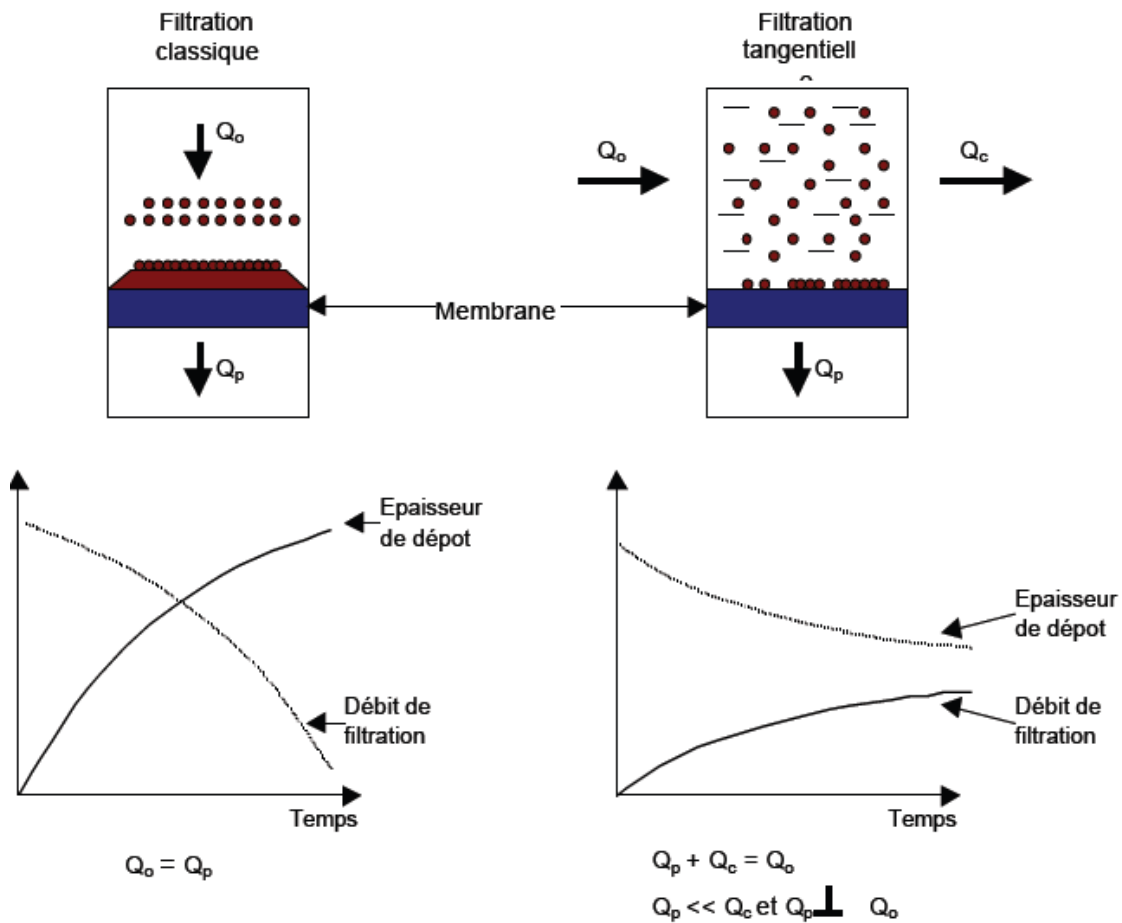


Figure III-5: Comparaison entre filtration classique (ou frontale) et la filtration tangentielle[1].

III-3-4-Mécanisme de transfert :

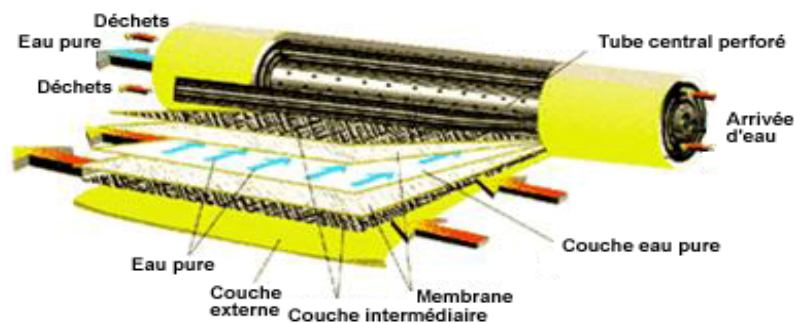
En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation/diffusion. Toutes les espèces moléculaires (solvant et soluté) se dissolvent à travers la membrane et diffusent à l'intérieur de celle ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Le transfert ne dépend plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

III- 4-Les modules d'osmose inverse : [5]

L'idée de tous les types de modules de membranes est de rassembler une grande surface de membrane semi perméables dans un petit volume, de manière qu'elle peut résister aux forces mécaniques reliées avec des pressions très élevées.

III- 4-1-Module spirale :

Aujourd'hui les concepteurs des applications industrielles à grande échelle ont focalisé de plus en plus sur le type spiralé. Dans un arrangement spiralé un ou plusieurs sachets de membranes sont embobinés autour d'un tube central. L'objet de ce tube central est de transporter le perméat généré. Les sachets sont séparés par des couches en forme de mailles en plastique, les espaceurs. Ces espaceurs ont pour but de créer l'espace nécessaire pour l'eau d'alimentation et le perméat de façon qu'elles puissent passer les couches. Sans ces espaceurs le module sera comprimé par les forces extérieures de façon qu'aucun liquide ne puisse passer entre les couches.



FigureIII-6: Schéma d'un module spirale[5].

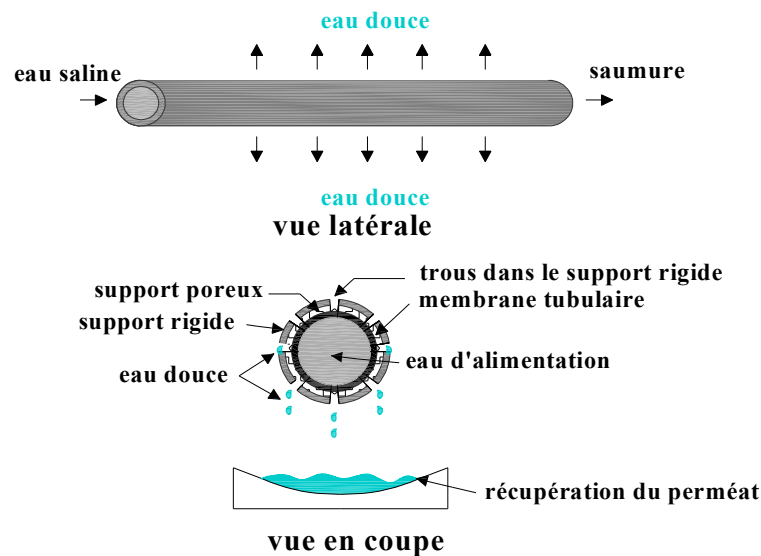


FigureIII-7: Module spirale[5].

III- 4-2-Module tubulaire :

Le module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle, l'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à leur extérieur. Ils constituent des canaux d'écoulement tangentiels. C'est le seul type de module qui peut être nettoyé mécaniquement avec un système de balles de mousses qui raclent leurs parois.

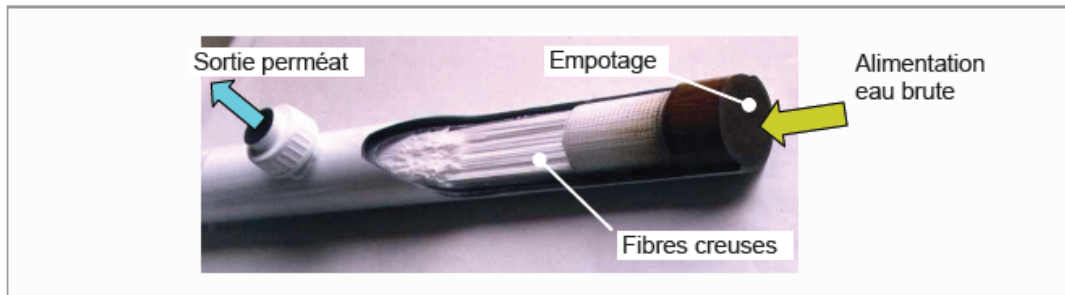
Cette configuration entraîne une dépense d'énergie plus importante que les autres configurations, à cause de la taille des canaux tangentiels.



FigureIII- 8 Schéma du principe d'un module tubulaire.

III- 4-3-Module fibres creuses :

Les fibres en U sont mises en faisceau et assemblées de façon à réaliser l'étanchéité aux deux extrémités du module. Le liquide à traiter circule perpendiculairement à l'axe des fibres tandis que le concentrât est recueilli dans une enceinte qui enveloppe le faisceau et permet son évacuation à des extrémités du module. Le perméat s'écoule à l'intérieur de chacune des fibres puis dans un collecteur.

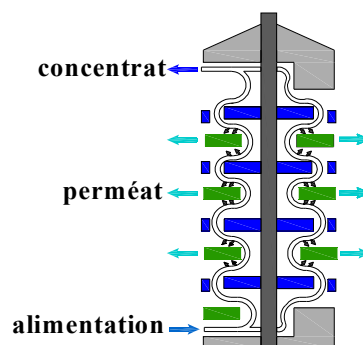


FigureIII-9 : Coupe d'un module « fibre creuse » [9].

III- 4-4-Module plans :

Dans ce type de module les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides. Un des paramètres importants est la distance entre membrane :

- Faible épaisseur : nécessité de pré filtration et difficulté de nettoyage ;
- Forte épaisseur : énergie de pompage élevée.



FigureIII-10 : Schéma de principe d'un module plan [1].

Tableau III-1: Description et caractéristiques des modules [11]

Module	Description	Caractéristiques	matériau
Tubulaire	Membranes sous forme de tube (jusqu'à 13mm de diamètre)	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie simple - Faible compacité - Le fluide à traiter peut circuler à l'intérieur ou à l'extérieur des tubes - peut traiter tous type de produit (fluides visqueux, chargés), supporte 80 bar. - Coûts d'installation relativement importants 	<ul style="list-style-type: none"> -Organique (rare) -Minirale
Spirale	Membranes planes roulées en spirale.	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité de filtration élevée - Coût moindre - Bonne compacité - Sensibilité au colmatage - Difficultés possibles au nettoyage - Réservé aux produits peut concentrés et au traitement de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> -Organique
Plans	Membranes planes	<ul style="list-style-type: none"> - Système plus souple et plus modulable - Visualisation du perméat produit par chaque élément - Système peu compact - Très bien adapté à certaines applications ne nécessitant pas de pression de fonctionnement trop élevé 	<ul style="list-style-type: none"> -Organique -minirale (rare)
Fibres creuses	Membranes sous forme de capillaire (tube de 1 à 2mm de diamètre)	<ul style="list-style-type: none"> - Compacité élevée - Sensibilité au colmatage - Canaux très fins et donc fragiles - Inapplicable or traitement de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> -Organique

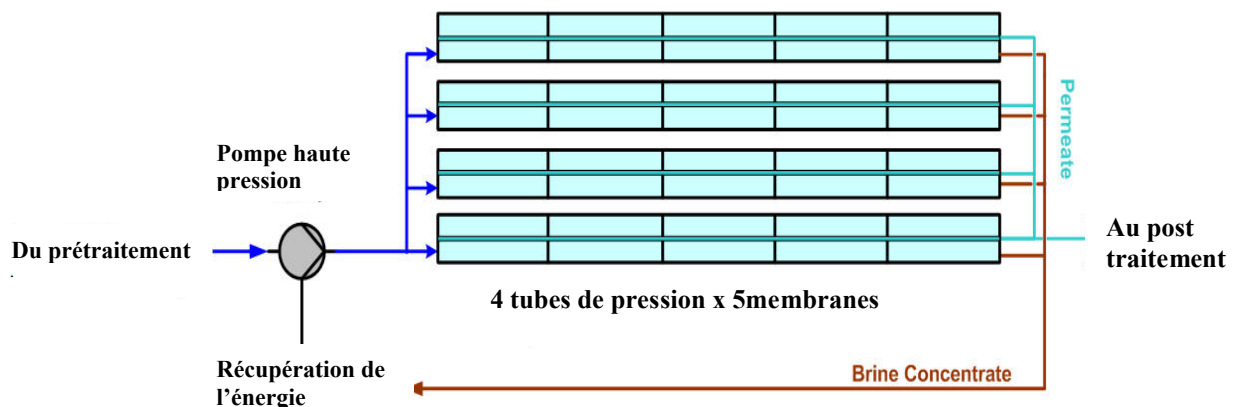
III- 5- Les critères de choix d'un module d'osmose inverse :

Pour le choix d'un type de module, plusieurs critères sont envisagés :

- 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 préfiltration).

III-6-Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse :

III-6-1-Description d'une filière de traitement par OI :



FigureIII-11 : Schéma du traitement par osmose inverse [9].

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits.

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50 μm selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une préfiltration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses.

Puis un traitement biocide et une acidification sont nécessaires pour éviter le développement de microorganismes sur la membrane et éviter la précipitation de carbonates. Enfin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable.

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes.

Un phénomène intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de concentration de la membrane. En effet, au cours du temps, la concentration de la solution salée augmente. De ce fait, la pression osmotique augmente également près de la couche limite, avec des risques de précipitation des composés à faible produit de solubilité. Pour un même rendement, la pression à appliquer est donc plus élevée. Pour éviter ce phénomène on balaye la membrane du côté de la solution salée par un flux d'eau continu.

Afin de limiter la consommation d'énergie du procédé, on peut placer sur le circuit du concentrât une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression.

III-6-2-Le prétraitement de l'eau avant osmose inverse : [1]

Les objectifs du prétraitement sont les suivants :

- éviter le colmatage des membranes par les micro-organismes et les matières en suspension ;
- Donner à l'eau à traiter des caractéristiques compatibles avec la nature des membranes : pH, température, teneur en chlore ;

Les principaux facteurs qui interviennent dans la définition d'un prétraitement sont :

- les caractéristiques physicochimiques de l'eau à traiter : MES (matières en suspension), turbidité, COT (carbone organique total), algues, pH, hydrocarbures ;
- les conditions de fonctionnement des membranes : pression, taux de conversion ;
- les types de membranes et de modules utilisés : membranes en acétate de cellulose ou en polyamide, modules spirales ou fibres creuses.

Les principaux postes d'un prétraitement sont les suivants : chloration, clarification, prévention de l'entartrage, déchloration, filtration sur cartouche.

III-6-2-1- Chloration :

L'eau de mer contient divers micro-organismes, bactéries, protozoaires qui pourraient contribuer à la formation de biofilm sur la surface de la membrane. Un biofilm est une colonie de bactéries qui croît sur une surface où il y a des nutriments et une source organique. Eliminer les bactéries et les micro-organismes avant l'arrivée de l'eau sur les membranes empêchera toute précipitation biologique.

La dose de chlore standard est de 3 mg/l de chlore actif. Ceci est injecté en dosant de l'Hypochlorite de Sodium (NaOCl) pour des petites unités ou du chlore gazeux (Cl₂) pour des unités de taille moyenne.

Le pH devrait être de l'ordre de 7.5 afin d'avoir un potentiel de désinfection optimal.

III-6-2-2-Clarification de l'eau brute :

Les objectifs visés pour la clarification de l'eau brute sont :

- turbidité : $\leq 0,1$ NTU ;
- matière organique : COT < 3mg /l ;
- métaux : Fe < 100mg/l Al < 503mg /l ;
- SDI (silt density index) < 3.

