

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Diagnostic et réhabilitation de la station de dessalement du
complexe GNL de Skikda (w. Skikda).**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0020-16

APA Citation (توثيق APA):

**Bouras, Imen (2016). Diagnostic et réhabilitation de la station de dessalement du
complexe GNL de Skikda (w. Skikda)[Mem Ing, ENSH].**

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

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

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

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، 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

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Département Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Alimentation en eau potable

THEME

Diagnostic et réhabilitation de la station de dessalement du complexe GNL de Skikda (W. Skikda).

Présenté par :

M^{lle} : BOURAS Imen.

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^{me} AMMOUR Fadhila	M.A.A	Président
M ^{me} KAHLERRAS Malika	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} SALHI Chahrazed	M.A.B	Examinatrice
M ^{me} HADJSADOK Nabila	M.A.A	Examinatrice
M ^r HACHEMI Abdelkader	M.A.A	Promoteur

Septembre 2016

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage, la patience et la force d'être arrivée jusqu'à ce point.

Mes remerciements vont aux membres du jury d'avoir honoré ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce modeste travail.

Je tiens à remercier M^r HACHEMI.A pour son encadrement et son soutien. tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Et bien sûr je ne pourrais pas rater l'occasion pour remercier tout l'ensemble des professeurs de l'ENSH.

Je tiens à remercier M^{me} AMMOUR.F, d'avoir accepté de présider mon jury de soutenance, et également les membres du jury, M^{me} KAHLERRAS.M, M^{me} SALHI.C, M^{me} HADJSADOK de l'ENSH_Blida pour le temps consacré à l'évaluation du présent mémoire.

Pour la même occasion je tiens à remercier mon maître de stage Mr BOUZYOUKH.T et Mr CHEKROUD M.R, de m'avoir accueillis, suivi et aidé le long de ce travail.

Nous voudrions témoigner notre profonde reconnaissance envers le personnel du complexe GNL/IK (Sonatrach – Skikda).

Enfin, mes profonds remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace :

*Je dédie ce valeureux travail au plus valeureux
des êtres humains Mes parents, qui ont sacrifié leurs bonheur
afin de garantir le mien, qui sans leur soutiens, leurs
encouragements et surtout leur confiance ce travail n'aurait
jamais vu le jour, que Dieu me les garde.*

A mes sœur Sarah, Amira, Amani et Hanía.

A ma chère grande mère.

A toute ma famille Bouras : tantes, oncles, cousins et cousines.

Spécialement à ma tante Zoubida.

A tous mes amis : Kiki, Imen, Amina, Maya, Bouchra,

Wissam, Amel...

A mes chères : Houda, Youssra, Dikra. Chaïma.

et plus particulièrement ma chère Nehla.

*A monsieur Amar qui m'a beaucoup aider lors des dures
moments que j'ai passé le long de mon parcours, je lui dis
merci...*

Imen...

ملخص

لمواجهة المشكل الخطير الذي يتمثل في نقص المياه فإن عملية تحلية مياه البحر تعد حلا استراتيجيا بالنسبة للجزائر خاصة في الميدان الصناعي.

مركب GNL سكيكدة يستعمل مياه البحر لإنتاج الماء المقطر باستعمال تقنية التقطير بالضغط الحراري للبخر، هذه المياه يجب ان تستوفي المعايير المطلوبة من طرف الشركة لتفادي مشاكل التآكل والتحجيم....

تهدف الدراسة المنجزة إلى القيام بتشخيص شامل للمحطة بمعنى تحديد النقائص الموجودة بالإضافة الى انجاز مجموعة من التحاليل للمياه المأخوذة على مراحل مختلفة من عملية تحلية مياه البحر.

هذه المراجعة سمحت لنا بإعطاء بعض التعديلات والتوصيات لتحسين مردود المحطة.

Résumé :

Face au problème majeur de manque d'eau, le dessalement constitue une option stratégique pour l'Algérie essentiellement dans l'industrie. Le complexe GNL de Skikda utilise l'eau de mer pour produire de l'eau distillée en utilisant le procédé de distillation par thermocompression de vapeur, cette eau doit répondre aux normes exigées par le constructeur pour éviter les problèmes de corrosion et d'entartrage...

Notre étude consiste à établir un diagnostic global de la station en faisant une localisation des dysfonctionnements ainsi d'établir une série d'analyse des eaux prélevées des différents stades du processus de dessalement.

Cette vérification nous a permis de donner un certain nombre de modifications et recommandations pour améliorer la production de la station.

Abstract:

Facing the major problem of lack of water, desalination constitutes a strategic option for Algeria especially in industry. The complex GNL Skikda use seawater to produce distilled water, using the process of distillation with thermo compression vapor. The water must take the standards required by the manufacturer to avoid problems of corrosion and scaling...

Our study consists in establishing a global diagnosis of the station issue. Doing a location of malfunctions and analysis of water taken from different stages of desalination process. This checking was enabled us to give certain numbers of modifications and recommendations in order to improve the production in the station.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : LES RESSOURCES EN EAU AN ALGERIE :

I.1	Introduction :	1
I.2	Les ressources en eau en Algérie :	2
I.2.1	Les ressources en eau de surface :	3
I.2.2	Les ressources en eaux souterraines :	4
I.2.3	La situation actuelle des ressources en eau conventionnelles en Algérie :	5
I.2.4	Synthèse sur la stratégie de développement :	7
I.3	Le dessalement de l'eau de mer et saumâtre en Algérie :	7
I.3.1	L'expérience Algérienne en matière de dessalement :	8
I.3.2	Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau :	10
I.3.3	Les stations installées par la Compagnie «SONELGAZ» :	10
I.3.4	Stations installées par la Compagnie «SONATRACH» :	11
I.3.5	Stations installées par d'autres Compagnies :	12
I.3.6	Stations en cours de réalisation :	12
I.3.7	La plus grande station dans l'Algérie :	13
I.4	Objectifs du programme de dessalement :	13
I.5	Les avantages et les inconvénients du dessalement de l'eau de mer en Algérie :	14
I.6	Conclusion :	15

CHAPITRE II : LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT :

II.1	Introduction :	16
II.2	Historique :	16
II.3	Caractéristiques de l'eau de mer et saumâtres :	17
II.3.1	Les eaux saumâtres :	17
II.3.2	L'eau de mer :	17
II.4	Les principales technologies de dessalement des eaux :	18
II.4.1	Procédés thermique :	20
II.4.1.1	La distillation:	20
II.4.1.1.1	Distillation à simple effet :	20
II.4.1.1.2	Distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED)	21
II.4.1.1.3	Distillation par détente successive ou multi flash (MSF)	23
II.4.1.1.4	Distillation par thermo compression	24

II.4.1.1.5 Distillation par l'énergie solaire.....	25
II.4.1.2 La Congélation :.....	25
II.4.2 Les procédés membranaires :.....	25
II.4.2.1 Électrodialyse :.....	25
II.4.2.2 Osmose inverse [OI] :	26
II.4.3 Les procédés chimiques :	27
II.4.3.1 L'échange d'ions :.....	27
II.5 Choix d'un procédé de dessalement :	28
II.5.1 Critères économiques :.....	28
II.5.2 Critères techniques :.....	28
II.6 Comparaison des procédés :.....	29
II.7 Conclusion :.....	30

CHAPITRE III : LE PROCEDE DE DESSALEMENT PAR HERMOCOMPRESSION DE VAPEUR

III.1 Introduction :.....	31
III.2 La distillation par Thermocompression de vapeur :.....	31
III.3 Description de l'installation de Thermocompression de vapeur :.....	32
III.4. Principe de fonctionnement d'une installation de thermocompression Cas pratique :..	33
III.4.1 Schéma générale d'une installation de thermocompression :	34
III.5 Les évaporateurs d'une installation de thermocompression :	35
III.5.1. Évaporateurs chauffés à la vapeur et à surface d'échange tubulaire	35
III.5.2 Évaporateurs à plaques :.....	36
III.6 L'éjecto-compresseur :.....	37
III.7 La composition d'une cellule unitaire d'un poste à éjecto-compresseur :	38
III.8 Les caractéristiques principales d'une installation de thermocompression :	39
III.8.1 Le nombre d'effets :.....	39
III.8.2 La quantité d'énergie consommée par ce procédé.....	40
III.8.2 Le bilan massique de l'installation	41
III.9 Domaines d'utilisation de la thermocompression :.....	42
III.10 Les avantages et les inconvénients de la thermocompression	43
III.10.1 Avantage.....	43
III.10.2. Les inconvénients.....	44
III.11 Conclusion.....	44

CHAPITRE IV : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE.

IV.1	Introduction :	45
IV.2	Présentation du complexe GL/1K :	45
IV.2.1	Localisation du complexe :	46
IV.3	Localisation de la station de dessalement du complexe :	47
IV.4	L'importance du dessalement dans le complexe :	48
IV.4.1	Eau d'alimentation des chaudières :	48
IV.4.2	L'eau de refroidissement :	48
IV.5	Le mode de fonctionnement et la capacité de la station :	49
IV.6	Installation et processus :	50
IV.7	Description détaillée de la station :	51
IV.7.1	La prise d'eau :	51
IV.7.2	Le prétraitement :	52
IV.7.2.1	Le dégrillage	52
IV.7.2.2	La pré-chloration	53
IV.7.2.3	La filtration	54
IV.7.3	Station de pompage :	55
IV.7.4	La production de vapeur :	56
IV.7.5	Les unités de dessalement :	56
IV.7.5.1	Descriptif	58
IV.7.5.1.1	Dispositif de mise sous vide	58
IV.7.5.1.2	les pompes	58
IV.7.5.2	Matériaux utilisées Dans la construction des équipements de l'évaporateur	59
IV.7.5.3	Dosage de produits chimiques	60
IV.7.5.3.1	L'injection de produit antitartre	60
IV.7.5.3.2	L'injection de produit anti mousse	60
IV.7.5.4	Le nettoyage de l'unité	61
IV.7.5.5	Système de contrôle et de commande des évaporateurs	62
IV.7.6	Le stockage d'eau distillé (réservoir 54T02) :	63
IV.7.7	Le poste traitement (la déminéralisation) :	64
IV.7.8	Le stockage de l'eau déminéralisée (réservoir 54T01) :	67
IV.8	Laboratoire :	67

IV.9	Salle de contrôle :.....	68
IV.10	Conclusion :.....	68

CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DE LA STATION

V.1	Introduction :.....	69
V.2	Diagnostic des ouvrages et difficultés d'exploitation :	69
V.2.1	Dysfonctionnement au prétraitement :.....	69
V.2.1.1	Les grilles grossières :	69
V.2.1.2	Les filtres :.....	70
V.2.2	Diagnostic de la station de pompage :	71
V.2.3	Diagnostic des unités de distillation (unité 50) :.....	71
V.2.3.1	Bilan de matière de l'unité :	71
V.2.3.2	La Production annuelle des unités de dessalement :.....	72
V.2.3.3	Historique du procédé de dessalement d'eau de mer TCD Unité 50 :	74
V.2.3.4	Les causes du mauvais rendement et baisse de production du procédé de dessalement :	75
V.2.3.4.1	Notions sur l'entartrage des évaporateurs.....	75
V.2.3.4.2	Analyses du dépôt de tartre.....	78
V.2.4	Problème de la corrosion :	78
V.2.5	Problème lié au moussage :.....	80
V.3	Etude de performance de la station :	81
V.3.1	Définition des paramètres à analyser et méthode d'analyse :	81
V.3.2	Analyse et interprétation des résultats :	83
V.3.2.2	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer de Skikda :	83
V.3.2.3	Etude des performances du prétraitement :	84
V.3.2.3.1	La température	84
V.3.2.3.2	Le Ph	85
V.3.2.3.3	Turbidité	86
V.3.2.4	Etude des performances du traitement :	87

V.3.2.4.1	La température	88
V.3.2.4.2	Le Ph.....	89
V.3.2.4.3	La turbidité	90
V.3.2.4.4	La conductivité.....	91
V.3.2.4.5	Le TDS.....	92
V.3.2.4.6	La minéralisation totale de l'eau distillée.....	93
V.3.2.5	Etude de la qualité d'eau déminéralisée :	95
V.4	L'impact de la station de dessalement de Skikda sur l'environnement :	97
V.4.1	Effets dus au prélèvement d'eau de mer :	97
V.4.2	Effets dus aux produits chimiques des traitements correctifs :	98
V.4.4	Effets dus à la concentration de la saumure :	98
V.4.4	Effets dus au bruit :	99
V.4.5	Effets sur la faune et la flore marine :	100
V.4.6	Etude des rejets de la station (saumure) cas de la station du GNL/1K	100
V.4.6.1	Etude de la qualité des rejets :	100
V.4.6.2	Le site de rejet existant.....	101
V.5	Conclusion :	102

CHAPITRE VI : REHABILITATION DE LA STATION.

VI.1	Introduction :	103
VI.2	Les solutions proposées :	103
VI.2.1	L'amélioration du prétraitement :	103
VI.2.1.1	L'entretien des grilles grossières :	103
VI.2.1.2	L'entretien des filtres rotatifs :	104
VI.2.2	Recommandations concernant les pompes :	104
VI.2.3	La recherche et la réparation des fuites :	104
VI.2.4	L'amélioration de la production des unités de distillation :	105
VI.2.4.1	Méthodes de lutte contre l'entartrage :	105
VI.2.4.1.1	L'injection convenable des produits chimiques.....	106

VI.2.4.1.2	Traitement choisi de la vapeur :	106
VI.2.4.1.3	Moyen de nettoyage :	107
VI.2.4.2	Méthodes de lutte contre la corrosion :	108
VI.2.4.3	Prévention contre la formation de la mousse :	109
VI.2.3	Les solutions proposées pour réduire l'impact de la saumure sur l'environnement.	109
VI.2.3.1	L'emplacement de la conduite de rejet projetée :	110
VI.2.3.2	Dimensionnement de la conduite de rejet :	111
VI.3	Conclusion :	114

CONCLUSION GENERALE

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures :

CHAPITRE I : LES RESSOURCES EN EAU AN ALGERIE :

Figure I.01 : Les bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord.....	3
Figure. I.02 : Schéma de synthèse de la stratégie de développement.....	7
Figure. I.03 : La situation et la capacité de production totale des usines de dessalement d'eau de mer des pays de la méditerranée à la fin 1999.	8
Figure. I. 04 : Répartition des stations de dessalement dans l'Algérie.....	10

CHAPITRE II : LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT

Figure II.01 : Les différents procédés de dessalement.....	19
Figure II.02 : Les différents procédés de dessalement selon l'énergie consommée.....	19
Figure II.03 : Schéma d'une installation de dessalement	20
Figure II.04 : Schéma de la distillation simple effet.....	21
Figure II.05 : Le principe de la distillation a effet multiple (MED).....	22
Figure II.06 : Distillation par longs tubes verticaux.....	22
Figure II.07 : Schéma d'une usine multi-effets à tuyaux horizontaux.....	23
Figure II.08 : Distillation par détentes successives (MSF).....	24
Figure II.09 : Schéma de la distillation par compression de vapeur.....	24
Figure II.10 : Distillateur solaire.....	25
Figure II .11: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.....	26
Figure II.12 : Schéma du Procédé d'osmose inverse.....	26

CHAPITRE III : LE PROCEDE DE DESSALEMENT PAR THERMOCOMPRESSION DE VAPEUR

Figure. III.01 : Distillation par thermocompression de vapeur.....	32
Figure III.02 : Unité de dessalement SIDEM a thermocompression 200 m3/jour	33
Figure .III.03: Schéma illustrant le principe du procédé.....	34
Figure .III.04 : Le principe de fonctionnement d'un évaporateur à tubes horizontaux.....	35
Figure. III.05 : Schéma d'un évaporateur à tubes horizontaux arrosés.....	36
Figure. III.06 : Évaporateur à tubes verticaux arrosés.....	36
Figure III.07 : Évaporateur à plaques.....	37
Figure III.08 : Principe de fonctionnement de l'éjecteur.....	38
Figure III.09 : Schéma d'une cellule unitaire d'un poste à éjecto-compression.....	39
Figure III.10 : Quantité d'énergie consommée en fonction du ratio.....	41

Figure III.11 : Schéma représentatif du bilan massique d'une unité de distillation a 4 effets avec éjecto-compression.....	42
Figure III.12 : Unités de 4 effets + éjecto-compression (2 x 5.000 m3/j) mises en service à Tripoli (Libye) en 1999 par SIDEM.....	43

CHAPITRE IV : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE.

Figure IV.01. : Situation du complexe GL/1K dans la zone industrielle de Skikda.....	46
Figure. IV.02 : Vue panoramique du complexe GL/1K.....	47
Figure. IV.03 : Carte de situation géographique de la station dans la wilaya de skikda.....	47
Figure IV.04 : Les étapes de dessalement.....	50
Figure IV.05 : La prise d'eau de mer de la station.....	51
Figure IV.06 : Grille grossière.....	52
Figures IV.07 : Les grilles fins.....	53
Figure IV.08 : Filtre rotatif.....	54
Figure IV.09 : Les pompes d'eau de mer	55
Figure .IV.10 : Une unité de dessalement [4T 1440 A].....	57
Figure IV.11 : Station de dosage chimique	61
Figure IV.12 : L'armoire de commande de l'installation.....	63
Figure .IV.13. Le Bac de stockage d'eau distillé.....	64
Figure .IV.14. Ordinateur de contrôle et schéma synoptique affiché.....	68

CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DE LA STATION

Figure V.01 : Les racleurs hors service (état actuel).....	70
Figure V.02 : Un filtre rotatif hors service (état actuel)	70
Figure V.03 : Une pompe en panne (état actuel).....	71
Figure V.04 : Représentation graphique de la Production annuelle des évaporateurs d'eau de mer.	73
Figure V.05 : L'entartrage et la corrosion à l'intérieure des cellules (4T 1440 D).....	75
Figure V.06 : Quelques signes de corrosion au niveau de la station.....	80
Figure V.07 : Fuite de saumure à la sortie des unités de dessalements.....	80
Figure V.08 : L'évolution de la température d'eau brute et d'eau filtrée.....	85
Figure V.09 : L'évolution du PH d'eau brute et d'eau filtrée.....	86
Figure V.10 : L'évolution de la turbidité d'eau brute et d'eau filtrée.....	87
Figure V.11 : La variation de la température de l'eau filtrée et de l'eau distillée.....	88
Figure V.12 : L'évolution du PH d'eau filtrée et de l'eau distillée.....	89
Figure V.13 : La variation de la turbidité de l'eau filtrée et de l'eau distillée.....	90

Figure V.14 : La variation de la conductivité de l'eau filtrée et de l'eau distillée.....	91
Figure V.15 : La variation du TDS de l'eau filtrée et de l'eau distillée.....	92
Figure V.16 : Représentation graphique des résultats d'analyse de la minéralisation globale de l'eau distillée comparée à l'eau filtrée.	93
Figure V.17 : Représentation graphique de la minéralisation globale de l'eau distillée comparé à la norme.....	94
Figure.V.18 : La variation des caractéristiques de l'eau après la déminéralisation.....	96
Figure V.19 : La comparaison entre l'eau de mer et le concentrât.....	101
Figure V.20 : Le canal d'évacuation des rejets de la station.....	102
Figure V.21 : Photo aérienne du canal de rejet de la station de dessalement du complexe GNL/1K.....	102
Figure V.22 : Schéma illustrant le mode de décharge utilisée dans la station.....	102

CHAPITRE VI : REHABILITATION DE LA STATION

Figure. VI.01. : les boules utilisées pour le nettoyage mécanique.....	107
Figure VI.02 : Décharge submergée par l'intermédiaire de canalisation et bec ou diffuseur.....	110
Figure VI.03 : la position de la conduite projetée (vue de profil)	113
Figure VI.04 : l'emplacement de la conduite (vue en haut).....	114

Liste des tableaux :

CHAPITRE I : LES RESSOURCES EN EAU AN ALGERIE

Tableau I.01. Répartition des ressources hydrique dans l'Algérie.....	2
Tableau I.02 : Répartition des eaux de surface en Algérie.....	3
Tableau I.03 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.....	4
Tableau I.04 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud.....	5
Tableau I.05 : Stations exploitées par SONELGAZ.	10
Tableau I.06 : Stations exploitées par Sonatrach.....	11
Tableau I.07 : Stations installées par d'autres Compagnies.....	12
Tableau.I.08.Les caractéristiques des stations installées par l'ADE à Ouargla.....	13

CHAPITRE II : LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT

Tableau II.01 : Valeurs moyennes de la minéralisation de l'eau des mers et des océans.....	17
Tableau II.02 : Composition chimique de l'eau de mer méditerranéenne.....	18
Tableau II. 03 : Comparaison des procédés de dessalement eau de mer.....	29

CHAPITRE III : LE PROCEDE DE DESSALEMENT PAR THERMOCOMPRESSIION DE VAPEUR

Tableau.III.01 : Caractéristiques du nombre d'effets.....	40
Tableau III.02 : Propriétés du procédé.....	42
Tableau. III.03 : Quelques installations fonctionnant par le procédé MED-TVC dans le monde.....	42

CHAPITRE IV : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE.

Tableau IV. 01 : Caractéristique de l'eau de chaudières.....	48
Tableau IV. 02 : Caractéristique de l'eau de refroidissement.....	49
Tableau IV. 03 : Capacité de la station.....	49
Tableau IV.04 : Caractéristiques des grilles grossières.....	52
Tableau IV.05 : Caractéristiques des grilles fines.....	53
Tableau.IV.06 : Filtre à nettoyage automatique (FADX 102 DN 200).	56
Tableau. .IV.07: Composition de l'évaporateur est matériaux de construction.....	59
Tableau. .IV.08 : Caractéristique physico-chimiques de l'anti tartre et l'antimousse.....	61
Tableau. .IV.09 : Les disfonctionnements et les seuils d'alarme.....	63
Tableau. .IV.10: Caractéristique de l'eau distillée produite dans la station.....	64
Tableau. .IV.11: Caractéristique de l'eau déminéralisée produite dans la station.....	65
Tableau. .IV.12: Action Caractéristique de la déminéralisation.....	66

CHAPITRE V : DIAGNOSTIC DE LA STATION

Tableau V.01 : Résultats du bilan de matière (cas actuel & design).....	72
Tableau V.02 : La Production annuelle d'eau distillé des évaporateurs (4T 1440) A/B/C/D).	72
Tableau V.03 : Le rendement des unités de dessalement (évaporateurs).....	73
Tableau V.04 : L'historique de l'unité du procédé de dessalement à thermocompression de la station.....	74
Tableau V.05 : Analyses physico-chimique de l'eau de mer (Skikda).....	83
Tableau V.06 : La variation de la température d'eau brute et d'eau filtrée.....	86
Tableau V.07 : La variation du PH d'eau brute et d'eau filtré.....	85
Tableau V.08 : La variation de la turbidité d'eau brute et d'eau filtré.....	86
Tableau V.09 : La variation de la température de l'eau filtré et distillée.....	88
Tableau V.10 : La variation du Ph de l'eau filtrée et de l'eau distillée.....	89
Tableau V.11 : La variation de la turbidité de l'eau filtrée et l'eau distillée.....	90
Tableau V.12 : La variation de la conductivité de l'eau filtrée et l'eau distillée.....	91
Tableau V.13 : TDS d'eau filtré et de l'eau distillée.....	92
Tableau V.14 : La comparaison de la minéralisation totale de l'eau filtrée et de l'eau distillé.....	93
Tableau V.15 : Comparaison de la minéralisation globale de l'eau distillée et déminéralisée.....	96
Tableau V.16 :L'impact des produits constituant la saumure sur l'environnement.....	98
Tableau V.17 : Composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer....	100

CHAPITRE VI : REHABILITATION DE LA STATION

Tableau VI.01 : Les valeurs de K, m et β en fonction des matériaux.....	112
---	-----

Liste des abréviations :

Abréviation	Désignation
ANRH	Agence Nationale Des Ressource Hydrauliques.
ADE	Algérienne Des Eaux.
MED	Multi-Effet distillation
MSF	Distillation par détetes successives ou multi flash
TCD	Thermocompression distillation.
TVC	Thermocompression de vapeur.
O.I	Osiose Inverse.
SIDEM	Société Internationale de Dessalement des Eaux de Mer
GNL	Gaz Naturel Liquéfié.
GNL/1k	Le complexe du Gaz naturel Liquéfié de Skikda.
CP1K	Le complexe des matières plastiques de Skikda.
HMT	Hauteur Manométrique Totale.
NPSH	Net Positive Section Head.
MES	Matières En Suspension
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
TH	Titre Hydrométrique (dureté totale)
EDTA	Ethylène Diamino Tetra Acétique.
NTU	Nephometric Turbidity Unit.
Ph	Potentiel Hydrogène.
PEHD	Polyéthylène Haute Densité.
TDS	Total des Solides Dissouts.
Ppm	Parts Per Million.
$\mu\text{S/cm}$	Micro Siemence par centimètre (unité de la conductivité)
T	la température du fluide chaud (la vapeur) en [$^{\circ}\text{C}$].
ΔH_d	La charge disponible.
ΔH	La perte de charge.

Liste de planches :

Planche N°01 : Plan de masse de la station de dessalement du complexe GNL Skikda.

Planche N°02 : Plan de situation de la station de dessalement du complexe GNL Skikda.

Introduction générale :

L'eau source de la vie, pourtant si répandue à la surface de la terre, reste une énigme. Couvrant plus de 70% de la surface de la terre, elle semble omniprésente. En réalité l'eau, ou l'eau douce plus exactement, est une commodité rare, une ressource précieuse. Subvenir aux besoins d'eau d'une population mondiale croissante est un des principaux défis des décennies à venir.

L'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel pose dans de nombreux pays, le problème de manque d'eau. Le prélèvement global de l'eau en additionnant les usages domestiques, industriels et agricoles, est de 250 m³ par an et par habitant, en moyenne mondiale.

Le dessalement converti l'eau de mer en eau potable ou en eau de processus. Compte tenu de la situation actuelle de pression démographique et de réchauffement climatique, le dessalement est une technique intéressante au vu de l'abondance de la matière première : l'eau de mer et les eaux saumâtres. En effet, le dessalement augmente déjà de 10% par an en consommation d'eau mondiale.

Face aux problèmes climatiques observés ces dernières années, le gouvernement algérien a mis en place à court et moyen terme une véritable industrie de dessalement des eaux de mer et de déminéralisation des eaux saumâtres, comme moyen de mobilisation d'eau complémentaire, pour faire face aux différents plans de développement : AEP, industrie et agriculture.

Les procédés de dessalement sont principalement issus de deux technologies : les procédés thermiques et les procédés membranaires. Parmi les techniques thermiques les plus répandues on trouve la distillation par thermocompression de vapeur.

Mais ces procédés de dessalement ne sont pas fiable à 100%, car ils rencontrent d'importants problèmes techniques : la corrosion, l'entartrage et le colmatage des surfaces d'échange.

À travers ce travail on va faire un diagnostic global de la station de dessalement du complexe GNL de la zone industrielle de Skikda, en faisant une localisation des dysfonctionnements ainsi d'établir une série d'analyse des eaux prélevées des différents stades du processus de dessalement afin de vérifier les performances, et proposer par la suite des solutions adéquates aux problèmes rencontrés.

I.1 Introduction :

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays du bassin méditerranéen. Le changement climatique et la croissance urbaine et démographique attendus dans la région, risquent d'aggraver la situation de stress hydrique qui frappe déjà la plupart des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée. En Algérie, plusieurs facteurs peuvent expliquer la situation de stress hydrique :

- Les retards accumulés dans les décennies 1980 et 1990 pour ajuster l'offre à la demande en eau. En effet, le ratio ressources en eau par habitant et par an qui était de 1 500 m³ en 1962 n'était plus que de 720 m³ en 1990, de 630 m³ en 1998 et de 500 m³ aujourd'hui, traduisant ainsi le décalage par rapport à la croissance démographique.
- Les contraintes physiques liées au relief et à la morphologie du pays
- La baisse de la pluviométrie depuis trois décennies, avec un pic de sécheresse en 2001-2002.
- Le phénomène de désertification des sols qui accentue la menace de Sécheresse (et d'évapotranspiration ³), en particulier dans l'Ouest algérien.
- La croissance de la demande en eau (multipliée par quatre en quarante ans), notamment dans le Nord du pays et dans les zones urbaines.

Cette situation pourrait être amplifiée par les effets du changement climatique qui sont susceptibles d'être plus prononcés dans le bassin méditerranéen que dans d'autres régions du monde. Les potentialités hydriques naturelles de l'Algérie sont estimées actuellement à 18 milliards de m³ par an. L'irrigation occupe une place importante dans la consommation d'eau (62 % de la demande totale du pays). La demande en eau potable, qui a considérablement augmenté depuis les années 1970, représente quant à elle 35 % de la demande totale. La part des besoins en eau du secteur industriel ne s'élève qu'à 3 %. Depuis le début des années 2000, le gouvernement algérien a pris des mesures importantes pour sortir de la situation de pénurie d'eau qui touchait le pays. La question hydraulique a été placée en priorité sur l'agenda politique et de gros moyens ont été mis en œuvre pour mobiliser de nouvelles ressources meilleure gestion de la ressource en eau conventionnelles et non conventionnelles.

La nouvelle politique de l'eau s'est ainsi structurée autour de deux axes stratégiques :

- le développement de l'infrastructure hydraulique : barrages, transferts, stations de dessalement d'eau de mer, stations d'épuration etc.
- la réforme institutionnelle du secteur de l'eau qui vise à promouvoir une meilleure gestion de la ressource. [1]

I.2 Les ressources en eau en Algérie :

L'Algérie fait partie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, et se situe donc en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale, soit 1000 m³ par habitant et par année. Si en 1962, la disponibilité annuelle en eau par habitant était de 1500 m³ elle n'était plus que de 720 m³ en 1990 de 680 m³ en 1995 et de 630 m³ en 1998. La disponibilité annuelle en eau par habitant est aujourd'hui de 500 m³. Du fait de la pression démographique, cette disponibilité ne sera plus que de 430 m³ par habitant en 2020.

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques (figure I.01) regroupant les 17 bassins versant. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).

Les potentialités en eau sont estimées à 18 milliards de m³/an répartis comme suit :

Tableau I.01. Répartition des ressources hydrique dans l'Algérie. [2]

région	Potentialité en eau (milliards de m ³ /an)	Écoulements superficiels (milliards de m ³ /an)	Ressources souterraines (milliards de m ³ /an)
Nord	12	10	2.4 (renouvelable)
Sud (sahra)	5.5	0.5	5 (fossiles)

Le découpage de l'Algérie du Nord en quatre régions repose sur les critères suivants :

- Les caractéristiques géographiques et naturelles des régions
- Le groupement des bassins versants et sous bassins hydrographiques, entre lesquels existent des nécessités de transfert (figure I.01).



Figure I.01 : Les bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord. [1]

I.2.1 Les ressources en eau de surface :

Provenant des précipitations annuelles, elles sont estimées à 12.4 milliards de m³ (ANRH), qui hélas pour la plupart vont se déverser dans la mer méditerranée. La répartition des écoulements superficiels est hétérogène à travers le territoire national, le Nord qui représente 7% du territoire national, reçoit un pourcentage très élevé de précipitations de l'ordre de 92% du total. De même cette hétérogénéité s'observe d'Est en Ouest dans le tell, les bassins du centre et de l'Est reçoivent 80% de l'apport, tandis que dans la steppe et Sahara les écoulements superficiels sont extrêmement faible, elle se présente sous forme de crues épisodiques. Ces ressources en eau sont répartir par bassin hydrographique selon le tableau suivant :

Tableau I.02 : Répartition des eaux de surface en Algérie. [3]

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

En 2014 Le secteur des ressources en eau en Algérie dispose de 84 barrages avec une capacité de stockage de 8,9 milliards de mètres cubes. Pour l'heure, l'Algérie dispose de 70 barrages de grande et moyenne envergure, avec une capacité de 7 milliards de mètres cubes. [3]

I.2.2 Les ressources en eaux souterraines :

a) Dans le Nord du pays :

Les caractéristiques géomorphologiques de l'Algérie du Nord sont dominées par reliefs à fortes pentes. Elle est associée à une lithologie essentiellement marneuse, qui donne des séries peu ou pas perméables, mais aussi érodée. Ces caractéristiques entraînent que l'Algérie du Nord est défavorisée en matière d'eaux souterraines.

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. [3]

La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit :

Tableau I.03 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays [3]

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

b) Dans le Sud du pays :

Le sud de l'Algérie est une zone désertique avec une superficie de 2.156.000 km², soit 85% du territoire global du pays, avec une population qui dépasse les trois (03) millions d'habitants. Les précipitations sont rares dans cette région où les pluies torrentielles provoquent

des crues violentes et dévastatrices. Le charriage est considérable et l'érosion des berges participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable.

Ainsi, au niveau de ce grand espace, l'essentiel des ressources en eau est localisé dans deux grands systèmes aquifères : la nappe du Continental Intercalaire (ou Albienne), qui est un grand réservoir d'eau fossile s'étendant sur tout le Sahara septentrional, et la nappe du Complexe Terminal, qui est un aquifère peu profond.

Tableau I.04 : Pourcentages d'exploitation des nappes du sud. [3]

Wilaya	L'exploitation des nappes dans le sud Algérien	
	Totaux (Hm 3/an)	Pourcentages
Biskra	33,9	0,68
El Oued	1024,4	20,75
Ouargla	1953,2	39,57
Ghardaïa	559,9	11,34
Adrar	1179,3	23,89
Tamanrasset	184,8	3,74
Totaux	4936,3	100

I.2.3 La situation actuelle des ressources en eau conventionnelles en Algérie :

La rareté grandissante des ressources en eau qui résulte de la diminution des quantités disponibles par habitant, la dégradation de la quantité et les objectifs de développement économique et social imposent donc l'élaboration et la définition d'une stratégie de gestion de l'eau à moyen et à long terme. Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années de sécheresse qui ont touché l'ensemble du territoire, ont montré combien il était nécessaire d'accorder la plus grande attention à l'eau. Cette ressource vitale est menacée dans sa qualité et dans sa quantité. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025.

La situation actuelle des ressources en eau Algérienne est encore exacerbée par plusieurs contraintes [4] :

- **Conditions climatiques difficiles :**

Le climat en Algérie est semi-aride (200mm à 500mm), d'où des ressources de plus en plus limitées et difficiles à exploiter.

- **Des pressions croissantes sur des ressources en eau limitées :**

Les ressources hydrauliques naturelles de l'Algérie dépendent essentiellement de la pluviométrie qui est très inégalement répartie sur le territoire et caractérisée par de fortes irrégularités intra-annuelles et interannuelles.

- **Des ressources limitées de plus en plus sollicitées :**

La répartition des ressources en eau a contribué à dessiner l'occupation du territoire par les populations, leurs activités et leurs agglomérations. La présence d'eau contribue à l'attraction des migrations internes vers le Nord du pays et à l'accentuation du phénomène de « littoralisation » qui se traduit par un accroissement important et rapide de la population et des activités des régions littorales et, en conséquence, par un surcroît des demandes en eau difficiles à satisfaire avec les ressources « classiques » disponibles.

