

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université de Ain Témouchent Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Génie des Procédés
Domaine : Sciences et de Technologie
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie des Procédés des Matériaux
Thème

**Étude d'une unité de dessalement à usage industriel : Cas
de l'unité de flash multi-étagée de la centrale électrique à
cycle combiné de TERGA**

Présenté Par :

- 1) Mr. ZOUAOUI Youcef
- 2) Mr. KEBAILI Smâïn

Devant le jury composé de :

Pr. NEHARI Driss

Dr. MANSOUR Meriem

Dr. REMLAOUI Ahmed

Pr UAT.B.B (Ain Temouchent) Président

M CB UAT.B.B (Ain Temouchent) Examinatrice

MCB UAT.B.B (Ain Temouchent) Encadrant

Année Universitaire 2023/2024

Résumé

La centrale électrique de Terga (SKT) a pour objectif la production de l'électricité, grâce à la vapeur d'eau et la chaleur dégagée par la combustion de gaz naturel.

L'objectif de cette étude consiste à étudier le processus de fonctionnement de l'usine de dessalement de l'eau de mer (MSF) dans la centrale électrique à cycle combiné de Terga.

Le prétraitement est la première étape qui fait appel à une chloration et à une filtration. Après ce processus, on s'intéresse au procédé de dessalement par distillation à détentes successives qui produit une eau dessalée débarrassée de la quasi-totalité des sels. pour obtenons une eau pure nécessaire pour l'alimentation des auxiliaires électriques.

Des analyses physico-chimiques sont réalisées sur les différentes qualités d'eau produites. Les résultats expérimentaux obtenus, montrent que la qualité de l'eau produite est de parfaite qualité ce qui dénote l'efficacité des procédés utilisés.

Les procédés de dessalement MSF dans la centrale électrique affrontent de sérieux problèmes entraîne une baisse dans la production de l'eau dessalée dans les deux unités MSF.

Mots clés : Centrale électrique, Evaporateur, Eau de mer, Dessalement.

Abstract

The Terga power plant (SKT) aims to produce electricity, using water vapor and the heat released by the combustion of natural gas.

The objective of this study is to study the operation process of the seawater desalination plant (MSF) in the Terga combined cycle power plant.

Pretreatment is the first step which involves chlorination and filtration. After this process, we are interested in the desalination process by successive expansion distillation which produces desalinated water free of almost all salts. to obtain pure water necessary for powering the electrical auxiliaries.

Physico-chemical analyzes are carried out on the different qualities of water produced. The experimental results obtained show that the quality of the water produced is of perfect quality, which indicates the effectiveness of the processes used.

The MSF desalination processes in the power plant are facing serious problems leading to a drop in the production of desalinated water in the two MSF units.

Keywords: Power plant, Evaporator, Seawater, Desalination.

ملخص

تهدف محطة كهرباء ترغا (*SKT*) إلى إنتاج الكهرباء باستخدام بخار الماء والحرارة الناتجة عن احتراق الغاز الطبيعي.

الهدف من هذه الدراسة هو دراسة عملية تشغيل محطة تحلية مياه البحر (*MSF*) في محطة توليد كهرباء الدورة المركبة ترغا.

المعالجة المسبقة هي الخطوة الأولى التي تنطوي على الكلورة والترشيح. وبعد هذه العملية نهتم بعملية التحلية عن طريق التقطير التوسعي المتتابع الذي ينتج عنه مياه محلاة خالية من كل الأملاح تقريباً. للحصول على الماء النقي اللازم لتشغيل الأجهزة المساعدة الكهربائية.

يتم إجراء التحليلات الفيزيائية والكيميائية على الصفات المختلفة للمياه المنتجة. وتظهر النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها أن نوعية المياه المنتجة هي ذات جودة مثالية، مما يدل على فعالية العمليات المستخدمة.

وتواجه عمليات التحلية بتقنية *MSF* في محطة توليد الكهرباء مشاكل جديدة أدت إلى انخفاض إنتاج المياه المحلاة في وحدتي *MSF*.

الكلمات المفتاحية: محطة توليد الكهرباء، المبخر، مياه البحر، تحلية المياه.

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu pour tout le courage et la force qu'il nous a donné pour faire ce travail.

Merci à toutes nos familles et surtout nos parents, merci à tous qui nous aide sans exception. Nous les remercions pour leur soutien permanent.