Les procédés classiques de la clarification sont : coagulation, floculation, décantation, filtration sur sable.

a) La coagulation :

Elle a pour objectif de neutraliser les colloïdes, chargés négativement le plus souvent, par des sels d'aluminium ou de fer : chlorure ferrique FeCl₃, sulfate ferrique Fe₂ (SO₄)₃, sulfate d'aluminium Al₂ (SO₄)₃.

b) La floculation :

Elle consiste à agglomérer sous forme de floes des particules colloïdales neutralisées auparavant par coagulation. Les membranes d'osmose inverse étant chargées négativement, il est recommandé d'utiliser des floculants non ioniques ou anioniques, pour éviter le colmatage, comme le polyacrylamide.

c) La décantation :

Elle est utilisée principalement après une décarbonatation à la chaux et sur des eaux très turbides, on utilise des décanteurs lamellaires avec une charge hydraulique allant de 8 à 12m³/h par m² de surface plane et recyclage des bouts pour améliorer la décantation.

Les lamelles sont inclinées de 55° minimum de façon à favoriser l'écoulement des boues se déposant sur celle-ci vers le fond de l'ouvrage.

d) La filtration sur sable :

Elle peut être effectuée sous pression ou de façon gravitaire. La filtration sous pression est utilisée en général pour les débits faibles et moyens. Les vitesses de filtration sont d'environ 10 à 15 m/h. La filtration gravitaire est utilisée en général pour les débits élevés. Les vitesses de filtration sont d'environ 5 à 8 m/h. La masse filtrante peut être monocouche ou bicouche.

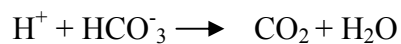
- le filtre monocouche est constitué par une hauteur de sable de granulométrie comprise entre 0,4 et 1mm sur une hauteur de 1m ;
- le filtre bicouche est constitué par une couche de 0,7 m de sable surmontée d'une couche de 0,3 m d'anthracite, ce qui lui permet d'avoir des cycles de fonctionnement plus longs.

III-6-2-3-Prévention de l'entartrage :

La méthode la plus utilisée pour éviter les dépôts de tartre (CaCO₃, CaSO₄) dans les modules d'osmose inverse, consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres. Les produits les plus utilisés sont :

- les polyphosphates : ces produits sont efficaces et bon marché. Mais ils peuvent poser des problèmes environnementaux, compte tenu de la réglementation de plus en plus restrictive sur les rejets de phosphate.
- les polymères carboxyliques : efficaces sur la plupart des tartres, ces produits ne posent pas de problèmes pour les rejets. Ils présentent l'inconvénient d'être chers.

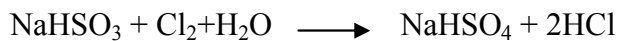
L'acidification de l'eau brute, en provoquant la décomposition des bicarbonates, est aussi un moyen efficace de prévenir les dépôts de CaCO_3 :



III-6-2-4- Déchloration:

Compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, membranes les plus utilisées actuellement, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer avant son entrée dans les modules.

- Soit par ajouts de réactifs chimiques : bisulfite de sodium le plus souvent :



- soit par passage sur charbon actif :

III-6-2-5- Filtration de sécurité sur cartouches (la microfiltration) :

Dans tous les cas, une installation d'osmose inverse doit être protégée par une filtration sur cartouches. La microfiltration élimine toutes les bactéries grâce à des membranes aux pores variant de 0,1 à 10 μm .

III-6-3- Dispositif de mise sous pression et Système de récupération de l'énergie du concentrât :[12]

Les pompes d'alimentation des modules d'osmose inverse, sont très importantes dans la conception des usines de dessalement. Il convient donc d'effectuer les bons choix par une parfaite connaissance des équipements existants sur le marché et de leurs spécificités au niveau de leur principe de fonctionnement, de leur conception, des gammes de débit, de pression et des rendements. La pression d'alimentation varie de 56 à 90 bars. Celle-ci est assurée soit par :

- les pompes volumétriques (à pistons – à membranes) étant plutôt adaptées aux faibles débits
- les pompes centrifuges multi-étagées.
- Le concentrât possède une énergie hydraulique importante (pression disponible du concentrât = pression d'alimentation – 4 bars environ) qu'il convient de récupérer afin de réduire la consommation en énergie électrique. Cette récupération s'effectue par trois moyens (Figure III-11) turbo-pompes placées en série avec les pompes HP
- turbines Pelton couplées directement aux pompes HP afin de soulager les moteurs électriques
- échangeurs de pression

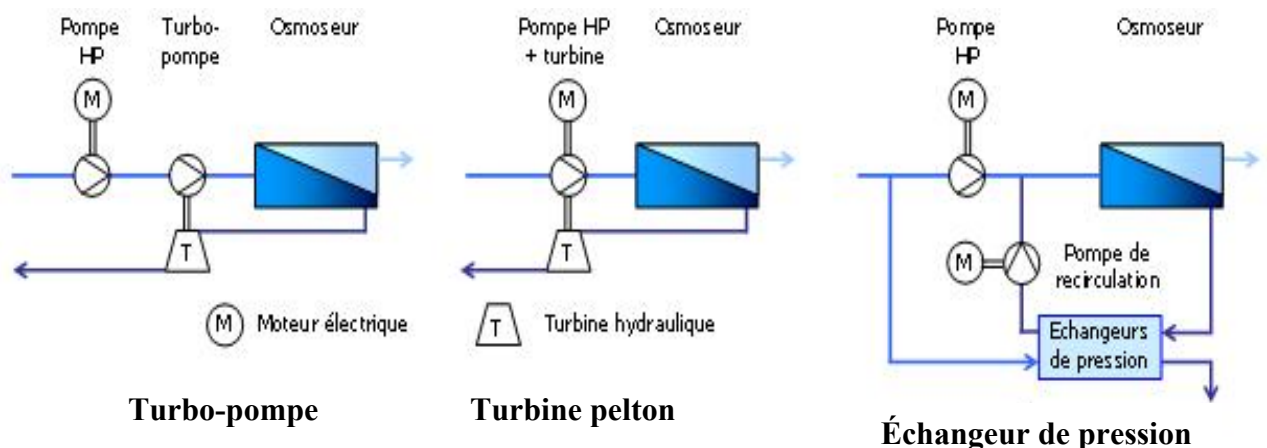


Figure III-12 : Les systèmes de récupération d'énergie du concentrât[13]

La récupération de l'énergie du concentrât par échange de pression est le système présentant le meilleur rendement. Il permet d'atteindre des consommations inférieures à 3 kWh par m³ de perméat, et ceci pour les seuls besoins de la mise en pression des éléments d'OI. Ce système est utilisé dans plusieurs grandes stations de dessalement en Algérie (El Hamma et Skikda).

III-6-4-L'osmoseur:

Les membranes d'OI se présentent généralement sous forme de feuilles fines en composite configurées en spirales pour former des éléments aux dimensions normalisées. Ces éléments sont placés dans des tubes de pression (7 ou 8 par tube) en fonction de la salinité de l'eau de mer, de sa température ainsi que des qualités requises pour le perméat.

III-6-5-Poste traitement : [1]

- **Correction de l'agressivité :**

L'eau produite par OI est agressive, c'est-à-dire que son pH est inférieur au pH de saturation. L'eau sous saturée en CaCO₃ dissout le calcaire sous l'action du CO₂ agressif qui peut être éliminé par neutralisation avec Na(OH) ou Ca(OH)₂.

- **Correction de la corrosivité :**

Le traitement de la corrosivité consiste à augmenter le TAC et le THCa par ajout de Ca(OH)₂ ou de CaCO₃.

- **Désinfection finale :**

Il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfectant pour éviter toute contamination.

III-6-6- Nettoyage des membranes d'osmose inverse :

Il y a 3 procédures de nettoyage des membranes :

- Rinçage post-service
- Nettoyage chimique standard : 1 à 4 fois par an (moyenne)
- Nettoyage chimique spécifique

L'eau de mer s'écoule de façon tangentielle le long de la membrane, créant un gradient de concentration horizontal sur la longueur de la membrane. Les membranes doivent typiquement être nettoyées lorsque:

- Le flux normalisé de perméat varie de 10-15% ;
- La conductivité normalisée du perméat varie de 10-15% ;
- La perte de charge normalisée entre l'alimentation et le concentrât varie de 10- 15%.

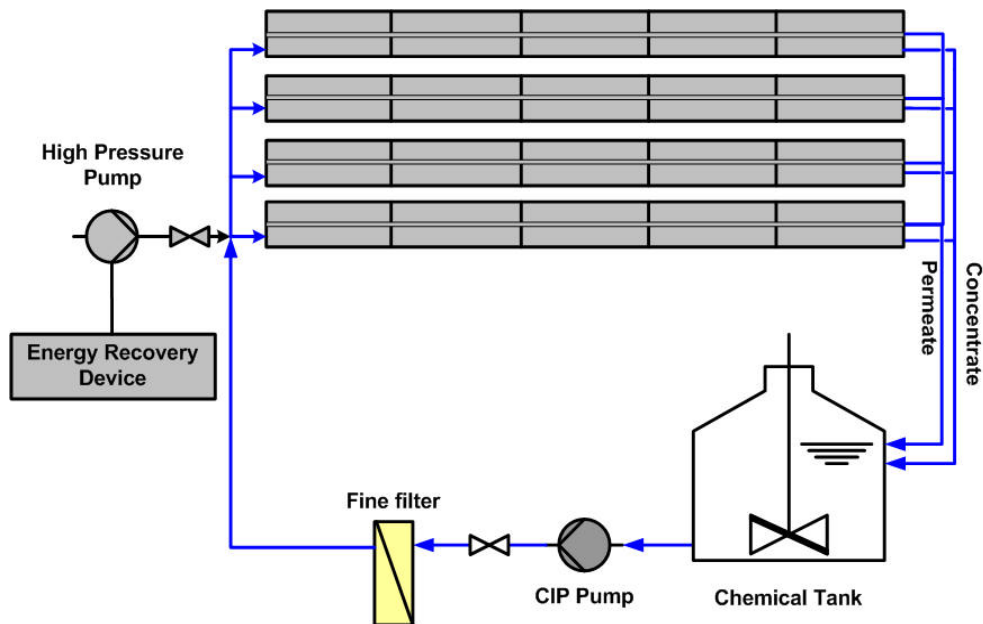


Figure III-13: Schéma du système de nettoyage des membranes[9]

Afin de faciliter le nettoyage chronique, nos systèmes peuvent être équipés de stations de Nettoyage En Place (NEP), déjà connecté aux membranes:

La station NEP inclut une cuve de produits chimiques avec agitation manuelle ou mécanique, en fonction de la taille de l'unité, une pompe NEP et une filtration fine pour empêcher les débris d'entrer dans les membranes. La cuve de produits chimiques dépend du nombre de membranes à nettoyer en même temps. Les solutions de nettoyage acides et basiques circulent en boucle à travers les membranes pendant au moins 30 minutes.

III-7-Flux du solvant et de soluté : []

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.

$$J_2 = B\Delta C$$

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

B (m.s⁻¹) : perméabilité de la membrane au sel,

ΔC (kg.m⁻³) : différence de concentration en sel 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.

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

a - Influence de la pression efficace sur le taux de rejet :

Soient C_a (g.cm⁻³) la concentration du soluté dans la solution d'alimentation qui arrive sur la

Membrane et C_p (g.cm⁻³) la concentration du soluté dans le perméat qui traverse la membrane ;

L'équation peut s'écrire :

$$J_2 = B\Delta C = B(C_a - C_p)$$

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

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

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

$J_2 = J_1 \cdot C_p$ 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 .

b- 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-8-Mise en œuvre et condition d'une installation d'osmose inverse :

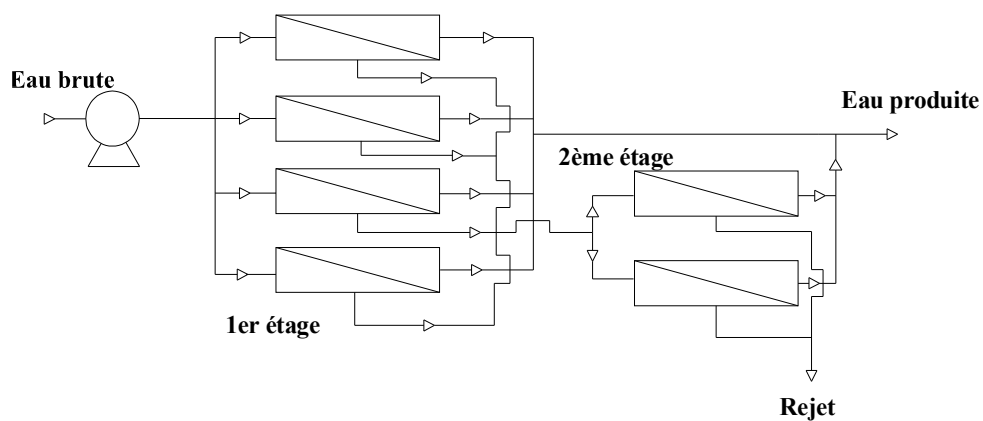
Le fonctionnement d'une telle installation peut se faire selon divers procédés :

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

Dans le cas du dessalement de l'eau de mer, seul le procédé continu est utilisé, les modules étant montés en série-rejet ou en série-production.

III-8-1-Le procédé continu :**a- Montage en série rejet :**

Ce type de montage est utilisé pour obtenir un taux de conversion ($Y=Q_p/Q_a$) élevé, le rejet du premier étage alimente les modules du second étage et ainsi de suite. Dans le premier étage on a un certain nombre de modules en parallèle tandis que dans les autres étages le nombre de modules diminue 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 la polarisation.

**FigureIII-14 : Schéma de montage en série rejet [13]**

b- Montage en série production :

Ce montage est utilisé lorsque 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.

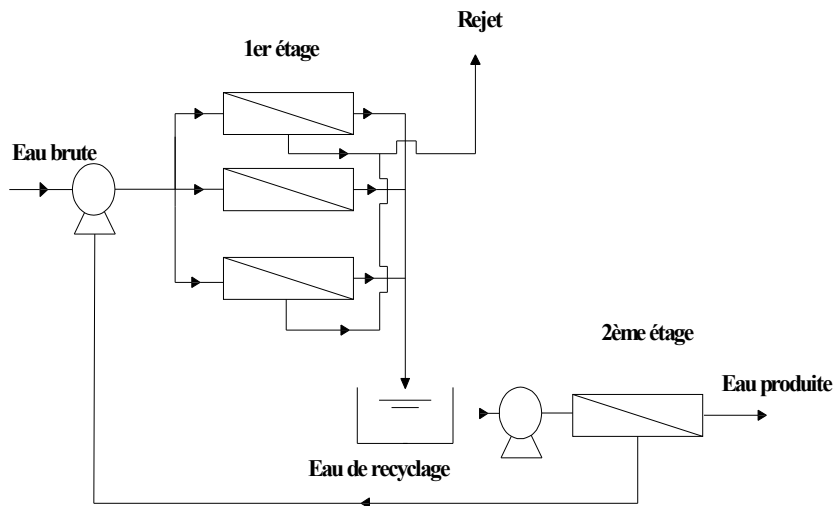


Figure III-15: Schéma de montage en série production[13]

III-8-2-Le procédé discontinu :

Applicable pour le traitement de faibles volumes, on a :

- **Le procédé discontinu à recyclage :**

Dans ce cas une pompe additionnelle peut servir à une recirculation du concentrât à l'entrée du module, et cela jusqu'à obtention de la concentration voulue.