- **Envasement des barrages en Algérie :**

En Algérie, les 52 grands barrages reçoivent 32 millions de m³ de matériau solide annuellement. La répartition des barrages sur les cinq bassins hydrographiques indiquent clairement que les barrages de la région de Chéllif –Zahrez sont les barrages les plus menacés par le phénomène de l'envasement puisque le taux de sédimentation annuel est de 0,75%.

- **Evaporation des lacs de barrages :**

Le phénomène de l'évaporation des lacs des barrages en Algérie est considérable ; une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement dans les barrages.

- **Fuites dans les barrages :**

Le problème est beaucoup plus grave qu'on imagine, il ne s'agit plus de perte de la capacité de l'eau, mais plutôt la déstabilisation de l'ouvrage. En réalité l'eau des fuites ne se perd pas, il peut être récupérée et réutilisée pour l'agriculture et à la limite le laisser s'infiltrer pour réalimenter la nappe.

- **Eutrophisation des retenues de barrages :**

Ces dernières années les rejets des eaux usées d'origine urbaine et industrielle ont augmenté dans les oueds. Ceci constitue une menace pour la qualité des ressources en eau dans les barrages. Plusieurs tronçons d'oueds sont déjà pollués (Tafna, Mekerra, Chellif, Soummam et Seybouse).

- **Intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers :**

En Algérie, le phénomène a pris de l'ampleur ces vingt dernières années à cause de la sécheresse qui a frappé le nord algérien, associé aux pompages excessifs et anarchiques. Aujourd'hui, toutes les régions du littoral algérien (1200km) sont menacées par ce phénomène.

I.2.4 Synthèse sur la stratégie de développement :

La politique engagée vise à créer un outil de décision à moyen terme, actualisable ultérieurement sans intervention extérieure, pour le développement et la gestion des ressources hydriques de l'Algérie. Elle s'articule autour des concepts suivants :

- Préciser l'étendue et la qualité des ressources hydriques y compris les ressources non conventionnelles,
- Evaluer les demandes en eau, aujourd'hui et à l'avenir,
- Dresser l'inventaire des infrastructures existantes et projetées, identifier de nouvelles potentialités et engager les actions pour leur mobilisation et transfert,
- Confronter, d'une manière dynamique, les ressources et les besoins et chiffrer les coûts et les bénéfices de chaque variante ainsi que son impact sur l'économie nationale,
- Examiner le cadre institutionnel et son adéquation pour la gestion et la protection de la ressource. [5]

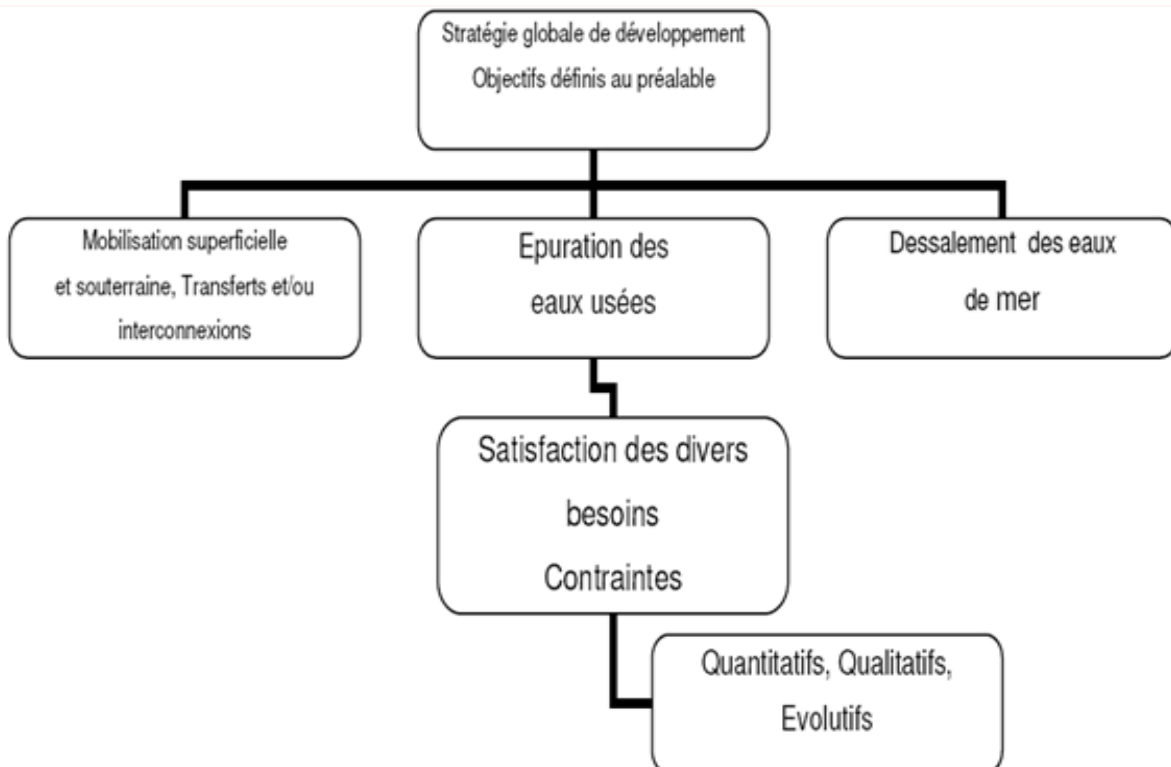


Figure. I. 02 : Schéma de synthèse de la stratégie de développement. [5]

I.3 Le dessalement de l'eau de mer et saumâtre en Algérie :

A la suite d'une sécheresse chronique vécue par l'Algérie depuis plus de deux décennies et la demande en eau croissante, les pouvoirs publics ont décidé de s'orienter vers une politique

de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles, à savoir le dessalement d'eau de mer, des eaux saumâtres et le recyclage des eaux usées afin de pouvoir compenser le déficit en eau enregistré. Avec un littoral de 1200 Km, la ressource est pratiquement inépuisable ; la population ainsi que les industries grandes consommatrices d'eau se trouvent à proximité de la mer, ce qui réduit d'avantage les prix de revient du m³ d'eau dessalée. Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement des différents procédés. La disponibilité de la ressource énergétique ou la combinaison de sa production ; Le coût du m³ d'eau dessalée est en nette régression alors que le coût du m³ d'eau conventionnelle est en nette progression.

Ce sont les avantages qui ont rendu le recours à la ressource non conventionnelle de plus en plus favorable. La situation mondiale de l'Algérie en matière de production de l'eau dessalée est montrée dans la [figure. I.03] suivante :

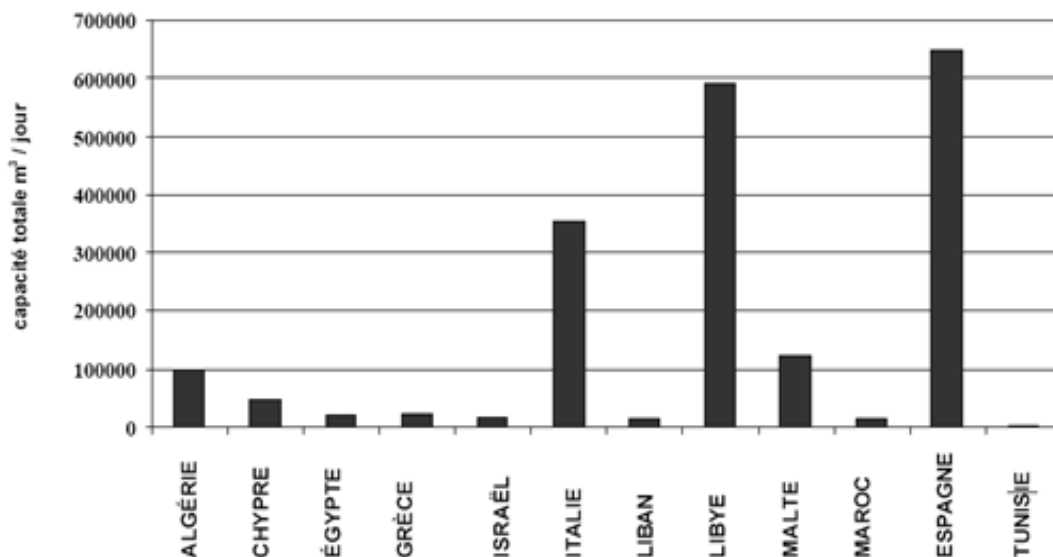


Figure. I. 03. La situation et la capacité de production totale des usines de dessalement d'eau de mer des pays de la méditerranée à la fin 2000. [6]

I.3.1 L'expérience Algérienne en matière de dessalement :

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage destiné exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi-inexistant.

Une seule expérience a été tentée dans une situation où il n'existait aucune autre solution. Il s'agit de l'unité de déminéralisation d'Oued Djellaba dans la wilaya de Biskra (Sud-Est Algérien).

Dans l'industrie, la déminéralisation et le dessalement sont utilisés pour assurer la fourniture de l'eau :

- De chaudière ;
- De refroidissement ;
- De traitement ;

En 1964, trois petits blocs de 8m³/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'Ouest du pays). Le procédé utilisé est la distillation à multiple effet « Multi effet distillation, MED ».

En 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j. le procédé utilisé est le multi flash-MSF.

D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au processus des complexes de production de l'électricité (Cap Djenet à l'Est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda).

Il y'a également quelques installations qui sont destinées principalement dans le Sud à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières.

On retrouve l'ensemble des procédés classiques de déminéralisation : électrodialyse, échanges d'ions, distillation et osmose inverse.

On notera une forte concentration d'installation d'électrodialyse dans le Sud et d'échanges d'ions à Annaba ce qui traduit la confiance des exploitants dans un procédé leur ayant donné satisfaction. Il ressort aussi que si le nombre d'installation de dessalement fonctionnant par osmose inverse est réduit, il n'en demeure pas moins que du point de vue capacité de production, ce procédé occupe une place remarquable.

La répartition des stations de dessalement dans l'Algérie est montrée par la (figure. I. 04)

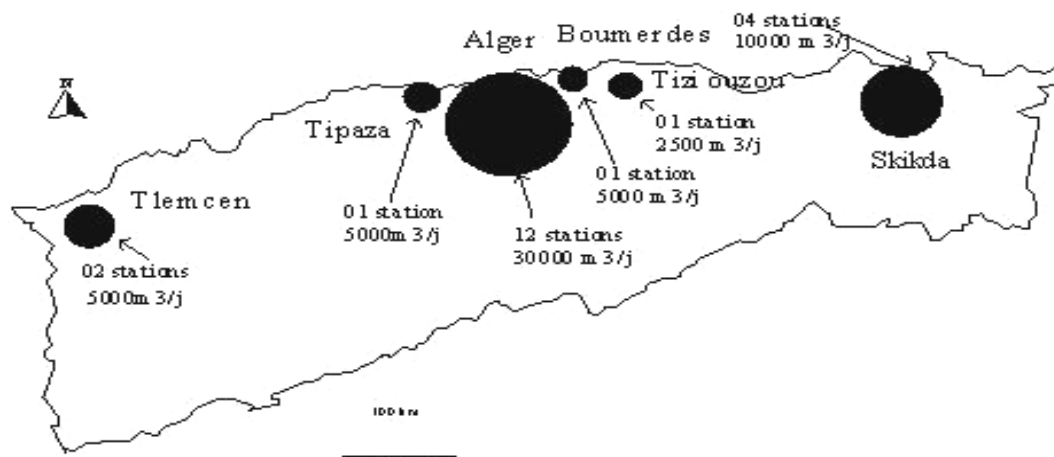


Figure. I. 04. : Répartition des stations de dessalement dans l'Algérie. [4]

On remarque que dans l'Algérie le dessalement est souvent lié à l'industrie vue la quantité d'eau importante nécessaire pour garantir le fonctionnement de ces installations.

I.3.2 Stations exploitées par le Ministère des ressources en eau :

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

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

I.3.3 Les 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.06).

Tableau I.05 : Stations exploitées par SONELGAZ. [7]

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Année d'installation
Mers el Hadjadj	1500	Thermo compression	1977
Mers el Hadjadj	2000	MSF	1991

Suite Tableau I.05 : Stations exploitées par SONELGAZ. [7]

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

I.3.4 Stations installées par la Compagnie «SONATRACH» :

A l'époque de l'inauguration de la station de Mostaganem par la Campagne citée plus haut, dont la capacité est de 57600 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.07)).

Tableau I.06 : Stations exploitées par Sonatrach. [7]

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Mise en service
Arzew	576	Multi effets	1964
Arzew	4560	MSF	1969
Skikda	1440	MED-TVC	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 Abbas	1500	Echangeurs d'ions	1978
Haoud Berkaoui	55	Electrodialyse	1979
Hassi Messaoud	300	Electrodialyse	1979

Suite Tableau I.06 : Stations exploitées par Sonatrach. [7]

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Mise en service
Rhourd El Baguel	25	Electrodialyse	1979
Arzew	960	MSF	1979
Annaba	144	Echangeurs d'ions	1979
Annaba	576	Echangeurs d'ions	1979
Hassi-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
Arzew	960	MSF	1979
Annaba	144	Echangeurs d'ions	1979
Reghaia	160	Echangeurs d'ions	1982

I.3.5 Stations installées par d'autres Compagnies :

Des petites stations sont aussi construites par des Compagnies du secteur économique privé pour répondre aux besoins de la production, comme la station construite par la Compagnie Tongo à Rouiba –Alger (production de boissons alcoolisées), donnant un débit de 1500 m³/j. (Tableau I-07). [8]

Tableau I.07 : Stations installées par d'autres Compagnies. [7]

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

I.3.6 Stations en cours de réalisation :

Récemment l'Algérienne des eaux (ADE) a lancé la réalisation de 9 stations de dessalement des eaux saumâtres dans la willaya d'Ouargla voir (Tableau.I.08)

Tableau.I.08. Les caractéristiques des stations installées par l’ADE à Ouargla. [08]

Nom de la station	Capacité d'eaux brute (m3/j)	Objectif d'eau traitées (m3/j)	Forages
Gharbouz (S1)	3000	2250	2
Ain el Kheir (S2)	9000	6750	5
Hai Bouzid (S3)	4500	3375	3
Mekhadma (S4)	3000	2250	3
Ifri-Gara (S5)	10500	7850	4
Zyania (S6)	3000	2250	2
El Khafdi (S7)	7500	5625	3
Bamendil Village (S8)	3000	2250	2
El Hadeb (S9)	2700	20250	3

I.3.7 La plus grande station dans l'Algérie :

La méga-station de dessalement d’eau de mer d’El Mactâa, est appelée non seulement à renforcer l’alimentation en eau potable de la wilaya d’Oran mais aussi à répondre aux besoins des wilayas limitrophe comme Mascara, Mostaganem, Relizane et Tiaret.

Cette installation a une capacité de production de 500.000 mètres cubes par jour. C’est la plus grande station du monde utilisant le procédé d’osmose inverse. L’Algerian Energy Company (AEC) et l’Algérienne des Eaux (ADE) sont, en fait, les initiateurs de ce projet, et c'est le plus grand projet que ces deux sociétés ont eu à initier, à conduire. [13]

I.4 Objectifs du programme de dessalement :

A toutes ces importantes actions, s'ajoute un important programme de dessalement d'eau de mer a été engagé et recouvrira à la fin de l'année 2009, un total de 13 stations avec une production de près de 2,26 millions de m3/jour, soit 825 millions de m3/an. Cette quantité représentera près de 1/3 des capacités de retenue des barrages qui existaient jusqu'en 2000. Ce programme stratégique est destiné à libérer le pays de la dépendance de la pluviométrie pour l'alimentation en eau potable des populations des régions côtières, et notamment dans l'ouest du pays qui souffre d'un grave déficit chronique en pluviométrie. Deux stations sur les 13, sont déjà en production à savoir celle d'Arzew pour Oran et celle de Hamma pour Alger, alors que près de 10 contrats de réalisation ont déjà été conclus avec des chantiers lancés et en voie d'achèvement.

I.5 Les avantages et les inconvénients du dessalement de l'eau de mer en Algérie :

Le dessalement d'eau de mer est un moyen moderne pour avoir de l'eau. C'est l'une des techniques les plus utilisées pour permettre de produire de l'eau non conventionnelle afin de pouvoir pallier les déficits constatés par rapport à la disponibilité de l'eau conventionnelle. [9]

Les principaux avantages du procédé de dessalement sont :

- L'Algérie dispose d'un littoral de 1200 km.
- L'utilisation de l'eau de mer qui est une ressource pratiquement non polluante et inépuisable.
- La population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la mer.
- Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement de différents procédés (l'osmose inverse).

L'un des grands avantages de dessalement d'eau de mer est la sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrielle) des différents consommateurs, car cette ressource n'obéit pas aux aléas climatiques et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues, des quantités journalières qui dépassent les 200 000 m³/j. [9]

Bien que le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau (domestique et industrielle), quel que soit le procédé utilisé il n'est pas sans inconvénients :

- Les installations de dessalement coûtent cher et elles se caractérisent par leur grande consommation énergétique ;
- Ces installations dégagent des gaz à effet de serre ;
- Elles détruisent les zones côtières ;
- Elles bouleversent les écosystèmes, car elles rejettent des déchets appelés saumure (de l'eau fortement salée), certaines espèces ou végétations sont très sensibles à la salinité ;
- Présence de traces de métaux lourds échappés des installations ;

Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux provenant du nettoyage (filtres à sable, membranes et dépôts) contaminent le milieu. [9]

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre on constate qu'il y a vraiment un manque d'eau en Algérie qui n'est pas dû seulement aux facteurs climatologiques mais aussi aux facteurs humains, car la mauvaise gestion du potentiel hydrique aggrave la situation. Pour cela il faut faire une stratégie afin de trouver des solutions radicales qui résistent à la multitude des facteurs réduisant notre autosuffisance en eau. Le dessalement constitue une option stratégique pour notre pays, face à ce problème de faiblesse hydrique. Dans cette optique le gouvernement algérien a lancé, à partir de 2001, une véritable industrie du dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres.

CHAPITRE II : les différents procédés de dessalement

II.1 Introduction :

Les problèmes en relation avec l'eau sont nombreux et très divers. Il n'y a donc pas de recette miracle ou de solution simple permettant de les résoudre, mais chaque cas est étudié selon les conditions qui le caractérisent et les facteurs qui l'influencent.

Le dessalement de l'eau marine ou saumâtre est un processus qui permet d'extraire les sels de l'eau afin de la rendre potable, l'utiliser pour l'irrigation, ou dans l'industrie pour alimenter les chaudières dans la production de vapeur ou comme fluide frigorigène. Il existe aujourd'hui de nombreux procédés de dessalement de l'eau de mer, dont beaucoup ont atteint le stade industriel grâce au développement technologique de ce domaine. Les deux procédés les plus courants à travers le monde sont la distillation et l'osmose inverse.

II.2 Historique :

Le dessalement de l'eau de mer prend son origine dans la marine. C'était vers 1880 que les bateaux à vapeur avaient un besoin d'eau douce très supérieur à leur capacité de stockage et on a donc toujours eu recours aux techniques de dessalement.

En 1920, la première usine de dessalement par voie thermique fut installée à terre (Jeddah – Arabie Saoudite), ce n'est qu'à partir de 1960 que des usines de grande capacité voient le jour, principalement au Moyen-Orient.

A partir des années cinquante, de nouveaux procédés ont fait leur apparition, il s'agit de méthodes qui ne nécessitent pas un changement d'état de l'eau salée mais plutôt une séparation dans la même phase par l'intermédiaire de membrane et en 1978 la première unité de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse a été mise en service à Djeddah en Arabie Saoudite.

On observe actuellement des appareils de dessalement d'eau de mer à travers le monde, et tous les procédés de dessalement ont pour but d'améliorer le rendement en économisant de l'énergie d'une part et en diminuant le coût des investissements d'autre part.

Actuellement, seulement 1% de l'eau potable est produite dans le monde par des installations de dessalement. Le pourcentage pour l'eau industrielle est encore plus faible et le pourcentage pour l'irrigation est pratiquement nul. [10]

CHAPITRE II : les différents procédés de dessalement

II.3 Caractéristiques de l'eau de mer et saumâtres :

Les caractéristiques des eaux sont définies principalement selon le type :

II.3.1 Les eaux saumâtres :

L'eau saumâtre est une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En fait, la plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme d'eaux souterraines leur composition chimique varie énormément d'une région à l'autre pour une même région d'une saison à l'autre. Ces variations de composition chimique dépendent de plusieurs paramètres : l'eau qui pénètre dans le sol dissout les sels qui composent l'écorce terrestre. Les principaux sels qui peuvent être dissous en assez grandes quantités sont : CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl . [11]

II.3.2 L'eau de mer :

L'eau de mer est caractérisée principalement par la salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels. La salinité moyenne de l'eau de mer est de l'ordre de 35 g/l. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques, en revanche, les eaux situées près de l'embouchure de fleuves importants ont habituellement une salinité plus faible[12].Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 g/l et 8,4g/l : l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

Tableau II.01 : Valeurs moyennes de la minéralisation de l'eau des mers et des océans.

[11]

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

CHAPITRE II : les différents procédés de dessalement

Tableau II .02 Composition chimique de l'eau de mer méditerranéenne. [14]

PARAMETRES	VALEUR (mg/l)	VALEUR (meq/l)	PARAMETRE	VALEUR (mg/l)	VALEUR (meq/l)
Ca	449,00	22,45	HCO ₃	158 ,00	2,60
Mg	1 387,00	114,20	SO ₄	3 200,00	66,70
Na	12 182,00	529,60	Cl	21 555,00	607,20
K	418,00	10,70	Br	65,00	0,80
Sr	13,00	0,30	F	2,00	0,10
SiO ₂	8,00 mg/l		pH	8,1	
SDT	39 437,00 mg/l		Température	22°C	
Résidu sec à 180°C	39 358,00 mg/l		COT	10 mg/l	
Conductivité	55 000 µS/cm				

La valeur des sels dissous totaux (SDT) peut naturellement varier sous l'influence notamment de l'ensoleillement et donc de la température de l'eau, qui en augmentant va accélérer l'évaporation et donc influencer sur la concentration des sels. Par contre les proportions relatives des principaux ions restent constantes.

II.4 Les principales technologies de dessalement des eaux :

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

- 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 :

CHAPITRE II : les différents procédés de dessalement

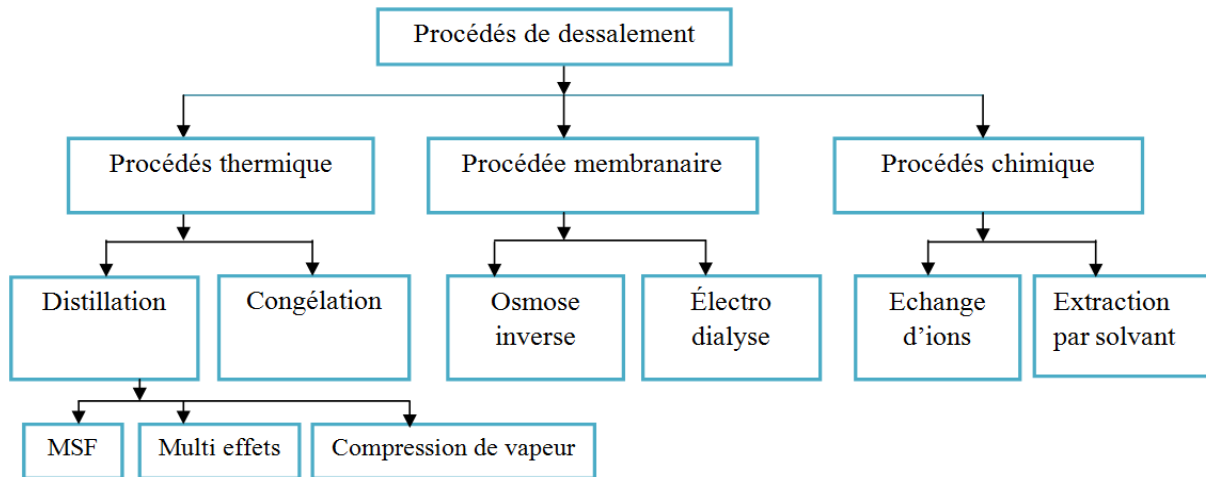


Figure II.01 : Les différents procédés de dessalement.

b) Selon le type d'énergie consommée :

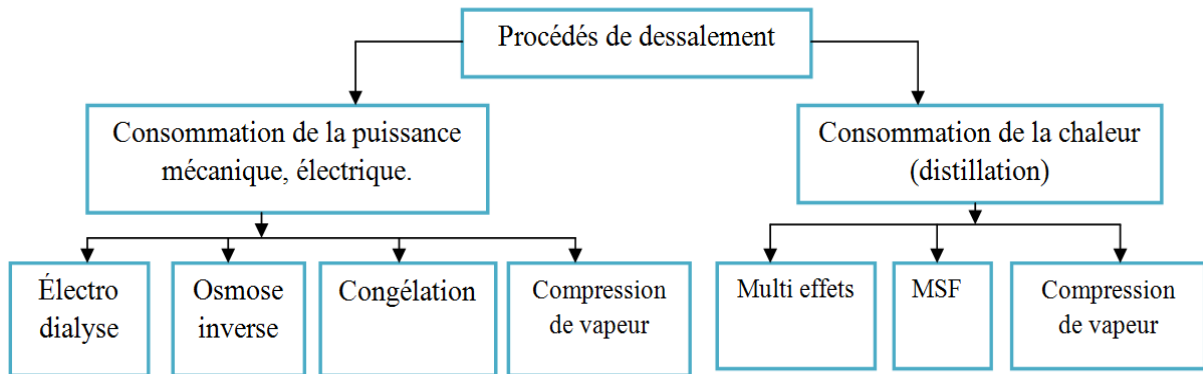


Figure II.02 : Les différents procédés de dessalement selon l'énergie consommée.

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

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

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.



Figure II.03 : Schéma d'une installation de dessalement.

II.4.1 Procédés thermique :

Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phase :

II.4.1.1 La distillation :

La distillation, englobe aujourd'hui 70% des usines de dessalement dans le monde reproduit un phénomène naturel. C'est l'opération qui transforme, par chauffage ou par réduction de pression, l'eau de mer en vapeur exempte des impuretés dissoutes dans le liquide.

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 ;

II.4.1.1.1 Distillation à simple effet :

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable.

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- 1) Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.
- 2) La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.

CHAPITRE II : les différents procédés de dessalement

3) Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

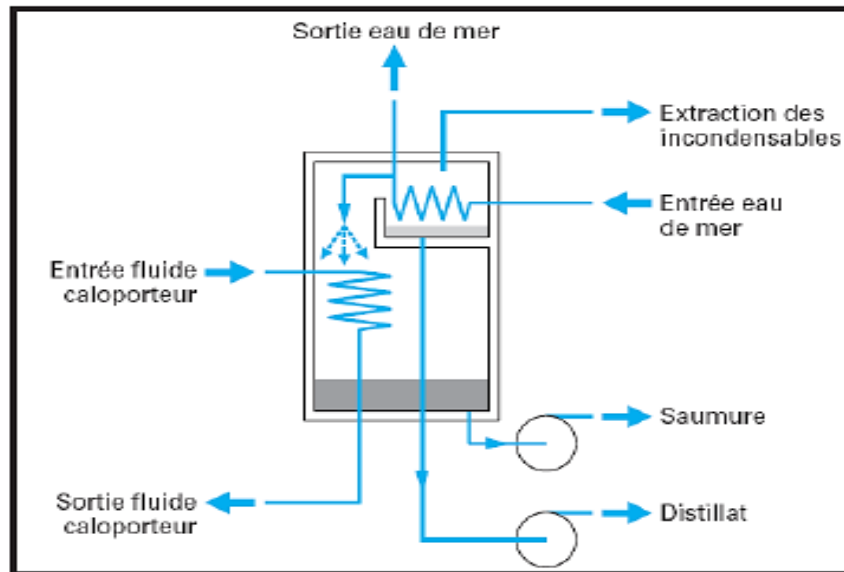


Figure II.04 : Schéma de la distillation simple effet. [15]

Afin de porter à ébullition de la solution plus rapidement, un compresseur est installé. Ainsi, en diminuant la pression à l'aide du compresseur, la température d'ébullition augmente.

II.4.1.1.2 Distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED)

La distillation à multiples effets se base sur la recherche d'une récupération aussi poussée que possible de la chaleur libérée par la condensation et par une évaporation sous pression réduite. L'évaporateur MED est constitué de plusieurs cellules simples consécutives, dans lesquelles on diminue la pression (et la température) du premier (chaud) au dernier (le froid). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide.

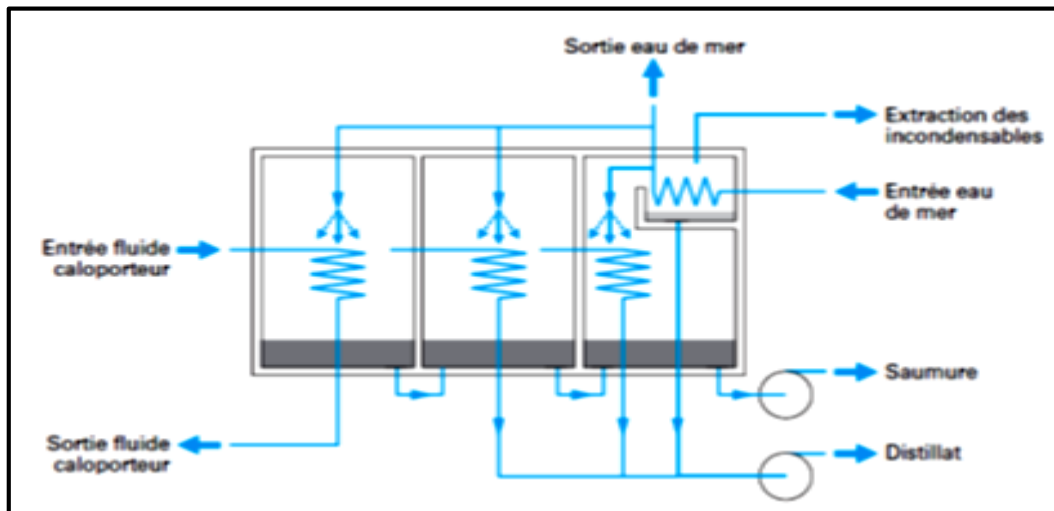


Figure II.05 : Le principe de la distillation à effet multiple (MED). [15]

✓ Distillation par longs tubes verticaux :

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

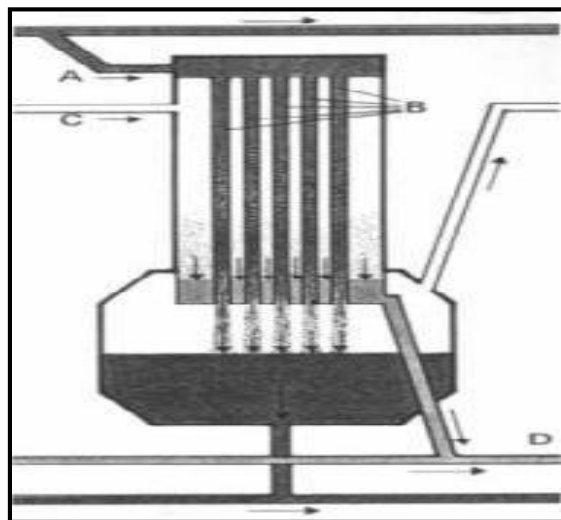


Figure II.06 : Distillation par longs tubes verticaux [16]

✓ Distillation par longs tubes horizontaux :

Appelés aussi HTME dans la littérature anglo-saxonne (Horizontal Tube multiple Effect) dont le développement industriel date seulement d'une vingtaine d'années, constitués essentiellement de faisceaux tubulaires horizontaux chauffés intérieurement par de la vapeur et arrosés extérieurement par l'eau de mer [6].