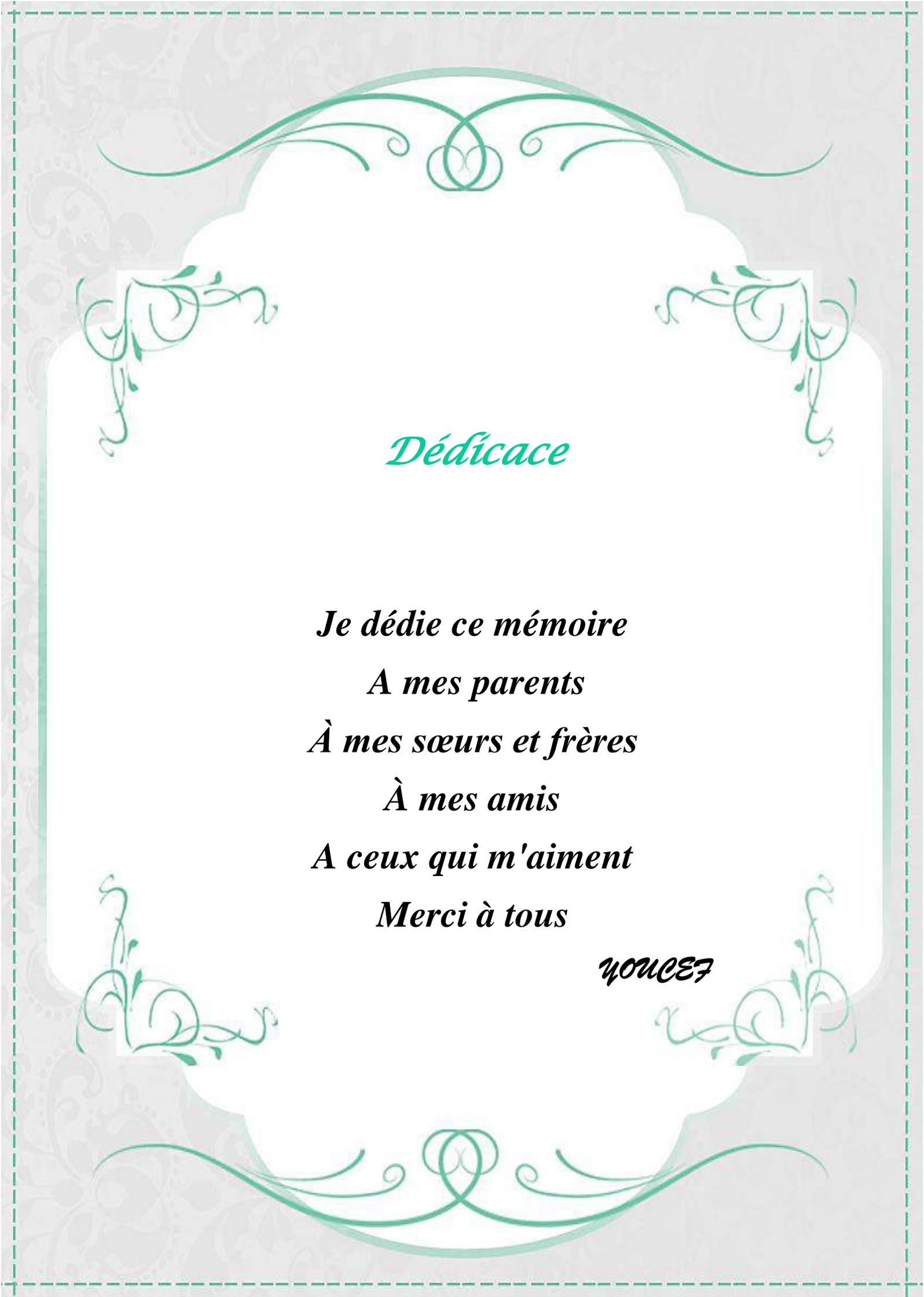
Nos remerciements spéciaux vont à Mr. REMLAOUI notre encadreur de mémoire pour sa gentillesse, pour ces conseils et de nous avoir guidés pas à pas dans notre travail.

Nous remercions les membres du jury, Monsieur le Président 'Pr. NEHARI Driss' et Madame l'examinatrice 'Dr. MANSOUR Meriem'.

Nous tenons à remercier vivement Mr. Otsmane Mohammed, et Mr. Salah qui nous ont formés et accompagnés tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie, nous possédons désormais une expérience du terrain qui nous donne des pistes pour nous améliorer.

Nous adressons nos remerciements également à tous membres de laboratoires, chercheurs, techniciens et ingénieurs de la centrale électrique de TERGA avec qui nous avons eu le plaisir de travailler.

Enfin, nous remercions, tous nos amis et nos collègues, toutes les personnes qui nous ont encouragées soutenu de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

The page is framed by a decorative border of green scrollwork. The border consists of a top and bottom arch, and four corner flourishes. The background is a light grey with a subtle floral pattern.