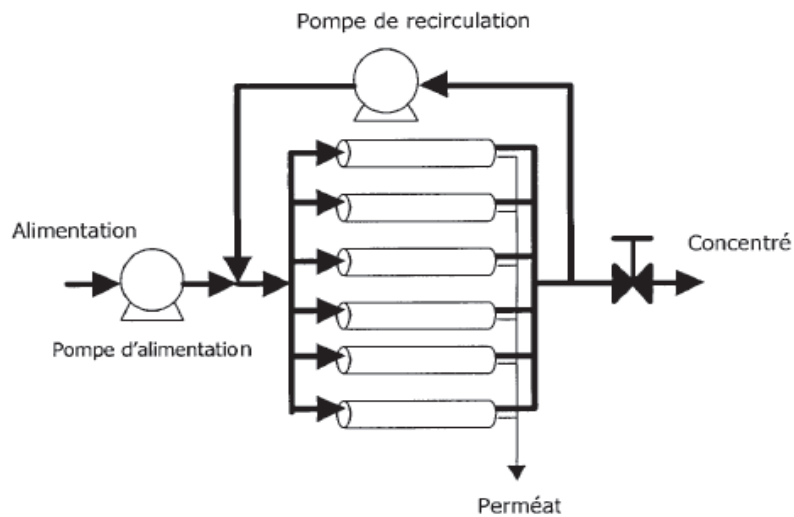


Figure III-16 : Schéma d'un système de dessalement discontinu à recyclage[13]

b-Le procédé discontinu sans recyclage :

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

III-9-Les problèmes techniques rencontrés dans le dessalement :

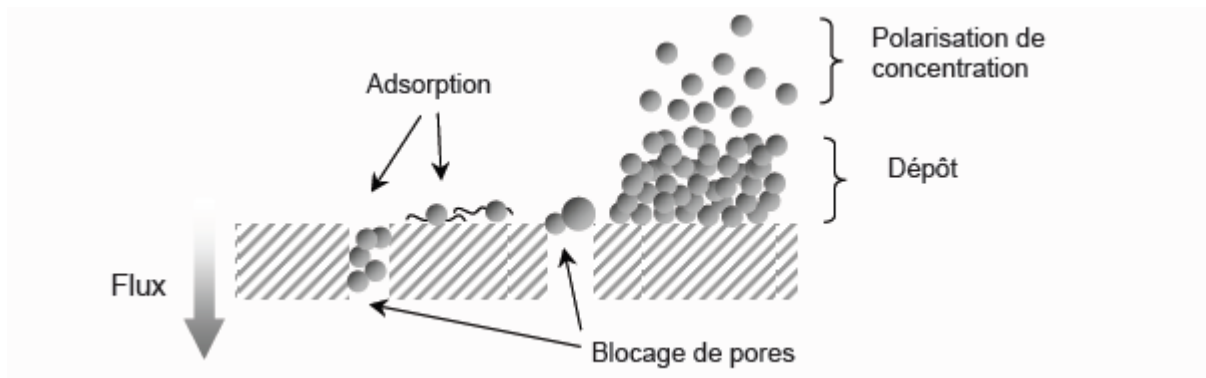
Les principaux problèmes rencontrés dans le dessalement de l'eau de mer sont :

III-9-1-Le Colmatage (Fouling):

Cette notion se réfère au blocage graduel des espaces intermédiaires entre les couches de la membrane par formation de dépôts de matières en suspension, par prolifération microbologique ou par des dépôts de nature minérale.

III-9-2- La polarisation :

Le phénomène de polarisation est caractérisé par une accumulation à la surface de la membrane des espèces retenues. La concentration étant à la surface plus élevée que dans le volume de la solution, il s'ensuit une augmentation de la pression osmotique près de la membrane et donc une diminution de la pression efficace ce qui engendre une diminution du flux du perméat.



FigureIII-17 : Mécanismes de limitation au transfert (colmatage et polarisation) [5]

III-9-3- L'entartrage :

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur la surface d'échange. Compte tenu des ions présents dans les eaux salines (calcium, sulfate, magnésium, bicarbonate), ces dépôts sont constitués principalement de carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH}_2)$) et du sulfate de calcium (CaSO_4).

III-9-4-La corrosion :

Dans l'ensemble, les cas de corrosion les plus courants sont dus à :

- Une présence excessive en sels minéraux (chlorures, sulfates) ;
- Un pH inférieur au pH de saturation (pHs) ;
- Une saturation en oxygène dissous.

III-10-Les facteurs influençant les performances d'un système d'osmose inverse : [5]

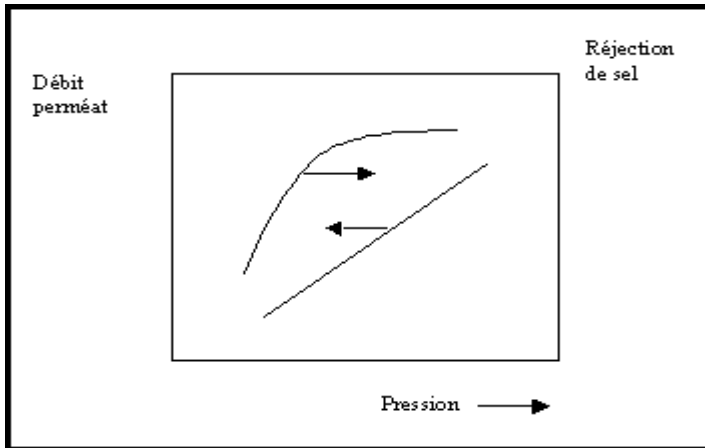
Le flux du perméat et la rétention de sel sont les principaux paramètres qui déterminent les performances d'un système d'osmose inverse. Ces facteurs sont principalement influencés par les variables suivantes:

- Pression
- Température
- Recouvrement
- Concentration en sel de l'eau alimentant le système

Les effets de chacun de ces paramètres sont mentionnés ci-après, quand chacun des autres paramètres est constant. (FigureIII-18 a, b, c et d).

- **Pression**

Quand la pression efficace de l'eau d'alimentation augmente, la charge en solide dissout du perméat diminue alors que le débit du perméat augmente.

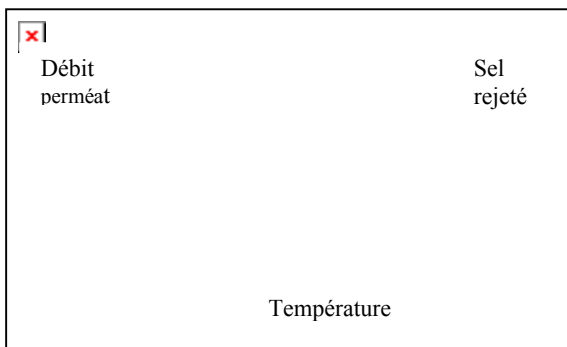


FigureIII-18.a. Influence de la pression

- **Température**

Quand la température augmente et que les autres paramètres sont constants, le débit du perméat et la charge en sel augmentent.

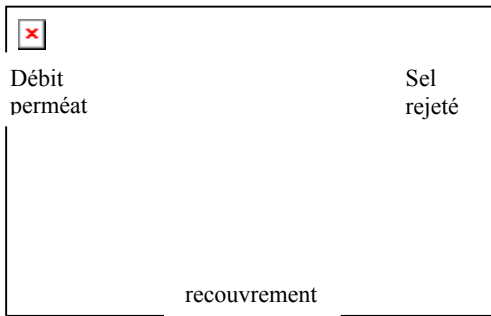
Le colmatage d'une membrane est d'autant plus important que la température est élevée.



FigureIII-18. b. Influence de la température

- **Recouvrement**

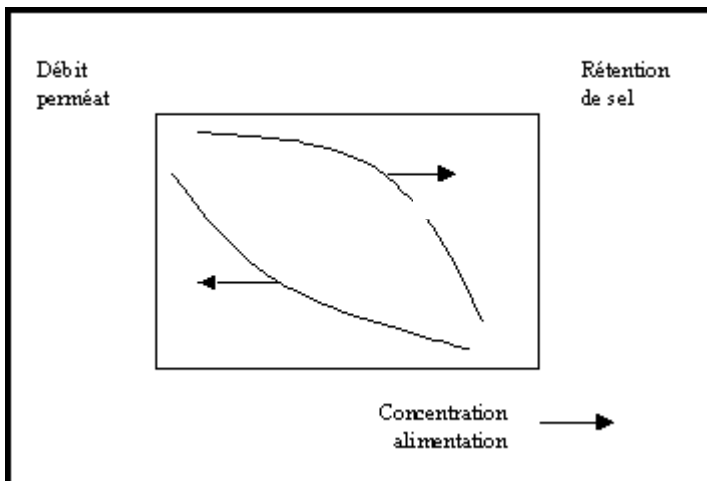
Le recouvrement est le rapport entre le débit du perméat et le débit d'alimentation. Quand le recouvrement augmente, le débit du perméat diminue et stagne si la concentration en sel atteint des valeurs telles que la pression osmotique est égale à la pression de l'alimentation.



FigureIII-18. c. Influence du recouvrement

- **Concentration en sel de l'eau alimentant le système**

Les effets de la concentration en sel de l'eau alimentant le système sur le débit du perméat sont montrés ci-dessous



FigureIII-18.d. Influence de la de la concentration en sel

III-11-Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse : [13]**a- Les avantages :**

- Obtention d'une eau très pure après osmose inverse ;
- L'eau osmosée est antioxydant, alors que l'eau en bouteille est plus oxydée du fait du délai souvent trop long entre la mise en bouteille et la consommation ;
- Le pH légèrement acide de 6,6, idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments ;
- Le procédé d'OI ne demande pour sa mise en marche ou son arrêt que quelques secondes ;
- L'OI peut être schématisée par une pompe à haut pression et un ou plusieurs modules (simplicité de représentation) ;
- Faible consommation d'énergie, comparée à d'autres procédés.

b-Les inconvénients :

- Nécessité d'un prétraitement de l'eau brute ;
- Le remplacement des membranes d'OI représente 5% du coût du traitement ;
- La séparation membranaire possède un talon d'Achille c'est le « le colmatage » qui est responsable dans trois quart des cas du vieillissement de la membrane ;
- La capacité unitaire d'un module d'OI ne dépasse pas 20 m³/j d'eau douce à partir de l'eau de mer, et donc une installation de grande capacité sera constituée de plusieurs modules, ce qui entraîne une complexité de l'installation et un coût élevé.
- Impact négatif du rejet de la saumure sur l'environnement.

IV-1- Introduction :

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

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants (herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations).

En dépit du fait que des procédés différents ont été mis au point pour le dessalement, ils ont tous en commun de consister à ôter de l'eau de mer les substances minérales et notamment mais pas exclusivement les sels qui y sont dissouts. Il en résulte donc, un effluent (concentré) qui a une composition chimique similaire à l'eau de mer d'alimentation mais dont la concentration est de 1,2 à 3 fois plus élevée, avec en plus les produits chimiques utilisés au cours des phases de prétraitement et de post-traitement. Toute une série de produits chimiques et d'additifs servent en effet, lors du dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération de microorganismes dans les circuits, faute de quoi la bonne marche de l'exploitation serait entravée.

IV-2- Effets potentiels des rejets de saumures sur le milieu marin : [14]

Le premier risque du dessalement vient du sel. En Méditerranée occidentale par exemple, la salinité naturelle de l'eau de mer se situe entre 37 et 38 (g/l), alors que la salinité du concentré osmotique peut atteindre les 70 g/l.

Or, en Espagne, des études menées en laboratoire et sur le terrain, ont montré que la plante à fleurs aquatique « *Posidonia oceanica* » est très sensible aux variations du taux de salinité de ses habitats naturels. Des effets notables sur la structure de la plante ont été observés à des taux de salinité d'à peine 38,4 g/l et sur sa vitalité dès 39,1 g/l. La forte teneur en sel du concentré rejeté avec l'osmose inverse risque de porter préjudice aux bancs de *Posidonia* classés habitat prioritaire par la directive Européenne pour la conservation des habitats de la faune et de la flore.



Figure IV-1: herbier de posidonies de Méditerranée [14].

« **herbier de posidonies** » : Une plante à fleurs aquatiques très sensibles aux variations du taux de salinité. Ces herbiers constituent un écosystème de premier plan en Méditerranée et exercent une fonction protectrice des littoraux contre l'érosion marine. Ces herbiers sont le refuge d'un grand nombre d'espèces animales (mollusques, poissons, crustacés etc.).

IV-3- Origine et type des émissions et rejets : [15]

IV-3-1-La saumure concentrée :

Une concentration élevée en sels des eaux rejetées et des fluctuations du degré de salinité peuvent être, à proximité de l'émissaire, une cause de mortalité parmi les organismes qui y sont sensibles. De plus, les rejets provenant des usines de dessalement ont une densité plus élevée que celle de l'eau de mer et peuvent se déposer au fond de la mer et avoir éventuellement des effets préjudiciables pour les communautés benthiques.

Une variation de la salinité et/ou de la température due au rejet de saumure retentit aussi sur les habitudes migratoires du poisson le long des côtes. Si certaines espèces de poissons ressentent une variation de la salinité ou de la température, elles peuvent éviter la zone du panache et s'éloigner au large. Il s'ensuit que le poisson peut être forcé de nager sur une plus longue distance, de quitter la zone de plus grande disponibilité alimentaire.

IV-3-2-Les 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 IV-1 : Résumé des phases de la production d'eau potable par OI et devenir des produit utilisés [15].

Phases	objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des produits
Ajustement du pH	-Diminue la concentration de carbonate. -protège la		-Modifie le pH de l'eau brute et de la saumure ; -Le sulfate est retenu

	membrane contre l'hydrolyse.	Acide (H ₂ SO ₄)	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 - Flocculants	-Les agents flocculants 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.
Déchloration	-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.
Élimination d'autres formes	-Diminue tous les polluants	Est fonction des formes chimiques.	-Les complexes formés sont retenus

chimiques.	susceptibles d'être présents dans l'eau brute.		dans la saumure concentrée
-------------------	--	--	----------------------------

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 surtout 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 antisalissures**

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.

IV-3-3- Rejet des eaux de lavage à contre-courant des membranes:

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.

Un exemple de composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer dans une usine de dessalement des îles canaries est représenté dans le tableau suivant :

Tableau IV-2 : Composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer [15].

(Données analysées dans des échantillons provenant d'une usine OI des îles Canaries)

analyse	Eau d'alimentation mg/l	saumure mg/l	Rapport (saumure/ eau d'alimentation)
Ca ²⁺	962	1583	1,64
Mg ²⁺	1,021	1,09	1,87
Na ⁺	11,781	19,346	1,64
K ⁺	514	830	1,61
NH ₄ ⁺	0,004	0,005	1,25
HCO ₃ ⁻	195	256	1,31
SO ₄ ²⁻	3,162	5,548	1,75

Cl ⁻	21,312	43,362	2,03
NO ₃ ⁻	2,6	4	1,54
PO ₄ ⁻	0,08	0,4	5
Salinité totale (TSD)	38,951	63,840	1,64
Conductivité	46200 µs/cm	75300 µs/cm	
pH	7,85	6,92	

IV-3-4- Les émissions atmosphériques :

Toute unité de dessalement doit généralement être accompagnée d'une unité de production d'énergie. Cette dernière génère évidemment une grande quantité de gaz à effet de serre, lesquels auront un impact négatif sur le climat et sur le cycle de l'eau. Certains craignent que la multiplication des usines de dessalement n'entraîne une relance à grande échelle de la construction de centrales nucléaires : chaque unité de dessalement serait accompagnée de son unité nucléaire « dédiée ».

Comme les émissions atmosphériques dues à un procédé de dessalement sont directement en rapport avec ses besoins respectifs en énergie, il va de soi que les émissions dues à l'OI sont moindres que celles dues à la MSF. L'étude d'Afgan (1999) qui porte sur des usines de dessalement des pays du Golfe a permis de calculer des indicateurs de durabilité qui ont confirmé ce qui précède, ainsi qu'il ressort du tableau suivant :

Tableau IV -3 : Indicateurs de durabilité pour les usines d'OI et de MSF avec une source locale d'énergie électrique [15].