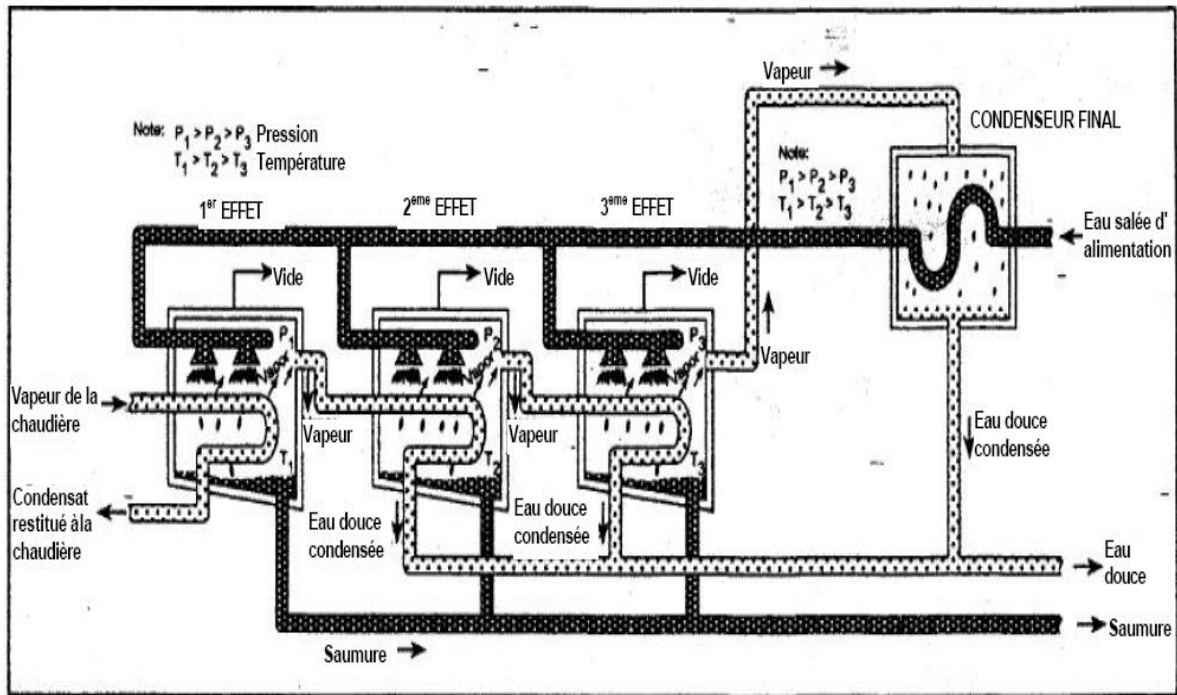


Figure II.07 : Schéma d'une usine multi-effets à tuyaux horizontaux. [6]

II.4.1.1.3 Distillation par déteintes successives ou multi flash (MSF) :

Le procédé Flash est relativement ancien, Ce procédé était développé à la suite des difficultés rencontrées dans la distillation à multiples effets par l'entartrage des surfaces d'échange d'ions. Il consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée de chauffage, elle est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite, il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash, cette vapeur va se condenser, le phénomène se reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression plus faible ; la vaporisation de l'eau est réalisée par déteintes successives de températures excessives jusqu'à T maximale et de pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle. [15]

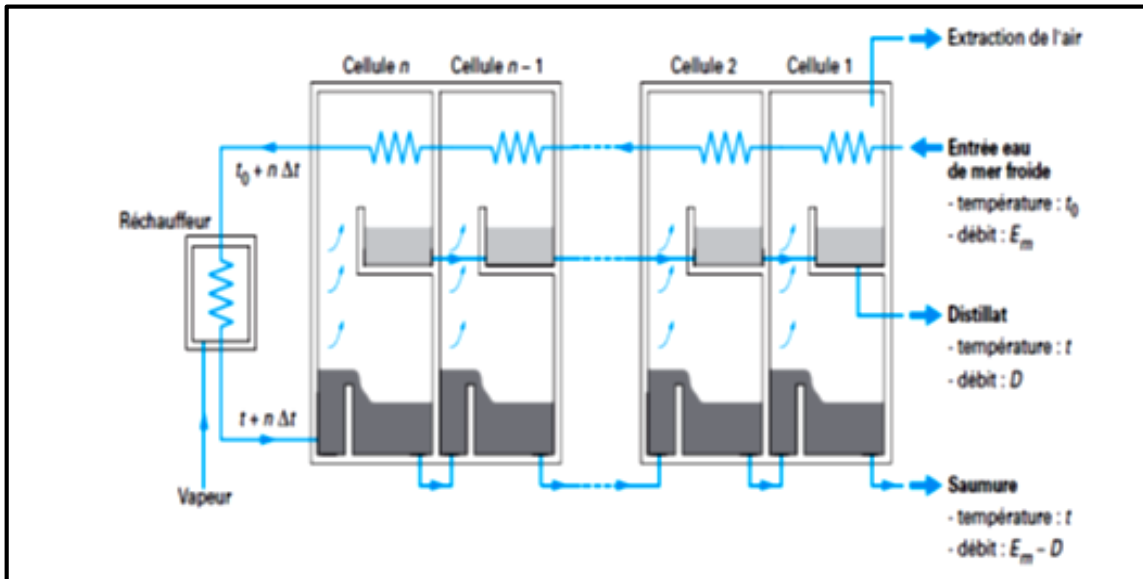


Figure II.08 : Distillation par détentes successives (MSF). [15]

II.4.1.1.4 Distillation par thermo compression :

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

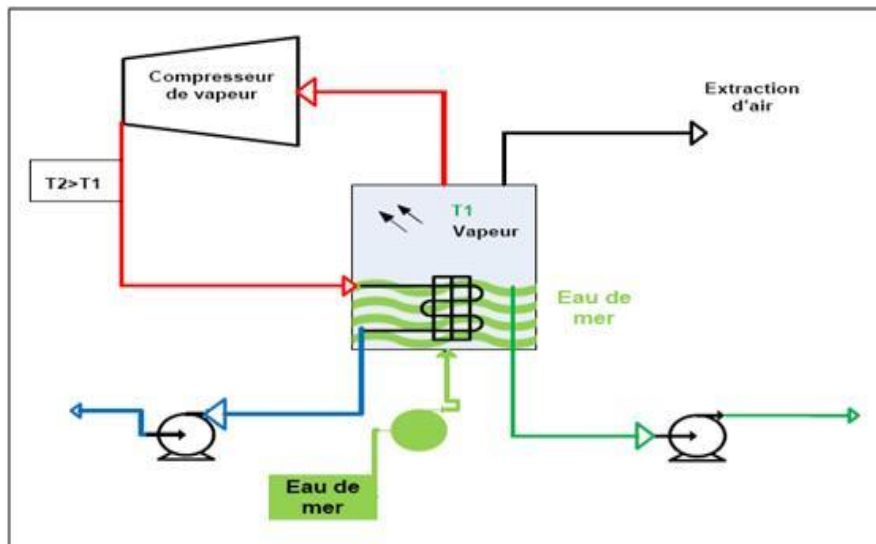


Figure II.09 : Schéma de la distillation par compression de vapeur. [18]

CHAPITRE II : les différents procédés de dessalement

II.4.1.1.5 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 [19].

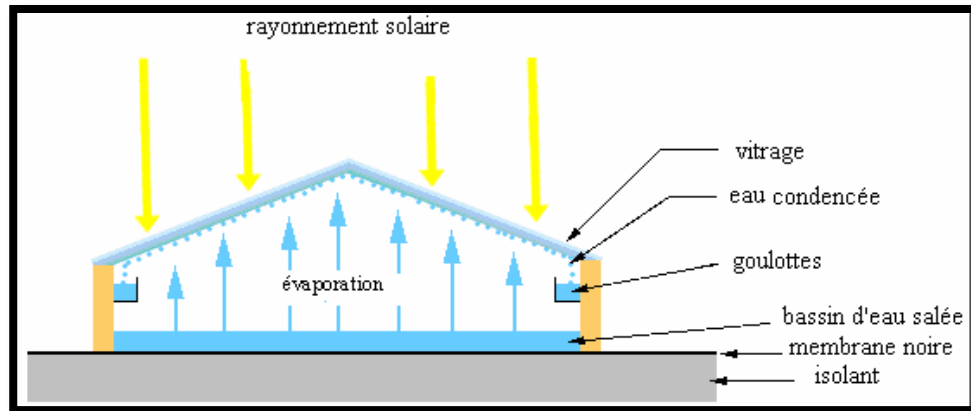


Figure I.10 : Distillateur solaire. [19]

II.4.1.2 La Congélation :

C'est un procédé physique par changement de phase qui ne nécessite pas l'utilisation de réactifs ou des produits additionnels. Le principe de base de la congélation comme procédé de traitement des eaux est basé sur le fait que, lorsque l'on congèle une solution aqueuse (eau de mer), les cristaux de glace formés sont constitués d'eau pure, le soluté ou polluant restant dans la phase liquide aqueuse.

II.4.2 Les procédés membranaires :

II.4.2.1 Électrodialyse [14] :

L'électrodialyse est un procédé électrochimique très ancien 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.

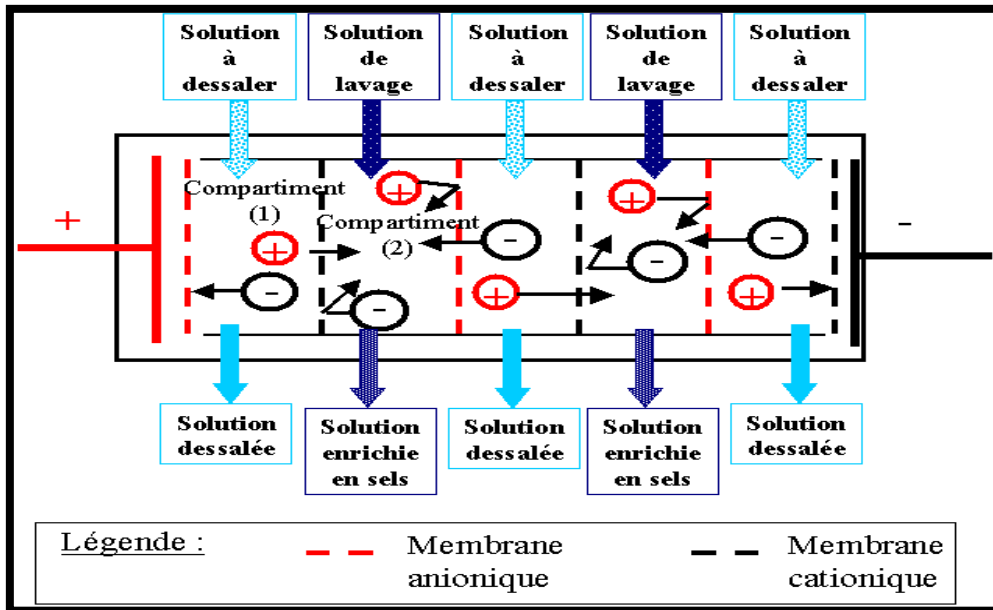


Figure II -11 : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse. [20]

II.4.2.2 Osmose inverse [OI] :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen des membranes semi-perméables sous l'action de la pression. Ce procédé fonctionne à la 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 celle électrique consommée principalement par les pompes à haute pression. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g/l.

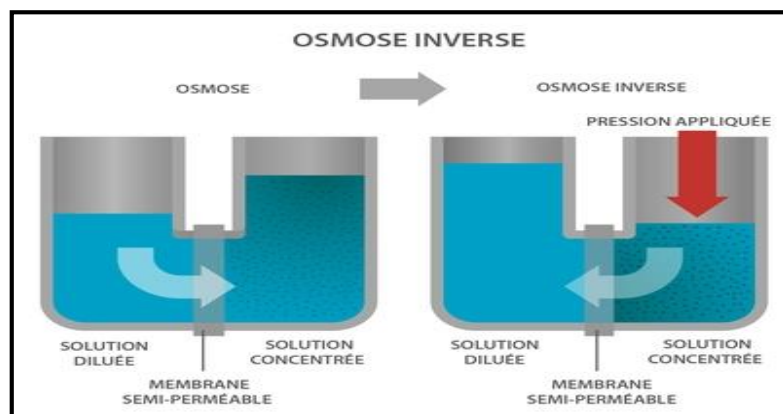


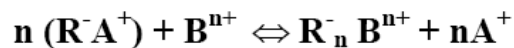
Figure II -12 Schéma du Procédé d'osmose inverse. [21]

II.4.3 Les procédés chimiques :

II.4.3.1 L'échange d'ions :

L'échange d'ions est un procédé utilisé dans le but de la déminéralisation ; il consiste à éliminer les sels ; par la mise en contact d'une solution saline avec une substance insoluble appelée : échangeur d'ions, c'est des résines dont la plupart utilisées de nos jours sont des matières synthétiques produites à partir d'un polymère : des chaînes de polystyrène reliées entre elles, se présentant sous forme de granulés de 0,3-0,6 mm ou sous forme de sphères irrégulières.

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



Selon le type de radicaux on distingue :

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

Pour obtenir une eau déminéralisée on effectue l'échange d'ions avec les deux types de résines, les ions H⁺ et OH⁻ donnent en se combinant de l'eau H₂O.

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

Les résines peuvent être colmatées par toute sorte d'impuretés, elles doivent être régénérées, le coût des réactifs chimiques de régénération et les résines changées périodiquement limitent le domaine d'utilisation du procédé bien qu'il ne consomme que peu d'énergie. [22]

II.5 Choix d'un procédé de dessalement :

Dans le choix d'un procédé de dessalement il faut prendre en compte ces deux facteurs :

- ✓ Technique.
- ✓ Economique.

II.5.1 Critères économiques :

- Coût de l'énergie : dépend de sa nature (énergie renouvelable, gaz, fuel), et de sa disponibilité locale (pays importateur, ou producteur.....).
- Coût des équipements ;
- Coût des produits chimiques : selon qu'ils sont disponibles localement, ou importantes.
- Coût de la main d'œuvre ;

II.5.2 Critères techniques :

✓ Qualité des eaux :

- Salinité de l'eau à traiter : en générale, les procédés de distillation permet de traiter des eaux de fortes concentration, et les procédés à membranes pour les eaux saumâtres.
- Composition chimique de l'eau à traiter (particulièrement dans le cas des eaux saumâtres, teneur en sulfate, en carbonates).
- Caractéristiques physiques de l'eau (turbidité, matières en suspension,.....).
- Salinité de l'eau produite : selon l'usage qui en sera fait, elle peut varier de 300 à 500 ppm pour l'approvisionnement en eau potable à 15-30 ppm pour l'alimentation en eau industrielle.
- La température de l'eau : une température basse de l'eau à l'entrée de l'installation peut selon le cas, avoir un effet favorable ou pas (pour la distillation elle occasionne un surcroît de dépense thermique pour le pré chauffage)

✓ Capacité de traitement :

- Capacité nécessaire.
- Les besoins d'eau actuels à couvrir et leur augmentation.

CHAPITRE II : les différents procédés de dessalement

- Le degré de rentabilité de l'installation.
- Qualification du personnel disponible.

II.6 Comparaison des procédés :

Tableau II.03. Comparaison des procédés de dessalement eau de mer. [22]

Procédé	Distillation à effet multiple	Distillation par compression mécanique de la vapeur	Distillation par thermocompression	Distillation par détente successive	Osmose inverse
Débit d'eau de mer/ Débit production	3 à 4	2 à 3 avec recyclage.	3 à 4	3 à 4 si recyclage saumure, sinon 7 à 9.	1,5 à 2,5 selon salinité.
Prétraitement :					
- chloration	Requise.	Requise (peut être supprimée si alimentation directe par forage).	Requise.	Requise.	Requise (peut être supprimée si alimentation directe par forage exempt de micro-organisme).
- filtration	Tamisage à 0,5 mm.	Tamisage à 0,5 mm.	Tamisage à 0,5 mm.	Tamisage à 0,5 mm.	Filtration fine ou mieux microfiltration sur membrane. Objectif : SDI < 5.
- antitartre	Injection d'un inhibiteur.	Injection d'un inhibiteur.	Injection d'un inhibiteur.	Injection d'un inhibiteur + acidification + dégazage du CO ₂ .	Injection d'un inhibiteur + acidification éventuelle.
- déchloration	Non requise.	Non requise.	Non requise.	Non requise.	Requise. Objectif : chlore < 0,1 mg/L.
Température de fonctionnement	60 à 70 °C	60 à 70 °C	60 à 70 °C	entre 80 et 120 °C	Température de l'eau de mer. Optimum : 25 °C.
Salinité eau produite	1 à 50 mg/L	1 à 50 mg/L	1 à 50 mg/L	50 à 100 mg/L	De l'ordre de 500 mg/L.
Énergie électrique (hors pompage de prise d'eau en mer et de reprise)	1 à 2 kWh/m ³	12 à 17 kWh/m ³ si 1 effet. 7 à 9 kWh/m ³ si 2 effets.	1 à 2 kWh/m ³	1 à 3 kWh/m ³	7 à 10 kWh/m ³ sans récupération d'énergie. 5 à 7 kWh/m ³ avec récupération d'énergie.
Énergie vapeur	Approximativement, le GOR (1) est presque égal au nombre d'effets. Dans le cas le plus répandu GOR = 4. Possibilité de monter jusqu'à GOR = 10.	Aucune.	8 < GOR < 16 selon le nombre d'effets.	6 < GOR < 12	Aucune.
Échelle de capacité	10 à 25 000 m ³ /j	< 5 000 m ³ /j	10 à 25 000 m ³ /j	> 25 000 m ³ /j	Technologie modulaire qui s'adapte à toutes les capacités.
Avantages	Coût de l'ordre de 15 à 20 % moins cher que la distillation à détente successive.	Pas de vapeur. Simplicité du fonctionnement.	S'adapte à des pressions absolues de vapeur de l'ordre de 1,5 à 45 bar.	Technique éprouvée ayant la faveur des autorités.	Énergie consommée diminue avec la salinité de l'eau brute.

II.7 Conclusion :

Le dessalement d'eau de mer est devenu ces dernières années une alternative éminente pour parer à la crise de l'eau potable dans le monde. Les améliorations faites ces dernières décennies ont fait des procédés de dessalement avec des techniques remarquablement fiables, dans la production d'une eau pure à des prix raisonnables.

À l'instar des procédés thermiques qui étaient la seule option perpétuelle pour dessaler l'eau de mer pendant plusieurs années, le procédé MSF et le procédé MED sont des technologies utilisées à une échelle commerciale et elles ont montré leur efficacité et leur compétitivité.

III.1 Introduction :

En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux. Le principe de la distillation est simple : il suffit de faire bouillir de l'eau salée et de condenser la vapeur ainsi produite. Il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce liquide. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau.

Il existe plusieurs manières d'améliorer cette technique. On peut d'une part, utiliser un évaporateur à plusieurs effets (par exemple deux cellules en série fonctionnant à des pressions différentes). D'autre part, on peut adjoindre à l'évaporateur un thermo-compresseur. Ce procédé est appelé la Thermocompression de vapeur (Ejecto-compression).

III.2 La distillation par Thermocompression de vapeur :

Les installations par Thermocompression sont des installations de dessalement d'eau de mer par distillation à effets multiples avec compression thermique de vapeur (MED-TVC). Cette technique est souvent appelée l'éjecto-compression de vapeur parce qu'il s'agit d'un éjecteur (thermo-compresseur).

Ce procédé consiste à comprimer une quantité de vapeur Q produite à une température T , afin qu'elle se condense à une température plus élevée $T + \Delta T$, libérant ainsi de l'énergie calorifique qui assurera l'évaporation de la même quantité de vapeur à la température T . La compression de cette vapeur s'effectue dans un éjecteur. Appelé thermo-compresseur. Utilisant une faible quantité Q_m de vapeur motrice à plus haute pression.

La chaleur libérée par cette condensation servira ensuite à évaporer une nouvelle quantité de vapeur à partir de l'eau salée. Théoriquement le cycle pourrait se poursuivre indéfiniment à condition que l'on fournisse l'énergie nécessaire à la compression de vapeur.

Le procédé de thermocompression utilise des éjecteurs dont la vapeur est fournie par une chaudière. Le rendement des consommations des éjecteurs est assez faible, ce qui conduit à des consommations de l'ordre de 100 kcal/kg d'eau distillée.

Chapitre III : Le procédé de dessalement par thermocompression de vapeur.

En physique on peut facilement montrer que pour transformer 1m^3 d'eau en vapeur, on a besoin de 560 Kcal environ et que pour condenser cette vapeur, il est nécessaire d'évacuer ces 560 Kcal avec un système de refroidissement. [23]

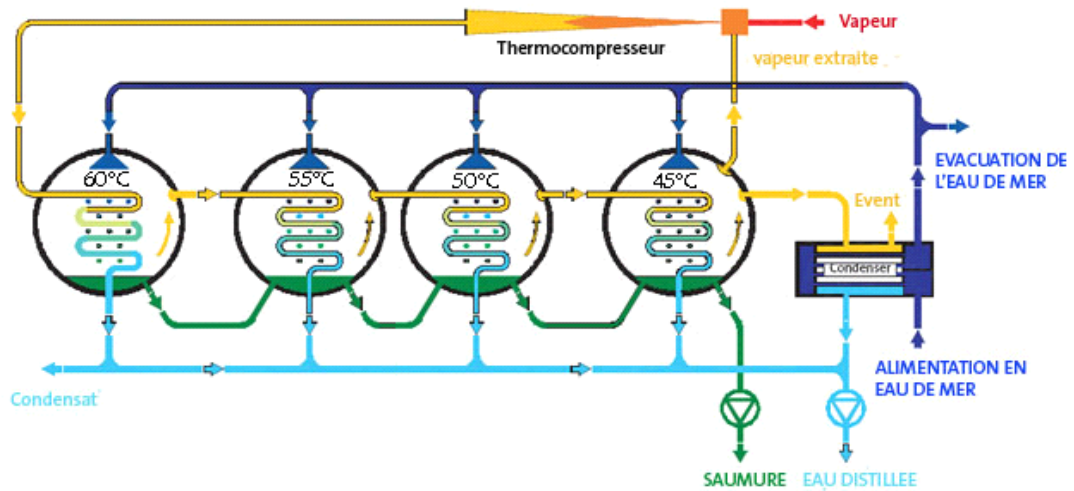


Figure. III.01 : Distillation par thermocompression de vapeur. [24]

III.3 Description de l'installation de Thermocompression de vapeur :

Cette installation comprend une série de cellules de distillation (effets), chaque cellule étant constituée de :

- d'une enceinte fermée comportant au moins un moyen permettant de faire couler de l'eau de mer en film mince sur un échangeur de chaleur chauffé par de la vapeur d'eau jusqu'à une température suffisante pour vaporiser une partie de l'eau de mer s'écoulant par gravité en film mince sur l'échangeur de chaleur,
- d'un moyen permettant d'amener la vapeur d'eau ainsi formée dans l'échangeur de chaleur de l'effet suivant,
- d'un moyen d'évacuation de l'eau distillée liquide formée par condensation de la vapeur d'eau dans l'échangeur de chaleur,
- d'un moyen d'aspiration des gaz incondensables (O_2 , N_2 , CO_2),
- d'un moyen d'évacuation de la saumure restant après évaporation d'une partie de l'eau de mer, chaque effet fonctionnant à une température et une pression inférieures à celles de l'effet précédent, et un moyen de compression de vapeur.[25]



Figure III.02 : Unité de dessalement SIDEM a thermocompression 200 m³/jour. [25]

III.4. Principe de fonctionnement d'une installation de thermocompression Cas pratique :

L'eau de mer est introduite dans le condenseur distillateur C chargé principalement de l'évacuation des calories apportées par la vapeur entrante. Puis, à la sortie du condenseur, une certaine quantité de cette eau de mer est rejetée. L'autre partie dénommée "eau de mer d'appoint" est alors pulvérisée dans les cellules N° 1, 2,3 et 4 au-dessus des faisceaux de chauffe F1, F2.F3 et F4.

Dans la cellule N° 1, une partie de cette eau est alors vaporisée. Le reste passe à la partie inférieure de la cellule N° 2. Cette quantité de vapeur produite dans la cellule N°1 passe alors dans les tubes de faisceau de chauffe F2 où elle est condensée. En se condensant dans le faisceau de chauffe F2, elle échange suffisamment de chaleur pour vaporiser une quantité équivalente de l'eau de mer pulvérisée dans la cellule 2. Cette vapeur produite en cellule 2 passe dans les faisceaux de chauffe de la cellule 3, selon le même principe, où il vaporise une nouvelle quantité de l'eau de mer pulvérisée dans la cellule 3 (et ainsi de suite jusqu'à la cellule 4).

Une partie de la vapeur produite en cellule 4 se condense sur le condenseur distillateur en échangeant une certaine quantité de chaleur réchauffant ainsi l'eau de mer passant dans ce condenseur.

La vapeur restante est aspirée et comprimée par un thermo compresseur utilisant comme vapeur motrice la vapeur entrante. A la sortie du thermo compresseur, la vapeur est envoyée dans le faisceau de chauffe de la cellule 1 où elle se condense, en échangeant suffisamment de chaleur pour vaporiser l'eau de mer comme nous l'avons indiqué précédemment.

Chapitre III : Le procédé de dessalement par thermocompression de vapeur.

Afin d'éviter une trop forte concentration en sel dans les cellules la quantité d'eau de mer d'appoint est supérieure à la production d'eau distillée, la quantité de saumure excédentaire est extraite à la base de la cellule N° 4. [26]

III.4.1 Schéma générale d'une installation de thermocompression :

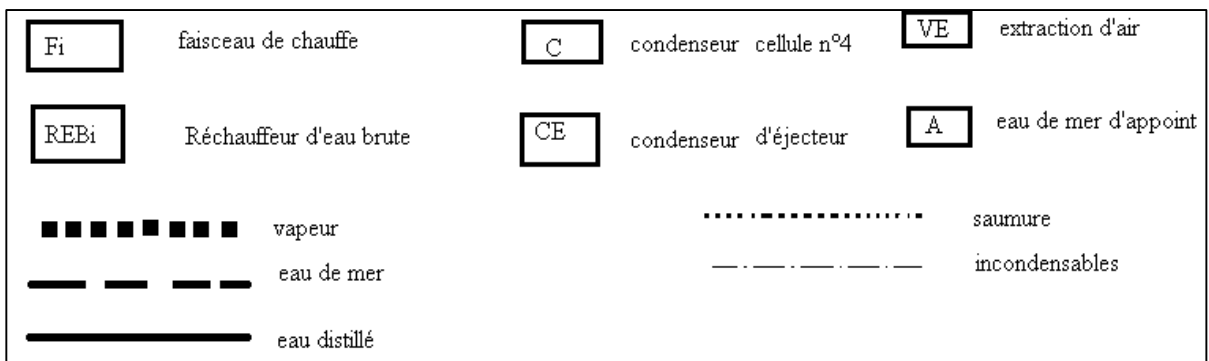
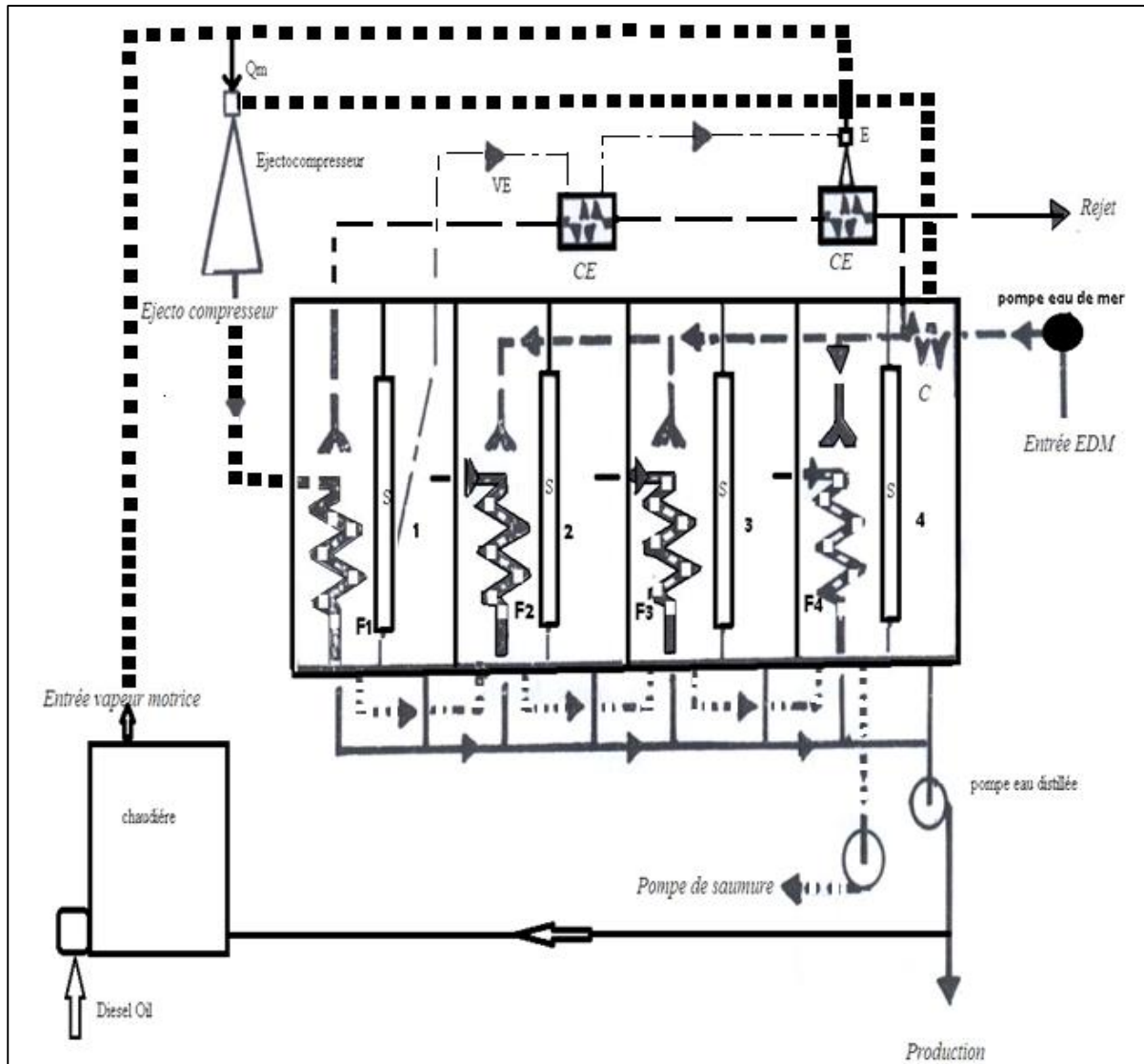


Figure .III.03: Schéma illustrant le principe du procédé. [26]

III.5 Les évaporateurs d'une installation de thermocompression :

Plus généralement, l'évaporateur est l'appareil, ou l'ensemble d'appareils, destiné à réaliser l'évaporation, c'est-à-dire le passage de tout ou partie d'un liquide à l'état de vapeur. L'évaporation peut se limiter à un simple changement de phase d'un liquide pur dont la composition ne change pas. Ce phénomène permet le transfert de chaleur d'un fluide à un autre et l'absorption d'énergie dans des conditions de température et de pression constantes pour le fluide vaporisé. C'est le cas des chaudières ou des vaporiseurs de gaz liquéfiés qui interviennent dans certains procédés et, en particulier, dans les pompes à chaleur à compression.

Il y a donc concentration du produit dissous dans la phase liquide. En fin d'opération, on récupère ce que l'on appelle le concentrât. L'enrichissement de la phase liquide peut dépasser la limite de saturation et l'apparition d'une phase solide cristallisée est la conséquence de l'évaporation.

À la limite, si l'on pousse l'évaporation jusqu'à la vaporisation complète du solvant, on réalise le séchage. [27]

III.5.1 Évaporateurs chauffés à la vapeur et à surface d'échange tubulaire :

a- Tubes horizontaux :

L'eau de mer s'écoule dans un sens gravitaire à l'aide d'un arroseur et la vapeur chaude traverse horizontalement les faisceaux de chauffe où l'échange thermique aura lieu les (figures III.4 et III.5) explique le mode de fonctionnement de ces évaporateurs.

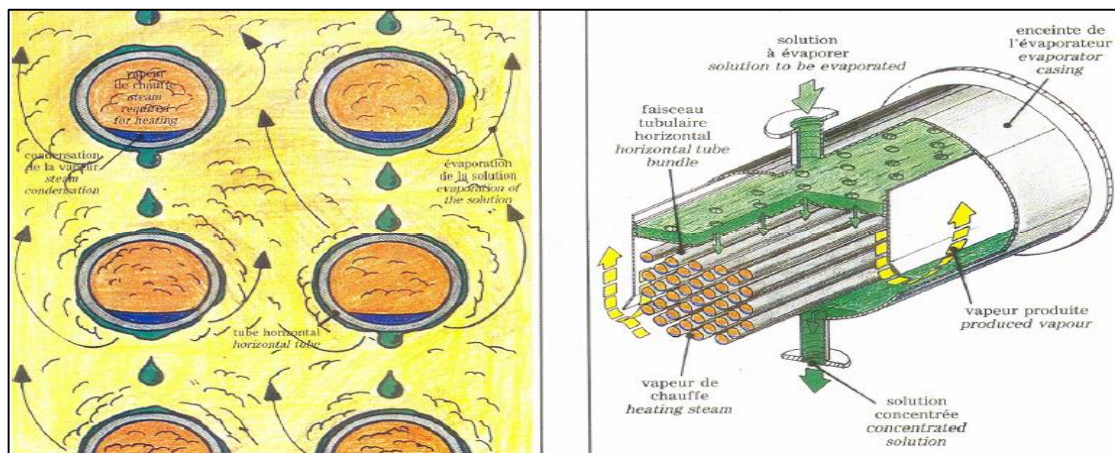


Figure .III.04 : Le principe de fonctionnement d'un évaporateur à tubes horizontaux.

[28]

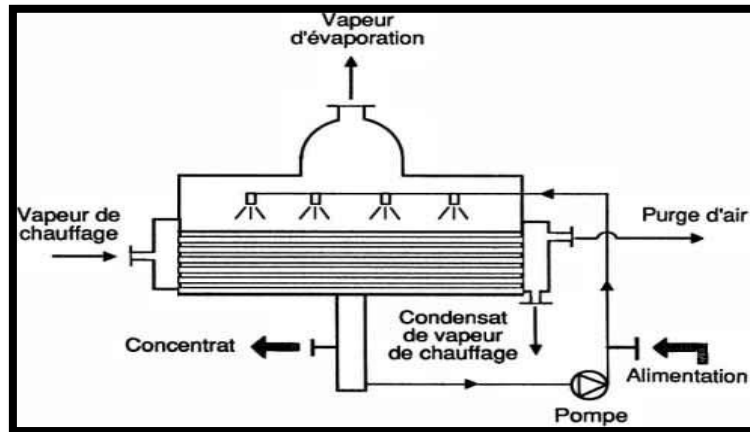


Figure. III.05 : Schéma d'un évaporateur à tubes horizontaux arrosés.[28]

b- Tubes verticaux :

L'eau de mer est amenée à la partie supérieure du faisceau et s'écoule en film sur la paroi interne des tubes (film descendant), et la vapeur circule dans un sens vertical à l'intérieur des faisceaux.

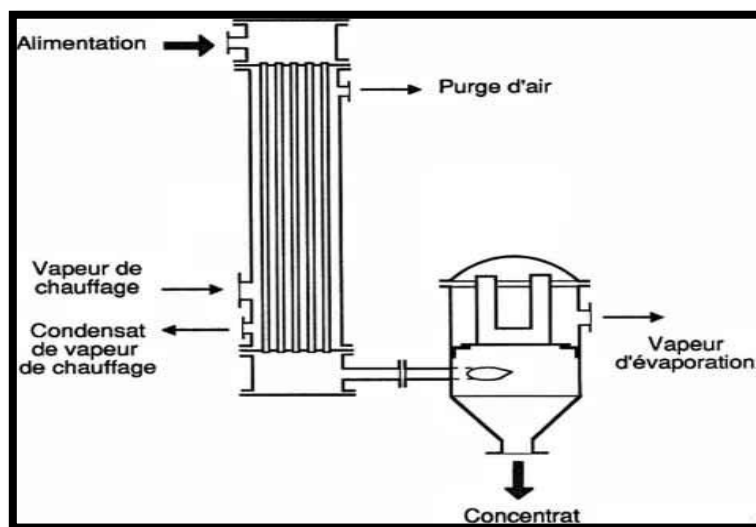


Figure. III.06 : Évaporateur à tubes verticaux arrosés. [28]

III.5.2 Évaporateurs à plaques :

Ces appareils diffèrent de l'évaporateur tubulaire par le fait que la surface d'échange est constituée d'un assemblage de plaques jointées, empilées et maintenues par un bâti constitué d'une tête fixe, d'une tête mobile et d'une barre support.

L'évaporateur à plaques présente l'avantage d'un volume de rétention de liquide très faible et d'un encombrement réduit. Il peut convenir à la plupart des utilisations, sauf la

cristallisation pour laquelle il est inadapté. [28]

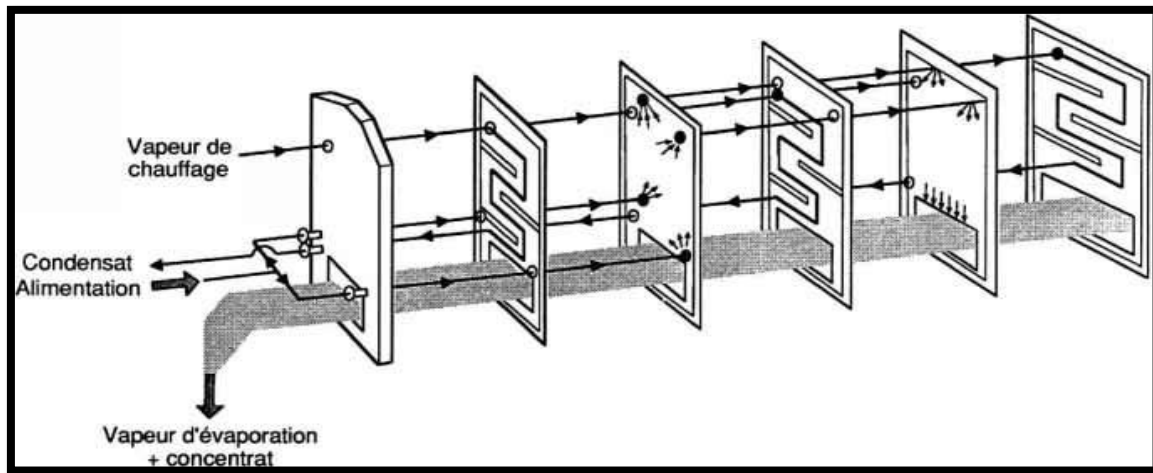


Figure III.07 : Évaporateur à plaques. [28]

Remarque : dans notre cas la station de dessalement est muni d'un ensemble des évaporateurs a tubes horizontaux arrosés. L'évaporateur proprement dit se présente sous la forme d'un bloc parallélépipédique partagé en 4 cellules d'évaporation, monté sur un châssis en poutrelles d'acier.

III.6 L'éjecto-compresseur :

Un éjecto-compresseur, également appelé thermo-compresseur ou compresseur à jet de vapeur permet de récupérer la chaleur fatale contenue dans les vapeurs (buées) d'un procédé. C'est un système simple composé d'une buse, d'une chambre de mélange et d'un diffuseur. La vapeur basse pression issue du procédé y est comprimée à une pression intermédiaire par l'utilisation de l'énergie contenue dans la vapeur d'eau issue de la chaudière qui est à une pression plus élevée. La vapeur motrice traverse la buse d'injection où son énergie de pression est convertie en énergie cinétique (vitesse). Ce jet entraîne les buées qui sont aspirées, mélangées à la vapeur vive et accélérées dans le cône de mélange. Cette énergie cinétique est restituée sous forme de pression par ralentissement dans le diffuseur final. La vapeur recomprimée est ensuite condensée pour alimenter un procédé interne ou externe en chaleur.

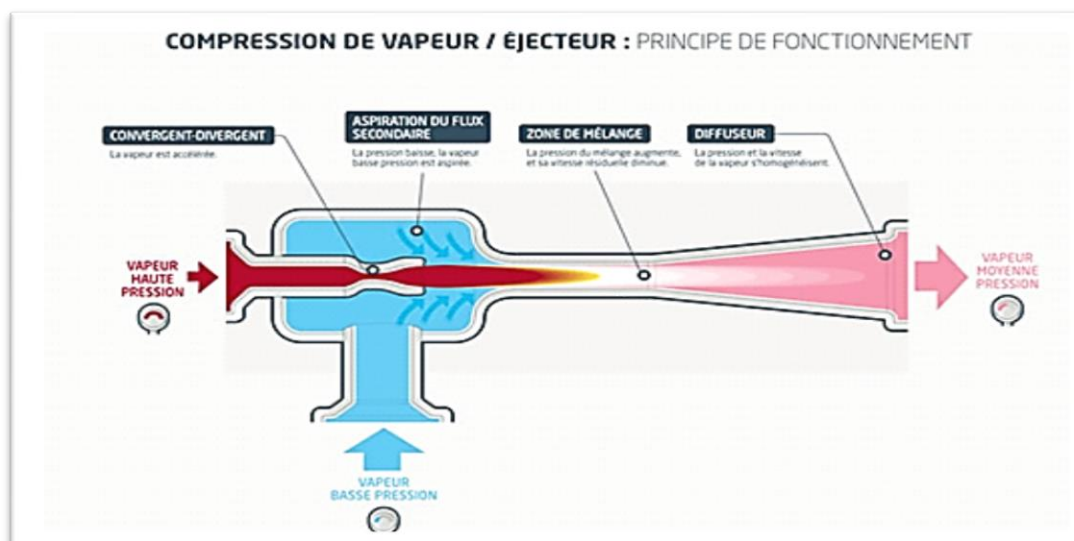


Figure III.08 : Principe de fonctionnement de l'éjecteur. [29]

Il y'a deux applications de thermo compresseur principales :

- Thermo compresseurs à recyclage.
- Thermo compresseurs à suppresseur.

III.7 La composition d'une cellule unitaire d'un poste à éjecto-compresseur :

En générale chaque cellule d'éjecto-compresseur contient les éléments suivant :

- Un faisceau de chauffe.
- Un séparateur ou matelas de séparation.
- Un arroseur d'eau de mer.

L'eau de mer arrive à la cellule à partir d'une conduite d'amenée. Puis elle tombe sur les faisceaux de chauffe sous forme de gouttelettes d'eau très fines pour faciliter l'évaporation, au moment où les gouttelettes d'eau tombent un certain débit de vapeur à une pression P et une température T traverse le faisceau de chauffe.

Au contact de la vapeur chaude avec les gouttelettes d'eau de mer relativement froide, la vapeur à l'intérieur du faisceau se condense pour donner une quantité Q de l'eau distillé et se produit aussi une même quantité Q de vapeur due à l'évaporation des gouttelettes d'eau de mer.

Cette vapeur produite dans la 1^{ère} cellule traverse le séparateur pour arriver dans le faisceau de la 2^{ème} cellule ou il se produira le même phénomène.

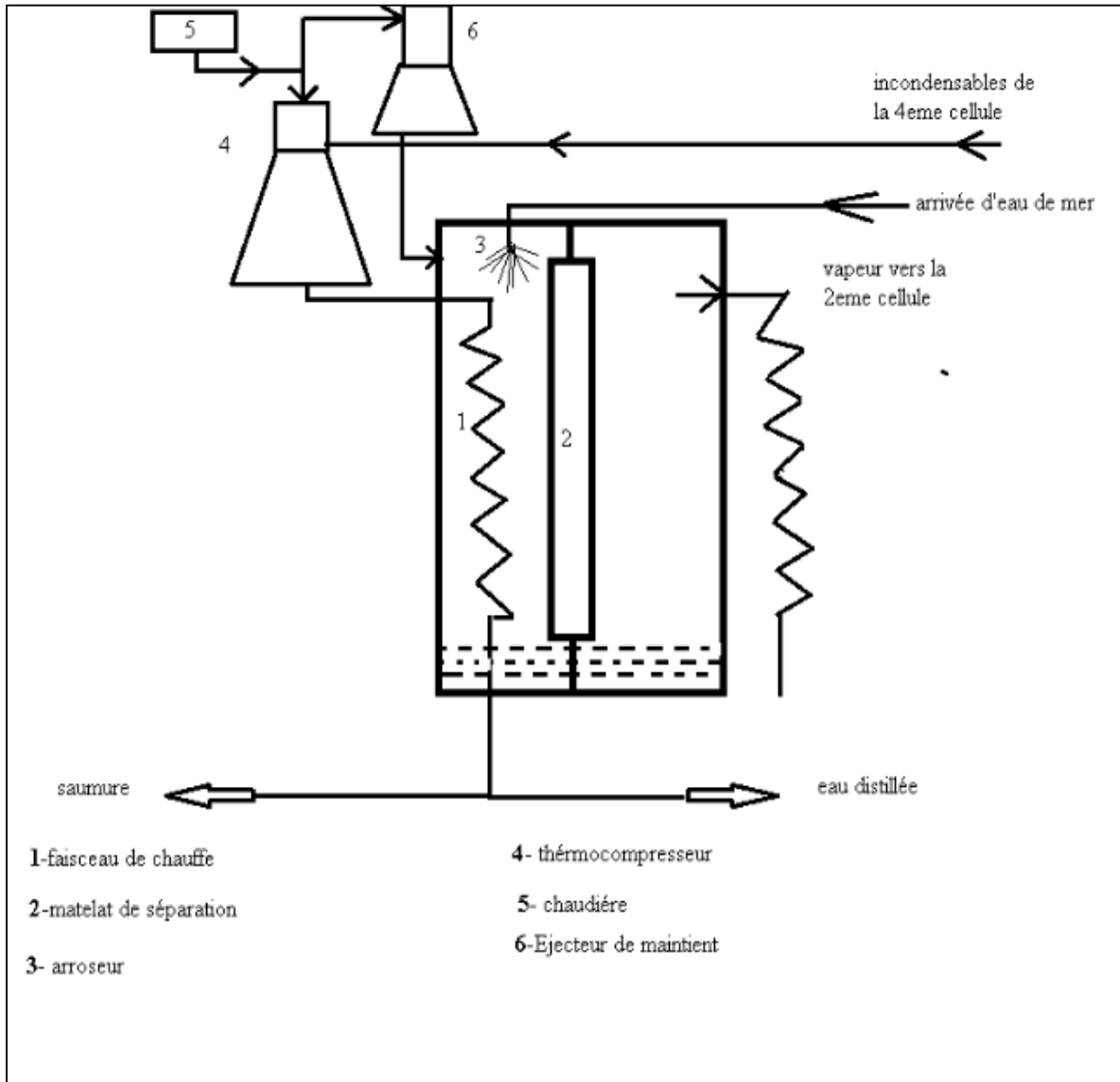


Figure III.09 : Schéma d'une cellule unitaire d'un poste à éjecto-compression. [23].

III.8 Les caractéristiques principales d'une installation de thermocompression :

III.8.1 Le nombre d'effets :

Le nombre d'effets dépend de :

- de la température de tête choisie T_{max} (Top Brine Temperature) pour le 1er effet ;
- de la température de l'eau de mer T_0 ;
- de l'écart de température Dt adopté pour le chauffage de chaque évaporateur.

Avec : $55\text{ °C} \leq T_{max} \leq 110\text{ °C}$ (III.1)

Chapitre III : Le procédé de dessalement par thermocompression de vapeur.

$$15\text{ °C} \leq T_0 \leq 35\text{ °C} \dots\dots\dots(\text{III.2})$$

$$3\text{ °C} \leq \Delta t \leq 10\text{ °C} \dots\dots\dots (\text{III.3})$$

Δt = différence entre la température de l'eau de mer entrant dans l'évaporateur et la température d'ébullition dans l'évaporateur.

Le choix du nombre d'effets doit faire l'objet d'une optimisation économique :

- le coût des investissements augmente avec le nombre d'effets ;
- le coût de l'énergie diminue avec le nombre d'effets.

Avec : Investissement d'un effet : $I_{sp} = 0,75\text{ K} \times n \dots\dots\dots(\text{III.4})$

Le cout d'énergie : $Q = L / (0,9 \times n) \dots\dots\dots(\text{III.5})$

k = débit d'eau de mer (appoint)/débit d'eau douce produite

• En pratique, la plupart des unités de dessalement multiples effets ont un nombre d'effets en général égal 4 et au maximum 12. [30]

Tableau.III.01 : Caractéristiques du nombre d'effets. [30]

Nombre d'effets	k (*)	Δt (°C) (**)	Energie consommée kcal/kg	Ratio
4	3,5	7	164	3,5
8	3,5	3,5	82	7
12	3,5	2,5	55	10

Remarque : Dans notre cas pratique les dessaleurs ont 4 effets.

III.8.2 La quantité d'énergie consommée par ce procédé :

Le rendement thermique peut être aussi caractérisé par la quantité d'énergie calorifique Q nécessaire pour produire 1 kg d'eau douce

$$Q = L / R \dots\dots\dots (\text{III.6})$$

L : chaleur latente de vaporisation.

R : Ration = tonnes d'eau/ tonnes de vapeur. [8]

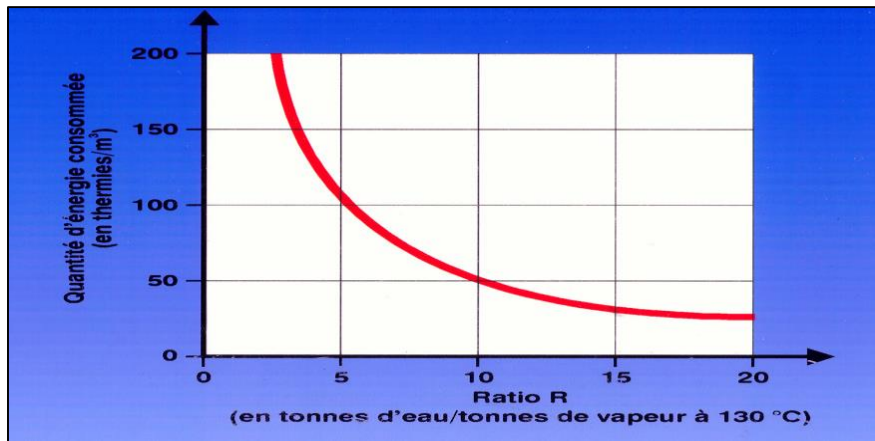


Figure III.10 : Quantité d'énergie consommée en fonction du ratio. [30]

III.8.3 Le bilan massique de l'installation :

Le bilan massique simplifié est le suivant : 2 kg de vapeur sortant de l'éjecteur sont introduits dans le premier effet ; aux pertes près, ils produisent 2 kg de vapeur et 2 kg d'eau douce et ainsi de suite jusqu'au quatrième effet. À ce niveau, on récupère 1 kg de vapeur pour la re-compression, le kilogramme restant est condensé. On en déduit :

— une production totale d'eau douce de :

$$2 \text{ kg} \times \text{nombre d'effets} + 1 \text{ kg au condenseur} = 9 \text{ kg}$$

— une consommation de vapeur motrice de 1 kg ;

— une production nette d'eau douce de :

$$9 - 1 = 8 \text{ kg/kg de vapeur consommée.}$$

On remarque les avantages de la thermocompression :

— une installation à multiple effet sans thermocompression produit deux fois moins d'eau à consommation de vapeur égale ;

— la pression de la vapeur motrice peut être choisie sur une large échelle allant de 1,5 à 45 bar ;

— une unité à détentes successives aurait 16 à 18 étages pour obtenir le même rendement.

Ces avantages expliquent le succès de cette technique. Bien entendu, ce schéma simplifié de la production ne tient pas compte de toutes les pertes, notamment dans les séparateurs. Ces séparateurs sont disposés pour empêcher l'entraînement des gouttelettes d'eau salée par la vapeur produite, et leur capacité de filtration d'eau salée par la vapeur produite, et leur capacité de filtration permet d'obtenir une eau d'une très grande pureté.

Suite tableau. III.03 : Quelques installations fonctionnant par le procédé MED-TVC dans le monde. [32]

Arabie Saoudite	4	2 x 2500	Bina2
Italie	12	4 x 9000	Sicilacque
Lybie	6	3 x 13300	industriel
UAE (Abu-Dhabi)	6	2 x 16500	Eau potable
Algerie	4	5760	Industriel (Sonatrach)
Huang hua, China	2	2 x 10000	Industriel



Figure III.12 : Unités de 4 effets + éjecto-compression (2 x 5.000 m³/j) mises en service à Tripoli (Libye) en 1999 par SIDEM. [31]

III.10 Les avantages et les inconvénients de la thermocompression :

III.10.1 Les avantages :

- Technologies établies avec de nombreuses installations fonctionnant avec succès et prouvées.
- Nécessite un prétraitement minimal par rapport au procédé OI.
- Simple à installer et à utiliser.
- Solide et fiable
- Une faible consommation de l'énergie électrique (1.5 kWh/m³) par rapport à d'autres procédés : MSF et OI.
- la pression de la vapeur motrice peut être choisie sur une large échelle allant de 1,5 à 45 bars.
- Fonctionne à une faible température (<70°) et à une faible concentration (<1.5) pour éviter la corrosion.
- S'adapte bien aux variations des conditions et des paramètres d'eau de mer.

Chapitre III : Le procédé de dessalement par thermocompression de vapeur.

- L'entretien est facile.
- Fonctionnement 24/24h avec minimum de contrôle.
- Consomme beaucoup moins de vapeur en fonctionnement normal.
- Possibilité de réaliser des éjecto-compresseurs de toute taille, en tous matériaux.
- Investissement faible.
- faible cout d'exploitation.

III.10.2 Les inconvénients :

- Nécessite quasiment la même énergie pour le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre, ce qui en fait un choix peu économique pour le dessalement de l'eau saumâtre.
- l'instabilité de la demande en électricité.
- Les unités de petite capacité sont chères par rapport aux installations OI.
- Les besoins en produits chimiques pour la reminéralisations sont élevés comparé au procédé OI.
- La forte probabilité d'entartrage due à la récupération élevée et la faible injection d'acide conduit à un encrassement important.
- Rendement énergétique peu élevé (~ 15 %).
- Les grandes centrales thermiques doivent répondre en particulier à une demande électrique qui varie en fonction des saisons alors que la demande en eau reste à peu près constante sur l'année.
- Le compresseur nécessite une maintenance intensive et des techniciens qualifiés.

III.11 Conclusion :

Dans ce chapitre on a détaillé le procédé de thermocompression de vapeur car, actuellement c'est le procédé le plus utilisé dans le domaine industriel (petites installations). C'est aussi la technique retenue par la compagnie algérienne SONATRACH pour garantir ces besoins industriels, prenant l'exemple de la station de dessalement de l'usine GNL de la willaya de Skikda, qui fait l'objet de notre étude.

IV.1 Introduction :

SONATRACH est la compagnie algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent.

La zone industrielle de Skikda a été créée par décret 84/35 du 3 Mars 1984 relatif à l'administration des zones industrielles. Elle est située à l'Est de la Ville de Skikda à environ 4 km et s'étend sur surface totale de 1200 hectares, regroupant des unités industrielles dans le domaine des hydrocarbures (transport, raffinage, énergie et transformation).

Dans le cadre de l'objectif stratégique de valorisation des ressources en gaz naturel principalement du gisement de HASSI R'MEL, des usines de GNL (Gaz Naturel liquéfié) ont été construites dans le nord du pays, dont le but principal est l'exportation du GNL vers l'Europe et les USA par Méthaniers.

Parmi ces usines, nous citons le complexe de GNL de SKIKDA (GNL/1K) dont le chantier a débuté en mars 1969 et la production en Novembre 1972. Sa capacité annuelle de production est de 6.7 millions m³ de GNL et une capacité de stockage de 196 000 m³ de GNL. Il emploie 1200 travailleurs permanents. Suite à l'incident en date du 19 / 01 / 2004 la capacité de production du complexe a été réduite de 40 % [33]

Nous nous sommes intéressés principalement à l'unité de dessalement d'eau de mer qui a pour rôle de produire de l'eau distillée nécessaire à l'alimentation des chaudières, et à l'approvisionnement de raffinerie de Skikda. Cette unité de dessalement est installée depuis 1994 par la société française SIDEM.

IV.2 Présentation du complexe GNL de Skikda (GNL/1K) :

Le complexe se caractérise par :

- Superficie : 74,8 ha
- Date de mise en service : 1973
- Activité : liquéfaction du gaz naturel.

- Composition du complexe :
 - Trois (03) trains de liquéfaction de GNL.
 - Une unité GPL pour le traitement et le stockage du propane et butane.
 - Un parc de stockage et des installations d'enlèvements conséquents.
 - Une unité centrale pour la production des utilités :
 - Vapeur.
 - Air instrument et Service.
 - Azote.
 - Eau déminéralisée et distillée. (C'est l'objet de notre étude).

IV.2.1 Localisation du complexe :

La zone industrielle de Skikda se situe à 3 Km à l'est de la ville de Skikda (voir annexe N°1), l'usine GNL/1K se situe à l'intérieur de la plateforme pétrochimique dans sa partie Nord-Ouest.

Ses principales limites sont :

- Au Nord : le port industriel de Skikda.
- Au Sud : le complexe SOMIK.
- A l'Ouest : l'usine Sonelgaz.
- A l'Est : Le complexe CP1K (complexe pétrochimique n°1 Skikda).



Figure IV.01. : Situation du complexe GL/1K dans la zone industrielle de Skikda. [33]



Figure. IV.02 : Vue panoramique du complexe GNL/1K. [33]

IV.3 Localisation de la station de dessalement du complexe :

L'usine de dessalement est appelée « l'unité 50 » de production d'eau déminéralisé, elle est située au Nord du complexe à proximité du port d'exportation des hydrocarbures.

Elle s'étend sur une superficie de 120 km², et présente une longueur de 600 m et une largeur variant de 200 M. Dont la localisation dans la wilaya est représenté dans la figure :

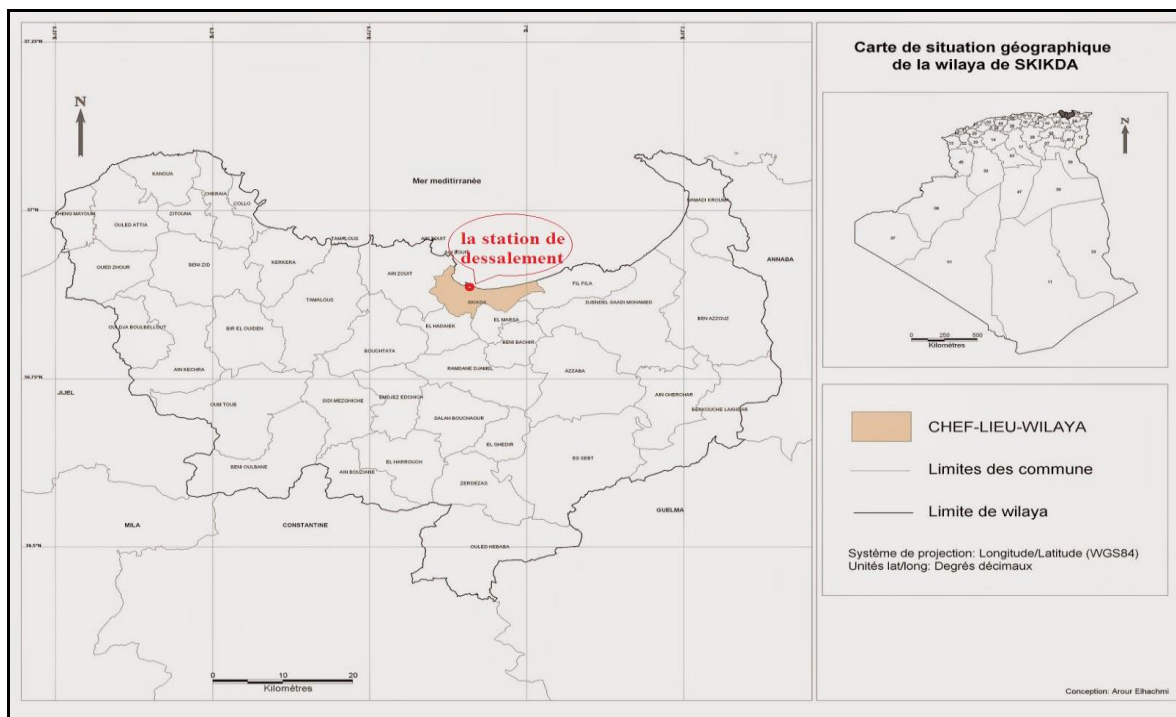


Figure. IV.03 : Carte de situation géographique de la station dans la wilaya de Skikda.

[43]

IV.4 L'importance du dessalement dans le complexe :

L'usine GNL/1k a engagée de mettre des unités de dessalement d'eau de mer au sein du complexe pour les besoins permanente de l'eau dessalée-déminéralisé qui consiste à mettre la performance des différentes unités de production (eau de réfrigération + eau d'alimentation des chaudières etc...) et les utilités pour les diverses consommations.

IV.4.1 Eau d'alimentation des chaudières :

L'eau d'alimentation des chaudières est utilisée pour produire de la vapeur. Dans le cas du GNL/1K, la vapeur produite doit être d'une spécification particulière. Elle est surchauffée à 480°C à une pression de 60 bars. A l'origine l'eau conçue pour la transformation doit être ultra pure.

Les chaudières sont constituées en quasi totalités de matériaux métalliques et de ce fait, les problèmes causés par les impuretés présentes dans l'eau :

- Dépôt de tartre.
- Corrosion
- Primage (formation de gouttes)
- Entraînement de matière dans la phase vapeur (minéraux)

Tableau IV. 01 : Caractéristique de l'eau de chaudières. [26]

Désignation	Valeur (tolérance)
PH	9,7 à 10,2
Po ₄	5 à 15 ppm
N ₂ H ₄	0,01 à 0,03 ppm
Chlorure (Cl ⁻)	8 ppm max
Silices (SiO ₂ ⁻)	10 ppm max
TA et TAC	TA<TAC/2

IV.4.2 L'eau de refroidissement :

L'eau de mer de refroidissement est utilisée en circuit ouvert dont :

- 1- Du fluide frigorigène à la sortie des groupes turbocompresseur.

- 2- Dans les batteries à eau de mer pour le refroidissement de la vapeur produite par les évaporateurs (SIDEM) pour la production d'eau distillée.
- 3- De la vapeur récupéré des turbines pour qu'elle soit reprise comme eau déminéralisée par les chaudières.

Tableau IV. 02 : caractéristique de l'eau de refroidissement. [26]

Désignation	Tolérance
Ph	8,7 à 9,7
Fer (Fe)	Max 0,05 ppm
Chlorures (Cl ⁻)	0,01 à 0,03 ppm
Cuivre (Cu)	Max 0,5 g/l
NO ₂ ⁻	Max 1 g/l
Désignation	Tolérance

IV.5 Le mode de fonctionnement et la capacité de la station :

Le mode de fonctionnement de la station de dessalement est la distillation en utilisant le multi effet + compression de vapeur (MED-TVC) appelée aussi la thermocompression de vapeur ou l'éjecto-compression suivit par un post traitement "déminéralisation" sur lit mélangé. Elle est composée de six (6) unités de type 4T (4 signifiant quadruple effet) dont 2 unité ont une capacité unitaire de 1248 m³/jour et 4 autre unité d'une capacité unitaire de 1440 m³/jour chacune, dont la production est étalée sur une période de 24 h/jour.

En réalité les deux petites unités de dessalement dont la capacité est de 1248 m³/jour ne fonctionnent pas depuis l'année 2000 à cause de l'ancienneté du model ainsi que les pièces de réparation qui ne sont pas disponibles dans le marché. Donc actuellement la station fonctionne uniquement par les quatre grandes unités dont la capacité unitaire est de 1440 m³/jour (60 m³/heure).

Tableau IV.03 : Capacité de la station.

Unité de dessalement	Débit (m ³ /jour)	% du débit nominal
A	1440	25
B	1440	25
C	1440	25

Suite tableau IV.03 : Capacité de la station.

Unité de dessalement	Débit (m3/jour)	% du débit nominal
D	1440	25
Totale	5760	100%

IV.6 Installation et processus :

Les différentes installations dans la station de dessalement du complexe GNL Skikda sont :

1. une prise d'eau de mer ;
2. un poste de prétraitement ;
3. l'unité de dessalement par thermocompression appelée « SIDEM » ;
4. une unité de production de vapeur « chaudière »
5. un poste de déminéralisation ;
6. les réservoirs de stockage ;
7. un laboratoire d'analyse ;
8. une salle de contrôle ;



Figure IV.04 : Les étapes de dessalement.

Généralement la station est composée de (voir annexe N°1) :

- Une prise d'eau de mer.
- Une bache de réception d'eau de mer de dimensions 6m×5m et de 8m de profondeur munis de 4 grilles fixes. Dans ce bassin s'effectue la préchloration par l'injection du NaClO.

- Une section de pompage d'eau de mer composée de : deux batardeaux de mer, 4 filtres rotatifs (1,6*1,6 mm), d'un bassin de pompage 4m×5m et 3 pompes d'eau de mer d'une capacité chacune 3000m³/h.
- une deuxième filtration composée de 4 filtres de (0,5*0,5 mm), chaque filtre est attribué à une unité de dessalement.
- 4 unités de dessalement (des évaporateurs) dont la capacité unitaire de chacune est de 60 m³/h.
- Une unité de déminéralisation type « lit mélangé ».
- Annexes :
 - Une section de NaClO.
 - Une section d'antitartre.
 - Une section d'antimousse.
 - Les réservoirs de stockage (eau distillée+ eau déminéralisée)

IV.7 Description détaillée de la station :

IV.7.1 La prise d'eau :

Dans notre cas, la prise d'eau faite en pleine mer à environ 100 m se fait par une ouverture en béton sous forme d'un canal rectangulaire à ciel ouvert proche du port industriel de Skikda avec une profondeur de 8m et une largeur de 10 m muni d'un ensemble des grilles grossières. Le captage est effectué en zone profonde, protégé des pollutions et des forts courants et il n'est pas influencé par les rejets. La pression d'entrée est liée au courant d'eau et La vitesse d'entrée est limitée à 0,1 m/s.

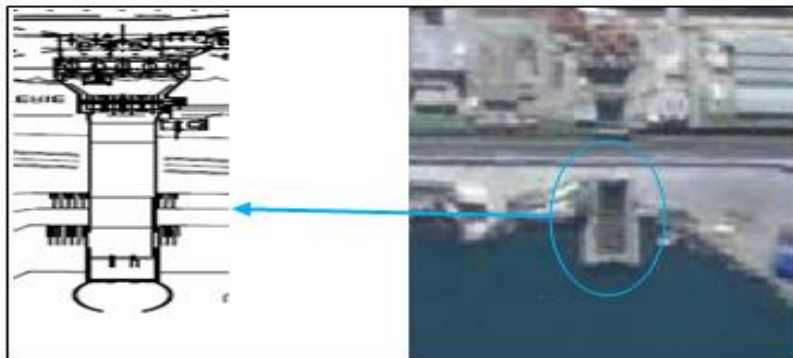


Figure IV.05 : La prise d'eau de mer de la station. [17]

IV.7.2 Le prétraitement :

L'eau de mer destinée au dessaleur (unité 50) du complexe GNL subit un traitement physico-chimique avant d'arriver au dessaleur. Ces prétraitements ont pour but de prévenir le dysfonctionnement ou la diminution des performances des installations de traitement aval (unité de dessalement) à cause de la présence de matières en suspension et le développement d'algues.

IV.7.2.1 Le dégrillage :

✓ Les grilles grossières :

L'eau de mer brute est collectée dans une bache d'arrivée (25m×15m×8m) munie d'un ensemble de grilles grossières afin de retenir les gros déchets et les poissons.

L'eau passe par un système de grilles fixes verticales inox de 8m de profondeur et 1.5 m de largeur, muni d'un racleur afin d'éliminer les déchets volumineux qui sont envoyés dans une benne à ordures.

Tableau IV.04 : Caractéristiques des grilles grossières. [23]

Type de grille	Le nombre de grilles	Les barreaux	Matière	nettoyage	Dimensions
fixe	4	5 cm*5cm	inox	automatique	1.5 m × 8 m



Figure IV.06 : Grille grossière. [Propre Photo]

✓ Les grilles fines :

Afin de protéger les filtres fins contre le colmatage des grilles fins sont installées (71Y 01 A/B/C/D) d'espacement entre barreaux de 5mm et 8m de profondeur et 2m de largeur. Ces filtres verticaux sont munis d'un racleur automatique qui déclenche le mouvement pour une perte de charge à travers les grilles de 0.15 mm.

Tableau IV.05 : Caractéristiques des grilles fines. [23]

Type de grille	Le nombre de grilles	barreaux	Matière	nettoyage	Dimensions
fixe	4	5 mm *5mm	inox	automatique	2 m × 8 m



Figures IV.07 : Les grilles fines. [Propre Photo]

IV.7.2.2 La pré-chloration :

L'eau de mer est ensuite acheminée vers un bassin de chloration où il va subir un traitement qui consiste à l'injection de l'hypochlorite de sodium (eau de javel) NaClO pour ralentir le développement des organismes vivant (microorganismes, moules, algues...) dans l'eau de mer.

L'injection s'effectue selon le processus suivant :

- En continu avec 2mg/l de NaClO .
- Ou une injection de « choc » avec 5mg/l de NaClO .

Cela se fait pendant 20 minutes, Six fois par jour.

IV.7.2.3 La filtration :

Après la chloration cette eau de mer est préfiltrée dans des filtres fins «1,6 ×1,6 mm » sur un système de filtre (tamis) rotatif, dont le nombre de filtres est 5 avec 35 panneaux de filtration. Ces filtres sont munis d'indicateurs de colmatage qui indiquent la différence de pression Amont/Aval et d'un clapet de by-pass qui s'ouvre automatiquement pour une perte de charge supérieure ou égale à 0,35m.

Chaque filtres se compose de :

- Une chaîne fine.
- Une rampe de nettoyage à l'eau de mer (le nettoyage se fait à contrecourant)
- Une partie filtrante en acier inoxydable qui forme les panneaux filtrants attachés l'un à l'autre par des joints en caoutchouc.
- Un tambour entraîné par un moteur électrique.

✓ Le fonctionnement :

L'eau brute traverse les panneaux filtrants de l'extérieur vers l'intérieur. Les panneaux colmatés sont nettoyés au cours de leur passage devant les rampes de lavage qui sont munie de jets d'eau sous pression, les débits chassés par l'eau de lavage sont recueillies dans une boîte et évacuées dans un caniveau. Le lavage se déclenche automatiquement si la perte de charge subie est supérieure à 0.15 m, et si le colmatage des filtres atteint une perte de charge de 0.3 m le clapet By-Pass s'ouvre automatiquement.



Figure IV.08 : Filtre rotatif. [Propre Photo]

IV.7.3 Station de pompage :

L'eau de mer prétraitée est ensuite pompée à l'aide de 3 pompes parallèles immergées (deux en service et une de secours) vers les dessaleurs de l'unité U50 (SIDEM), ces pompe « SULZER 71 P 02 (A, B, C) » ont un débit unitaire de 4000 m³/h.

✓ Caractéristiques des pompes :

- Ces pompes sont identiques de type vertical, centrifuge de débit 4000 m³/h, pression de refoulement 2.8 bar, munies d'un clapet et une vanne « ROV ».
- elles sont soigneusement choisies pour résister à la forte agressivité de l'eau de mer.
- le moteur électrique de ces pompes est caractérisé par :
 - Puissance absorbée : 400 KW.
 - Tension : 5500 V.
 - Intensité : 48A.
 - Vitesse de rotation : 750 T/m.
 - le rendement 87%.
- Chaque pompe refoule dans une conduite appelé « conduite BONNA » de diamètre 0.8 m qui viennent se piquer dans un canal commun de diamètre 1.25 m.



Figure IV.09 : les pompes d'eau de mer. [Propre Photo]

IV.7.4 La production de vapeur :

La production de vapeur est assurée par l'ensemble des trois chaudières (51H 01/02/03). Dont la capacité unitaire est de 45 T/h. Pour couvrir les besoins de vapeur de l'unité de production d'électricité ainsi que les évaporateurs de l'unité de dessalement.

IV.7.5 Les unités de dessalement :

Chaque unité de dessalement est composée principalement d'un évaporateur type 4T 1440 (A/B/C/D) dont la description est la suivante :

La partie de l'eau de mer à traiter (eau d'appoint) est à nouveau filtrée par un filtre automatique ou un filtre manuel à panier, ayant un diamètre de filtration de 0,5 mm. Ces filtres sont munis d'indicateurs de colmatage (mesure de pression différentielle et pressostat prévenant d'une pression différentielle haute sur le filtre en service), de vannes de purge et d'isolement permettant la permutation des filtres en marche et une intervention éventuelle sur le filtre inutilisé dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau.IV.06 : Filtre à nettoyage automatique (FADX 102 DN 200). [23]

Condition de service	
fluide	Eau de mer (0,1 ppm Cl ₂)
Pression	min 2 bar ; max 4 bar
Perte de charge	Max : 0,75 bar Min : 0,6 bar
Diamètre filtration	0,5 mm
Surface de filtration (passage libre)	102 dm ²
matériau	Acier inoxydable.