Les indicateurs	MSF	OI
Indicateur de ressources en combustible, kg combustible /m ³	11	1,8

Indicateur environnemental pour CO ₂ , kg CO ₂ /m ³	37	7
Indicateur environnemental pour SO ₂ , kg SO ₂ /m ³	0,09	0,005
Indicateur environnemental pour NO _x kg NO _x /m ³	0,06	0,009

IV-4- Pollution sonore :

Les usines d'osmose inverse utilisent des pompes à haute pression et des turbines qui sont bruyantes et qui contribuent à la pollution sonore. Ces installations devraient donc être situées loin des régions peuplées à moins que des moyens de mitigation ne soient utilisés pour réduire leur niveau sonore.

IV -5- Les enjeux techniques :

En ce qui a trait aux procédés de filtration par membrane, la perméabilité de celle-ci ainsi que la susceptibilité au colmatage et la dégradation seront évaluées. Le colmatage d'une membrane peut résulter soit de l'obstruction des pores à l'intérieur même de la membrane, soit de phénomènes d'adsorption, ou encore par un dépôt de matière.

La dégradation des membranes peut survenir si les conditions d'opération les exposent à des pH ou des substances chimiques qui ne correspondent pas à leur condition d'opération idéale. Ainsi, la qualité de l'eau de mer peut avoir une influence sur la durée de vie de la membrane.

IV -6- L'aspect économique : [16]

La quantité d'énergie nécessaire demeure importante étant donné qu'il faut appliquer à l'eau salée une pression suffisante pour la faire passer à travers la membrane semi perméable, et donc la dépense de production est associée à l'énergie nécessaire pour le fonctionnement.

Une autre dépense est associée aux systèmes de prétraitement qui comportent la filtration, la désinfectionEtc. Des coûts importants sont aussi liés à l'achat des membranes qui ont une durée de vie limitée, quoique moindres que les dépenses décrites précédemment, ils doivent tout de même être considérés puisqu'ils sont récurrent et qu'ils peuvent fluctuer en raison du marché ou de la technologie sélectionnée.

Tableau IV -4 : L'évaluation des impacts associés à l'osmose inverse [16].

Aspect	Critère	Description	Évaluation de l'impact
Écono	Coûts initiaux	Moindre, en comparaison à d'autre procédés comme la distillation.	+
	Coûts de maintenance et d'opération	Nécessite un prétraitement	-
Technique	Consommation énergétique	Moindre que pour la distillation	+
	Capacité de traitement	Le procédé consomme moins d'eau de mer que la distillation pour produire la même quantité d'eau potable.	+
	Membrane : Colmatage ; Dégradation.	Susceptible au colmatage et à la dégradation	-
Environnement	Écosystème marin	Les produits chimiques utilisés lors du prétraitement peuvent contaminer le rejet.	-
	Bruit	Utilisation de turbines et de pompes à haute pression bruyantes.	-
	Source d'énergie	Consommation moindre	+
	Gestion des résidus	Les membranes ont une courte durée de vie et constituent des déchets.	-

Sociaux	Réponse au besoin	Possibilité d'usine à grande capacité	+
	Main d'oeuvre	Procédé répandu et bien connu	+
	Acceptation	Procédé le plus populaire	+
	Santé humaine	Eau produite convient bien aux usages domestiques	+

Légende : + Impact positif, - Impact négatif .

IV -7- Effets dus au prélèvement d'eau de mer : [15]

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 pré-traitement ..

Cependant, le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact :

- le heurt du poisson et d'autres 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 pré-traitement et de dessalement, sont liés à des activités tels 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.

VI-8- L'aspect juridique du dessalement : [17]

Le dessalement nécessite, avant tout commencement d'exécution une étude d'impact environnemental et, dans le cadre de la loi n° 11-03 du 9 juin 2003 relative à la protection et la mise en valeur de l'environnement, l'obligation de gérer les résidus (concentrât) pour améliorer le bilan environnemental.

a) La loi n° 12-03 du 12 mai 2003 relative aux études d'impact environnemental.

Aux termes de cette loi, tous projets d'activités, de travaux, d'aménagement et d'ouvrages, entrepris par toutes personnes physiques ou morales, privées ou publiques, qui en raison de leur nature, de leur dimension et de leur lieu d'implantation dans des zones sensibles ou protégées, doivent faire l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement. L'étude d'impact a pour objet d'évaluer de manière préalable les répercussions éventuelles et les effets directs et indirects du projet sur l'environnement, la faune, la flore, le sol, le milieu naturel et les équilibres biologiques.

Sans que l'activité de dessalement d'eau de mer ne soit expressément mentionnée dans la liste des activités soumises à étude d'impact environnemental par la loi précitée, il n'en demeure pas moins que, l'eau très salée rejetée en mer lors du processus de dessalement de l'eau de mer menace les écosystèmes marins et justifie l'obligation d'une étude d'impact environnemental qui définit les mesures prises pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement.

b) La loi 11-03 du 9 juin 2003 relative à la protection et la mise en valeur de l'environnement

Cette loi définit la pollution marine comme étant notamment:« tout déversement ou toute introduction en mer, directement ou indirectement d'un produit susceptible d'endommager les êtres vivants et les végétaux marins...»

Elle interdit tout rejet liquide ou gazeux d'origine quelconque dans le milieu naturel, susceptible de nuire à la santé de l'homme ou à la qualité de l'environnement en général et qui dépasse les normes et standards en vigueur.

La loi prévoit que les conditions d'exploitation, de mise en valeur et de développement des ressources du littoral dont fait partie le dessalement de l'eau de mer seront fixées par voie réglementaire. Elles ne le sont toujours pas. La loi impose à tout auteur d'une infraction, ayant eu pour conséquence une dégradation de l'environnement, de remettre en état l'environnement lorsque cette remise en état est possible, le tout sans préjudice de l'application des sanctions pénales prévues par la législation en matière de réparation civile.

L'administration fixe dans chaque cas les objectifs de remise en état de l'environnement à atteindre et les dates d'exécution des opérations de mise en valeur de l'environnement. A l'issue des travaux, elle procède à un examen des lieux et prend une décision donnant quitus lorsque les travaux accomplis sont conformes à ses prescriptions.

Tous ces textes restent des textes généraux applicables à toute forme de pollution. Ils ne sont pas particulièrement ajustés à la pollution entraînée par le dessalement de l'eau de mer.

V-1-Introduction :

Les impacts du rejet de la saumure sur l'environnement peuvent être réduits au minimum si un certain nombre de mesures sont prises en ce qui concerne la conception du système de prélèvement d'eau et de l'émissaire de l'usine.

Parmi les moyens à adopter pour mitiger l'impact du rejet de la saumure, il y a ceux à mettre en œuvre durant la phase de projet et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation (**Programme de surveillance continue**).

V-2-Mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines :

Les mesures d'atténuation proposées pour réduire les impacts sur les ressources marines sont les suivantes :

- La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région.
- Le choix de l'emplacement du prélèvement d'eau de mer et de l'émissaire doit être effectué de manière à éviter les zones sensibles, dans le respect de la flore et de la faune marines.
- Le système de prélèvement d'eau doit être conçu de manière à réduire la possibilité de heurt et de piégeage ;
- Le choix de l'emplacement et la conception de l'émissaire doivent assurer un taux de brassage et un volume de dilution suffisants pour réduire au minimum les effets dommageables.
- L'émissaire doit être situé au large, mais non dans un estuaire ou autre zone à faible circulation d'eau.
- Il convient d'utiliser des techniques de prétraitement qui réduisent au minimum la nécessité de produits chimiques dangereux, et de bonnes techniques de post-traitement et désinfection qui permettent d'espacer le nettoyage régulier des membranes en raison de leur encrassement.
- Dans la mesure du possible, il convient d'éliminer du flux de saumure, avant son rejet, les constituants qui sont dangereux (prévoir un bassin de neutralisation).
- Prévoir un bassin d'évaporation de la saumure et récupération du sel
- La dilution des saumures avec l'eau de mer (2 à 4 volumes d'eau de mer pour un volume de saumure) offre une solution intéressante, dans le cas où il y a des zones à protéger et où la capacité de production de l'usine de dessalement n'est pas très grande.[15]

V-3-Programme de surveillance continue :

On dispose de fort peu de données concernant les impacts sur le milieu marin imputables aux usines de dessalement de l'eau de mer. Très peu d'études, pour ne pas dire aucune, sont menées dans la région méditerranéenne, le Proche-Orient et d'autres parties du monde, pour observer en permanence les effets des rejets d'usines de dessalement sur les ressources marines.

La surveillance continue des impacts sur le milieu marin est essentielle et indispensable, au regard notamment à la mise en service récente d'usines de dessalement de très grande capacité.

V-3-1-Surveillance et informations de base sur les ressources marines avant la mise en service des usines :

Avant la mise en service d'une usine de dessalement, les informations de base ci-après seront utiles à l'autorité nationale chargée d'évaluer les incidences des rejets sur les ressources marines :

- données concernant les conditions hydrographiques, courants, vagues, etc., de la zone marine où l'émissaire sera situé;
- application de modèles pour déterminer à l'avance les modalités de la dispersion de la saumure dans la zone de l'émissaire;
- inventaire des organismes marins dans la zone de l'émissaire;
- inventaires à long terme des organismes marins benthiques dans les quelques mm de la couche supérieure du fond de la mer;
- données sur les sédiments de la zone de l'émissaire, y compris une analyse des particules;
- données de base sur la qualité microbiologique de la zone marine où est prélevée l'eau d'alimentation de l'usine;
- données sur l'état trophique de la zone de prélèvement d'eau d'alimentation.

V-3-2-Surveillance des effets sur les ressources marines après la mise en service :

- mesure des impacts sur les habitats du fond de mer;

- mesure des impacts sur le poisson dans la colonne d'eau;
- évaluation de la température, de la salinité et de la densité le long de la trajectoire du panache;
- tests aux moyen de colorant non toxique ou d'élément trace pour évaluer la dilution;
- échantillonnage des sédiments;
- mesure de la salinité à diverses stations d'échantillonnage au large.

V-4-Recommandations d'ordre général

Avant de prendre toute décision concernant la construction d'une usine de dessalement, les autorités nationales devraient explorer toutes les autres options qui s'offrent pour l'approvisionnement en eau afin de s'assurer de la nécessité de cette construction.

a) Consommation d'énergie

Les technologies de production couplée (eau + électricité), d'énergie alternative ou de réduction de la consommation d'énergie devront être prises en considération pour les nouveaux projets d'aménagement d'usines de dessalement.

Aussi les énergies renouvelables sont appelées à jouer un rôle important dans la protection de l'environnement.

b) Produits chimiques dangereux

Il convient de choisir les technologies et procédés qui réduisent au minimum les rejets des produits dangereux dans la mer. Il conviendrait de recourir au traitement et nettoyage des éléments de l'usine au moyen de produits respectueux de l'environnement.

c) Dilution des rejets

Il convint d'évaluer les options consistant à mélanger la saumure avec les rejets des centrales. Mélanger la saumure avec l'eau de refroidissement rejetée par la centrale est probablement la meilleure solution pour réduire au minimum les impacts dommageables résultant de l'indice de dilution.

d) Étude d'impact sur l'environnement :

Il convient de réaliser au préalable une étude d'impact sur l'environnement, pour toute nouvelle usine de dessalement, y compris pour la sélection du site. Les critères de sélection du site devraient comprendre entre autres:

- le milieu marin doit offrir une eau d'alimentation de bonne qualité avec un risque minimal de contamination due à d'autres activités proches
- le site choisi doit être proche d'une infrastructure de distribution d'eau en vue d'un raccordement facile et rapide de l'usine au réseau existant.

Les informations concernant les impacts potentiels des rejets prévus sur les ressources marines peuvent être obtenues lors de la surveillance effectuée avant la mise en service et tirées des résultats de la surveillance continue recueillis pour d'autres usines de dessalement.

V-5-L'élimination de la saumure :

Dans la plupart des cas, la manière la plus facile de se débarrasser du débit important de saumure (55 à 70% du débit d'alimentation) est de le décharger dans la mer grâce à une conduite.

La concentration en saumure varie de 50 à 75 g/L et a une densité beaucoup plus élevée que l'eau de mer. De ce fait, la saumure tombe sur le sol sous-marin proche de la sortie de la conduite (effet panache) et forme ainsi une couche très salée pouvant engendrer des impacts négatifs sur la faune et la flore maritime ainsi que d'éventuelles activités humaines [5]

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

- Mélange
- Dilution
- Diffusion

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

La diffusion de la saumure peut être réalisée à l'aide d'une conduite perforée installée sur le sol sous-marin. Les diffuseurs consistent en des vannes anti retour caoutchouc. Une pompe de décharge doit alors être prévue afin de fournir une pression suffisante.

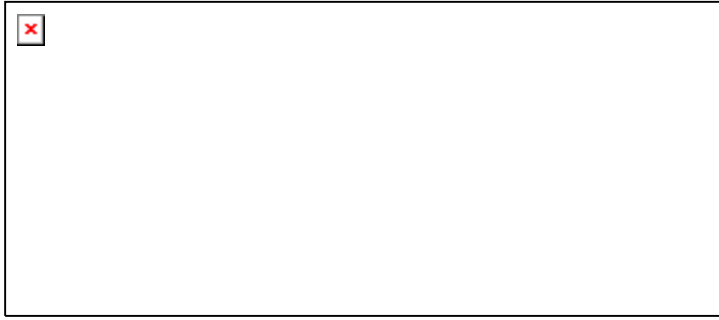


Figure V-1: Système de diffusion du rejet [5].

Lorsqu'une limite maximale de décharge doit être respectée (en général 10% au-delà de la salinité de la mer), une solution est de diluer la saumure avec une autre source d'eau en amont tel que:

- Eau fraîche naturelle (rivière) si l'installation est située près d'un delta
- Effluent d'eau usée rejeté dans la mer
- L'eau de mer venant de la pompe d'alimentation, ce qui nécessite une capacité de prise d'eau de mer plus importante.

V-6- Dilution de la saumure (réalisée par Degrémont) : [24]

Une solution déjà adoptée par Degrémont, l'un des pionniers de la technologie de dessalement par osmose inverse qui met tout en oeuvre, dans la conception des installations et dans l'exploitation des usines, pour contrôler et minimiser la perturbation des écosystèmes. La solution apportée par Degrémont s'appuie sur des systèmes plus performants en la matière.

En premier lieu, l'emplacement du rejet est soigneusement choisi en fonction des flux marins, afin d'éviter les zones biologiques sensibles et de favoriser la dispersion des saumures. L'utilisation de modèles de courants et la cartographie des écosystèmes les plus sensibles permettent de choisir judicieusement ces emplacements. Localement, des études de bathymétries ont réalisées afin de déterminer la meilleure localisation pour les rejets, par exemple dans un courant fort, permettant ainsi un mélange rapide. L'énergie envoyée aux diffuseurs peut accélérer ce mélange.

Afin d'éviter la perturbation du milieu par une concentration en sel trop élevée, les saumures sont rejetées à travers un système de diffuseurs, qui permettent de diluer rapidement la salinité et de retrouver les concentrations du milieu naturel.

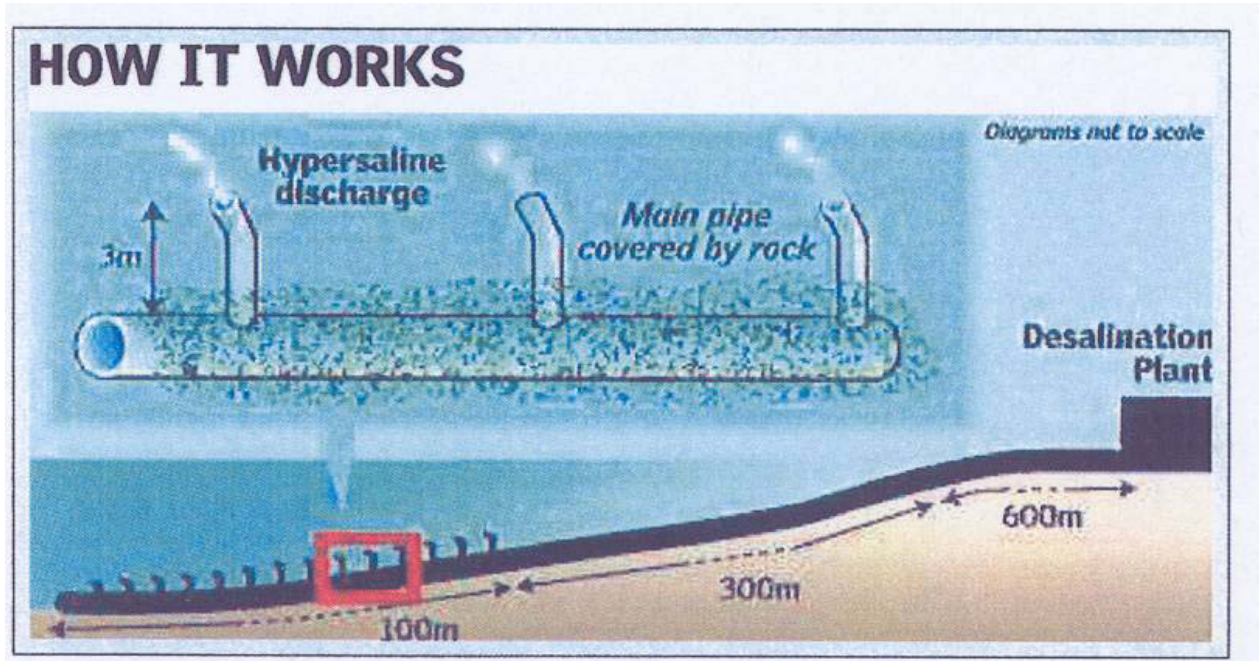


Figure V-2: Schéma d'un collecteur de rejet par diffusion [24] .

La modélisation hydraulique est utilisée afin de déterminer un positionnement et un type de prise d'eau et de diffuseurs qui minimisent l'impact sur l'environnement. Des études de bathymétrie, étude des courants, etc... sont réalisées afin d'évaluer les procédés, et des modèles sur maquette permettent de tester les différents systèmes, puis de choisir le procédé le plus adapté.

De plus, la qualité de l'eau, les rejets et l'efficacité des diffuseurs sont analysés en permanence afin d'étudier les impacts sur l'environnement.

V-7-Optimisation énergétique et réduction des émissions

La technologie de dessalement par osmose inverse a l'avantage d'être beaucoup moins énergétivore que les procédés de dessalement thermique. Les avancées technologiques issues de la Recherche et Développement, ont permis d'améliorer l'efficacité énergétique des usines d'un tiers durant la dernière décennie.

On intègre de manière systématique un procédé de récupération énergétique, à travers des turbines ou des échangeurs de pression. L'efficacité énergétique des usines est améliorée grâce à un meilleur rendement des moteurs, à des systèmes de variation de fréquence permettant de livrer aux membranes la quantité d'énergie juste nécessaire, enfin grâce à une meilleure perméabilité des membranes.

Cette optimisation de la consommation énergétique permet de réduire les émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Les besoins en énergie peuvent ainsi être couverts, et le sont de plus en plus, par des énergies renouvelables telles que l'éolien, et demain la force marée-motrice ou le solaire.

VI-1-Introduction :

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.

VI-2-Les objectifs de notre étude expérimentale :

- Faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse, et poste traitement et relever tous les dysfonctionnement ;
- 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 ;
- Effectuer des prélèvements et analyser des échantillons d'eau de mer à différentes distances du rejet, pour voir l'étendu de l'impact sur les organismes marins ;
- Exploiter les résultats des analyses pour mettre en évidence l'impact de la saumure et des autres rejets sur l'écosystème marin ;
- Proposer des solutions pour pallier à ces problèmes (objet du chapitre VI).

VI-3-Installation et processus : [18]

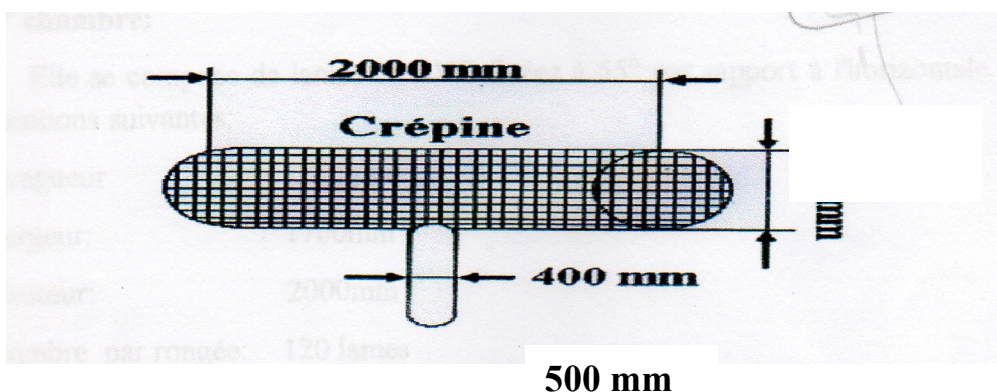
La station de dessalement d'eau de mer qui sera décrite concerne un projet d'alimentation en eau potable d'une région de la cote algérienne à savoir la ville de Bou-Ismaïl. Celle-ci a été mise en service depuis juin 2004. Elle est conçue pour une capacité de 5000m³/j. Cette installation du type « osmose inverse » se compose des sections à procédé industriel suivante :

1. une prise d'eau de mer ;
2. un poste de prétraitement ;
3. l'unité d'osmose inverse ;
4. un poste de conditionnement de l'eau potable ;
5. une station de dosage ;
6. une station d'analyse ;
7. poste de nettoyage des modules à membrane.

VI-3-1-Prise d'eau de mer :**• la crépine :**

La conduite d'aspiration des eaux de mer a une longueur de mètre de 500mm. Le point d'immersion est d'une profondeur de 10 m, lieu où se trouve la crépine qui a pour dimensions :

- Longueur : 2000 mm
- Diamètre : 800 mm



FigureVI-1 : Schéma ue la crepine[18]

Le lavage de la crépine nécessite l'utilisation de l'hypochlorite de calcium dilué. Ce dernier est aspiré par la pompe vers la crépine en passant par la conduite et sous air comprimé. Ce moyen permet le nettoyage à la fois du pipe et de la crépine, des algues et des mollusques.

VI-3-2-Post de prétraitement :

VI-3-2-1-Les produits chimiques utilisés :

À ce stade les produits chimiques qu'on utilise pour le prétraitement des eaux de mer sont les suivants :

Tableau VI-1: Les produits utilisés pour le prétraitement[18]

Produits chimiques	utilisation	Débit (l/h)	rôle
Hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{Ocl})_2$	Eau brute	10	désinfection
Chlorure ferrique Fcl_3	Eau brute	2	coagulation
Polymère polyelectrolite (polyacrylamide)	Eau brute	16	floculation

L'opération se déroule en utilisant des mélangeurs statiques, qui consistent à améliorer le phénomène de coagulation- floculation.

VI-3-2-2-Le décanteur lamellaire :

Après le mélangeur statique l'eau de mer s'écoule vers un décanteur qui a pour but de séparer les solides (MES, Flocs....) du liquide. Sa surface est de 45m^2 . Celui-ci est divisé en trois chambres :

1^{ère} chambre :

L'eau brute pénètre dans la première chambre par faible débit afin que le phénomène de floculation s'opère, où l'eau circule de bas en haut.

2^{ème} chambre :

Elle se compose de lames en PVC fixées à 55° par rapport à l'horizontale de façon à favoriser l'écoulement des boues se déposant sur celles-ci vers le fond de l'ouvrage.

Ces lames ont les dimensions suivantes :

- Longueur : 1250mm
- Largeur : 1700mm
- Nombre de lamelle par rongée : 120 lames
- Nombre total : 720 lames

L'eau partiellement décantée s'écoule vers la 3^{ème} chambre à travers un collecteur se trouvant au dessus du décanteur.

3^{ème} chambre : Ce compartiment contient l'eau décantée qui sera acheminée vers un réservoir à l'aide d'une pompe, terminant ainsi la décantation.

Se reporter au schéma type du décanteur ci-après :

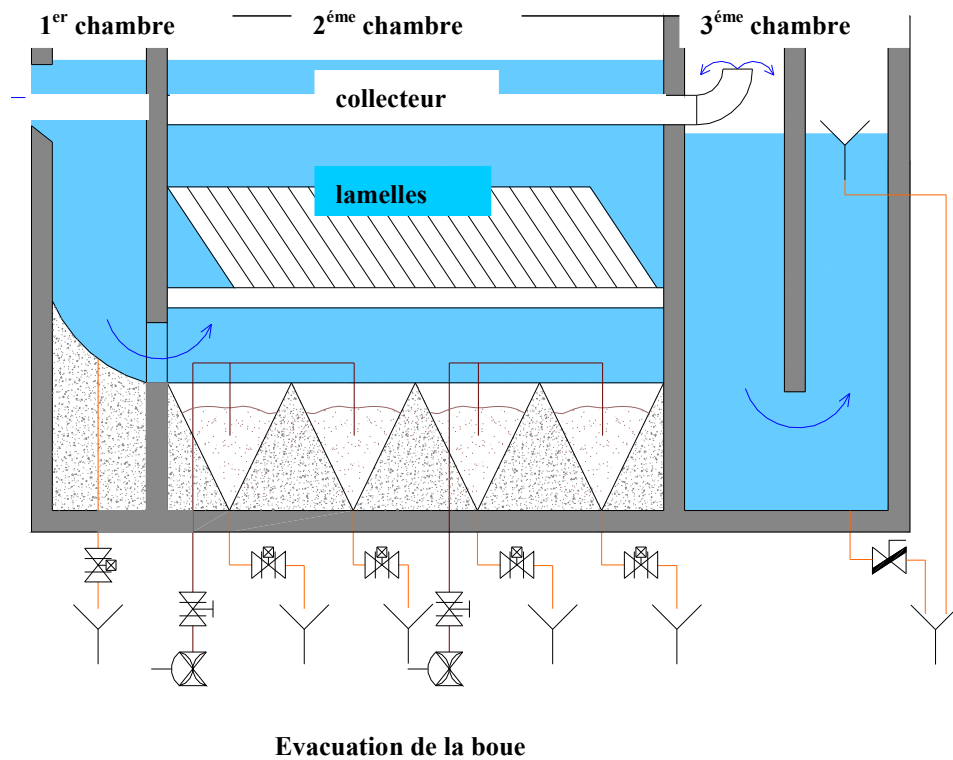


Figure VI-2 : Illustration du décanteur lamellaire [19].



Figure VI-3 : Le décanteur de la station de B-I

VI-3-2-3-Les filtres à sables :

Après coagulation et floculation, la filtration sur sable est le moyen le plus simple et le plus économique pour éliminer la plus grosse partie des matières en suspensions contenues dans l'eau de mer brute. La filtration des eaux troubles à travers le sable permet d'améliorer la qualité de l'eau produite. Les six filtres travaillent en parallèles et sous pression, Ils sont alimentés par un débit global de 463 m³/h la vitesse de filtration est d'environ 12,5m/s. Ces filtres sont équipés d'un dispositif qui mesure la perte de charge et qui enclenche automatiquement le processus de rinçage à contre courant dès que celui-ci dépasse la valeur de 0,5 bar.

Le nettoyage des filtres nécessite quatre étapes :

1^{ère} étape : fermeture de la vanne du filtre sélectionné pour éviter le passage d'eau de production.

2^{ème} étape : vidange du filtre sélectionné.

3^{ème} étape : envoi d'un courant d'air dans ce filtre à contre courant.

4^{ème} étape : envoi d'un courant d'eau dans ce même filtre.

La durée de lavage est d'environ 30 minutes et les eaux de lavage sont rejetées vers la mer.(dysfonctionnement)

Tableau VI-2: Les caractéristiques techniques des filtres: [18]

Nombre	6
Diamètre	800mm
Hauteur	3600mm
Surface de filtration	6.15m ² /filtre
Pression admissible	6 bars
Température de service	20°C

Vitesse de filtration		12.5m /h (fonction normale) 15m/h (5filtres en service)
Air de rinçage à contre courant		68m ³ /m ²
Eau de rinçage à contre courant		25m ³ /m ²
Couche filtrante		sable
Couche supérieure (sable)	Grosueur des grains	0.7-1.25mm
Couche inférieure (gravier)	Grosueur des grains	3.5-5.5mm



FigureVI-4 : les filtres à sable de la station

FigureVI-5: les pompes des filtres à sable

2-4-Injection des produits chimiques :

Avant le passage des eaux filtrées dans l'appareil des ultra-violet, il est nécessaire, voir sensible d'injecter les produits chimiques cités dans le tableau suivant :

Tableau VI-3: Produits chimiques utilisées avant l'osmoseur [18]

Produits chimiques	Utilisation	Débit l/h	Rôle
SMBS Meta bisulfite de sodium(solide)	Eau filtrée	5	Elimination des oxydants
Acide sulfurique H ₂ SO ₄ (liquide)	Eau filtrée	12.5	Prévient les dépôts de CaCO ₃

VI-3-2-5-L'appareil à ultraviolets (U.V) :

C'est un instrument qui permet l'élimination des microbes et des bactéries par rayonnement UV. (Figure V-6).



Figure VI-6: L'appareil à (UV) de la station de B-I

VI-3-2-6-Filtration fine (Microfiltration) :

Avant que l'eau ne soit pompée vers le module d'OI par la pompe à haute pression, elle doit passer par des filtres fins appelés filtre-bougie raccordés en parallèles, leur porosité est de $5\mu\text{m}$ et fonctionne sous pression de 2.8bar.

Par expérience ces filtres-bougies doivent être remplacés tous les 3 ou 4 mois et sont rejetés dans la nature (dysfonctionnement), le remplacement des filtres dépend aussi de la valeur du colmatage donnée par l'appareil de mesure de SDI. Pour le faire, un arrêt de l'installation est obligatoire. Ces filtres-bougies possèdent les caractéristiques techniques suivantes :

Tableau VI-4: Caractéristiques techniques des microfiltres [18]

Nombre	4
Matériau :-cartouche de filtre	Polypropylène
Pouvoir de rétention	$5\mu\text{m}$
Pression maximum de service	4bars
Température admissible	40°C



FigureVI-7 : les microfiltres**FigureVI-8 : Cartouches à fil bobiné****VI-4-L'unité d'osmose inverse :**

L'unité d'osmose inverse se compose d'une installation à deux étages ayant chacun 2 bancs avec 54 tubes de pression et deux tubes à pression de réserves bloqués. Dans chaque tube sont alignés sept modules à membrane enroulée. Le système d'osmose inverse est conçu pour un débit quotidien de perméat de 5000 m³. L'eau prétraitée est mise sous une pression d'environ 68 bars. Une pompe à haute pression est installée sur cette pompe. Les flux de perméat quittent les tubes à pression, et se rejoignent dans une conduite commune menant au réservoir intermédiaire d'eau potable. Les caractéristiques techniques des tubes de pression et des membranes sont consignées dans les tableaux VI -5 et VI-6.

Après avoir quitté les tubes de pression ; les concentrâts sont évacués sous une pression d'environ 68 bars dans une conduite commune et sont rejetés sur la cote (dysfonctionnement). (Voir la figure VI-9)

À des fins d'économie d'énergie, une turbine est actionnée pour la récupération de l'énergie du concentrât.