L'eau de mer filtrée est introduite dans le condenseur distillateur chargé principalement de l'évacuation des calories apportées par la vapeur entrante.

L'évaporateur proprement dit se présente sous la forme d'un bloc parallélépipédique partagé en 4 cellules d'évaporation, monté sur un châssis en poutrelles d'acier.

Chaque cellule contient un faisceau de chauffe tubulaire, arrosé en eau de mer par un système de pulvérisation et alimenté en vapeur (côté tube) par le thermo compresseur pour le

faisceau de la cellule chaude (cellule 1). Par la vapeur produite par évaporation de l'eau de mer dans la cellule (**n-1**) pour la cellule n. Sur les côtés du faisceau de chauffe, les séparateurs permettent de retenir les gouttes d'eau brute qui pourraient être entraînées.

La saumure recueillie en bas de chaque cellule passe à la cellule suivante par des tubes en U. Dans la cellule froide (cellule 4). Un condenseur distillateur permet le refroidissement du système en condensant une partie de la vapeur produite dans la cellule 4.

L'éjecto-compresseur, qui comprime la vapeur extraite de la cellule 4 pour alimenter le faisceau de chauffe de la cellule 1 est placé dans l'évaporateur, perpendiculairement aux faisceaux de chauffe.

L'eau distillée produite dans les différents faisceaux de chauffe est récupérée dans les boîtes vapeur des faisceaux et transférée par un tube en U de cellule en cellule jusqu'au caisson d'aspiration d'eau distillée placé au-dessous du condenseur distillateur.

L'évaporateur est muni de portes de visite permettant d'accéder à l'intérieur des différentes cellules d'évaporation afin de permettre la visite et l'entretien. [26]

Durant le fonctionnement de l'unité de distillation, des opérateurs qui travaillent en poste continu de 12h par équipe, effectuent des analyses journalières sur les eaux dans les laboratoires du complexe.



Figure .IV.10. Une unité de dessalement [4T 1440 A]. [Propre Photo]

IV.7.5.1 Descriptif :

IV.7.5.1.1 Dispositif de mise sous vide :

La mise sous vide de l'installation est assurée par une batterie d'éjecteurs à jet de vapeur.

✓ Ejecteur de démarrage :

Pour la mise sous vide initiale, un éjecteur à vapeur est prévu il permet d'atteindre le vide nécessaire environ 60 min.

✓ Ejecteur de maintien :

En cours de fonctionnement, l'extraction des incondensables est assuré par un éjecteur à vapeur associé au condenseur d'éjecteur placé sur le circuit d'eau de mer d'appoint.

L'éjecteur aspire les incondensables à partir du condenseur de buées et les refoule dans le condenseur d'éjecteur atmosphérique. [26]

Remarque : - Le vide crée permet une température d'ébullition base (pression base).

-A Chaque démarrage il faut 2 heures pour atteindre le vide.

IV.7.5.1.2 Les pompes :

Chaque unité (évaporateur) est équipée :

1. D'une pompe accélératrice de l'eau de mer d'appoint (Booster 55 P 401) qui fournit la pression nécessaire au circuit hydraulique de l'appoint d'eau de mer. Dont :

- La hauteur manométrique totale HMT : 16.
- Vitesse : 1485 tr/min.
- NPSH requis : 2,35.
- Rendement : 69%.

2. Deux pompes (55 P 402 A/B) pour l'extraction de l'eau distillée produite montées en parallèle à la sortie d'eau condensée qui servent à aspirer l'eau distillée de la cellule 4. Quand une pompe fonctionne, l'autre est à l'arrêt. Un salinomètre est placé juste après ces deux pompes. Si la conductivité de l'eau dépasse une certaine valeur (10 μ s) une vanne automatique se déclenche pour permettre d'évacuer l'eau vers l'égout, et si la conductivité est inférieure à

Chapitre IV : Description de la zone d'étude

10µs une autre vanne automatique s'ouvre pour permettre à l'eau de sortir vers les réservoirs de stockage. Elles sont caractérisées par :

- Débit : 150 m³/h.
- NPSH requis : 1.3m.
- Vitesse : 1485 tr/min.
- Rendement : 59%.

3. De deux pompes saumures (55 P 403 A/B) pour l'extraction de la saumure, montée en parallèle à la sortie de la cellule 4 qui refoulent à la pression atmosphérique. Dont : [26]

- Debit: 156 m³/h.
- NPSH requis : 2,04m.
- HMT : 18
- Vitesse : 1490 tr/min.
- Rendement : 59%.

IV.7.5.2 Matériaux utilisés Dans la construction des équipements de l'évaporateur :

Les matériaux de constructions des différents équipements sont regroupés dans le tableau (IV.7) :

Tableau. .IV.07: Composition de l'évaporateur est matériaux de construction. [34]

Equipement de l'évaporateur	Matériaux de construction
Corps de l'évaporateur	Acier inoxydable
Faisceaux de chauffe	-plaque tubulaire : acier inoxydable -les tubes superieurs : titanes (e=0.5mm) -autres tubes : laiton aluminium 76/22/2 (e= 1mm)
Séparateur	Acier inoxydable
Buses de pulvérisation	Acier inoxydable
Ejecto-compresseur	-L'arrivée de vapeur motrice est en acier au carbone. - tuyères à vapeur et convergent-divergent en acier inoxydable.
Condenseur distillateur	-l'enveloppe : acier inoxydable. -plaques tubulaires : cupronickel (Cu Ni 90/10)

Tableau .IV.07: Composition de l'évaporateur est matériaux de construction. [34]

Condenseurs d'éjecteurs	-le corps : acier inoxydable. - plaques tubulaires : plaques tubulaires : cupronickel (CuNi 90/10)
----------------------------	---

IV.7.5.3 Dosage de produits chimiques :

IV.7.5.3.1 L'injection de produit antitartre :

Pour l'injection continue du produit antitartre (P_2O_5) appelé "Kemazur" dont la consommation est de 7.5 l/ jours de produit, il est prévu un groupe de dosage composé de :

- 1 Bac de dosage en polyéthylène de capacité 250 l équipé d'un indicateur de niveau, d'un indicateur de niveau bas, d'un trop plein et d'une vidange.
- 2 Pompes doseuses à membranes commandées manuellement, de débit réglable de 0 à 2,8 l/h montées sur le bac.
- 1 Agitateur monté sur le bac.
- Le remplissage d'eau est assuré par un picage sur la ligne de production d'eau distillée.

[34]

Dans 250 l d'eau contenue dans ce bac on met 6 l/j d'antitartre dilué, de telle sorte qu'on retrouve une concentration d'antitartre de 5 ppm dans la saumure.

- ✓ **Remarque :** L'antitartre repousse seulement la date d'entartrage, mais il ne peut pas l'éliminer définitivement.

IV.7.5.3.2 L'injection de produit anti mousse :

La mousse formée à la surface de la phase liquide saumure favorise l'entraînement de gouttelettes dans la vapeur. L'injection d'antimousse empêche le développement de cette mousse et garantit ainsi une salinité très faible de l'eau distillée produite.

Pour l'injection continue du produit anti mousse dont la consommation est de 62.5 l/jours de produit, il est prévu un groupe de dosage composé de :

- 1bac de dosage en polyéthylène de capacité 250 l, équipé d'un indicateur de niveau, d'un indicateur de niveau bas, d'un niveau trop plein et d'une vidange.
- 2 pompes une en service et une autre de secours doseuses à membrane, commandé manuellement de débit réglable de 0 à 2,8 l/h montées sur le bac.

- 1 agitateur monté sur le bac (55M402). [34]
- Le remplissage d'eau est assuré par un piquage sur la ligne de production d'eau distillée.

Tableau. .IV.08 : Caractéristique physico-chimiques de l'anti tartre et l'antimousse.

Type de produit	Antitartre	Antimousse
Non commerciale du produit	Belgard Ev	Belite M8
Volume du bac (l)	250	250
Volume utile bac (l)	217	217
Dilution (%)	25	3
Débit d'injection (l/h)	2.2	2.2
Injection (ppm)	2.5	0.25



Figure IV.11 : Station de dosage chimique. [Propre Photo]

IV.7.5.4 Le nettoyage de l'unité :

✓ Rinçage de l'unité à l'eau distillée :

Après chaque arrêt devant se prolonger plus de 2 jours, l'unité est rincée soigneusement comme indiqué ci-dessous. En effet, l'eau de mer stagnante a un effet désastreux quant à la corrosion. Par conséquent, il est très important de rincer l'unité à l'eau distillée selon la procédure suivante :

- L'unité doit être entièrement vidangée.
- En utilisant la ligne d'eau distillée pour rinçage, l'évaporateur doit être rempli.

- Quand l'alarme de niveau haut saumure apparaît, préparer une pompe Saumure pour le démarrage
- Les rejets résultant du nettoyage des membranes sont dirigés vers le réservoir de traitement des effluents pour neutralisation avant rejet.

✓ **Le lessivage chimique à l'aide d'un acide :**

Un lessivage acide doit être effectué régulièrement ; comme cette opération est simple à réaliser. Il est recommandé de procéder à un lessivage acide au moins tous les 6 mois.

Le lessivage acide permet de prévenir le développement de l'entartrage en dissolvant les sels de carbonate de calcium qui pourraient s'accumuler sur les tubes de faisceau et réduire le rendement de l'unité.

- le produit utilisé est une solution acide de Ph fort (<2) acide sulphamique $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ de poids moléculaire 97,09 (appellation commerciale BS12) à une température de 65°C.
- lessivage acide doit être réalisé juste avant un redémarrage.
- En cours de lessivage, le pH de la solution de recirculation ne doit pas descendre en-dessous de $\text{pH} = 1$.

IV.7.5.5 Système de contrôle et de commande des évaporateurs :

✓ **Systemes de régulation :**

Chaque unité de dessalement est équipée des systèmes de régulations suivantes :

- Régulation de niveau saumures en cellule 4.
- Régulation de niveau eau distillée dans le condenseur distillateur).
- Régulation de température de la saumure en cellule 4.
- Régulation de débit d'appoint.
- Régulation manuelle de pression d'alimentation vapeur à l'éjecto-compresseur.

✓ **Tableau de distribution (armoire de commande) :**

L'unité de dessalement est contrôlée à partir d'un tableau de commande. Ce tableau comprend l'ensemble du système de distribution et contrôle des accessoires, les boutons poussoirs, commutateurs, lampes de signalisation, etc... nécessaires pour la commande des pompes et des vannes motorisées, ainsi que l'indication des défauts.



Figure IV.12 :L'armoire de commande de l'installation. [Propre Photo]

✓ **Défauts de fonctionnement entraînant l'arrêt de l'unité :**

L'ensemble des problèmes entraînant l'arrêt des évaporateurs sont regroupé dans le tableau suivant :

Tableau .IV.09 : Les disfonctionnements et les seuils d'alarme. [34]

Description de disfonctionnement	Seuil d'alarme
Débit d'alimentation Débit d'appoint bas	160 m ³ /h
Niveau haut saumure cellule 4	310 mm / Fond de cellule.
Niveau bas saumure cellule 4	2.8 m / axe pompe
Niveau bas eau distillée	4 2.4m / axe pompe
Niveau haut eau distillée	330 mm/Fond de cell.
Niveau bas bac antitartre	140 mm/Fond du bac
Niveau bas bac antimousse	140 mm/Fond du bac
Température haute saumure cellule 1	62°C
Température très haute saumure cellule 1	63 °C
Conductivité haute eau distillée	10 μS/cm
Pression différentielle haute sur filtre EDM	0.6 bar

IV.7.6 Le stockage d'eau distillé (réservoir 54T02) :

L'eau distillée (Ph = 6-6,5) ; conductivité max= 10μs/cm) est enfin stockée dans un bac de stockage avant qu'elle soit pompée vers le l'unité de déminéralisation, ce bac (54T02) est caractérisé par :

- Capacité : 10 000 m³.
- Hauteur : 10 m.
- Matériaux : acier inoxydable.



Figure .IV.13. Le Bac de stockage d'eau distillé. [Propre Photo]

IV.7.7 Le poste traitement (la déminéralisation) :

La déminéralisation est utilisée pour produire de l'eau ultra purifiée. Elle résulte d'un passage de l'eau dessalée sur un lit composé de petites particules sphériques (les grains de résine). Il y'a deux types de résines : cationiques, anioniques. La résine cationique échange les ions hydrogène (H^+) pour fixer des cations (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}). La résine anionique échange les ions hydroxyle (OH^- pour fixer des cations ($Cl^- \dots$)).

✓ Caractéristiques de l'eau d'alimentation :

Salinité TDS = 6ppm.

Température = 44°C.

Ph = 6,5.

Conductivité = 10 $\mu s/cm$ à 20°C.

Tableau.IV.10 : Caractéristique de l'eau distillée produite dans la station. [34]

cations	(ppm)	Anions	(ppm)
Ca^{2+}	0.1	Cl^-	1.9
Mg^{2+}	0.1	So_4^{2-}	<0.25
Na^+	1	SiO_2 (silice)	0.02
K^+	0	No_3^-	0
NH_4^+	0	No_2^-	0
Fe^{2+}	0	Po_4^{3-}	0
Mn^{2+}	0	F^-	0

✓ **Caractéristique de l'eau déminéralisée :**

L'eau déminéralisée devra avoir les caractéristiques suivantes :

- Conductivité normale : 0.3 $\mu\text{s/cm}$ à 20°C.
- Conductivité max : 0.5 $\mu\text{s/cm}$ à 20°C.
- Dureté : 0

Tableau .IV.11 : Caractéristique de l'eau déminéralisée produite dans la station [34].

ions	(ppm)
Silice	<20
Fer total	<30
Cuivre	<30

✓ **Caractéristiques générales de l'installation :**

L'installation comporte 2 chaînes, 1 en production, la 2ème en régénération ou en attente (Voir annexe N°2). Le débit net à produire par chaîne est de 140 m³/h.

La durée de production entre 2 régénérations est de 84 heures, ce qui conduira à une régénération tous les 3,5 jours.

- Consommation de réactifs par cycle :

30% HCL : 512 L.

30% NaOH : 751 L.

Soude en flocons : 300 Kg.

✓ **Fonctionnement du lit mélangé (LM) :**

Le traitement se fait sur un lit mélangé constitué par un mélange de résines cationiques et anioniques qui se comportent comme une infinité d'échangeurs de cations et d'anions en séries, ce qui permet donc d'obtenir une eau de très grande pureté.

✓ **Régénération :**

Lorsqu'un échangeur d'ions se sature, il commence par laisser fuir une partie des ions qu'il devait fixer. Ceci se traduit par une chute de résistivité de l'eau déminéralisée lorsque le

Chapitre IV : Description de la zone d'étude

cation commence s'épuiser, ou par élévation de la teneur silice à la fin du cycle. A ce moment, il est nécessaire de régénérer les résines pour leur donner leur capacité d'origine.

La résine cationique est régénérée à l'aide d'acide dilué. La résine fixe les ions H^+ de l'acide et libère les cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , qui se combinent à l'anion laissé libre de l'acide, pour donner des sels correspondants, ceux-ci sont éliminés à l'égout avec l'excès de réactifs.

La résine anionique est régénérée à l'aide d'une solution de soude diluée. La résine fixe l'ion OH^- de la soude et libère les ions fixés en cours de cycle. Ceux-ci se combinent au sodium Na^+ laissé libre pour donner les sels correspondants ($NaCl$, So_4Na_2 ,...) qui sont rejetés à l'égout avec l'excès de réactif.

Dans le lit mélangé, les résines sont préalablement séparées puis régénérées successivement.

✓ **Fonctionnement hydraulique du lit mélangé :**

En pratique, les résines cationiques et anioniques sont mélangées. Avant régénération, les résines sont séparées hydrauliquement par un débit d'eau à contre-courant.

Les anions, plus légers se classent à la partie supérieure alors que les cations plus denses restent au fond de l'échangeur. au niveau de séparation se trouve un collecteur qui sert à l'évacuation des résidus anioniques et à l'injection d'acide. La soude de régénération de l'anion est injectée à la partie supérieure et évacuée à l'aide d'un collecteur intermédiaire. Après rinçage de la soude, l'acide dilué est injecté par le collecteur intermédiaire et rejeté par le bas. (Voir Annexe N° 2)

Après rinçage et vidange partielle, la résine est mélangée avec de l'air comprimé puis remise en "production".

✓ **Les caractéristiques générales de la déminéralisation :**

Tableau.IV.12 : Action Caractéristique de la déminéralisation. [34]

Action	Caractéristique
retro lavage	25 minutes à 76 m ³ /h
décantation	5 minutes
Injection de soude	30 minutes, 1.5 m ³ /h soude à 30% 13m ³ /h eau de dilution.
Rinçage lent des anions	30 minutes, 13 m ³ /h eau dilution

Suite tableau.IV.12 : Action Caractéristique de la déminéralisation. [34]

Action	Caractéristique
Injection Acide	25 minutes, 1.2 m ³ /h acide chlorhydrique à 30%, 9.2 m ³ /h eau dilution.
Rinçage lent des cations	30 minutes, 9.2 m ³ /h
Vidange gravitaire	15 minutes
Mélange de l'air	15 minutes 570 Nm ³ /h.
Remplissage à l'air	15 minutes 20.5 Nm ³ /h.
Rinçage rapide	15 minutes 147 m ³ /h

IV.7.8 Le stockage de l'eau déminéralisée (réservoir 54T01) :

Le Ph de l'eau déminéralisé produite sera ajusté avec une solution de Morpholine à la sortie de l'unité de déminéralisation avant qu'elle soit stockée dans un bac (54T01) d'une capacité de 3 000 m³ et d'une hauteur cylindrique de 10 mètres.

- le pompage d'eau traitée permet de refouler l'eau déminéralisée à partir du bac de stockage jusqu'aux unités (chaudières+ unité de refroidissement).

Il faut tenir compte que cette eau va subir un traitement avant qu'elle soit envoyées vers les chaudières tel que :

- l'injection du Po₄ pour augmenter le Ph.
- l'injection de N₂H₄ (hydrazine) pour éliminer l'oxygène dissout (dégazage chimique).

IV.8 Laboratoire :

Les équipements de laboratoire permettent la mesure des paramètres suivants :

- Calcium, Magnesium, Sodium, Potassium, Ammonium, Barium, Strontium, Aluminum, Fer et Manganese;
- chlorures, sulfates, phosphate, nitrates, bicarbonate, carbonate, fluor, silice, bore et CO₂ libre ;
- fer total en ions et mg équivalent ;
- pH ;

- dureté totale, dureté calcique ;
- alcalinité
- solides totaux dissous ;
- conductivité ;
- Turbidité.

IV.9 Salle de contrôle :

Elle est munie de quatre ordinateurs. L'opération de l'usine est suivie via un système installé dans les ordinateurs. L'opérateur a accès aux données d'opération telles que : l'état des équipements et des valeurs analogiques des différent éléments de l'usine ainsi qu'un schéma fonctionnel de la station de dessalement d'eau de mer (chaîne de traitement) apparait sur l'écran qui permet de suivre le procédé (Tableau synoptique de la station) .L'opérateur aura la possibilité de fonctionner/arrêter les pompes via les ordinateurs.



Figure .IV.14.Ordinateur de contrôle et schéma synoptique affiché. [Propre Photo]

IV.10 Conclusion :

Le complexe GNL/1K a choisi pour des raisons économiques et environnementales d'utiliser l'eau de mer ; en effet, cela permet d'économiser nos ressources d'eau douce, essentiellement eaux de barrages pour notre région, et de baisser les coûts de production du gaz liquéfié. Mais au cours du fonctionnement cette station a rencontrée divers problèmes.

V.1 Introduction :

Les procédés de dessalements thermiques affrontent un sérieux problème d'entartrage et corrosion.... Ces derniers influent sur la production de l'eau dessalée et baissent par la suite la durée de vie de l'installation, notre étude consiste à faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité de dessalement (évaporateurs), et poste traitement pour relever tous les dysfonctionnements, on effectuant des prélèvements et des analyses d'un ensemble d'échantillons : d'eau brute, d'eau douce produite et de saumure afin de s'assurer du bon fonctionnement des différentes phases de traitement.

V.2 Diagnostic des ouvrages et difficultés d'exploitation :

L'eau de mer est chargée de sel, de gaz dissous et de solides en suspension. Par conséquent, si elle n'est pas traitée, son utilisation pose un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent la durée de vie de l'installation et réduit les performances de la station de dessalement, pour cela le choix d'un prétraitement est nécessaire en se basant sur l'origine et la qualité de l'eau brute, et du procédé de dessalement retenu.

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

V.2.1 Dysfonctionnement au prétraitement :

Parmi les problèmes rencontrés dans la station : le mauvais prétraitement engendré par le mauvais entretien des grilles (fixes) grossières et l'arrêt de certains filtres rotatifs.

V.2.1.1 Les grilles grossières :

Au niveau de grilles grossières (fixes) à l'entrée de l'installation on a remarqué que les racleurs du fond automatiques ne fonctionnent pas à cause du mauvais entretien, donc actuellement le nettoyage de ces grilles ce fait manuellement par l'intermédiaire d'un plongeur.

- ✓ Ce problème est une cause directe du colmatage des différents filtres placés dans les différentes étapes du procédé.
- ✓ Le nettoyage manuel dépend en réalité du climat et du courant d'eau.



Figure V.01 : Les racleurs hors service (état actuel). [Propre photo]

V.2.1.2 Les filtres :

La filtration au niveau de la station a dégradée au cours du fonctionnement, on a constaté qu'actuellement deux filtres rotatifs ne fonctionnent pas à cause du mauvais entretien, du vieillissement de la station et plus particulièrement de la corrosion de ces derniers.



Figure V.02 : Un filtre rotatif hors service (état actuel). [Propre photo]

- ✓ Le dysfonctionnement de ces filtres engendre le colmatage au niveau des filtres associés à l'unité de dessalement (4T 1440) ce qui va entraîner la diminution du rendement de l'installation.

V.2.2 Diagnostic de la station de pompage :

Plusieurs anomalies sont à signaler concernant les pompes d'eau de mer :

- Manque d'entretien des pompes.
- La pompe de secours est en panne (voir figure V.3).
- Mauvais état des accessoires des pompes (robinet, clapet, fatigue des joints ce qui entraîne des fuites.).
- La durée de fonctionnement de la pompe est assez grande 24h/24h.
- On note qu'il y'a pas de risque de cavitation parce que ces pompes sont immergées et le niveau d'eau à l'aspiration est stable donc il y'aura pas une pénétration d'air.
-



Figure V.03 : Une pompe en panne (état actuel). [Propre photo]

V.2.3 Diagnostic des unités de distillation (unité 50) :

Afin de faire un diagnostic global des quatre évaporateurs SIDEM (4T 1440 A/B/C/D), on va faire une comparaison entre le bilan de matière actuel et celui du design, ainsi que la vérification de la production annuelle de chaque évaporateur, et par la suite on va sélectionner l'ensemble des problèmes diminuant la production on se basant sur les observations et les photos prise sur site.

V.2.3.1 Bilan de matière de l'unité :

Les résultats du bilan de la production des évaporateurs dans le cas actuel est design sont donnés dans le tableau suivant :

Chapitre V : Diagnostic de la station

Tableau V.01 : Résultats du bilan de matière (cas actuel & design) .

Paramètres	Cas Design	Cas Actuel
Débit d'eau de mer (m ³ /h)	216	216
Débit d'eau distillée (m ³ /h)	60	55
Rendement (%)	27,8	25,5
Débit de saumure (m ³ /h)	156	161
Consommation vapeur (m ³ /h)	9,6	7,93
Consommation anti tartre (kg/j)	44	40
Température eau distillée (°C)	44	40

- On note que le rendement est calculé par la formule suivante :

$$\eta = \frac{\text{Distillat}}{\text{Quantité d'eau de mer entrante}} \times 100 \dots\dots\dots (V.01)$$

✓ **Interprétation des résultats :**

En comparant les deux cas actuel et design on peut dire :

- Dans les deux cas on travaille avec le même débit d'eau de mer (216 m³/h).
- Le rendement de l'installation dans le cas actuel a diminué d'une valeur : 2,33% ce qui explique la dégradation de la production au cours du fonctionnement de l'installation.
- La quantité totale de vapeur consommée a diminué dans le cas actuel, ainsi que la quantité de produit antitartre destiné à l'installation n'est pas utilisée dans sa totalité causé par le non-respect du dosage, ce qui provoque en plus la formation de tartre.

V.2.3.2 La Production annuelle des unités de dessalement :

Pour vérifier les performances des installations de dessalement (4T 1440) A/B/C/D, nous avons enregistré leur fonctionnement durant l'année 2015 et leur production mensuelle et annuelle qui ont été résumées sous forme de tableau (Tableau V.02).

Tableau V.02 : la Production annuelle d'eau distillé des évaporateurs (4T 1440) A/B/C/D) en m³.

Mois	La production des unités de dessalement				
	A	B	C	D	TOTAL
JAN	42192	40550	42984	42696	168422

Chapitre V : Diagnostic de la station

Suite tableau V.02 : la Production annuelle d'eau distillé des évaporateurs (4T 1440 A/B/C/D) en m³.

FEV	39130	37564	38525	34244	149463
MAR	45384	41378	41266	40988	169016
AVR	43574	37658	40309	41344	162885
MAI	37940	39567	41877	39921	159305
JUIN	42912	42682	34876	40126	160596
JUIL	42595	33456	42433	42032	160516
AUT	36960	41658	41673	32400	152691
SEPT	41904	40987	40341	41701	164933
OCT.	42765	42236	41785	40562	167348
NOV.	41344	40063	40105	41298	162810
DEC	33455	41340	36471	40238	151504
TOTAL	490155	479139	482645	477550	1929489

A partir de ce tableau représentant la production de chaque dessaleur par mois et par an on peut déduire le classement des unités selon leur production sous forme d'histogramme.

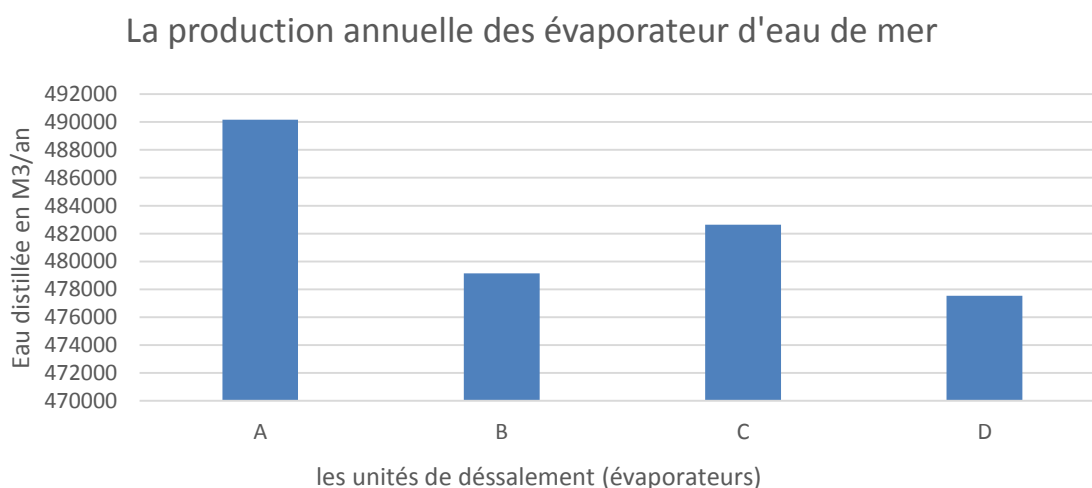


Figure V.04 : Représentation graphique de la Production annuelle des évaporateurs d'eau de mer.

En moyenne la production journalière de ces évaporateurs pour l'année 2015 est donnée par le tableau suivant :

Tableau V.03 : Le rendement des unités de dessalement (évaporateurs).

Unité	A	B	C	D
La production journalière en m ³	1361,5	1330,9	1340,7	1326,5
Le rendement (%)	94,6	92,4	93,1	92,1

Chapitre V : Diagnostic de la station

✓ **Interprétation :**

- L'évaporateur (A) a une production globale de 490155 m³/an avec un rendement journalier de 94,6 % qui représente la meilleure performance.
- L'évaporateur (C) a réalisé une production de 486724 m³/an avec un rendement journalier de 93,1% donc il est classé dans la 2eme place après l'évaporateur (A).
- Les évaporateurs (B) et (D) ont réalisés pratiquement le même rendement (92%) avec une production de 479139 et 47550 m³ /an respectivement. Ce qui représente une performance moyenne pour les deux évaporateurs. La chute des performances de l'unité et l'indisponibilité causée par les arrêts pour l'entretien et le lessivage chimique sont à l'origine de la moyenne production.

V.2.3.3 Historique du procédé de dessalement d'eau de mer TCD Unité 50 :

Au cours du fonctionnement, la station a vécu un grand nombre de problème qui sert à retarder la production. Nous nous sommes rapprochés du département maintenance pour connaître leurs interventions sur les unités en question. Le tableau(V.04) représente l'historique du procédé de dessalement à thermocompression de l'unité de dessalement du complexe ; du 2014 jusqu'à 2015, à partir duquel nous pouvons sélectionner quelques problèmes rencontrés durant cette période de fonctionnement.

Tableau V.04 :L'historique de l'unité du procédé de dessalement à thermocompression de la station.

Date	Problèmes
03/03/2014	Dégradation de la peinture à l'intérieur des cellules
17/04/2014	Cavitation de la pompe distillat.
10/06/2014	Manque de produit anti tartre/antimousse.
15/10/2014	Dépôt de tartre sur l'extérieur du faisceau tubulaire inférieur.
06/10/2014	Vérification de la boucle EDM.
14/04/2015	Corrosion sur des lignes des éjecteurs.
02/06/2015	L'obligation du lessivage des évaporateurs à cause de l'augmentation de la conductivité de l'eau distillée >10μS/cm.
04/08/2015	Nettoyage des buses de pulvérisation en eau de refroidissement des éjecteurs.

Suite tableau V.04 : L'historique de l'unité du procédé de dessalement à thermocompression de la station.

11/09/2015	Changement des vannes d'isolement de pompe de saumure.
01/12/2015	Problème de pénétration d'air dans les cellules qui engendre un sérieux problème de bruit.

- ✓ Le tableau montre la variété des problèmes lié au procédé thermique de la station de dessalement du complexe.

V.2.3.4 Les causes du mauvais rendement et baisse de production du procédé de dessalement :

Nous avons remarqué après l'ouverture de l'unité (4T 1440) pour l'inspection que :

- ✓ Un début de dépôt de tartre à la surface extérieure des tubes de l'évaporateur.
- ✓ Matériaux corrodés.
- ✓ Les peintures dans un état dégradé.

Les inspections après l'ouverture sont montrées sur les figures suivantes :

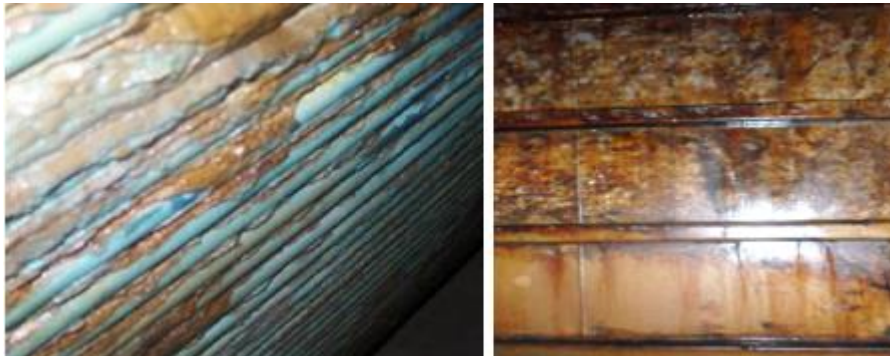


Figure V.05 : L'entartrage et la corrosion à l'intérieur des cellules (4T 1440 D).

[Propre photo].

- ✓ L'examen visuel relève que les parois externes des tubes des évaporateurs sont légèrement entartrées et la paroi interne des cellules est corrodée.

V.2.3.4.1 Notions sur l'entartrage des évaporateurs [35] :

L'entartrage d'une surface d'échange est généralement associé à la production d'un solide cristallin à partir d'une solution liquide .Il dépend donc fortement de la composition des eaux industrielles. L'entartrage se matérialise par une formation d'incrustations adhérentes et dures sur les surfaces d'échanges généralement métalliques. Pour qu'il y ait entartrage, deux conditions doivent être remplies :

- la limite de solubilité du sel contenu dans l'eau doit être dépassée.
- la vitesse de dépôt doit être suffisamment rapide.

Dans un évaporateur d'eau de mer, des dépôts peuvent se former sur une surface humide pour quatre raisons :

- 1- une décomposition chimique des sels dissous dans l'eau de mer, par exemple du carbonate de calcium du sulfate de calcium de l'hydroxyde de magnésium.
- 2- des détritits apportés dans l'installation par l'eau de mer, par exemple : des algues.
- 3- la corrosion des matériaux de construction de l'installation, par exemple du cuivre ou des oxydes de fer.
- 4- le résultat de la croissance de petits organismes apportés dans l'installation par l'eau de mer, exemple les bactéries.

Tous ces dépôts ne forment pas du tartre, bien qu'ils affectent l'opération d'une installation normale. Le terme plus général « d'encrassement » fait référence à la formation de tous ces dépôts. L'encrassement est provoqué par des dépôts qui se sont formés sur n'importe quelle surface humide et qui gênent la bonne marche du procédé. Le tartre est l'une des sortes d'encrassement.

✓ **Composition du tartre :**

Les dépôts les plus rencontrés sont : Les carbonates, les hydroxydes et les sulfates. La composition des dépôts dépend de la température :

- En dessous de 85°C, le dépôt de CaCO_3 presque pur.
- De 85°C à 120°C, il y a prédominance de $\text{Mg}(\text{OH})_2$.
- Au-dessus de 120°C il y a prédominance de CaSO_4 .

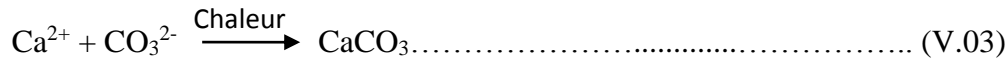
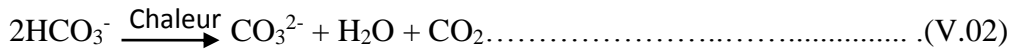
✓ **Types de tartre :**

- **Les carbonates : [35]**

Chapitre V : Diagnostic de la station

Les carbonates les plus courants sont les carbonates de calcium (CaCO_3) et de magnésium (MgCO_3). Les dépôts formés sont compacts avec les grains fins.