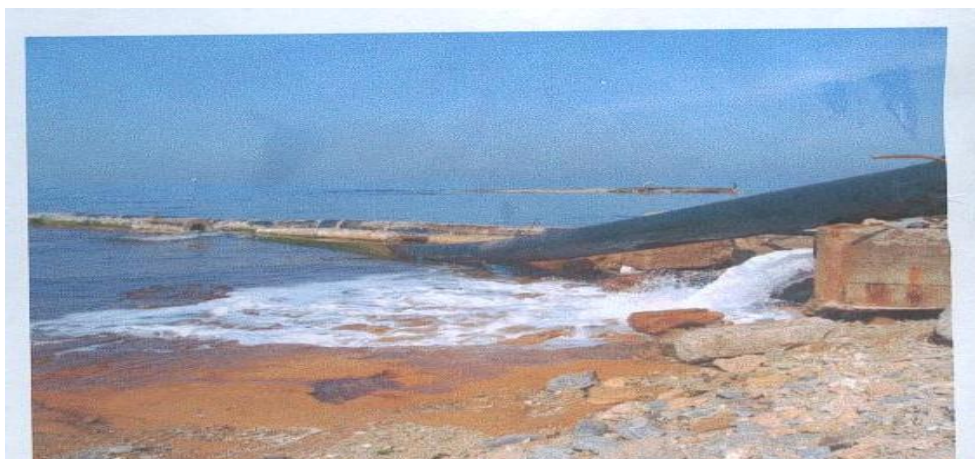


Figure VI-9 : Le rejet de la saumure sur la cote au niveau de la station d

Tableau I-5: Caractéristiques techniques des tubes de pression contenant les membranes [18]

Nombre de tubes de pression	54(+2 de réserve)
Nombre de membranes par tube de pression	7
Pression normale	84 bars
Pression de service	73.5 bars
Prélèvement d'échantillons de perméat	56(à la sortie de chaque tube de pression)

Tableau VI-6 : Caractéristiques techniques des membranes : [18]

Nombre de membranes	392
Nombre de membranes par tube de pression	7
Matériau de la membrane	Matériau composite de polyamide
Type de module	Module spiral
Pression de service	75 bars
Perte de pression max sur 7 membranes	4,2 bars
Température de service	25°C

Température maximale admissible (nettoyage)	50°C
pH autorisé (service)	2-11
pH autorisé (nettoyage)	1-12
Rendement max perméat	45%
Diminution du flux du perméat	7% par année



Figure VI-10 : Les tubes de pressions de l'osmoseur de la station.



FigureVI-11 : La pompe haute pression (multicellulaire) utilisée au niveau des membranes

VI-5- Post-traitement du perméat :

À ce stade le perméat ne peut être distribué à la population, certains paramètres physicochimiques tels que la minéralisation et le pH doivent être préalablement corrigés. Ainsi l'ajout d'une quantité définie d'eau filtrée au perméat permet la minéralisation, et le pH qui est légèrement acide est ajusté. Enfin, une chloration permet de désinfecter l'eau et d'assurer sa protection contre toute prolifération bactérienne dans les réservoirs et les conduites de distribution. Les produits utilisés sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI-7: Injection des produits chimiques utilisés pour conditionnement[18].

Produits chimiques	Utilisation	Débit l/h	rôle
Chlore (hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{OCl})_2$)	Eau traitée	4	désinfection
Lait de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	Eau traitée	50	-Reminéralisation -ajuster le pH

VI-6- Station de dosage :

Tous les produits utilisés pour le traitement des eaux sont préparés dans une station spéciale appelée : station de dosage.

a) Dosage d'acide sulfurique :

L'acide sulfurique utilisé est un acide aqueux à 96%. L'ajout s'effectue directement dans le réservoir vers la conduite d'alimentation du filtre.

b) Dosage du chlore (hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) :

L'hypochlorite de calcium utilisé est en granulats à 65%. Pour le dosage, on prépare une solution aqueuse à 5% avec de l'eau de perméat.

c) Dosage du méta bisulfite de sodium :

Le méta bisulfite de sodium est livré sous forme solide. Il est préparé en solution, d'environ 25%, la concentration dans l'eau prétraitée devrait être de 15 à 20 mg/l

d) Dosage de la chaux (Ca (OH)₂) :

Elle est livrée dans des sacs sous forme de poudre. La préparation du lait de chaux se fait par mélange de la poudre et de l'eau à un taux de : 100 Kg/m³.



FigureVI-12: Post de préparation de produits chimiques

VI-7-Station d'analyse:

Un contrôle des différents composants de l'eau est absolument nécessaire pour la longévité des membranes et pour garantir une qualité constante du perméat, à cet effet deux stations d'analyses sont intégrées à l'installation qui mesurent le pH, la conductivité, la température ainsi que l'indice de colmatage de l'eau brute et du perméat. Les mesures s'effectuent « en

ligne » par un courant auxiliaire continu pris pour l'eau brute derrière les filtres à sable, et pour le perméat coté refoulement des pompes de transfert d'eau potable. Les valeurs relevées sont affichées sur écran à la station d'analyse ainsi qu'à l'armoire de commande.

VI-8-Poste de nettoyage des membranes :

Pour le maintien de la longévité des membranes et du flux de perméat, leur nettoyage devient primordial et cela dès l'apparition des premiers signes de dysfonctionnement de l'unité :

- Diminution du flux du perméat d'environ 10 à 15% ;
- Augmentation de la concentration en sel dans le perméat environ 10% ;
- Augmentation de la perte de charge à la sortie ($\Delta p \geq 4 \text{bar}$) ;
- Enregistrement d'un taux de colmatage important ($\text{SDI} > 3$).

Le choix des solutions de nettoyage dépend de la nature des dépôts qui sont à l'origine du colmatage et d'autre part de la nature des membranes, mais la plupart des membranes organiques sont sensibles aux oxydants et en particulier au chlore.

Tableau VI-8: Le choix de la solution en fonction du type de dépôt : [1]

Type de solution de nettoyage	Type de dépôts
Solutions acides (acide citrique, ou chlorhydrique)	Dépôts carbonatés, Hydroxydes
Solutions basiques (soude caustique)	Dépôts organiques
Solutions oxydantes (chlore)	Dépôts biologiques

Le nettoyage des membranes comporte les étapes suivantes :

- Rinçage des membranes par une solution alcaline de nettoyage ($\text{pH}_{\text{max}} 10$) ;
- Rinçage des membranes par une solution acide de nettoyage ($\text{pH}_{\text{max}} 4$) ;

Ces deux étapes doivent s'effectuer consécutivement, et la solution de nettoyage doit être préparée à l'aide d'eau du perméat dans le réservoir de préparation juste avant le nettoyage. Dans le tableau suivant sont regroupés les produits chimiques utilisés.

Tableau VI-9: Produits chimiques utilisés pour le nettoyage des membranes au niveau de la station de Bou-Smail : [18]

Solution de nettoyage	Produit	Quantité requise pour 100 l d'eau	Réglage de la valeur du pH	Température
alcaline	STPP (100% par h)	2032g	10	Max. 40°C
	NA.EDTA (100% poudre)	256g		
acide	Acide citrique (100% poudre)	2032g	4	Max. 40°C

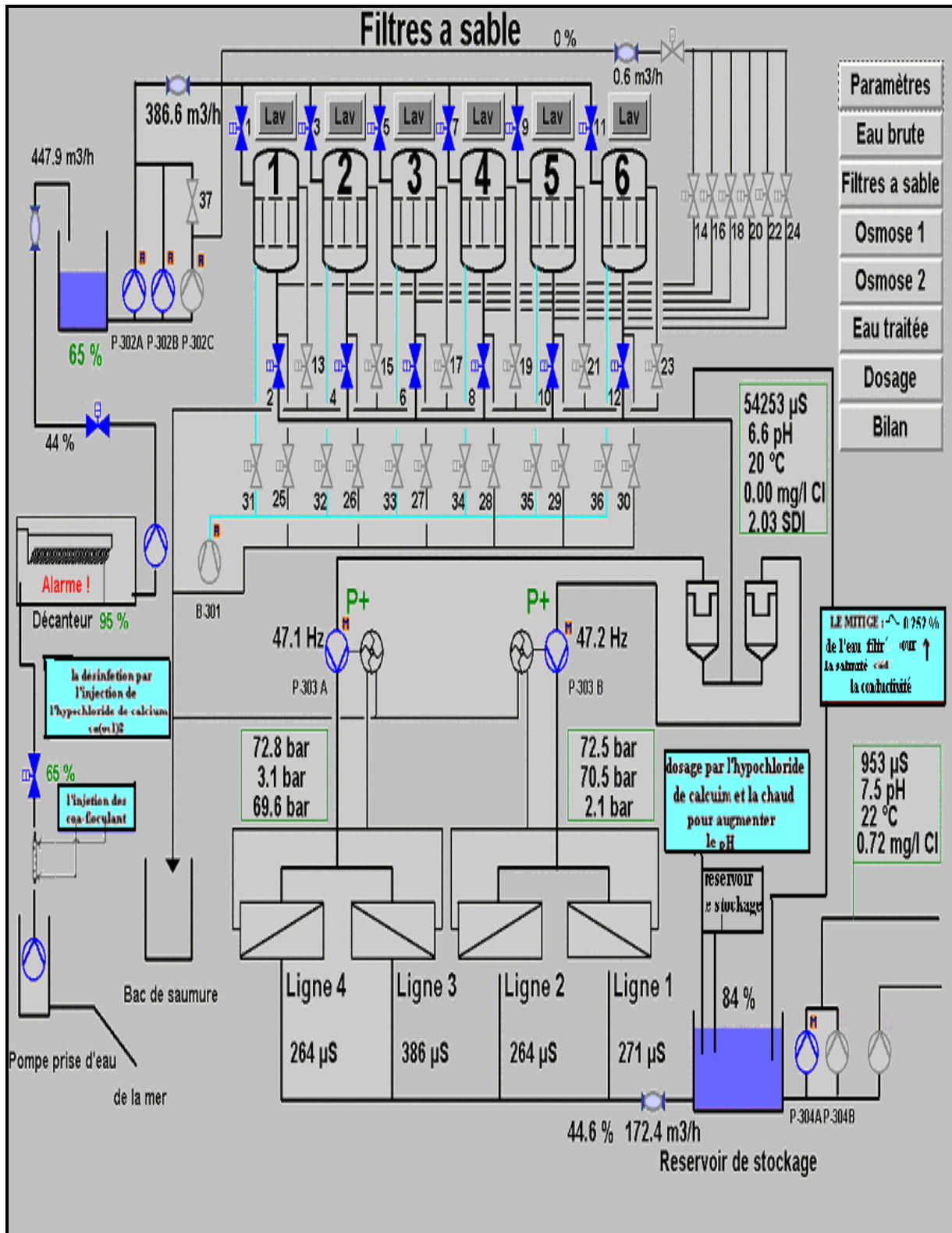


Figure VI-13: Tableau synoptique du fonctionnement de la station de Bou-Ismaïl [18].

VI-9-L'étude expérimentale :**VI-9-1- Echantillonnage :**

Dans le but d'évaluer l'impact de la saumure sur l'écosystème marin, deux campagnes d'échantillonnages ont été réalisées au Mois de Mai 2010. Des analyses physico-chimiques et biologiques ont été effectuées sur des échantillons d'eau de mer à l'entrée de la station, d'eau traitée et du rejet (saumure).

Le prélèvement d'échantillons représentatifs des eaux à analyser avant et après dessalement a été effectué de manière à éviter toute contamination ou pollution externe par des bouteilles en polyéthylène de 1.5 litres préalablement rincées plusieurs fois. Elles ont été remplies jusqu'à débordement afin d'éviter la pénétration des bulles d'air. Elles sont ensuite bouchonnées et étiquetées, où sont notés : origine de l'eau, et date du prélèvement.

VI-9-2- Techniques d'analyse :**VI-9-2-1-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 de l'Agence National de Ressources Hydrauliques (ANRH).

a-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.

b-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 chromâtes de potassium (K_2CrO_4).

- **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 mesurable à 880 nm.

VI-9-2-2- 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 :**

- a) **Définition du phytoplancton :**

Le phytoplancton comprend des microalgues (que l'on ne voit pas à l'œil nu) qui se laissent transporter au gré des courants. Ces microalgues, qui possèdent des chloroplastes, croissent grâce à la lumière et produisent de l'oxygène. Elles consomment entre autres, des sels minéraux et des vitamines. Ce sont les producteurs primaires de l'océan, comme les plantes sont les productrices primaires sur la terre.

- b) **Définition du zooplancton :**

Le zooplancton comprend les animaux du plancton, c'est-à-dire les animaux qui sont transportés aux grès des courants. Il comprend des adultes de très petite taille (copépodes) et les petits (des larves). Les zooplanctons se nourrissent des phytoplanctons.

- c) **La position des microalgues 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. VI-14).

- **Phytoplancton > Zooplancton > Prédateurs microphages > Prédateurs macrophages > Super prédateurs**

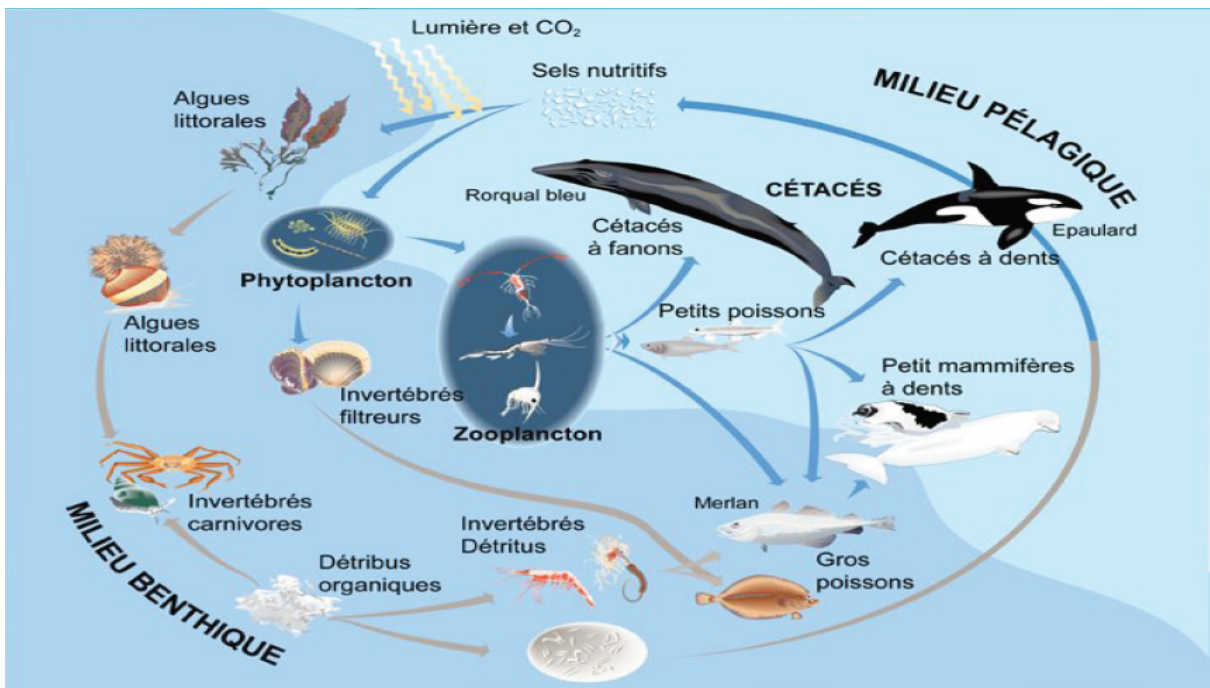


Figure VI-14: Chaîne alimentaire du milieu marin[23]

- **La récolte du plancton :**

Le prélèvement du plancton se fait en traînant un filet qui concentre les organismes et les dirige vers le fond du filet fermé par un flacon. La récolte sera plus fructueuse en fin de journée ou tôt le matin. Pour une bonne conservation de la récolte, il faut éviter l'élévation de la température de l'eau de mer et maintenir une bonne oxygénation.

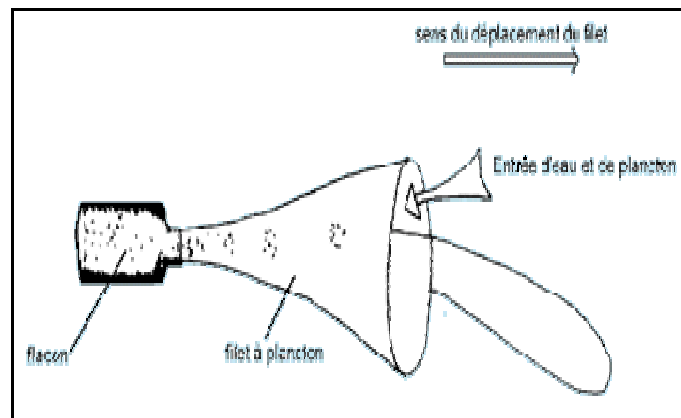


Figure VI-15 : filet de récolte du plancton[22]

a) Mode opératoire :

Bien que des numérations d'organismes puissent être faites au microscope ordinaire, le microscope à plancton inversé type Utermohl apparaît comme le plus pratique pour les analyses quantitatives. 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 lugol et violet de gentiane sont utilisés.

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

Pour la méthode de comptage des phytoplanctons (voir l'annexe).

VI-9-3- Résultats et discussion :**VI-9-3-1- Résultats des analyses physicochimiques:**

Les résultats obtenus sont exprimés dans les tableaux ci après :

Tableau VI-10 : Les résultats des paramètres physico-chimiques

Date	Unité	09.05.2010			20.05.2010		
		E _b	E _s	E _t	E _b	E _s	E _t
pH	-	8,17	6,7	7,4	8,02	6,38	7,1
Conductivité	µs/cm	56000	79970	1485	45300	61700	14700
Température	°C	19,6	22	21,26	20	21,5	22
Turbidité	NTU	0,82	0,32	0,59	0,72	0,28	0,50
TDS	mg/l	39200	61680	743	37660	59721	715

(Échantillons analysés à l' ANRH d'Alger et au niveau de la station de Bou-Ismaïl)

E_b : eau brute

E_s : eau de saumure

E_t : eau traitée

Tableau VI-11 : Les résultats des analyses de la minéralisation globale

Date Elément	Unité	09.05.2010			20.05.2010		
		E _b	E _s	E _t	E _b	E _s	E _t
Ca ²⁺	mg/l	419,4	723	27	501,6	800,7	37
Mg ²⁺	mg/l	1798	2468,1	16,1	1512,8	2347	24
Na ⁺	mg/l	12500	26000	125	10900	17900	236
K ⁺	mg/l	420	460	5,4	400	650	8
Cl ⁻	mg/l	18681	31614	241,8	21333	33069	433
So ₄ ²⁻	mg/l	3494	6156	28,9	2758	4586	63
HCO ₃ ⁻	mg/l	151,47	147,92	66,27	122	91,7	82,35
PO ₄ ⁻	mg/l	1,1	1,5	0,09	1,12	1,42	0,08
TH	F°	800	1390	20	700	1300	25
TAC	F°	15	9,5	5	14	10	4,5

(Échantillons analysés à l' ANRH d'Alger et au niveau de la station de Bou-Ismaïl)

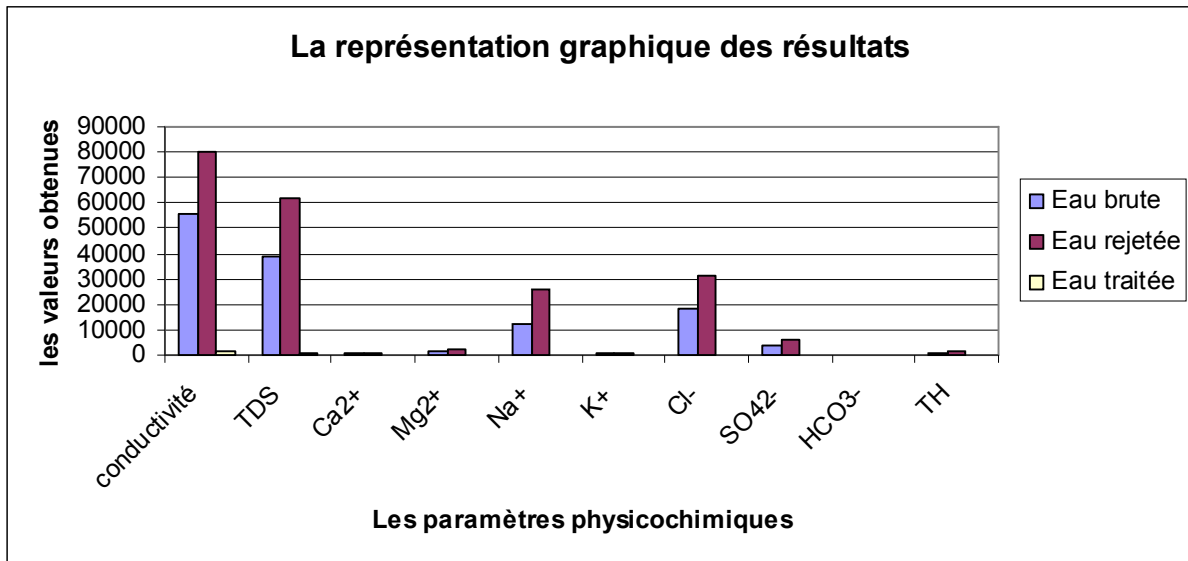


Figure VI-16: Représentation graphique des résultats des paramètres physicochimiques.

VI-9-3-2- Discussion des résultats d'analyses physicochimiques :

a) Qualité de l'eau de mer:

On constate une concentration très importante des paramètres analysés :

- ◆ Les chlorures : on pense qu'ils peuvent provenir de différentes sources, telles l'altération des roches, les pollutions liées aux rejets des eaux usées...
- ◆ Le sodium : qui est dissout lors des pluies et que renferment les roches des terres émergées, est entraîné par les cours d'eau dans la mer,
- ◆ Les sels de potassium et de calcium : sont peu présents et légèrement moins solubles que les sels de sodium.

Tandis que les autres paramètres, telle que la température, qui est toujours inférieure à 25°C, a une grande importance car elle influe fortement sur la performance des membranes, à température basse ($\leq 10^\circ\text{C}$), l'eau devient moins visqueuse et pour la dessaler il faut plus d'énergie.

b) Qualité de l'eau traitée :

La comparaison des paramètres physicochimiques et de la minéralisation globale de l'eau brute et de l'eau traitée met en exergue l'efficacité du procédé de dessalement par osmose inverse. Néanmoins ces résultats d'analyse montrent bien que l'eau dessalée est très faiblement minéralisée, pratiquement dépourvue d'ions bicarbonates et de calcium notamment, mais contient des concentrations en ions chlorures relativement importantes.

Elle est de ce fait fortement corrosive vis-à-vis des matériaux métalliques, ferreux en particulier et agressives pour les matériaux à base de béton et ciment.

Injectée au niveau du réseau de distribution, cette eau dessalée peut avoir un impact négatif sur les canalisations et les ouvrages et pourrait même causer des dégâts chez les abonnés.

La nécessité d'un post traitement est donc plus qu'indispensable si l'on veut protéger les Installations en aval mais aussi pour améliorer les caractéristiques organoleptiques de l'eau.

L'eau distribuée devra donc répondre aux critères suivants :

- être à l'équilibre de saturation calcocarbonique, condition essentielle pour que se forme spontanément sur les surfaces en contact, un dépôt de carbonate de calcium et que le dépôt formé ne soit pas attaqué,
- Avoir une concentration convenable en ions calcium pour que le dépôt en question soit suffisant sans être excessif,
- Ne pas contenir une trop forte proportion d'ions SO_4^{2-} ou Cl^- qui pourraient rendre le dépôt poreux, donc inefficace.

Pour satisfaire ces conditions, nous recommandons les ajustements suivants :

- TH (dureté) entre 8 et 15°F,
- TAC de l'ordre de 7 à 10 °F,
- pH supérieur à 7,2 ou mieux encore égal au pH de saturation (pHs),
- Éliminer éventuellement le gaz carbonique en excès (CO_2 agressif).
- L'indice de saturation (pH - pHs) doit donc être compris entre 0 et 0,1.
- Pour augmenter la minéralisation, nous proposons de mélanger l'eau dessalée avec de l'eau de mer prétraitée, ce qui permettra d'augmenter le débit d'eau produite tout en améliorant sa minéralisation globale.

c) Qualité de l'eau rejetée :

◆ Les bicarbonates : Ils sont légèrement en baisse par rapport aux autres éléments, à cause de l'injection de l'acide sulfurique afin d'éviter la formation de dépôts sur la membrane.

◆ La turbidité : une diminution de la turbidité par rapport à celle de l'eau de mer et l'eau traitée, peut être interprétée par l'absence des matières en suspension, chose qui prouve l'efficacité du prétraitement effectué en amont de l'osmoseur.

A l'exception des bicarbonates et de la turbidité, l'analyse de la saumure révèle une augmentation de tous les autres paramètres. Cet accroissement est beaucoup plus important pour la conductivité et les TDS et la salinité augmente de plus de 50%, ce qui influe négativement sur le milieu marin et affecte son écosystème. D'autant plus que le rejet se fait sur la cote, à quelques mètres seulement de la conduite d'aspiration de l'eau de mer.

En Europe la salinité de la saumure ne doit pas excéder 10% au-delà de la salinité de la mer. Il faudra donc envisager une solution si l'on veut protéger la faune et la flore.

Parmi les concepts techniques d'élimination ou de dilution de la saumure identifiés, nous avons opté pour la conception et le dimensionnement d'une conduite de refoulement qui sera projetée vers le large, de façon à ce que sa sortie soit au niveau d'un courant fort, optimisant ainsi le mélange de la saumure et de l'eau de mer. Ce dimensionnement sera développé dans le chapitre VII.

VI .3.3. Résultats des analyses biologiques :

Les résultats du comptage des planctons de l'eau brute et du rejet, à différentes distances de ce dernier, sont donnés dans le tableau V-12.

Tableau VI-12 : Les résultats des analyses biologiques :

Date	unité	09.06.2010				
		E _b	E ₃₀	E ₁₀	E ₅	E _r
Elément						
Phytoplanctons	Cellule/ml	1022,4	408,96	79,52	56,8	-
Zooplanctons	Cellule/ml	85,2	28,4	11,36	17,04	-

(Échantillons analysés à l' ANRH de Blida)

E_{30} : échantillon prélevé à 30m du rejet, E_{10} : échantillon prélevé à 10m du rejet

E_5 : échantillon prélevé à 5 m du rejet, E_r : eau du rejet

VI .3.4. Discussion des résultats d'analyses biologiques:

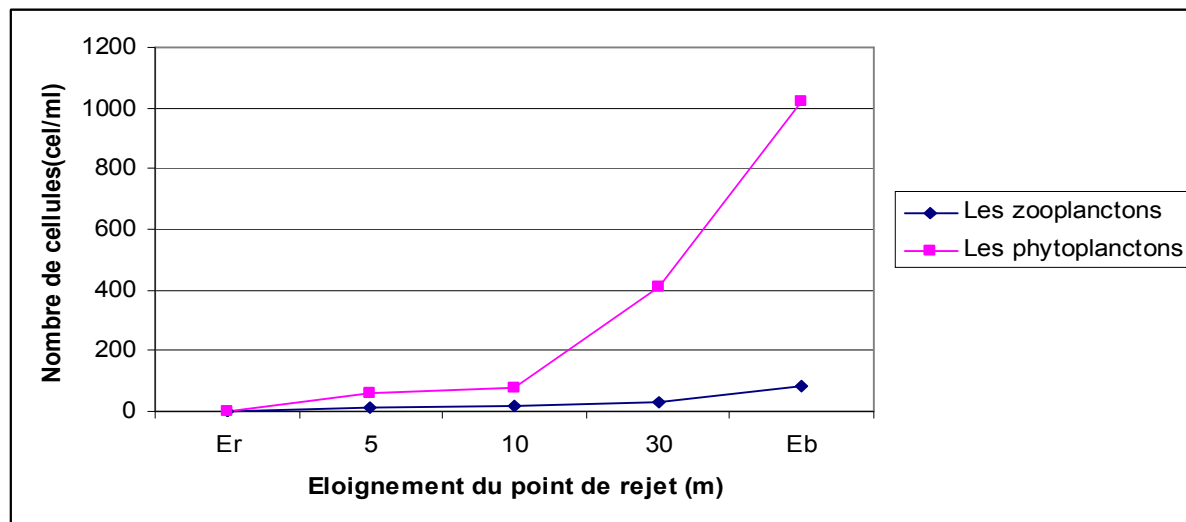


Figure VI-17 : La répartition des phytoplanctons et zooplanctons par rapport au point de rejet

A travers les résultats obtenus, on remarque bien l'inexistence des phytoplanctons et zooplanctons au point de rejet et plus on s'éloigne de celui-ci, plus il y a une nette croissance surtout pour les phytoplanctons et qui s'explique par la composition biologique initiale de l'eau de mer de Bou-Ismaïl qui est pauvre en zooplanctons, la preuve donc que les microalgues sont sensibles aux variations de la salinité d'eau de mer et qu'à partir d'une certaine concentration leur survie est menacée.

Sur les figures V-18 et V-19 nous avons présenté les zooplanctons et phytoplanctons qui ont été observés sous microscope, dans nos échantillons.

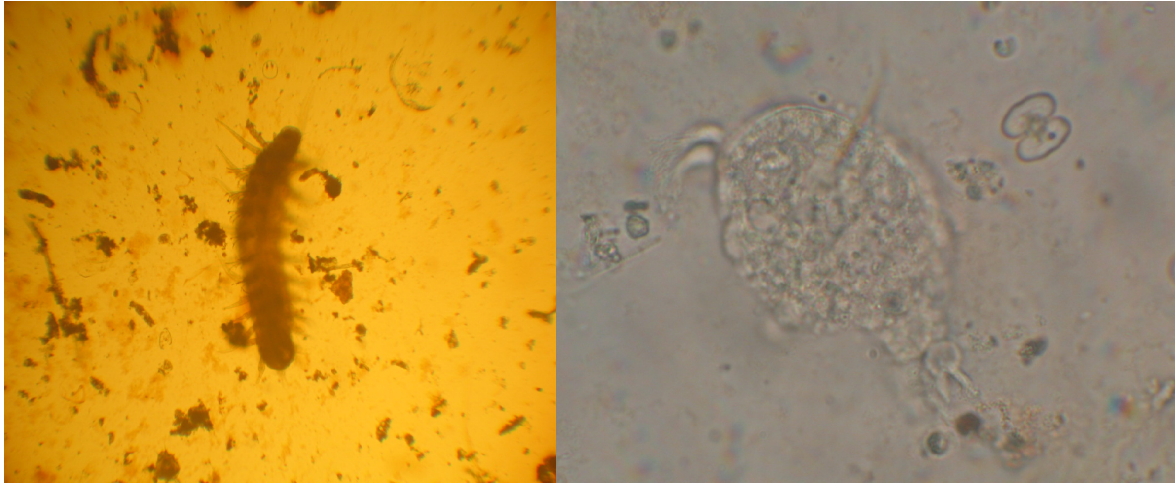


Figure VI-18 : Photo des zooplanctons dans les échantillons prélevés.