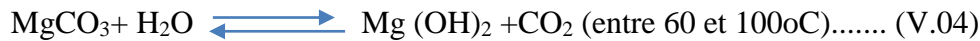
Les réactions de formation du CaCO_3 sont :



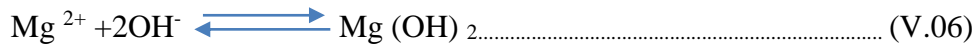
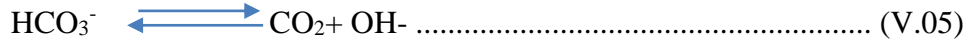
La précipitation des carbonates dépend principalement de la température, du pH et des gaz dissous.

- **Les hydroxydes : [35]**

Les hydroxydes le plus courant est l'hydroxyde de magnésium, on peut rencontrer pas aussi souvent que les sulfates et les carbonates. [35] La précipitation de $\text{Mg}(\text{OH})_2$ se produit souvent dans les bouilleurs /évaporateurs par suite d'un traitement insuffisant de l'eau. L'évaporation de l'eau de mer à des températures élevées et /ou à des pH élevés entraîne la précipitation selon les réactions suivantes :



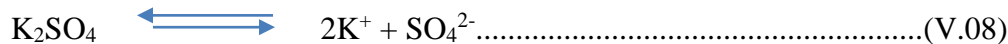
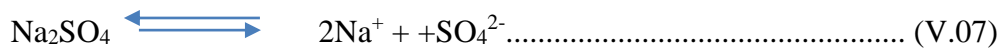
Ou bien :



- **Les sulfates :**

Les sulfates les plus courants sont les sulfates de calcium, de sodium et de potassium suite à ses grandes teneurs, les dépôts de sulfates sont dus généralement aux mélanges d'eaux incompatibles, mais ils peuvent également précipiter par concentration comme les autres sels.

[35]



✓ **L'effet de l'entartrage sur le rendement du procédé de dessalement eau de mer :**

- La réduction de la section de passage des tubes qui entraîne une augmentation des pertes de charge, et par conséquent des dépenses de la qualité d'échange.
- le tartre diminue l'échange thermique des échangeurs.

Chapitre V : Diagnostic de la station

- Un mauvais transfert de chaleur des tubes d'évaporateurs, il résulte une baisse de rendement du procédé.

V.2.3.4.2 Analyses du dépôt de tartre :

Les résultats d'analyse du dépôt des faisceaux tubulaires de l'évaporateur 4T 1440 (A/B/C/D) du procédé de dessalement, données par le laboratoire du complexe mettent en évidence la présence d'une quantité de sels de carbonate de calcium CaCO_3 et d'une quantité de sulfate de calcium CaSO_4 .

Résultat d'analyses du dépôt : Le résultat des analyses de la masse des composants du dépôt, montrent qu'il est formé de 41 % de carbonate de calcium et de 33% de sulfate de calcium et 20% d'autre sels minéraux.

✓ Interprétation des résultats :

Les résultats ont révélés que la paroi externe est colmatée par des dépôts de tartre, la cause principale de ces tartres est le débit d'arrosage d'eau de mer faible et la température élevée de la vapeur entrante dans la cellule coté tubes, à cause aussi est très important, la mauvaise injection ou le dosage des produits chimiques (l'antitartre et l'antimousse).

Ces différents constats ont pour conséquences :

- La transmission de chaleur du métal vers le fluide diminue d'où risque d'un échauffement local du métal ayant pour conséquence une baisse des caractéristiques mécaniques pouvant être rapidement dangereuse pour la durée de vie de l'appareil.
- Le rendement thermique de l'appareil baisse car la surface d'échange entre les tubes et le fluide diminue à cause de la masse du tartre.
- ✓ Un autre phénomène a été relevé : la pénétration d'air dans les cellules sous vide de l'unité, cette dernière peut être provoquée par des fissures ou perforation sur les conduites de système de vide.

V.2.4 Problème de la corrosion :

La corrosion est définie [36] comme une « interaction physico chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et pouvant

Chapitre V : Diagnostic de la station

conduire à une dégradation significative de la fonction du métal, du milieu environnant ou du système technique dont ils font partie ».

Au niveau de la station, on observe la corrosion dans le système d'injection des produits chimique, dans la prise d'eau, au niveau des vannes, des filtres, dans les conduites, dans l'unité de distillation (l'évaporateur) et dans les silos de stockage des produits chimiques, les premières causes de la corrosion sont les fuites et le climat humide de la région.

La corrosion est liée à la température, la résistivité, l'oxygène dissout, le CO₂ libre

Les principales conséquences de la corrosion sont :

- Rupture des conduites ;
- Augmentation de la rugosité ;
- Fuites d'eau ;
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs ;

✓ Les principaux types de corrosion [36] :

Les Principaux types de corrosion sont :

1 - Corrosion galvanique :

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

2 - Corrosion généralisée :

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

3 - Corrosion localisée :

La corrosion qui n'est pas uniformément répartie sur une surface, mais se concentre sur une petite surface.

4 - Corrosion sous contrainte :

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



Figure V.06 : Quelques signes de corrosion au niveau de la station. [Propre photo]



Figure V.07 : Fuite de saumure à la sortie des unités de dessalements. [Propre photo]

La figure (V.06) montre la corrosion au niveau des réservoirs de stockage des produits chimiques ainsi que les robinets vannes, et la figure (V.07) montre une fuite de saumure à la sortie des unités de dessalement causée par la corrosion localisée de la conduite (rupture).

V.2.5 Problème lié au moussage :

La production de mousse lors de l'évaporation de l'eau de mer est liée à la présence de faibles quantités de tensioactifs. La vapeur d'eau se trouve alors enfermée dans une pellicule d'eau de mer plus ou moins concentrée. En se condensant, les bulles de vapeurs transfèrent ainsi du sel à l'eau distillée. Un moussage important peut dégrader la qualité d'eau produite et rendre l'évaporateur inapte au service.

V.3 Etude de performance de la station :

Afin d'étudier les performances de chaque étape du traitement on va faire une comparaison entre les analyses d'eau à l'entrée de chaque ouvrage et à la sortie en comparant ces valeurs mesurées aux normes exigées par le constructeur dans chaque étape (voir annexe N°3).

Les résultats des analyses suivis au cours du dessalement de l'eau de mer s'étendent sur une durée de 3 mois, ils sont effectués au niveau du laboratoire de la station de dessalement GNL/1K.

- **Mode de prélèvement :**

L'échantillonnage est un facteur important de l'analyse. En commençant par le repérage des bons points d'échantillonnages. L'échantillon a été prélevé dans des récipients parfaitement propres, ces bouteilles en verre de 1,5 litres (de préférence en polyéthylène), munies de fermeture étanche, elles ont été remplies jusqu'au débordement afin d'éviter la pénétration des bulles d'air, elles sont ensuite été bouchonnées et étiquetées, où sont notés : origine de l'eau, et date du prélèvement et prise de note.

V.3.1 Définition des paramètres à analyser et méthode d'analyse :

- ✓ **Le PH :**

Le pH est lié à la concentration d'ions présents dans l'eau ($\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$). Il exprime si l'eau est acide (de 0 à 7), neutre voisine de 7 ou alcaline (de 7 à 14).

Il existe deux méthodes pour la détermination du pH :

- Méthode d'électrométrie.
- Méthode colorimétrique (emploi d'indicateur coloré).

Dans notre cas on a utilisé l'électrométrie (mesure fine de différences de potentiel électrostatique) à l'aide d'un pH-mètre.

- ✓ **La conductivité :**

La conductivité électrique d'une eau au passage du courant électrique est fonction directe de la concentration ionique de la solution. Sa détermination donne donc une mesure indirecte des substances dissoutes. Conductivité varie proportionnellement avec les fluctuations de la température, elle s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dans notre cas on mesure la conductivité à l'aide d'un résistivimètre : Appareil destiné à mesurer la résistivité électrique d'une eau. Une résistivité

Chapitre V : Diagnostic de la station

élevée est caractéristique d'une eau très pure. La conductivité est l'inverse de la résistivité électrique, avec :

$$\text{la resistivité } (\Omega \text{ cm}) = \frac{1\ 000\ 000}{\text{conductivité en } \mu\text{s/cm}} \dots\dots\dots (\text{V.09})$$

✓ **La turbidité :**

La turbidité donne une idée sur la teneur en matière colloïdale d'origine organique ou minérale, liée à la transparence. Elle s'exprime en Nephometric Turbidity Unit, (NTU), on a mesuré la turbidité à l'aide d'un turbidimètre.

✓ **Le titre hydrotimétrique (TH) :**

Le titre hydrométrique total (TH_T) indique globalement la teneur en sels de Calcium (Ca) et de magnésium (Mg), il permet de quantifier une notion qualitative : la dureté de l'eau.

Le dosage se fait par la méthode volumétrique, par l'EDTA en présence de l'indicateur noir d'ériochrome.

✓ **La dureté calcique (TH_{Ca}) :**

Le titre hydrométrique calcique (TH_{Ca}) indique la teneur en sel de calcium (Ca). Le dosage se fait par la méthode volumétrique, par l'EDTA en présence d'une solution de murexide.

✓ **Le titre alcalimétrique complet (TAC) et simple (TA) :**

Le TAC : correspond au dosage des ions OH⁻, HCO₃⁻ et CO₃⁻ présents dans l'eau, c'est-à-dire de toutes les espèces basiques présentes. Il exprime l'alcalinité totale de l'eau, la mesure se fait à l'aide d'une solution titrée de H₂SO₄ en présence du méthyle orange.

Le TA : c'est le titre alcalimétrique simple correspond au dosage des ions HO⁻ et CO₃ présents dans l'eau. Elle se mesure à l'aide d'une solution titrée de H₂SO₄ en présence du phénol phtaléine.

✓ **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 Ca²⁺ et Mg²⁺ sont dosés par la méthode volumétrique, par l'EDTA en présence de l'indicateur noir d'ériochrome.

✓ **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 :**

Chapitre V : Diagnostic de la station

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

✓ Dosage des bicarbonates :

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

✓ Dosage des phosphates :

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

V.3.2 Analyse et interprétation des résultats :

Pour vérifier la qualité de l'eau produite nous avons effectué les analyses physico-chimiques suivantes, en les comparant avec celles fixés par le constructeur (voir annexe N°3) pour préserver les équipements de l'installation et répondre à la qualité de l'eau demandée.

V.3.2.2 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer de Skikda :

Cette analyse a été faite le 26-03-2016 au niveau du laboratoire du complexe GNL/1k, les résultats sont résumés sur le tableau.

Tableau V.05 : Analyses physico-chimique de l'eau de mer (Skikda).

Paramètres	Résultats	Paramètres	Résultats
Ph	8,1	Densité	1,026
Température (°C)	18.5	Mg^{2+} (g/l)	1,56
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	55700	Na^+ (g/l)	12,28
TDS (mg/l)	39000	K^+ (mg/l)	487
TAC (mg/l)	163.72	Chlorure (mg/l)	23460
TA (mg/l)	0	Al^{3+} (mg/l)	1
Th (mg/l)	4133.3	Bore (mg/l)	4,22
Th calcique (mg/l)	1417.4	SO_4 (g/l)	3,75
Turbidité (NTU)	1,2	CO_2 dissous (ppm)	0,94
MES (mg/l)	8,2		

Chapitre V : Diagnostic de la station

✓ Discussion :

L'eau de mer utilisée a un Ph et une conductivité quasiment constante : le Ph en générale entre 7,7 et 8,5, montre que l'eau de mer est une solution assez basique ; une conductivité de 55700 S/cm qui caractérise la salinité élevée de l'eau avec une dureté est d'environ 4133.3 (mg/l).

La valeur de TDS est 39000 mg/l, la teneur en chlorure est plus élevée 23460 mg/l, cette augmentation provient de différentes sources telles l'altération des roches.

La turbidité est de 1,2 NTU et une teneur en MES élevée, qu'on peut l'expliqués par la variation des matières évacuée par le cours d'eau naturel (Oued Safsaf) vers le littorale de la région.

Cette qualité de l'eau brute provoque un entartrage et un colmatage organique et bactérien des équipements par les matières en suspension, en particulier dans les échangeurs thermiques par suite la corrosion des installations de traitement et d'injection sous l'effet de l'oxygène dissout et la salinité, pour cela l'eau passe par l'étape de prétraitement pour atteindre une qualité qui répond aux conditions exigées par le constructeurs des évaporateurs.

V.3.2.3 Etude des performances du prétraitement :

V.3.2.3.1 La température :

Tableau V.06 : La variation de la température d'eau brute et d'eau filtrée.

Mois	Semaines	La température (°C)		
		Eau de mer brute	Eau filtré	La Norme
Janvier	S1	15.8	18	25
	S2	15,5	17,8	25
	S3	16,4	17,5	25
	S4	15,8	19,8	25
Février	S5	16,5	20,5	25
	S6	16	21,7	25
	S7	17,4	19,4	25
	S8	15,2	17,1	25
Mars	S9	16,7	18,1	25
	S10	17,9	19,7	25
	S11	16,2	19,5	25
	S12	17,5	21,1	25

Chapitre V : Diagnostic de la station

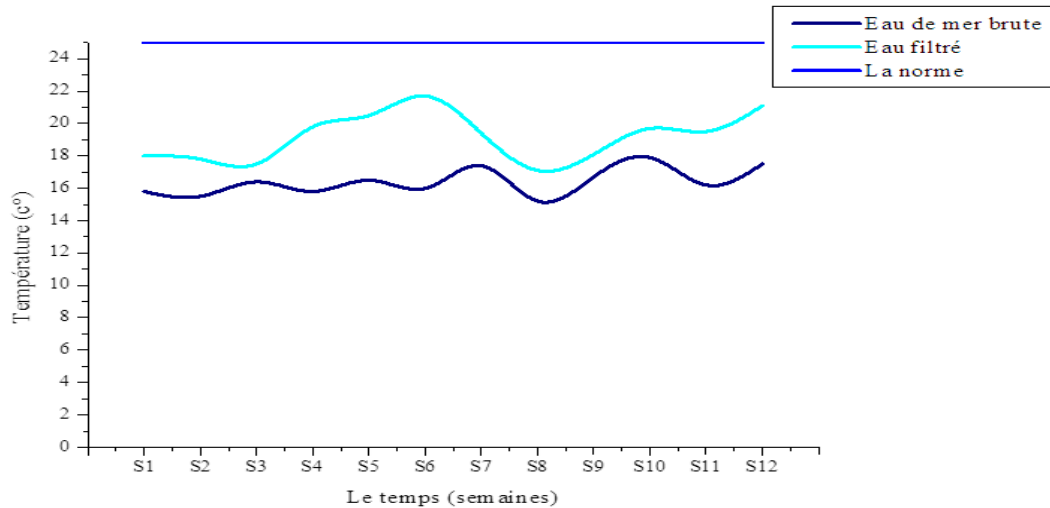


Figure V.08 : L'évolution de la température d'eau brute et d'eau filtrée.

✓ Discussion :

On remarque une légère élévation de la température de l'eau de mer après son passage par la filière de prétraitement, cette augmentation est expliquée par l'agitation et le mouvement des particules d'eau au cours du processus de prétraitement (due aux effets de la filtration ainsi que le pompage d'eau brute), mais cette variation reste inférieure à la norme qui exige une valeur de 25°C. La température d'eau brute (eau de mer) présente une variation allant de 15,2°C à 17,9°C, et l'eau à l'entrée des évaporateurs à une température qui varie entre 17,1°C et 21,7°C.

V.3.2.3.2 Le Ph :

Tableau V.07 : La variation du PH d'eau brute et d'eau filtré.

Mois	Semaines	Le Ph		
		Eau de mer brute	Eau filtré	La Norme
Janvier	S1	8,15	7,89	8,5
	S2	8,06	7,92	8,5
	S3	8,08	7,84	8,5
	S4	8,02	7,93	8,5
Février	S5	8,1	7,87	8,5
	S6	8,04	8,01	8,5
	S7	7,94	7,94	8,5
	S8	8,01	7,89	8,5
Mars	S9	7,87	7,86	8,5
	S10	8,02	8,01	8,5
	S11	8,14	8,01	8,5
	S12	8,1	7,99	8,5

Chapitre V : Diagnostic de la station

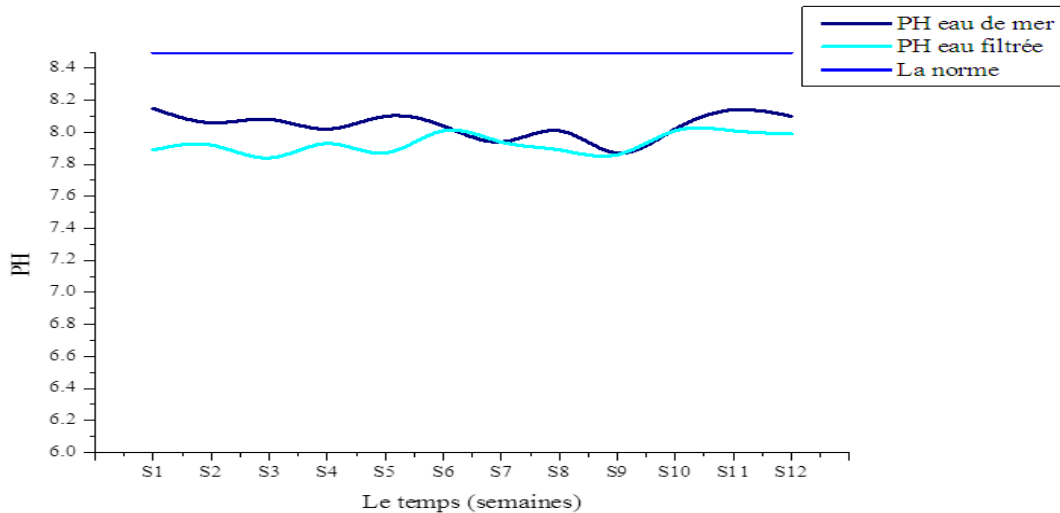


Figure V.09 : L'évolution du PH d'eau brute et d'eau filtrée.

✓ Discussion :

Les résultats obtenus montrent que la variation des valeurs du pH de l'eau brute varie entre 7,87 à 8,15 et ça montre que le PH de l'eau de mer est légèrement basique (ph >7). Tandis que le PH à l'entrée d'évaporateurs est considéré stable (7,84 à 8,01) et cela s'explique par l'injection d'un produit d'origine acide (NaClO) au niveau du bassin de réception d'eau brute pour empêcher le développement des algues et des microorganismes dans les étapes qui suivent, et cela abaisse légèrement les valeurs du Ph de l'eau de mer .

V.3.2.3.3 Turbidité :

Tableau V.08 : La variation de la turbidité d'eau brute et d'eau filtré.

Mois	Semaines	La variation de la turbidité (NTU)		
		Eau de mer brute	Eau filtré	La Norme
Janvier	S1	1,02	0,51	1
	S2	1,12	0,44	1
	S3	1,1	0,49	1
	S4	1,17	0,43	1
Février	S5	0,97	0,39	1
	S6	1,45	0,48	1
	S7	1,02	0,46	1
	S8	1,13	0,51	1
Mars	S9	0,8	0,37	1
	S10	1,01	0,53	1
	S11	0,88	0,36	1
	S12	1,3	0,44	1

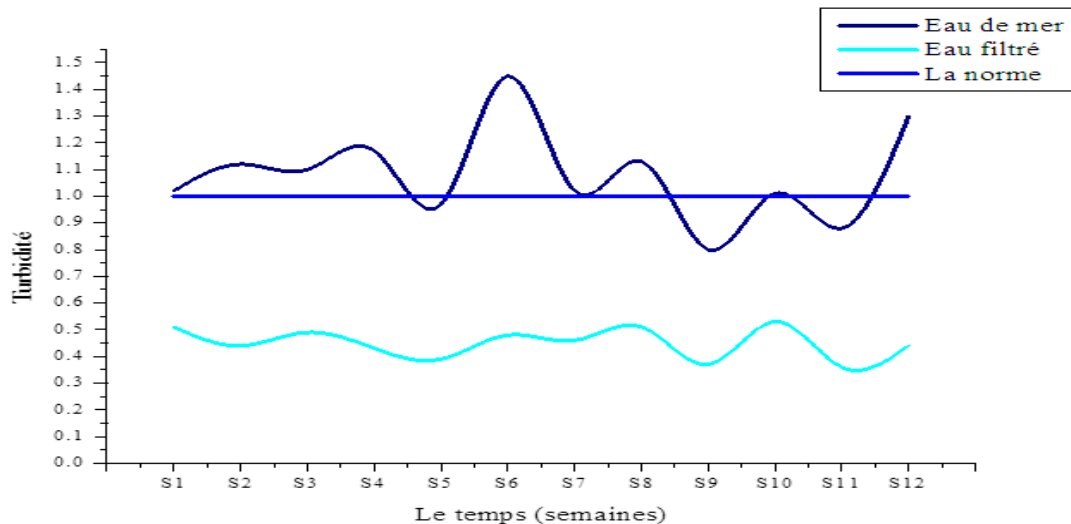


Figure V.10 : L'évolution de la turbidité d'eau brute et d'eau filtrée.

✓ Discussion :

Nous remarquons une variation irrégulière de la turbidité de l'eau brute (0,8 à 1,3 NTU) supérieure à la norme, probablement dû aux conditions climatiques d'une part et la qualité de l'eau du Oued Safsaf qui est déversé dans la mer d'autre part ainsi que le mode de prélèvement (la prise d'eau) qui permet l'entrée de tout type de matières en suspension. Les résultats montrent aussi une diminution de la turbidité après passage à travers la filière du prétraitement avec des valeurs qui varie entre 0,36 à 0,51 NTU inférieure à la norme, et cela est expliqué par la rétention des matières en suspension à travers les grilles, les filtres.

• Récapitulation des résultats :

Les résultats précédents montrent que les valeurs du prétraitement sont acceptables (en dessous de la norme).

V.3.2.4 Etude des performances du traitement :

Dans cette étape on va comparer l'eau à l'entrée des évaporateurs (4T1440 A/B/C/D) et l'eau distillée avec les normes exigées par le constructeur dans cette étape (voir annexe N°3) ; pour étudier les performances du traitement des unités de dessalement.

Le prélèvement de l'eau distillé a été effectué au niveau de la vanne d'échantillonnage placé à l'entrée du bac de stockage (54T02) destiné à stocker de l'eau distillée.

Chapitre V : Diagnostic de la station

V.3.2.4.1 La température :

Tableau V.09 : La variation de la température de l'eau filtré et distillée.

Mois	Semaines	La température (°C)		
		Eau filtré	Eau distillée	La Norme
Janvier	S1	18	30,8	44
	S2	17,8	28,2	44
	S3	17,5	25,6	44
	S4	19,8	31,6	44
Février	S5	20,5	29,9	44
	S6	21,7	32,3	44
	S7	19,4	28,2	44
	S8	17,1	27,1	44
Mars	S9	18,1	30,2	44
	S10	19,7	31,8	44
	S11	19,5	29,1	44
	S12	21,1	28,6	44

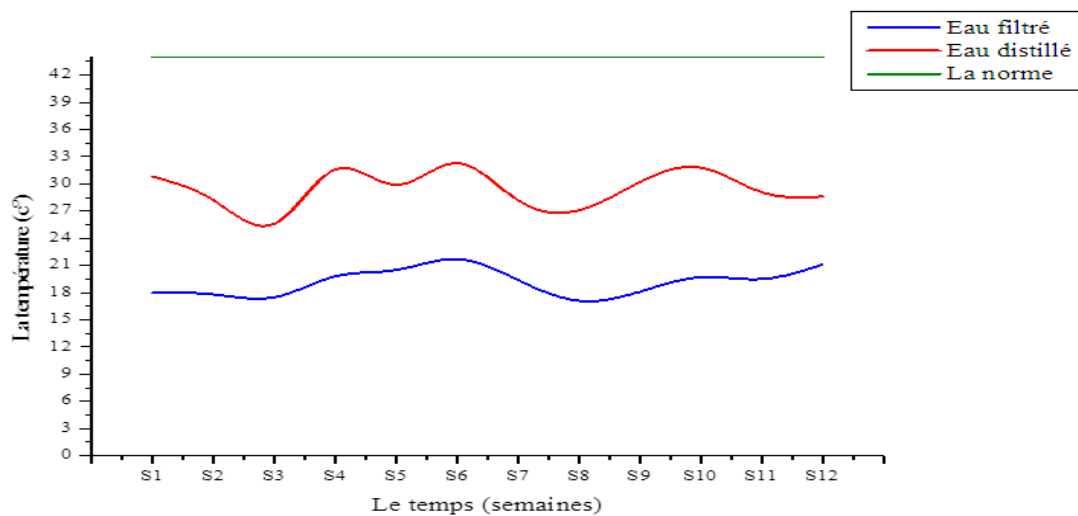


Figure V.11 : La variation de la température de l'eau filtrée et de l'eau distillée.

✓ Discussion :

Les résultats de mesure de la température de l'eau distillée à l'entrée du bac de stockage 54T02 montrent une variation importante des températures d'eau de mer après le traitement, des valeurs entre 17,1°C et 21,7°C vers des valeurs allant de 25,6°C à 32,3°C. Cette augmentation s'explique par la température élevée utilisée durant le fonctionnement des évaporateurs (~70°C) et cela reste inférieure à la norme fixée par le constructeur (44°C).

Chapitre V : Diagnostic de la station

L'eau distillée sort avec des températures environ 40°C et au cours de son stockage dans le réservoir 45T02 va subir un échange thermique avec les parois, et ces valeurs vont s'approcher de la température ambiante et ça explique les valeurs obtenues.

V.3.2.4.2 Le Ph :

Tableau V.10 : la variation du Ph de l'eau filtrée et de l'eau distillée.

Mois	Semaines	Le ph		
		Eau filtré	Eau distillée	La Norme
Janvier	S1	7,89	6,2	6,5
	S2	7,92	5,9	6,5
	S3	7,84	5,9	6,5
	S4	7,93	6,0	6,5
Février	S5	7,87	6,2	6,5
	S6	8,01	5,9	6,5
	S7	7,94	5,9	6,5
	S8	7,89	6,1	6,5
Mars	S9	7,87	5,9	6,5
	S10	8,02	6,2	6,5
	S11	8,01	6,2	6,5
	S12	7,99	6,3	6,5

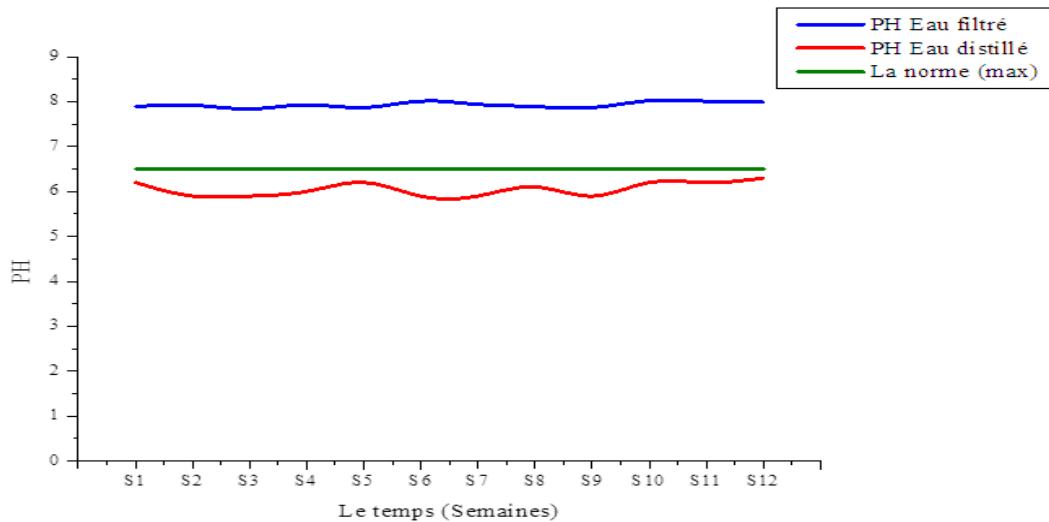


Figure V.12 : L'évolution du PH d'eau filtrée et de l'eau distillée.

✓ Discussion :

D'après ces résultats on note une diminution des valeurs du PH après le passage à travers les évaporateurs, le PH d'eau à l'entrée des évaporateurs varie entre 7.87 et 8,02 tandis que le

Chapitre V : Diagnostic de la station

PH de l'eau distillée varie entre 5,9 et 6,3. Les valeurs du pH de l'eau distillée sont à la norme (6-6,5) exigé par le constructeur. On peut expliquer cette diminution par l'élimination des sels dissous qui sont rejetés dans la saumure.

V.3.2.4.3 La turbidité :

Tableau V.11 : La variation de la turbidité de l'eau filtrée et l'eau distillée.

Mois	Semaines	La turbidité (NTU)		
		Eau filtrée	Eau distillée	La Norme
Janvier	S1	0,51	0,03	0,5
	S2	0,44	0,09	0,5
	S3	0,49	0,13	0,5
	S4	0,43	0,12	0,5
Février	S5	0,39	0,11	0,5
	S6	0,48	0,19	0,5
	S7	0,46	0,12	0,5
	S8	0,51	0,11	0,5
Mars	S9	0,37	0,08	0,5
	S10	0,53	0,14	0,5
	S11	0,36	0,05	0,5
	S12	0,44	0,17	0,5

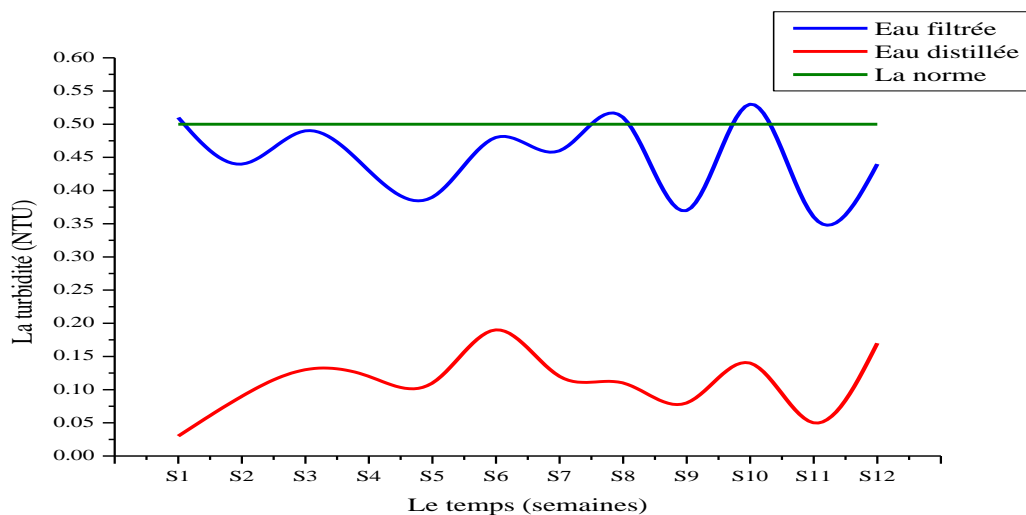


Figure V.13 : La variation de la turbidité de l'eau filtrée et de l'eau distillée.

Chapitre V : Diagnostic de la station

✓ Discussion:

Les résultats montrent une diminution de la turbidité de l'eau, la turbidité de l'eau distillée est nulle (<0,2 NTU) elle reste conforme à la norme (< 0,5NTU). Ce qui indique l'élimination des matières colloïdales après le passage à travers les filtres placés au niveau des évaporateurs.

V.3.2.4.4 La conductivité :

Tableau V.12 : La variation de la conductivité de l'eau filtrée et l'eau distillée.

Mois	Semaines	La conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
		Eau filtrée	Eau distillée	La Norme
Janvier	S1	54950	5,9	10
	S2	55400	7,5	10
	S3	49800	6,7	10
	S4	55700	3,2	10
Février	S5	52200	5,6	10
	S6	53600	6,3	10
	S7	55800	8,9	10
	S8	52100	4,8	10
Mars	S9	49500	5,4	10
	S10	51200	9,3	10
	S11	55300	6,2	10
	S12	54800	8,5	10

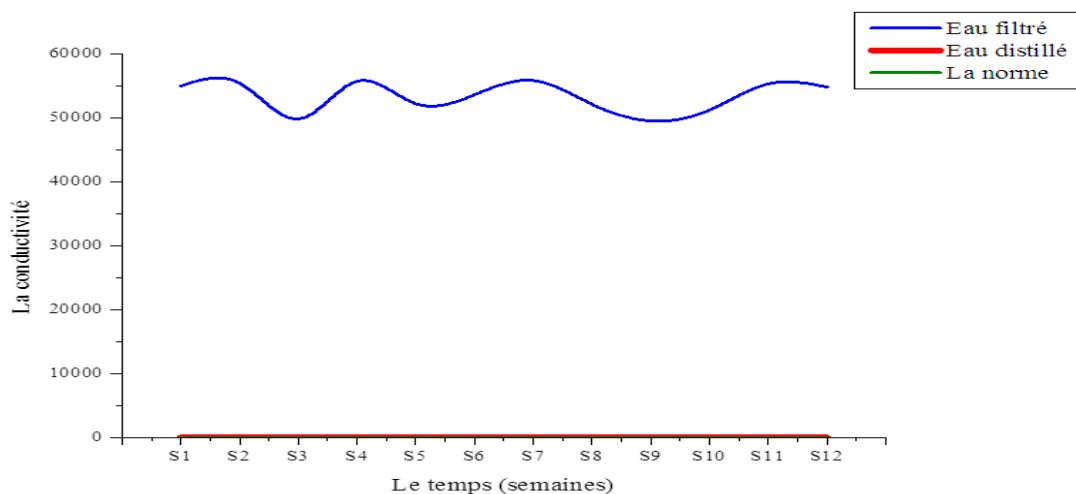


Figure V.14 : La variation de la conductivité de l'eau filtrée et de l'eau distillée.

Chapitre V : Diagnostic de la station

✓ Discussion :

Ces valeurs ont été prises après la diminution de la température de l'eau distillé vers la température ambiante cela du fait que le constructeur exige une conductivité bien $<10 \mu\text{s/cm}$ à $\sim 20^\circ\text{C}$. (Voir annexe 3)

On remarque que la conductivité à l'entrée des évaporateurs est très importante allant de 49500 à 55800 $\mu\text{s/cm}$ et elle est très loin d'être à la norme, due à la présence des sels dans l'eau tandis que les valeurs de la conductivité de l'eau distillée sont légèrement $<10 \mu\text{s/cm}$, cela s'explique par l'absence des sels dissouts après distillation.

V.3.2.4.5 Le TDS :

Tableau V.13 : La variation du TDS d'eau filtré et de l'eau distillée.

Mois	Semaines	Le TDS (mg/l)		
		Eau filtrée	Eau distillée	La Norme
Janvier	S1	37500	7,2	6
	S2	41200	5,3	6
	S3	43300	6,8	6
	S4	43100	3,6	6
Février	S5	42900	4,1	6
	S6	44100	5,4	6
	S7	42600	6,8	6
	S8	44700	7,9	6
Mars	S9	41100	7,5	6
	S10	43600	6,6	6
	S11	40800	5,9	6
	S12	37500	4,2	6

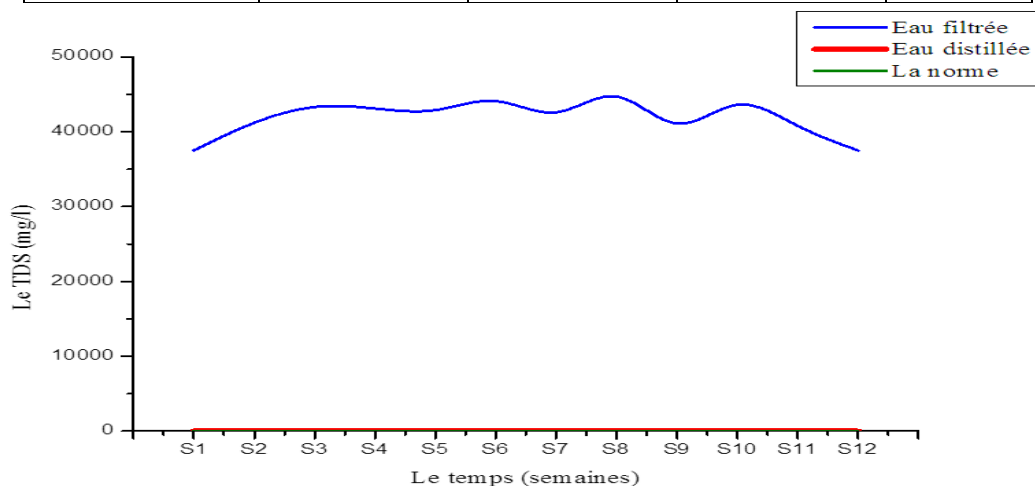


Figure V.15 : La variation du TDS de l'eau filtrée et de l'eau distillée.

Chapitre V : Diagnostic de la station

✓ Discussion :

A partir de ces résultats on remarque une diminution considérable du "TDS" .l'eau de mer a des valeurs de TDS qui varient entre (37500-44700 mg/l) alors que l'eau distillée a des valeurs de TDS qui varient de 3,2mg/l à 7,9mg/l, car La distillation permet l'élimination de plus de 90% des sels, on remarque aussi quelques valeurs supérieurs à la norme et cela est expliqué par la dégradation de la qualité de l'eau produite due aux problèmes de tartre, moussage, corrosion.... Ce qui exige un lessivage dans cette période.

V.3.2.4.6 La minéralisation totale de l'eau distillée :

Tableau V.14 : La comparaison de la minéralisation totale de l'eau filtrée et de l'eau distillé.

L'ion	L'eau de mer (filtré)	L'eau distillée (mg/l)	
		Valeurs mesurés	La norme
Cl ⁻ (mg/l)	23460	1,45	1,9
Ca ²⁺ (mg/l)	344	0,15	0,1
Mg ²⁺ (mg/l)	1490	0,06	0,1
Fe (mg/l)	0,3	0,062	0
Na ²⁺ (mg/l)	14200	0,8	1
So ⁴⁻² (mg/l)	2800	0,31	0,25
Mn ²⁺ (mg/l)	0,25	0,05	0
TA (°F)	0	0	0
TAC (°F)	16,3	1,2	10
Th (°F)	183,4	0,19	0,2

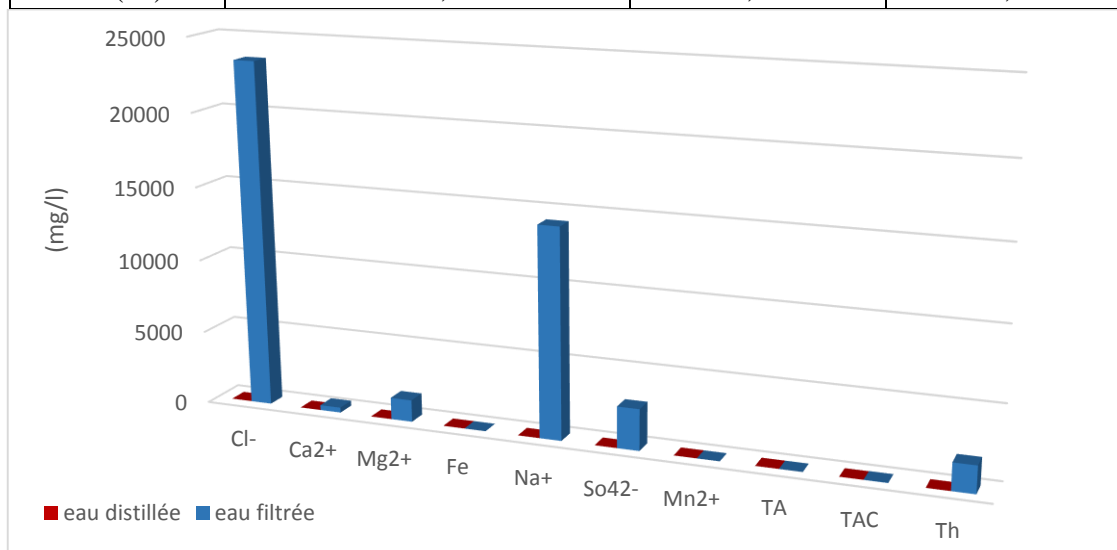


Figure V.16 : Représentation graphique des résultats d'analyse de la minéralisation globale de l'eau distillée comparée à l'eau filtrée.

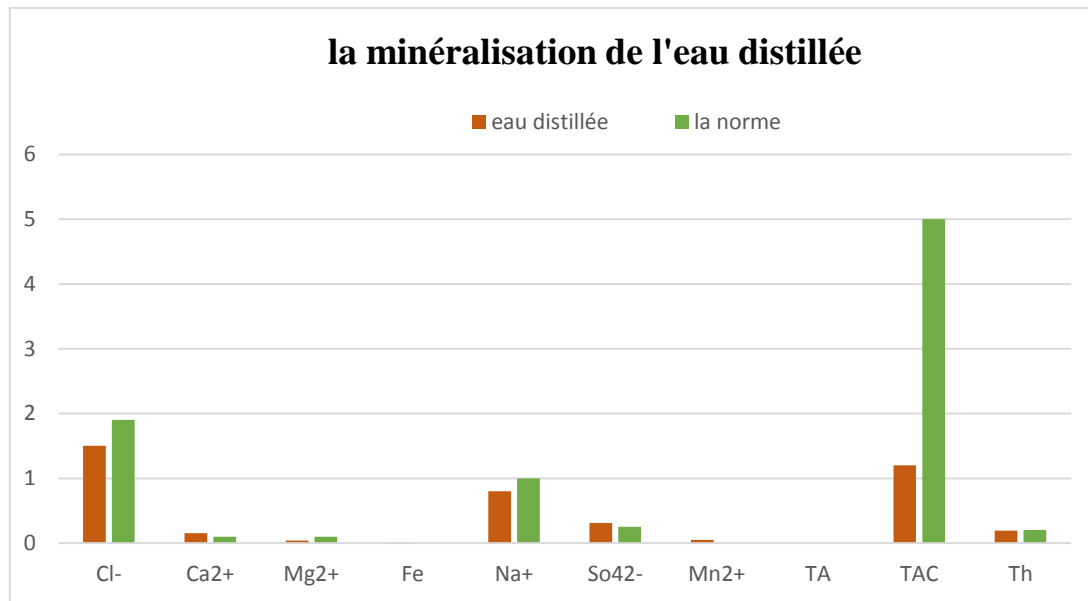


Figure V.17 : Représentation graphique de la minéralisation globale de l'eau distillée comparé à la norme.

✓ **Discussion :**

- 1- On remarque une diminution importante de la minéralisation de l'eau de mer après la distillation :
 - La teneur en chlorure de l'eau de mer est importante (23460 mg/l) et elle a diminué à (1,45 mg/l).
 - le magnésium et le calcium, sont très répandus dans l'eau de mer avec une prédominance pour les ions magnésium, et donc la dureté de l'eau de mer est importante c'est une eau dure alors que l'eau distillée est une eau douce avec une dureté faible.
- 2- Nous observons une forte alcalinité de l'eau à l'entrée des évaporateurs, ce qui est caractérisé par la présence d'une forte teneur en ions bicarbonates, carbonates et hydroxydes. et une alcalinité faible de l'eau distillée ce qui traduit une eau agressive.
- 3- On remarque ainsi que les valeurs obtenues pour l'eau distillée sont légèrement à la norme, on observe quelques valeurs qui dépassent la norme ce qui exige un nettoyage des unités (lessivage acide), et afin d'améliorer la qualité de l'eau distillée la déminéralisation est nécessaire.

Chapitre V : Diagnostic de la station

✓ Détermination de la nature de l'eau produite (distillée) :

La détermination du Ph de saturation a été faite à l'aide du Nomogramme de Hoover-Langelier. (Voir annexe N°4) on utilisant les valeurs (TDS = 6 ; T°= 30°C ; TH_{ca} = 0,1 °F ; TAC = 1,2°F ; ph=6).

On a obtenue pour l'eau distillée une valeur de : Ph_s = 10,6.

- Indice de saturation ou de Langelier :

$$I_L = Ph - Ph_s \dots\dots\dots (V.09)$$

- Si IL > 0, l'eau est incrustante ou entartrant.
- Si IL < 0, l'eau est agressive.

$$I_L = Ph - Ph_s = 6,2 - 10,6 = -4,4 < 0. \quad \longrightarrow \quad \text{L'eau est agressive.}$$

- L'indice de stabilité ou de Ryznar : (voir annexe 5)

$$I_R = 2Ph_s - Ph \dots\dots\dots (V.10)$$

$$I_R = 2Ph_s - Ph = 2 \times 10,6 - 6,2 = 15 > 8,5 \quad \longrightarrow \quad \text{eau très corrosive.}$$

✓ **Discussion** : les résultats montre que l'eau distillée est agressive et corrosive, cela est dû à la présence des ions chlorure et sulfates, calcium, magnésium dans l'eau distillée. Les ions chlorures sont susceptibles de réagir avec l'eau en produisant de l'acide chloridrique. Il s'ensuit localement des zones à ph très faibles (ph<6,5) qui accélèrent la corrosion du métal.

V.3.2.5 Etude de la qualité d'eau déminéralisée :

D'après les résultats précédents on peut constater que l'eau de mer dessalée ne peut pas être utilisée dans les chaudières sans traitement préalable, donc un traitement de déminéralisation sur résine est obligatoire. Dans cette étape on va donner des résultats d'analyse physico-chimique de l'eau après passage par le lit mélangé (résine échangeuses d'ions) afin d'étudier les performances de cette étape. L'échantillonnage est effectué au niveau du réservoir de stockage de l'eau déminéralisée (54T01), (voir tableau V.15)

Chapitre V : Diagnostic de la station

Tableau V.15 : Comparaison de la minéralisation globale de l'eau distillée et déminéralisée.

Analyse	Unité	Eau distillée	Eau déminéralisée	
			Les analyses	La norme
PH	/	6,5	8,2	8
conductivité	μ s/cm	7,5	0,33	0,5
Ca ⁺²	Ppm	0,15	0	0
Mg ⁺²	Ppm	0,06	0	0
TA	f°	0	0	0
TAC	f°	1,2	0,2	
Fe	Ppm	0,062	0,004	30
Cl ⁻	Ppm	1,45	0,0036	0
SO ₄ ⁻²	Ppm	0,31	0,0012	0
Cu ⁺²	Ppm	0,003	0,0018	30
K ⁺	Ppm	0,015	0 - traces	0 - traces
Na ⁺	Ppm	0,8	0 - traces	0 - traces

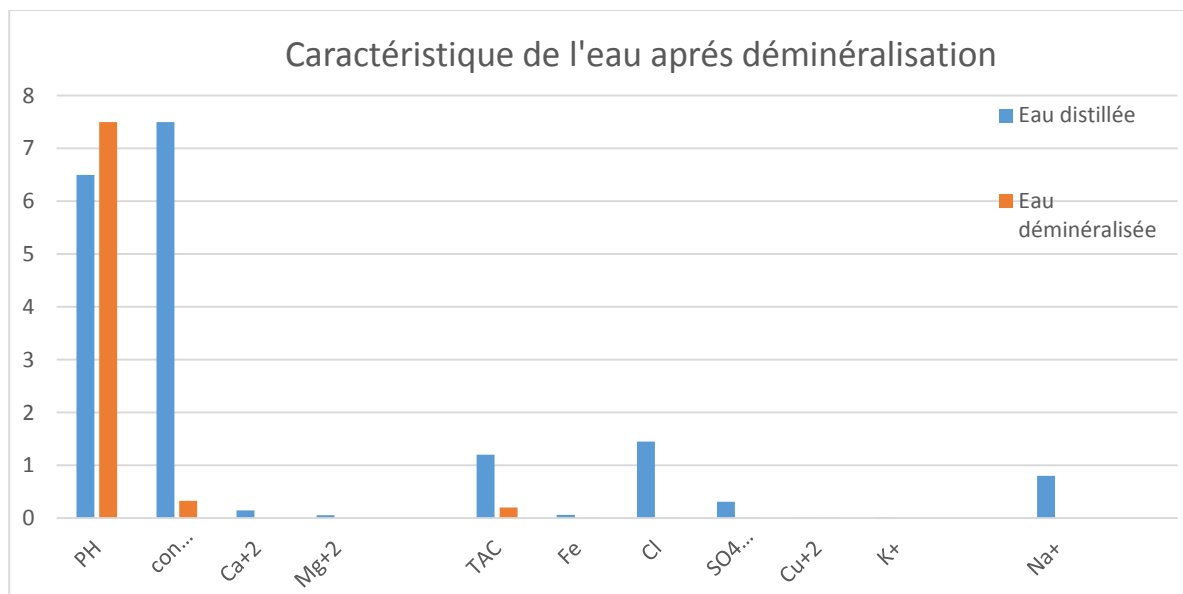


Figure.V.18 : La variation des caractéristiques de l'eau après la déminéralisation.

- **Discussion :**

- ✓ D'après cette présentation on remarque une diminution des paramètres d'eau (TH=0, TA=0, conductivité < 0,5 μ S/cm...) et donc diminution de la minéralisation de l'eau après passage par le lit mélangé. Les ions Cl⁻, Mg²⁺, Na⁺, Ca²⁺... sont retenue par la résine donc l'eau est complètement déminéralisée.

Chapitre V : Diagnostic de la station

- ✓ On remarque ainsi une augmentation du Ph dans le bac stockage de l'eau 54T01, à la sortie du lit mélangé le Ph est de l'ordre de 6 et avant le stockage cette eau va subir une injection d'une solution de "Morpholine" qui sert à augmenter le Ph de l'eau entre (7-8,5).
- D'après ces résultats on remarque que tous les paramètres sont conformes à la norme ce qui nous permet de conclure que L'eau déminéralisée est une eau prête à être utilisée pour le refroidissement et l'alimentation des chaudières.

V.4 L'impact de la station de dessalement de Skikda sur l'environnement :

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

- 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.
- Le mauvais emplacement des prises d'eau et des canalisations de décharge de saumure.

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

V.4.1 Effets dus au prélèvement d'eau de mer :

Les usines de dessalement de l'eau de mer sont des prises d'eau située 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 :

- Les prises d'eau peuvent perturber le fond marin et interférer avec des routes maritimes.
- L'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation, qui est une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton.

Chapitre V : Diagnostic de la station

V.4.2 Effets dus aux produits chimiques des traitements correctifs :

La saumure déchargée contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement, traitement et de post-traitement de l'unité de dessalement, le [tableau V.16] illustre les différents types de produits chimiques ainsi leurs impacts sur l'environnement

Tableau V.16 :L'impact des produits constituant la saumure sur l'environnement [40].

Caractéristiques de la saumure	Effet sur l'environnement
Salinité et température	L'exposition continue à une plus forte salinité (1,5 à 2 fois celle du milieu) et à une température plus élevée (jusqu'à + 5°C) nuit à certaines espèces en favorise d'autres.
Biocides	Dans la plupart des usines de dessalement, du chlore est ajouté à l'eau pour réduire le biofouling, ce qui mène à la formation d'hypochlorite et d'hypobromite dans l'eau de mer.
Métaux lourds	Des alliages Cuivre-Nickel-Fer... sont généralement utilisés comme matériaux pour les échangeurs thermiques. La contamination de la saumure avec du cuivre due à la corrosion peut être une source de pollution, le cuivre étant toxique à fortes doses.
Agents antitartre	Problèmes d'eutrophisation à cause des polyphosphates.
Agents anti-mousse	Sont de détergents, le polyglycol contenu dans l'anti-mousse est faiblement biodégradable.
additifs antisalissure	Utilisée dans la chloration, elle donne naissance à des dérivés tels que des thiols méthanés qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérigènes.

V.4.4 Effets dus à la concentration de la saumure :

✓ Définition du rejet de la saumure :

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

- Perméat (fraction de l'eau qui a été dessalée).

Chapitre V : Diagnostic de la station

- Concentrât (de concentration élevée et rejeté à la mer).

Ce dernier contient une concentration en sel très élevée car il regroupe les quantités de sel qui se trouvait dans l'eau avant le processus de dessalement en plus de produits chimiques utilisés dans le prétraitement et l'entretien des installations [40].

✓ **L'impact sur l'environnement :**

C'est la saumure qui exerce le plus fort impact sur le milieu marin. Le volume total de saumure libéré dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire.

À part le volume proprement dit, les modalités et l'emplacement du rejet sont essentiels pour les impacts qui peuvent en résulter. La longueur de l'émissaire, sa distance au rivage, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existence ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau et les caractéristiques hydrologiques (courants, vagues) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dilution au point de rejet et, par voie de conséquence, l'impact potentiel sur l'environnement. [37]

Le rejet de saumure dans la mer aboutit en effet à la formation d'un système stratifié de couches de plus en plus salées vers le fond, Une couche sur salée recouvre le fond, induisant une diminution du taux d'oxygène des sédiments et une augmentation de la turbidité de l'eau de fond.

Ce phénomène peut conduire à des modifications du milieu local :

- Anoxie (absence d'oxygène) au niveau des fonds marins : la diminution des brassages associée à la présence d'espèces consommatrices d'oxygène peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin.
- Diminution de la lumière : la présence d'eau hyper salée provoque la formation d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales.

V.4.4 Effets dus au bruit :

Une usine de dessalement par thermocompression de vapeur utilise les compresseurs, les 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.

Chapitre V : Diagnostic de la station

V.4.5 Effets sur la faune et la flore marine :

Certains des composés chimiques rejetés par les usines de dessalement peuvent avoir des conséquences sur les écosystèmes marins. Par exemple, il a été montré que les produits antitartre rejetés par les usines de dessalement étaient des éléments nutritifs qui stimulaient la productivité primaire. Ces produits peuvent donc induire une prolifération d'algues dans des milieux qui habituellement en comptent peu, comme en mer méditerranée. De même, les produits antisalissure rejetés par ces mêmes usines auraient des effets stérilisants sur certains organismes. [37]

La saumure contient également les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements, dont certains peuvent entraîner une acidification de l'eau, affectant certains organismes et en particulier les coraux. Le métabisulfite de sodium, utilisé pour la déchloration de l'eau d'alimentation ou en tant que biocide, a également un effet toxique, sur le phytoplancton notamment. Certaines de ces substances sont, en plus, bioaccumulables, et peuvent donc se retrouver très concentrées en haut de la chaîne alimentaire, dans les poissons notamment.

V.4.6 Etude des rejets de la station (saumure) cas de la station du GNL/1K :

V.4.6.1 Etude de la qualité des rejets :

Tableau V.17 : Composition chimique de la saumure par rapport à celle de l'eau de mer.

Analyse	Unité	Eau de mer	saumure	Saumure/ eau de mer
Ph		8,1	7,4	0,9
température	°C	17	20,5	1,21
turbidité	NTU	1,2	0,2	0,17
TH	ppm	4133.3	11200	2,71
conductivité	µs/cm	55700	88600	1,59
TH (ca)	mg/l	4730	7800	1,65
TAC	mg/l	163,72	141,4	0,86
TDS	mg/l	39000	65800	1,69
Cl	mg/l	23460	30400	1,30
Mg	mg/l	1560	2640	1,69
Na	mg/l	12280	19860	1,62
K	mg/l	487	815	1,67

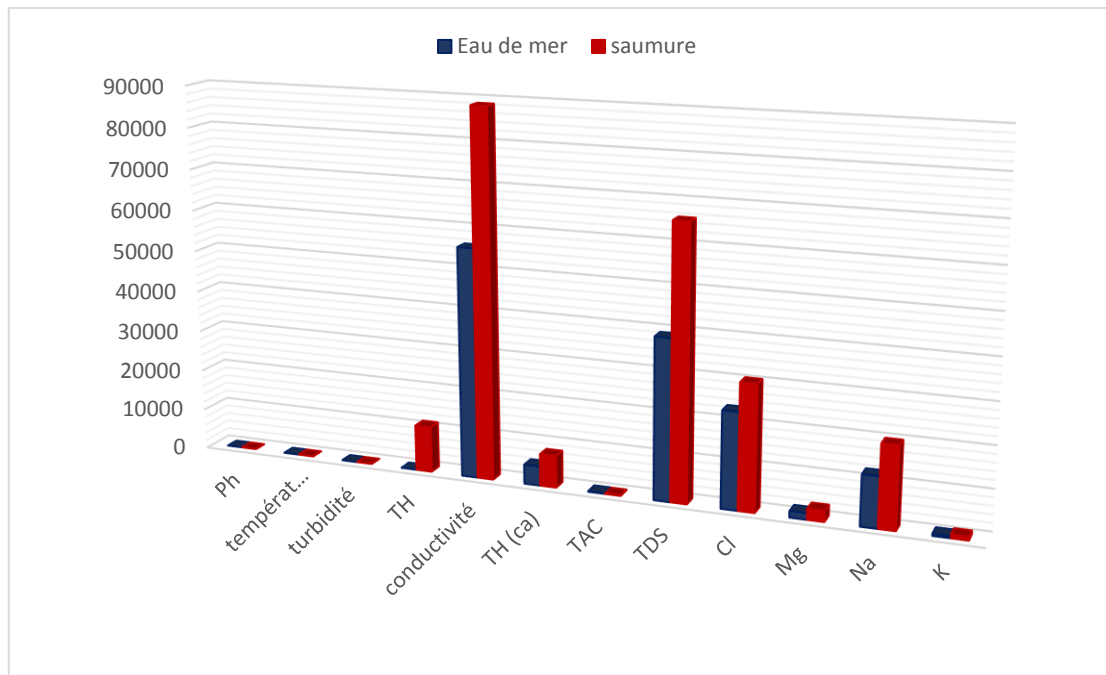


Figure V.19 : La comparaison entre l'eau de mer et le concentrât.

- **Discussion :**

D'après ces résultats 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. Elle regroupe les quantités de sel qui se trouvait dans l'eau avant le processus de dessalement et celles des produits chimiques utilisés dans le prétraitement et l'entretien des installations donc c'est une eau impropre à tout usage agricole ou industriel et loin d'être utilisable.

V.4.6.2 Le site de rejet existant :

Les rejets de la station sont collectés dans un réservoir de rejets, où on effectue l'ajustement du PH afin qu'il soit compatible avec l'eau de mer, après l'ajustement ces eaux sont ensuite évacués dans un canal à ciel ouvert d'effluent de section rectangulaire d'une longueur de 900m et 5m de largeur. L'ajustement du Ph est insuffisant, la salinité et la composition chimique de l'effluent qui regroupe tous les rejets et les produits chimiques utilisés représentent un danger pour l'environnement marin de la région côtière de Skikda. La saumure est rejetée à environ 1m de la cote, juste à proximité du point de déversement de l'oued Safsaf (Nord-Ouest du complexe), la saumure est rejetée sur place et sa dispersion est loin d'être réalisée (une dilution lente) parce qu'aucune conduite de rejet n'a été prévue. Ce qui est préjudiciable pour notre milieu marin ; comme le montre les figures suivantes :



Figure V.20 : Le canal d'évacuation des rejets de la station. [Propre photo]



Figure V.21 : Photo aérienne du canal de De rejet de la station. [17]

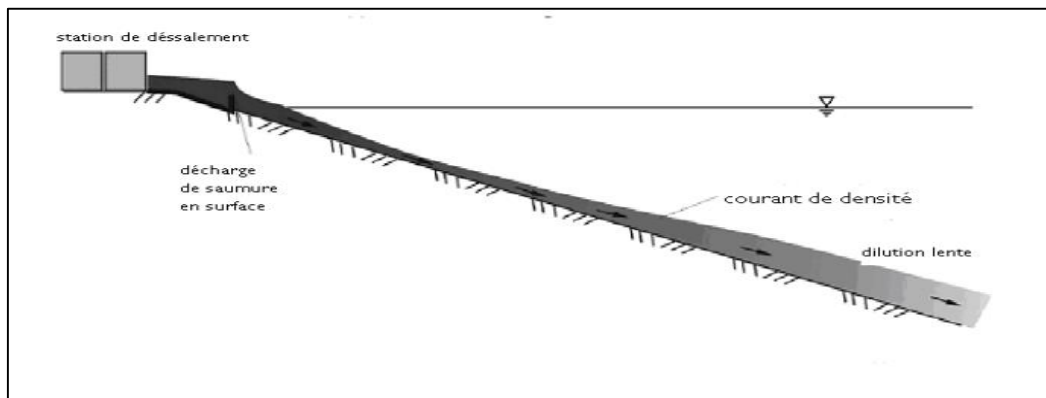


Figure V.22 : Schéma illustrant le mode de décharge utilisée dans la station. [41]

V.5 Conclusion :

Dans ce chapitre on a relevé tous les dysfonctionnements au sein de la station de dessalement du complexe GNL/1K. Ainsi on a étudié la performance du prétraitement et du traitement, par l'évolution des paramètres physico-chimiques et chimiques pendant une durée de 3 mois, en comparant ces valeurs à la norme fixée par le constructeur on a déterminé aussi la qualité des rejets (saumure) et l'impact de la station sur l'environnement. On peut conclure que la qualité de l'eau produite est acceptable mais la production s'est dégradée (baisse de débit d'eau dessalée produite) et cela est due principalement aux problèmes d'entartrage et de corrosion et l'ancienneté de la station (22ans de mise en service), donc la réhabilitation est exigée afin d'augmenter la production.

VI.1 Introduction :

Les principaux problèmes que l'on rencontre dans le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres sont des problèmes d'entartrage, de corrosion et de colmatage des surfaces d'échange.

La station de dessalement de l'eau de mer du complexe GNL/1K rencontre divers problèmes de dysfonctionnement et pour y remédier à cette problématique, il faut réhabiliter la station. Afin d'améliorer les performances nous suggérons des solutions selon les étapes de traitement : prétraitement, traitement, post traitement. Ceci nécessite une approche scientifique pour donner plus d'informations qui permettent une bonne compréhension afin de résoudre ces sérieux problèmes.

VI.2 Les solutions proposées :

Les solutions proposées pour améliorer la production de la station sont résumées comme suit :

- Améliorer le prétraitement ;
- isoler la conduite afin de souder les ruptures, concernant les fuites d'eau au niveau de la conduite de rejet de saumure ;
- Améliorer la production des évaporateurs par la réduction de l'entartrage et la corrosion ;
- Prendre en compte des mesures d'atténuations des impacts sur les ressources Marines ;
- Projeter un émissaire de rejets (saumure).

VI.2.1 L'amélioration du prétraitement :

- Suivre les déroulements du processus du pré chloration et assurer que le dosage de choc aura lieu, ainsi qu'assurer la disponibilité d'hypochlorite de sodium dans la station d'une façon régulière.
- Lancer un entretien efficace pour la réhabilitation des différents ouvrages : les grilles et les filtres.

VI.2.1.1 L'entretien des grilles grossières :

Vue le mauvais rendement des grilles grossières causée par l'arrêt des racleurs, nous proposons :

- Faire un réglage mécanique de ces derniers pour assurer leur mouvement, afin de garantir le bon nettoyage des grilles pour empêcher leurs colmatages.
- Organiser un programme afin de les nettoyer régulièrement.

VI.2.1.2 L'entretien des filtres rotatifs :

L'état dégradé des filtres rotatifs est dû principalement à la matière de construction qui ne résiste mal à la nature de l'eau de mer qui est très corrosive, pour cela on propose de faire un revêtement anticorrosion sur les filtres corrodés en suivant les étapes suivantes :

- Préparation de la surface en enlevant la rouille : Le burinage, le grattage et le brossage, sablage...
- Rechargement des trous de corrosion à la baguette de soudure.
- L'application de peinture anticorrosion "revêtements de type polymérique" SAKAPHEN (EPOXY) (2 à 3 couches) sur les côtés corrodés.

VI.2.2 Recommandations concernant les pompes :

- Etablir un planning pour le fonctionnement des pompes (ne dépassant pas 20h) pour la rentabilité et la durée de vie de cette dernière.
- Entretien des robinets vannes, les ventouses et les conduites de refoulements.

VI.2.3 La recherche et la réparation des fuites :

Pour réparer ces fuites, il faut les localiser. Il y a des fuites visibles et d'autres qui ne le sont pas. Comme la station comporte un système de comptage, il est facile de localiser les fuites, par un simple calcul du débit entrant et sortant de chaque tronçon. Mais dans le cas contraire, il est difficile de localiser. La seule méthode employée pour rechercher et localiser les fuites consiste à écouter et analyser les bruits captés au niveau de la conduite à l'aide d'appareil basé sur le principe du stéthoscope et compléter par des systèmes d'amplification mécanique ou électrique.

- **La réparation des fuites :**

Une fois les fuites sont localisées, on entreprend les travaux. Soit par une soudure de la conduite si celle-ci est en acier, ou bien on utilise des manchons de réparation dans le cas où les fuites sont importantes on change carrément le tronçon.

- Si la fuite n'est pas importante, on utilise le mortier.
- Si la fuite est importante, on refait les joints.

VI.2.4 L'amélioration de la production des unités de distillation :

D'après le diagnostic qu'on a effectué, les unités de distillation de l'eau du complexe (4T 1440) rencontrent divers problèmes de dysfonctionnement particulièrement l'entartrage de l'évaporateur et la corrosion.

VI.2.4.1 Méthodes de lutte contre l'entartrage :

L'évaporateur du procédé de dessalement a un rôle très important dans la production de l'eau dessalée. L'entartrage diminue de façon considérable le rendement de l'unité. Le constructeur a surdimensionné la cellule d'évaporation pour avoir un bon transfert malgré la présence de tartre ainsi il a exigé de faire un lessivage chaque 6 mois. Mais cela est insuffisant et le tartre aura lieu dans les évaporateurs.

Les conséquences économiques sont toujours importantes, elles se traduisent par :

- Un surdimensionnement des appareils par l'introduction d'un facteur d'encrassement dans la formule de calcul de la surface d'échange ;
- Une dépense d'énergie supplémentaire ;
- Un remplacement du matériel corrodé ;
- Des coûts d'arrêt pour le nettoyage et la séparation.

De façon générale, les techniques de lutte contre l'entartrage sont employés pour retarder les dépôts et ne pas pour les éliminer totalement. [38]

Afin d'éviter tout éventuel problème d'entartrage il est impératif de cerner toutes les causes probables relatives à cet effet et d'agir en conséquence en vue de les éliminer en respectant les processus suivants :

- Commencer par l'amélioration des procédés de prétraitement de l'eau de mer avant son arrivée à l'installation.

- Contrôler les paramètres opératoires de la vapeur d'alimentation et surtout la température d'entrée.
- Contrôler la température de sortie de la saumure, elle ne doit pas dépasser 65°C ;
- Respecter les paramètres de fonctionnement ;
- Eviter toute éventuelle fuite sur les réseaux travaillant sous vide ;
- Respecter un débit de 200 T/h en eau d'alimentation et respecter les différentes températures d'EDM à l'entrée de chaque cellule.
- Assurer le bon fonctionnement des éjecteurs de l'installation donc un bon suivi du débit de vapeur motrice et recyclée sera nécessaire ;
- Vérification systématique de la température avant chaque démarrage ;
- S'assurer un bon fonctionnement des pompes (eau distillée, recirculation de saumure et rejet de saumure) ;
- A chaque fois qu'une unité est à l'arrêt, nous recommanderons d'ouvrir les trappes d'inspections et de vérifier l'état de propreté de l'unité et d'envisager si besoin un lessivage acide.
- Respecter les conditions d'exploitation du procédé.

VI.2.4.1.1 Injection convenable des produits chimiques :

Une surveillance attentionnée des injections des produits chimiques (antitartre, antimousse) aide à maintenir l'entartrage au minimum tout au long de la vie de l'unité et réduire le risque d'accumulation anormale de tartre selon les échelles données .A chaque fois qu'une unité est à l'arrêt, nous recommanderons d'ouvrir les trappes d'inspections et de vérifier l'état de propreté de l'unité et d'envisager si besoin un lessivage acide. La surveillance de la disponibilité de la quantité nécessaire du (BS12) dans la station et nécessaire.

VI.2.4.1.2 Traitement choisi de la vapeur :

- Vérification de la vapeur entrante au système du procédé de dessalement.
- Vérifier les injections des produits chimiques sur les chaudières.
- suivre la régulation du système vapeur.

VI.2.4.1.3 Moyen de nettoyage :

Le lessivage chimique utilisé dans la station est insuffisant pour cela on propose d'effectuer un nettoyage mécanique.

✓ Nettoyage mécanique : [38]

Les procédés mécaniques de prévention ou d'élimination de l'encrassement pendant le fonctionnement de l'échangeur pouvant améliorer de façon significative la performance de l'appareil. Divers techniques sont disponibles sur le marché pour le nettoyage de la surface interne d'échange tubulaire en continu, il s'agit des procédés suivants :

- **Procédé à boules :**

Le nettoyage de la surface des tubes se fait au moyen d'une circulation permanente de boules en caoutchouc spongieuses. Le procédé consiste à injecter dans le circuit, en amont du faisceau des boules d'un diamètre légèrement inférieur au diamètre intérieur du tube. En service, les boules ont une densité très voisine de celle de l'eau afin d'assurer la répartition la plus uniforme possible des boules entre tous les tubes. Elles sont fabriquées de caoutchouc naturel biodégradable et ont une durée de vie de 4 semaines.



Figure. VI.01. : Les boules utilisées pour le nettoyage mécanique. [38]

- **Procédé à brosses**

Le nettoyage de la surface interne des tubes est réalisé au moyen d'une brosse évoluant sous l'action unique du fluide. Une vanne automatique permet d'inverser le sens de l'écoulement pendant l'exploitation. Ce dispositif peut être utilisé pour des tubes de diamètre compris entre 11 mm et 30 mm. Le diamètre des brosses est supérieur de quelques dixièmes de millimètres à celui du tube.

- **Procédé à ressorts :**

Il est constitué d'une spirale métallique souple en forme de ressort étiré, disposé dans chacun des tubes de l'échangeur sur toute leur longueur. Sous le simple effet du fluide circulant,

le dispositif entre en vibration et sa mise en contact répétitif avec les parois internes des tubes évite la formation des dépôts.