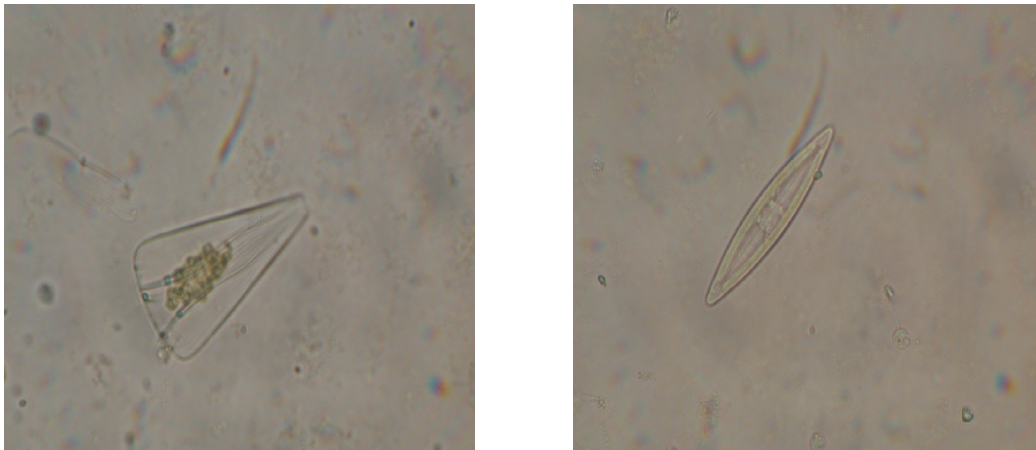


Figure VI-19 : Photo des phytoplanctons observés dans les échantillons prélevés.

Conclusion :

Les analyses physico chimiques et biologiques effectuées sur nos échantillons mettent 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.

Aussi l'eau traitée doit subir un post-traitement en vue d'améliorer sa qualité, de l'équilibrer pour mieux protéger les infrastructures.

VII-1-Introduction :

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.

VII-2-Les critères de choix du site de rejet et milieu récepteur : [21]

Il est essentiel que les caractéristiques hydrographiques, météorologiques, géologiques et topographiques de la zone côtière réceptrice soient étudiées au préalable. A cet égard, il convient de recueillir les informations suivantes:

- carte bathymétrique du site au large et de ses environs ;
- conditions géologiques et géomorphologiques de la zone de prélèvement d'eau d'alimentation et de l'émissaire de saumure, y compris les affleurements rocheux, les conditions sédimentologiques et la stabilité des falaises;
- renseignements hydrographiques et météorologiques:

- courants de surface dans diverses conditions de marée et météo
- courants à la profondeur du rejet de saumure
- existence et caractéristiques de la thermocline
- température et salinité de l'eau de mer et leur variation en fonction de la profondeur
- vitesse et direction des vents;

- Conditions biologiques:

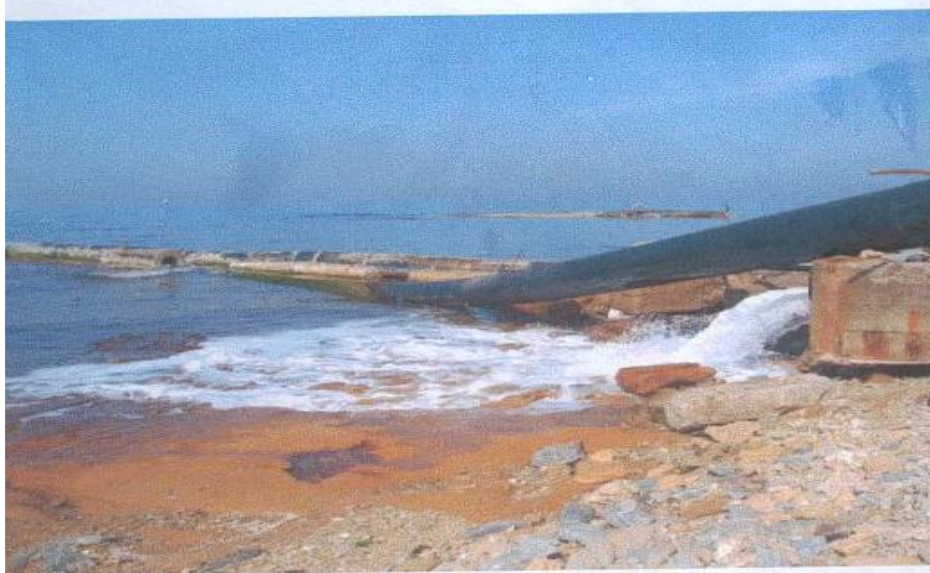
- État de la faune et de la flore benthiques et types de sédiment (gravier, boue et sable)
- qualité microbiologique des eaux
- connaissances disponibles sur la capacité de survie des agents pathogènes dans le milieu marin;

➤ Émissaire:

- longueur et diamètre de l'émissaire, profondeur, matériaux constitutifs
- méthode de pose de l'émissaire: sur le fond de la mer, enfoui dans le fond de la mer ou sur l'eau
- méthode de contrôle de la corrosion
- vitesse du rejet

VII-3-Site de rejet existant :

Notre étude concerne la station de dessalement de Bou- Ismail situé dans la wilaya de Tipaza à 40 Km environ d'Alger. Le rejet de la saumure de cette station se trouve juste à la sortie de l'usine à 1m seulement de la cote, et à coté de la conduite d'aspiration de l'eau de mer. Aucun collecteur de rejet n'a été prévu pour celle-ci, la saumure est rejetée sur place et sa dispersion est loin d'être réalisé. Ce qui est préjudiciable pour notre milieu marin.



FigureVII-1 :L'emplacement du rejet existant dans la station de dessalement de Bou- Ismail

VII-4-L'emplacement de la conduite de rejet projetée :

C'est une conduite qui sera projetée à partir de la station à environ 200m au large, avec un point de rejet se trouvant dans un courant fort afin de favoriser le mélange (eau saumure et eau de mer).

Pour cela il faut :

- Eviter que la conduite ne soit perpendiculaire au sens de la vague mais plutôt inclinée pour avoir une meilleure stabilité ;
- Eloigner la conduite de rejet de celle de l'aspiration.

VII-5-La nature de l'écoulement:

On se basant sur la topographie des lieux c'est-à-dire la différence de côte entre le point de rejet de l'usine et celui de la mer on opte pour une conduite gravitaire en charge qui sera portée par des pieux avec une vitesse de circulation de la saumure assez importante afin favoriser l'écoulement et d'éviter tout dépôt à l'intérieur de la conduite.

Dans le cas d'un projet d'écoulement gravitaire en charge les étapes à résoudre sont les suivantes :

- Détermination du diamètre le plus avantageux de la conduite ;
- Type du tuyau à utiliser (matériaux) qui dépend de la nature de notre eau ;
- Protection de la conduite contre les poussées des vagues (stabilité de la conduite)

VII-6-Choix du matériau :

Le choix du type de matériau pour l'établissement de notre conduite de rejet dépend essentiellement de l'aspect technique et économique.

Le choix se fait en fonction de :

- Diamètre
- La disponibilité
- Le prix unitaire
- La nature de l'eau de mer
- La pression supportée

Dans le projet, nous avons opté pour une conduite en PEHD, en raison des avantages qu'elle présente :

- Économique
- Disponibilité sur le marché (production locale)
- Une faible rugosité (conduite hydrauliquement lisse)
- L'assemblage des tuyaux se fait par le soudage bout à bout, c'est une technique d'assemblage des thermoplastiques par la fusion des extrémités de deux éléments tubulaires au moyen d'une plaque chauffante.
- Adéquation au milieu traversé par la canalisation (eau de mer).

VI-7-Dimensionnement de la conduite :

- Côte de départ à partir de l'usine $C_u=15\text{m}$
- Côte d'arrivée au large (le niveau de la mer) $C_l=0\text{m}$
- Longueur de la conduite $L= 200\text{m}$
- Le débit de rejet sortant de l'usine $Q_r=0,09\text{m}^3/\text{s}$

Puisque le diamètre est inconnu on parle de la charge disponible $\Delta H_d = C_u - C_f = 15 - 0 = 15\text{m}$

Si on assimile la perte de charge ΔH à ΔH_d , Connaissant le matériau utilisé et le type d'écoulement, on peut utiliser la formule de DARCY ci -après :

$$\Delta H = \frac{K \cdot Q^\beta}{D^m} \cdot L$$

β : Exposant tenant compte du régime d'écoulement ;

m : Exposant tenant compte du type du matériau :

Tableau VII-1 : Les valeurs de K, m et β . [25]

Tuyau	K	m	β
Acier	0,00179 à 0,001735	5,1 à 5,3	1,9 à 2
Fonte	0,00179 à 0,001735	5,1 à 5,3	1,9 à 2
Amiante ciment	0,00118	4,89	1,85
Plastique	0,001052	4,774	1,77

$$D = \sqrt[m]{\frac{KQ^\beta L}{\Delta H}}$$

Application :

$$D = \sqrt[4,774]{\frac{0,001052 \cdot 0,09^{1,77} \cdot 200}{15}} = 0,180\text{m} = 180\text{mm}$$

$D=0,180$ m, le diamètre calculé se trouve entre deux diamètres normalisés $150\text{mm} < 180\text{mm} < 200\text{mm}$, mais puisque le rejet à une longueur de 200m (courte distance) On ne va pas proposer deux conduites en série avec les deux diamètres normalisés, on choisit plutôt un diamètre qui pourra vérifier la vitesse d'écoulement exigée dans la conduite afin d'éviter tous dépôts ($V > 2\text{m/s}$).

On a l'équation de continuité tel que :

$$Q = V \times S \quad \text{tel que} \quad V = 4Q / \pi D^2$$

Le tableau suivant donne les vitesses calculées pour les diamètres 150 et 200mm.

Diamètre (mm)	Vitesse (m /s)
150	5,1
200	2,9

Pour D=150mm \longrightarrow V=5,1m/s (vitesse pouvant érodée la conduite)

Pour D=200mm \longrightarrow V=2,9 m/s (vitesse vérifiée).

Donc le diamètre de la conduite est :

D=200mm

- Correction de la longueur de la conduite

$$L = \frac{D^m \Delta H}{KQ^\beta}$$

$$L = \frac{0,2^{4,774} \cdot 15}{0,001052 \cdot 0,09^{1,77}} = 465m$$

L=465m

Conclusion générale

Le principal bénéfice du dessalement étant de multiplier l'accès à l'eau potable de qualité, sa popularité demeurera toutefois en croissance à l'échelle planétaire. Puisque aucune technologie innovatrice n'est encore assez mature pour remplacer les procédés conventionnels, le recours à des moyens d'atténuation des impacts environnementaux de ceux-ci s'impose.

Ce mémoire a porté sur l'étude d'impact du dessalement sur l'environnement qu'on a démontré à travers une série d'analyses physicochimiques et biologiques réalisées au niveau de la station de Bou- Ismail. Nous pouvons confirmer que la concentration de la saumure rejetée est deux à trois fois plus élevée que celle de l'eau de mer et qu'elle contient des éléments minéraux différents de la composition initiale de l'eau brute, car le rejet contient aussi des additifs utilisés lors du prétraitement. Ces anomalies nous ont permis par la suite de prouver la rareté ou l'inexistence de certains microalgues dans les zones proche du rejet.

Notre étude nous a permis de concrétiser cet aspect négatif sur la station de Bou- Ismail qui est une « monobloc », que dire alors de l'impact d'une grande « usine » tel que El Hamma dont le débit de rejet est estimé à 300 000 m³/j.

L'autre objectif de ce travail était de proposer des solutions d'atténuation de cet impact, comme la projection d'un collecteur de saumure au large et dont le point de rejet se situe dans un courant fort pour favoriser le mélange, mais aussi le recours aux énergies renouvelables pour réduire l'effet de sert.

En procédant ainsi, l'industrie du dessalement fera peu à peu des pas vers le dessalement durable.

Liste des abréviations

MSF : distillation par détentes successive

EDC : Electrodialyse conventionnelle.

EDI : Electrodéionisation

MED : distillation à multiples effets

OI : osmose inverse

MES : matières en suspension

COT : carbone organique total

SDI : taux de colmatage

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : Titre Hydrométrique (dureté totale)

NEP : nettoyage en place

TSD : Taux de sels dissouts

SMBS : meta bisulfite de sodium

EDTA : Ethylène Diamino Tetra Acétique

EIE : Etude d'impact environnementale

B.I : Bou-Ismail

Références bibliographiques et sitographiques

- [1]-Alain Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce », édition technique & Documentation, 2001.
- [2]-A.N.R.H « Bilan des ressources d'eau en ALGERIE »2005.
- [3]-A.D.E « Dessalement en ALGERIE », situation actuelle et programme de développement.
- [4]- « Le dessalement de l'eau de mer et encore à ses débuts »,
<http://www.innovation-democratique.org/Le-dessalement-de-l-eau-de-mer-est.html>
- [5]- « L'électrodésionisation de l'eau (EDI) »,
<http://www.lenntech.com.espanol.images-EDI>
- [6]- « La méthode de dessalement par distillation »
<http://www.e.monsite.com-tpe 2007ssi-distillation>
- [7]- A.DUPONT TOME I, « Hydraulique Urbaine », (hydrologie, captage et traitement des eaux).
- [8]- « Les techniques membranaires : Différences et usages », article rédigé par le centre de recherche et de contrôle des eaux de Paris (CRECEP).
- [9]- « Le regroupement des membranes d'osmose inverse »,
<http://www.larecherche.com>
- [10]- « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau », nouvelle version rédigée par M.BERLAND ET C. JUERY , office International de l'eau SNIDE, Décembre 2002.
- [11]- « Technologies Saint Laurent, potentiel des technologies membranaires »,
<http://www.aqutech-limogesfree.actualites-pdf>
- [12]- « Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : les vrais besoins en énergie »,
<http://www.gls.fr/pdf/article2.pdf>
- [13]-« Comparaison technico- économique entre l'osmose inverse et l'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres », par M^{elle} : A. REZIG, ENSH de Blida 2008.
- [14]-« Dessaler l'eau nuit encore trop à l'environnement » ?
<http://www.ecolife.fr/print-article.php?id-article=2363>.
- [15]-« Programme des Nation Unis pour le dessalement »
<http://www.impact du dessalement.F /pdf/>
- [16]- Annie BISONETTE de l'Université de Sherbrooke, « Utilisation de Nanomembranes pour le dessalement de l'eau et comparaison avec l'osmose inverse et la distillation » janvier 2008.

[17]-« Aspect juridique du dessalement », ?

[18]- L. LATROUS et A.FARHNE, « Etude de l'efficacité du poste de conditionnement, unité de dessalement (Bou-Ismaïl) », en 2009.

[19]- Manuel de formation sur l'osmose inverse, 3ème partie (les prétraitements) par METITO.

[20]-Le guide des analyses de l'eau potable par J. POTELON et Karyan ZYSMAN, édition de 1998.

[21]- A.KERFOUF, « Le dessalement de l'eau de mer dans la perspective d'une gestion intégrée et d'un développement durable », cas de la station de dessalement d'Oran, en Algérie.

[22]-« le phytoplancton et le zooplancton »,

<http://www.plancton.fr/pdf/>

[23]-« Les relations alimentaires dans l'écosystème marin »,

<http://www.vieecoceano.free.fr/pafcadre.html>

[24]-« Dessalement et vulnérabilité des ressources naturelles », Dégrement.

[25]-« Etude de rénovation du réseau d'alimentation en eau potable de la commune de H'LAÏMIA », projet de cours de H. AISSA (ENSH de Blida).