VI.2.4.2 Méthodes de lutte contre la corrosion :

Il existe plusieurs méthodes :

✓ **traitements de surface : [39]**

a) protection physique :

On applique un revêtement non métallique : émail, peinture antirouille (à base de minium Pb_3O_4), vernis, film de matière plastique, ... Cette couche doit être très adhérente et recouvrir tout le métal : la protection dure aussi longtemps que la couche de peinture perdure.

b) protection par une couche formée par réaction chimique :

On peut généraliser le phénomène de passivation spontané en envisageant la formation d'une couche superficielle protectrice grâce à une réaction chimique : en plongeant une pièce d'acier dans une solution chaude contenant des ions phosphate ou de l'acide phosphorique, H_3PO_4 , on provoque l'apparition d'une couche de phosphate de fer imperméable. Cette opération est utilisée dans l'industrie automobile pour protéger les carrosseries.

✓ **L'anode sacrificielle : [39] (anode réactive)**

L'anode sacrificielle est une structure corrodable puisqu'elle est constituée d'un métal non noble, afin d'assurer la protection cathodique, c'est-à-dire protéger un métal plus noble.

Cette structure peut prendre plusieurs formes géométriques.

✓ **protection électrochimique [39] :**

Ces méthodes sont beaucoup moins souples que les précédentes

a) Protection cathodique :

On relie le fer à protéger au pôle négatif d'un générateur électrique de telle sorte que le point de fonctionnement soit dans le domaine d'*immunité* du fer, le pôle \hat{A} étant relié à une anode inerte.

b) Protection anodique :

Cette fois-ci le fer est relié au pôle \hat{A} d'un générateur de telle sorte que le point de fonctionnement soit dans le domaine de passivation du fer, le pôle – étant relié à une cathode inerte. Ces méthodes sont beaucoup moins souples que les précédentes

- ✓ On propose pour protéger l'unité de distillation d'eau de mer (unité SIDEM 4T1440) contre la corrosion, l'utilisation des anodes sacrificielle en fer doux (acier au carbone) c'est-à-dire à faible teneur en carbone (<0,025%).

Elles sont de forme cylindrique, rectangulaire, trapézoïdale qui seront fixées sur la paroi de la boîte de distribution des condenseurs distillateurs, des équipements d'eau en question (conduite...).

On a opté à proposer d'utiliser les anodes sacrificielles vue leurs disponibilité dans le marché en respectant ainsi l'aspect technico-économique.

VI.2.4.3 Prévention contre la formation de la mousse :

Dans le processus d'évaporation, il est indispensable de veiller à ce que la vapeur séparée entraîne avec elle le moins de liquide possible cela est réalisé dans presque tous les types de séparateurs soient largement dimensionnés pour que la vitesse ascendante de vapeur soit inférieure à la vitesse de chute libres des particules de liquide pouvant être mise en suspension dans la vapeur.

Les causes de formation du moussage sont assez obscures. On pense généralement qu'elles sont provoquées par la présence des corps dissous dans la solution en très faibles quantités qui modifient la tension superficielle du liquide.

Les mousses peuvent être combattues par divers moyens dont le plus utilisé c'est l'injection de produit antimousse pour notre cas la station est muni d'un système d'injection de produit chimique et le moussage aura lieu donc on propose de garantir l'injection régulière du produit anti-mousse.

VI.2.3 Les solutions proposées pour réduire l'impact de la saumure sur l'environnement :

Afin de préserver l'environnement il faut prendre en considération les précautions suivantes :

- ✓ la réalisation d'une carte bathymétrique du site au large et de ses environs ;
- ✓ effectuer un choix de l'emplacement du prélèvement d'eau de mer et de l'émissaire d'une manière à respecter la stabilité du milieu marin.
- ✓ L'émissaire doit être situé au large en tenant compte du courant de surface et de profondeur.

- ✓ 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.
- ✓ Améliorer le prétraitement à fin de minimiser l'utilisation de produit antitartre et antimousse et donc minimiser la salinité de la saumure rejetée.
- ✓ 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.

VI.2.3.1 L'emplacement de la conduite de rejet projetée :

Dans le but de contrôler et minimiser la perturbation des écosystèmes. On a opté pour une solution qui paraît 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 (un émissaire de rejet par diffusion), 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.

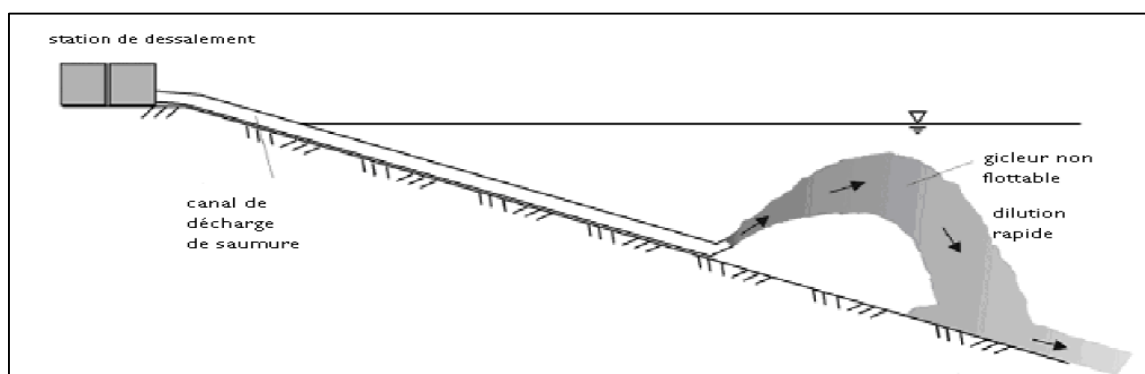


Figure VI.02 : Décharge submergée par l'intermédiaire de canalisation et bec ou diffuseur.
[41]

✓ L'emplacement de la conduite de rejet projetée :

On va projeter une conduite à environ 200 m au large, on doit assurer un point de rejet qui assure le mélange eau de mer et de saumure, pour cela il faut :

- Garantir un écoulement gravitaire en charge assurant une vitesse importante.
- Éviter que la conduite ne soit perpendiculaire au sens de la vague mais plutôt inclinée, pour avoir une meilleure stabilité ;
- Essayer d'éloigner la conduite de rejet par rapport à celle d'aspiration en prenant en compte les courants d'eau (de surface/ de profondeur).

✓ Le 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 (polyéthylène haute densité), 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.2.3.2 Dimensionnement de la conduite de rejet :

Les données nécessaires sont :

- La côte de départ de la conduite à partir de la station $C_1 = 2\text{m}$.
- La côte d'arrivée au large (en dessous du niveau de la mer) $C_2 = -8\text{m}$.
- La longueur de la conduite $L = 200\text{m}$.
- Le débit de rejet sortant de l'usine Q_r :

On a le débit de rejet pour chaque évaporateur : $156 \text{ m}^3/\text{h}$

Donc le débit maximum rejeté par l'usine est de : $Q_r = (156 \times 4)/3600 = 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le débit de dimensionnement : $Q_r = 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le diamètre est à déterminer, donc on calcule la charge disponible :

$$\Delta H_d = C_1 - C_2 \dots\dots\dots (VI.1)$$

$$= 2 - (-8) = 10 \text{ m}$$

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 :

$$\Delta H = \frac{(K \times L \times Q^\beta)}{D^m} \dots\dots\dots (VI.2)$$

Avec :

L: la longueur de la conduite en m .

Q: le débit de dimensionnement en m³/s.

K: coefficient dépendant du matériau constituant la canalisation

β : Exposant tenant compte du régime d'écoulement ;

m : Exposant tenant compte du type du matériau :

Tableau VI.01 : Les valeurs de K, m et β en fonction des matériaux. [42]

Tuyau	k	m	β
PEHD	0,001052	4,772	2

On a:
$$D = \sqrt[m]{\frac{(K \times L \times Q^\beta)}{\Delta H}} \dots\dots\dots (VI.3)$$

On calcule le diamètre :
$$D = \sqrt[4,772]{\frac{(0,001052 \times 200 \times 0,17^2)}{10}} = 0,212 \text{ m} = 212 \text{ mm}.$$

Le diamètre calculé se trouve entre deux diamètres normalisés :

$$200\text{mm} < 212\text{mm} < 250\text{mm}$$

La longueur de la conduite est de 200m (courte distance) On ne va pas proposer deux conduite en série avec les deux diamètres normalisés, on choisit plutôt un diamètre qui pourra vérifier la vitesse d'écoulement exigé dans la conduite afin d'éviter tous dépôt ($V > 2\text{m/s}$).

On a l'équation de continuité tel que :

$$Q = V \times S, \text{ tel que } V = 4Q/\pi D^2 \dots\dots\dots (VI.4)$$

Calcule :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = (4 \times 0,17) / (0,2^2 \times 3,14) = 5,41 \quad (\text{vitesse pouvant érodée la conduite}) \\ V_2 = (4 \times 0,17) / (0,25^2 \times 3,14) = 3,46 \quad (\text{vitesse vérifiée}). \end{array} \right.$$

Donc pour des raisons technico-économique on prend le diamètre 250 mm.

$$D = 250 \text{ mm}$$

Correction de la longueur de la conduite :

$$L = \frac{D^m \times \Delta H}{Q^{\beta} \times K} = \frac{0,25^{4,772} \times 10}{0,17^2 \times 0,001052} = 440.61 \text{ m.}$$

- Calcule de la pression nominale (PN) :

$$P = \rho \times g \times h \dots \dots \dots \text{ (VI.5)}$$

Avec :

ρ : la masse volumique de l'eau de mer.

g : l'accélération de la gravité.

H : la charge (m)

$$P = 1,033 \times 9,81 \times 10 = 101.33 \text{ m} = 10 \text{ bar.}$$

Donc la pression nominale est de l'ordre de : 10 bar.

Caractéristiques de la conduite projetée (Voir Annexe N°5) :

- Diamètre nominale (intérieur) : DN 250 mm en PEHD.
- Longueur : 440.61 m.
- La pression : PN10.
- L'épaisseur : 14,8 mm.
- Diamètre extérieur : 264.8 mm.
- Loin de la prise d'eau d'environ : 800m.
- Inclinée par rapport au sens des vagues qui est de l'Ouest vers l'Est.
- Munie d'une buse d'injection assurant la diffusion de la saumure (DN : 100mm).

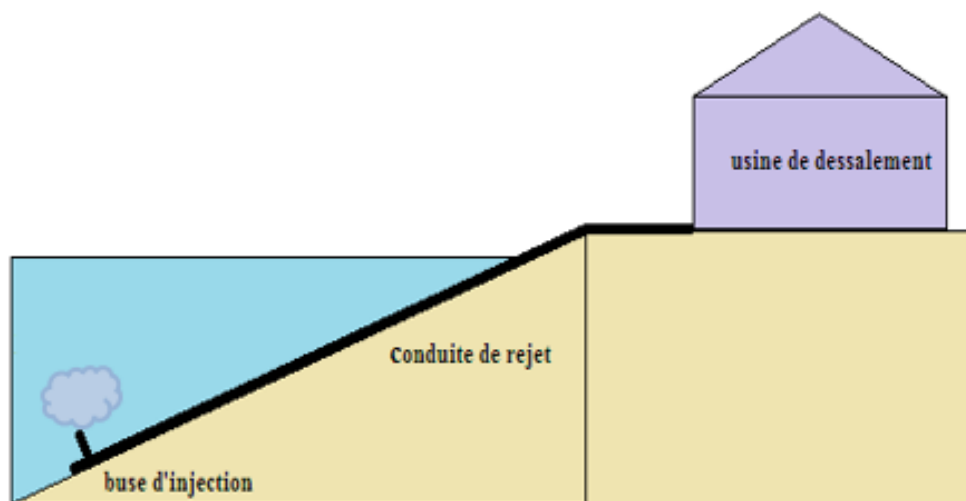


Figure VI.03 : La position de la conduite projetée (vue de profil).

[Propre schéma]



Figure VI.04 : l'emplacement de la conduite (vue en haut) [17]

On note que le positionnement parfait de l'émissaire prend en considération la géologie et la géomorphologie du milieu marin y compris les affleurements rocheux, les conditions sédimentologies et la stabilité des falaises.

VI.3 Conclusion :

Dans ce chapitre on a essayé de trouver des solutions aux problèmes rencontrés dans la station afin d'augmenter le rendement des unités de distillation et de prolonger la durée de vie des installations, ainsi on a pris des mesures d'atténuation des dégâts causés par la saumure rejetée au milieu marin, pour cela on a proposé d'installer un émissaire qui assure une meilleure dilution de la saumure.

Conclusion Générale

Le complexe GNL/1K a engagé de mettre des procédés de dessalement d'eau pour satisfaire les besoins permanentes de l'eau dessalée : eau de refroidissement et l'alimentation des chaudières, cela permet d'économiser nos ressources d'eau douce, essentiellement eaux de barrages pour notre région.

Dans cette étude, nous avons fait un diagnostic global des différentes étapes de traitement et relever tous les dysfonctionnements :

- la dégradation de certains ouvrages de prétraitement causé principalement par le mauvais entretien et le vieillissement de la station ;
- la diminution du rendement de certains évaporateurs (D et B) due aux problèmes d'entartrage et de corrosion à l'intérieur des cellules ;

Nous avons effectué des analyses des échantillons prélevés : eau brute, eau distillée, eau déminéralisée produite et la saumure, et enfin on a exploité les résultats pour mettre en évidence la performance du prétraitement, du traitement et du post traitement, et on a constaté que la qualité d'eau produite est légèrement à la norme et que le débit de production a dégradé au cours du fonctionnement, cela est dus principalement aux problèmes : d'entartrage, corrosion, moussage...

D'après la comparaison des analyses de saumure à celles de l'eau de mer on a illustré la grande différence entre eux ainsi que l'impact de la saumure et des autres rejets sur l'environnement, vu que le site de rejet existant rend la dilution de la saumure loin d'être réalisée ce qui est préjudiciable pour notre milieu marin.

A la fin, on peut dire qu'après 22 ans de mise en service la station rencontre de nombreux problèmes et la réhabilitation est la meilleure solution afin d'y remédier à ces problèmes, qui causent la diminution de la production et une augmentation du coût de fonctionnement de l'installation. Parmi les recommandations :

- L'entretien des ouvrages de prétraitement.
- La recherche et la réparation des fuites.
- L'injection convenable des produits chimiques (antitartre et antimousse).
- La planification d'un programme de nettoyage des évaporateurs.

- L'installation des anodes sacrificielles contre la corrosion des évaporateurs.
- L'installation d'un émissaire de rejet assurant la dilution de la saumure dans le milieu marin, on a opté pour une conduite en PEHD DN 250 d'une longueur de 440.61m, munie d'une buse d'injection qui assure la diffusion de la saumure.

Enfin pour finir, on pourra dire que tous les points importants de diagnostic et de réhabilitation ont été respectés dans notre étude, et nous souhaitons que ce modeste travail puisse servir comme référence pour les projets de dessalement d'eau de mer.

Références bibliographiques :

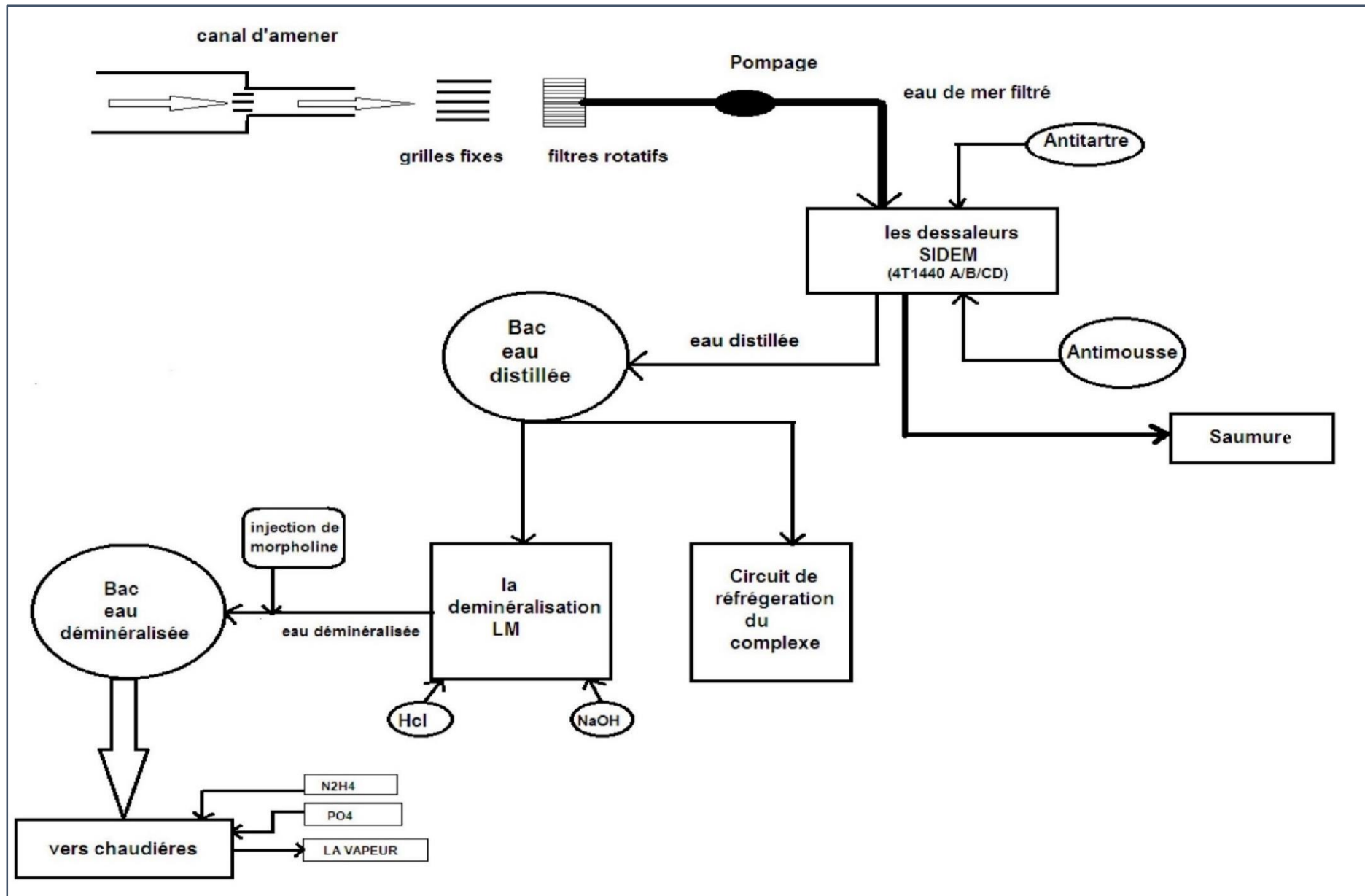
- [10]- ALAIN MAUREL, 2001 « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », éditions Technique & Documentation.
- [11]- ALAIN. MAUREL, 2006. «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres». 2^{ème} éditions, 286 P.
- [8]- Centre de développement des énergies renouvelables (CDER), 2009
- [38]- DUFFAU C, NAVARO J. M, VIDIL R ; 1991, «L'encrassement dans les échangeurs, Description, Prévention, Remèdes». 2^{ème} Edition, France, Edition GRET, 30p.
- [25]- " Evaporateur à effets multiples" ; 10 mars 2011 ; Isroma S.R.L.
- [22]- PATRICK DANIS Ingénieur ENSIA ; France Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés.
- [35]- GAL J. Y, BOLLINGER J. C, TOLOSA H, GACHE N; 1996; Calcium carbonate solubility, a reappraisal of scale formation and inhibition, 43, Talanta, p. 1497-1509.
- [19]- HADDAD A, 2001, Transfert thermique, Cours et données de base, USNB, France, p100-125, 9961-718-01-1.
- [40]- J.SCHIPPER ; mars 2000 ; "Environmental impact from desalination plants- pollution of the sea" ; Who cours ; le dessalement.
- [39]- "La protection de l'acier contre la corrosion"[PDF] Leçon 4A.1, généralité sur la corrosion, ESDEP, APK.
- [36]- LAIDI BABOURI, Mémoire Magister : "ETUDE DE LA RESISTANCE A LA CORROSION DES ALLIAGES DE CUIVRE EN MILIEU SALIN" ; 2008, spécialité : chimie appliquée Option : électrochimie – corrosion, l'université du 20 aout 1955 – SKIKDA
- [23]- Manuel de mise en service, évaporateur eau de mer « SIDEM », Vol I, Tome I, GNL/1K Skikda, 17 aout 1994, P. 2-50.
- [26]- Manuel opératoire, évaporateur eau de mer « SIDEM », Vol 2, Tome I, GNL/1K Skikda, 17 aout 1994, P. 48-85.
- [33]- Manuel opératoire, projet de rénovation GNL, présentation du complexe, 845-OEC-0080-0001, GNL/1K Skikda, 1999, p. 1-12.
- [34]- Manuel opératoire, les utilités, Vol I, Tome III, GNL/1K Skikda, 1994, p.40-65..
- [27]- MINTON E. P, Handbook Of evaporation technology, Noyes publication: Mill Road, Park Ridge, New jersey, USA, 1986, p. 203-210.
- [13]- Mise en service de la station d'El-Mactaa annoncée pour janvier : Oran sera alimentée à 100% par le dessalement ; Houari Barti; Publié dans Le Quotidien d'Oran le 09 - 12 – 2015.
- [1]- MORGAN MOZAS et ALEXIS GHOSN ; Etat des lieux du secteur d l'eau en Algérie ; Chefs de projet d'Ipemed ; IPMED ; Octobre 2013.
- [3]- NICHAN, M ; KHELI M,A; Changement climatique et ressource en eau en Algérie. 2015.
- [9]- M^{me} AMMOUR.F ; 2016 Cour 3^{ème} année ; option AEP ; Traitements d'affinage - Stabilisation de l'eau, ENSH Blida 2016.
- [14]- OIE au Formation à la maintenance des unités de dessalement l'Algérienne des eaux Novembre 2006.
- [15]- PHILIPPE APTEL, «Techniques de l'ingénieur », (OI, NF, UF) application en traitement des eaux, W4120- (2-3).

- [2]- Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. 07 Mars 2009.
- [6] -Programme des nations unies pour l'environnement ; PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE ; Réunion des Points Focaux du PAM ; Athènes, 11-14 septembre 2001.
- [4]- REMINI, 2010 ; "la problématique de l'eau en Algérie du nord" ; B. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 27-46.
- [5]- ROUISSAT BOUCHRIT ;« La gestion des ressources en eau en Algérie : Situation, défis et apport de l'approche systémique ».
- [28]- SCHULZE, Consulté le 26 décembre 1984, Evaporateurs à surface d'échange tubulaire.
- [16]- SEVERINE PLANTIER, 2013; Procédé de prétraitement d'eau avant osmose inverse en présence d'efflorescences Algales, Thèse de Doctorat, Université de Nantes,Saint-Nazaire,260P.
- [30]- Sonatrach séminaire Arzew 2011. Alain MAUREL Consultant. [PDF] " PROCÉDÉS DE DISTILLATION".
- [37]- TAIBLS (2015) ; Etude des performances de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de Fouka wilaya de Tipaza ; option : Alimentation en eau potable ; thèse pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en hydraulique, ENSH, Blida, 103p.
- [20]- Technologies Saint Laurent, potentiel des technologies membranaires.
- [41]- TOBIAS.B; GERHARD.H; " Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants"; Desalination, Vol 221, pp: 585-597 (2008).
- [21]- WILF M, Optimization of seawater RO system design, Desalination 173, 2005, p 1-12.

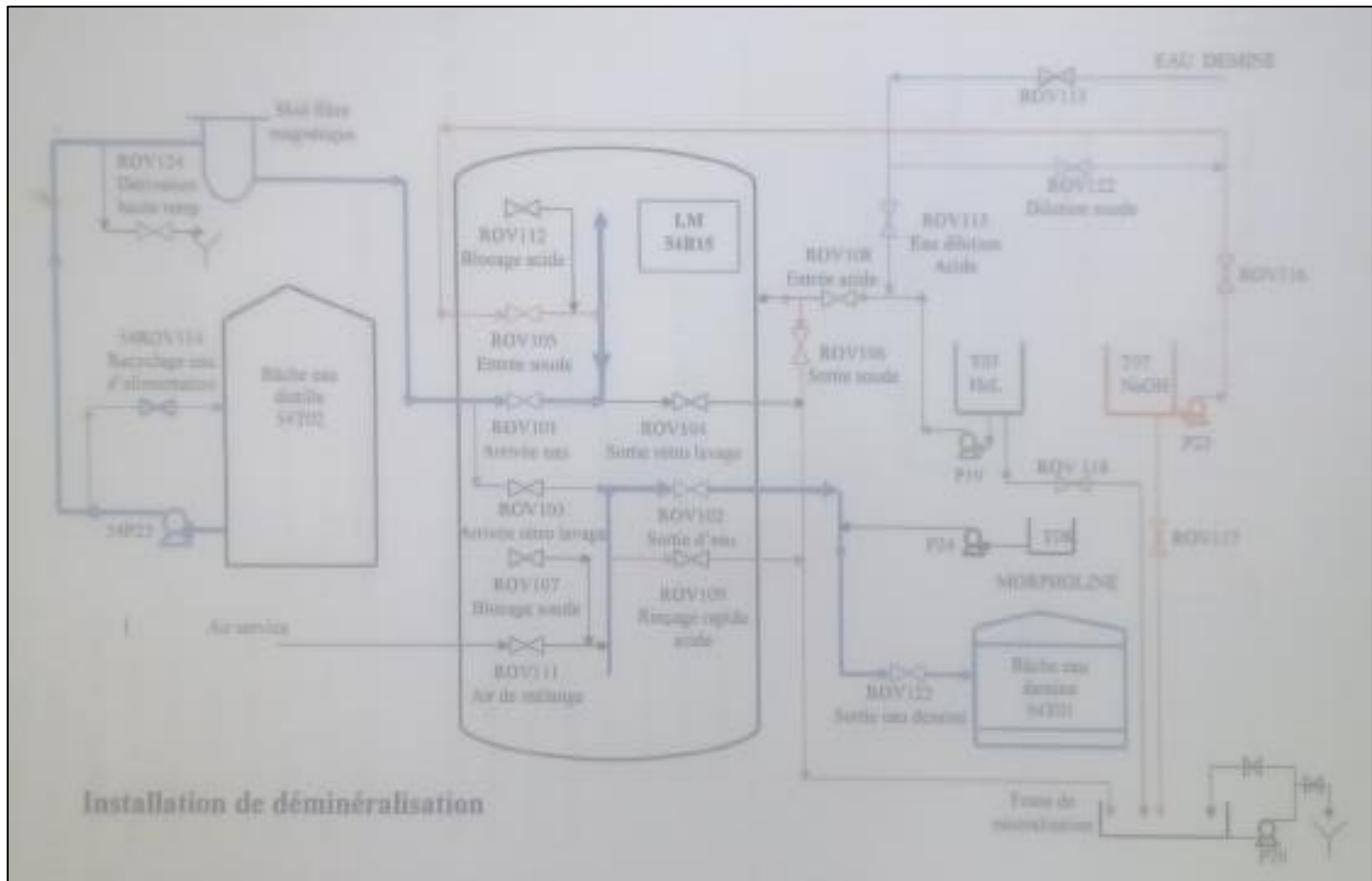
✓ **Les sites internet :**

- [12]- « Le dessalement de l'eau de mer et encore à ses débuts », [www.innovation -democratique.com](http://www.innovation-democratique.com) [consulté en mars 2016].
- [18]- « Le regroupement des membranes d'osmose inverse », www.larecherche.com [consulté en mai 2016].
- [22]- « L'électrodésionisation de l'eau (EDI) »,<http://www.lenntech.com.espanol.images-EDI>. [Consulté en mars 2016]
- [42]- Groupe CHiali; [www.groupe -chiali.com](http://www.groupe-chiali.com); Tube PEHD eau. [Consulté le 20 aout 2016]
- [7]- www.A.D.E.dz. [Consulté en 2016]
- [31]- SIDEM France ; www.sidem-fr.com. [Consulté le 01/03/2016]
- [17]- [www.google earth.com](http://www.google-earth.com). [Consulté en 2016]
- [24]- SIDEM ; Distillateurs à effets multiples, [PDF], [www.sidem desalination.com](http://www.sidem-desalination.com) . [Consulté le 24 février 2016]
- [29]- Source GEA Process Engineering. [Consulté le 10-03-2016].
- [32]- "SIDEM ENTROPIE" [Process of seawater desalination]. Veolia water- Solution & technologies. www.sidem.fr. [Consulté le 7-03-2016].
- [43] -[www. Algérie & Monographie.com](http://www.Algérie&Monographie.com) [Consulté le 20-08-2016].

Annexe N°1 : Diagramme générale de la station de dessalement du complexe GNL/1k de Skikda. [Propre schéma]



Annexe N°2 : schéma synoptique de la déminéralisation à lit mélangé de la station [Sonatrach 2009]



Annexes

Annexe N°3 :

Tableau.01 : Les normes de qualité de l'eau exigées par le constructeur selon les étapes de traitement [26] :

Paramètres	Eau filtrée	Eau distillée	Eau déminéralisée
La température (°c)	< 25	< 44	25
Ph	< 8,5	6,5	8
Turbidité (NTU)	< 1	< 0,5	<0,5
Conductivité (μS/cm)	/	< 10	0,3-0.5
TDS (mg/l)	/	< 6	<6

Annexe N°4 :

Méthodes de mesure et de caractérisation de l'agressivité [40] :

L'agressivité d'une eau peut être évaluée par un test chimique, appelé *essai marbre*. L'eau à analyser est additionnée d'une faible quantité de marbre finement broyé et lavé. Après 24 h, la comparaison des valeurs pH, TAC et TH avant et après cet ajout permet de définir les propriétés agressives ou non de l'eau. Il existe une méthode graphique permettant de déterminer la valeur de pH de saturation d'une eau. Elle est basée sur l'utilisation de nomogramme de HOOVER.

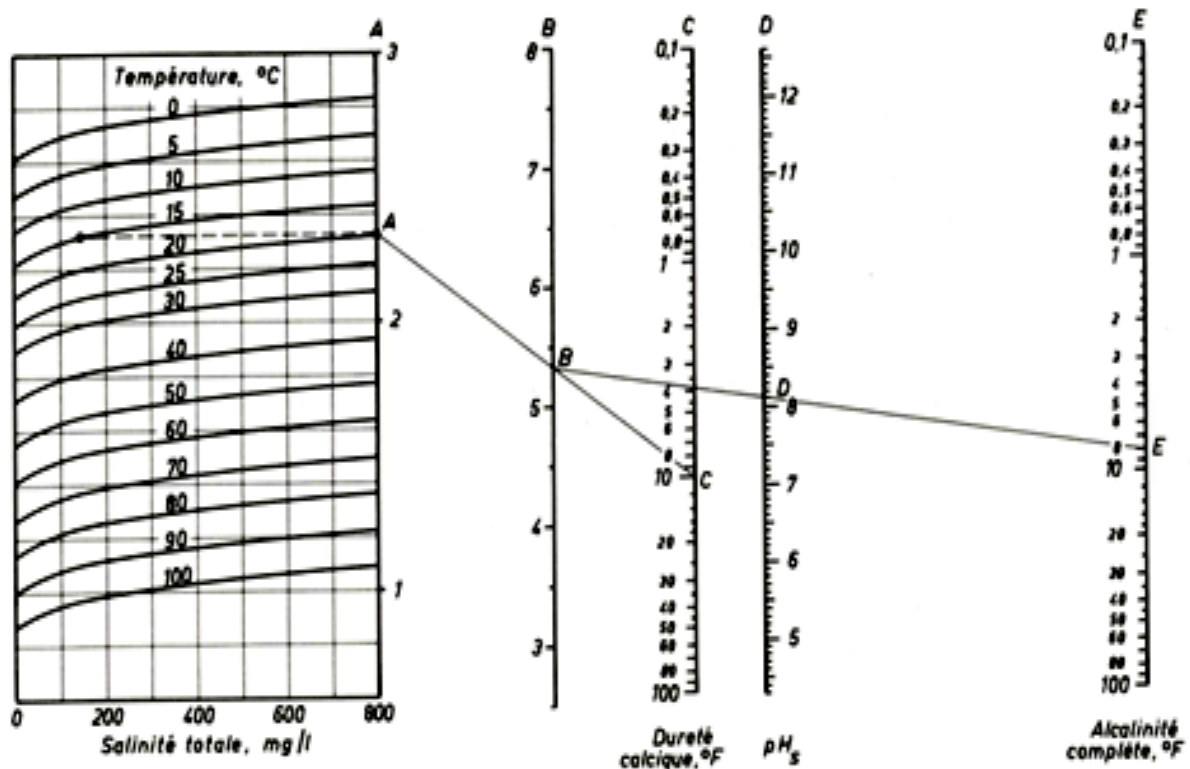


Figure.01 : Nomogramme de HOOVER-LANGELIER.

Annexes

La salinité totale et la température définissent un point A. Le point pivot B est défini en joignant le point A au point C représentant la dureté calcique. Le pH_s est ensuite défini par la droite joignant B à l'alcalinité E.

Il est aussi possible de déterminer indirectement si une eau est agressive, incrustante ou corrosive grâce à différents indices.

✓ **L'indice de Langelier (indice de saturation) :** $IL = pH - pH_s$.

Une eau agressive est caractérisée par un indice de Langelier (IL) négatif, ce qui signifie que le pH de l'eau mesuré est inférieur au pH de saturation : l'eau, sous-saturée en $CaCO_3$, dissout le calcaire sous l'action du CO_2 agressif. S'il est positif, il y a formation d'une couche de carbonate de calcium qui protège les tuyauteries.

✓ **L'indice de Rayznard :** $IR = 2pH_s - pH$.

Cet indice permet non seulement de différencier une eau entartrante d'une eau agressive ou d'une eau stable, mais aussi d'évaluer l'importance de l'entartrage ou de l'agressivité comme le montre le tableau suivant [9] :

Tableau.02 : la relation entre l'indice de stabilité et la tendance incrustante ou corrosive de l'eau : [9]

IR	Tendance
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Équilibre
7 à 7,5	Légère corrosivité
7,5 à 8,5	Corrosivité notable
> 8,5	Corrosivité importante

Annexes

Annexe N°5 :

Tableau.03 : les caractéristiques des conduites en PEHD [42]

Code	Caractéristiques
110030201	TUBE PEHD Ø 20 PN 10 EP. 2.0 mm
110030251	TUBE PEHD Ø 25 PN 10 EP. 2.0 mm
110070321	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 32 PN10 EP. 2.0 mm
110070401	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 40 PN 10 EP. 2.4 mm
110070501	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 50 PN10 EP. 3.0 mm
110070631	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 63 PN10 EP. 3.8 mm
110070751	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 75 PN 10 EP. 4.5 mm
110070901	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 90 PN10 EP. 5.4 mm
110071101	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 110 PN10 EP. 6.6 mm
110071251	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 125 PN10 EP. 7.4 mm
110071601	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 160 PN10 EP. 9.5 mm
110072001	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 200 PN10 EP. 11.9 mm
110072501	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 250 PN10 EP. 14.8 mm
110073151	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 315 PN10 EP. 18.7 mm
110074001	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 400 PN10 EP. 23.7 mm
110075001	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 500 PN10 EP. 29.7 mm
110076301	TUBE PEHD EAU PE100 Ø 630 PN10 EP. 37.4 mm