Dédicace

*Je dédie ce mémoire
A mes parents
À mes sœurs et frères
À mes amis
A ceux qui m'aiment
Merci à tous*

20087

A decorative border of green scrollwork and floral motifs surrounds the central text. The border is composed of elegant, flowing lines that create a frame around the content.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes parents

A ma femme

A mes enfants

À mes sœurs et frères

À mes amis

A ceux qui m'aiment

Merci à tous

SMAM

Liste des figures

CHAPITRE I:

Figure (I.1)	Le cycle de l'eau.....	4
Figure (I.2)	Répartition de l'eau sur terre.....	4
Figure (I.3)	Principe de base du dessalement de l'eau de mer.....	7
Figure (I.4)	Schéma générale d'une installation de dessalement.....	7
Figure (I.5)	Procédés de dessalement.....	11
Figure (I.6)	La source d'énergie disponible des procédés industriels de dessalement.....	11
Figure (I.7)	Procédé de distillation.....	12
Figure (I.8)	Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF)...	13
Figure (I.9)	Distillation à simple effet.....	13
Figure (I.10)	Distillation à effets multiples.....	14
Figure (I.11)	Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)....	15
Figure (I.12)	Usine de dessalement Al Ghalilah (Oman) 2 x 500 m ³ /j MVC.....	15
Figure (I.13)	Compression mécanique de vapeur à un seul effet.....	16
Figure (I.14)	Principe du procédé à compression mécanique de vapeur (MVC).....	16
Figure (I.15)	Thermo compression à quatre effets.....	17
Figure (I.16)	Schéma du procédé de dessalement par congélation sur parois froides.....	18
Figure (I.17)	Osmose et osmose inverse.....	19
Figure (I.18)	Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	20
Figure (I.19)	Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle.....	22
Figure (I.20)	Principe de la distillation Membranaire.....	23
Figure (I.21)	Système Humidification-déshumidification.....	24

CHAPITRE II:

Figure (II.1)	La centrale électrique à cycle combine de TERGA.....	30
Figure (II.2)	Localisation géographique de la centrale SKT.....	30
Figure (II.3)	L'organisation du fonctionnement de la centrale.....	31
Figure (II.4)	Principe du fonctionnement du cycle combiné mono arbre.....	32
Figure (II.5)	Vue en 3D de la centrale électrique de TERGA.....	33

Figure (II.6)	L'unité de production d'énergie électrique.....	34
Figure (II.7)	Un rotor de turbine a gaz.....	34
Figure (II.8)	Turbine à gaz GT 26.....	35
Figure (II.9)	Un alternateur Alstom (type 50WT21H-120).....	35
Figure (II.10)	La Chaudière de Récupération (HRSG).....	36
Figure (II.11)	La Turbine à vapeur Alstom.....	37
Figure (II.12)	Schéma de la ligne d'arbre.....	37
Figure (II.13)	Station pompage E40.....	38
Figure (II.14)	Unité d'électro-chloration.....	40
Figure (II.15)	Unité de Production d'eau dessalée MSF.....	41
Figure (II.16)	Déminéralisation totale avec lit mélangé.....	42
Figure (II.17)	L'Unité de déminéralisation.....	43
Figure (II.18)	La station de production d'hydrogène.....	44
Figure (II.19)	Equipements de protection contre les incendies.....	45
Figure (II.20)	Laboratoire de la centrale.....	46
Figure (II.21)	Appareils d'analyse d'huile dans laboratoire.....	46
Figure (II.22)	Poste d'échantillonnage.....	47
Figure (II.23)	Station de traitement des eaux usées.....	48
Figure (II.24)	la répartition de l'eau dessalée dans la centrale.....	49

CHAPITRE III :

Figure (III.1)	Station d'entrée d'eau de mer.....	51
Figure (III.2)	Filtration primaire (dégrillage).....	51
Figure (III.3)	Filtration secondaire (filtres rotatifs).....	52
Figure (III.4)	La station de pompage.....	52
Figure (III.5)	Schéma de station de pompage.....	54
Figure (III.6)	Station de transfert de l'eau de mer : (a) Bassin de tranquillisation, (b) trois pompes de dessalement.....	54
Figure (III.7)	Les filtres d'eau de mer entrée dans l'unité de production d'eau dessalée....	56
Figure (III.8)	L'interface H.M illustrant le schéma de fonctionnement de la chaudière.....	56
Figure (III.9)	La chaudière a vapeur.....	57
Figure (III.10)	Caractéristiques principales de la Chaudière : (a) Foyer de grand diamètre, (b) Tuyaux mandrinés, (c) Plaques tubulaires bordées, (d) Trois parcours de fumée, (e) Grande capacité et intense circulation de l'eau.....	58

Figure (III.11)	Le réchauffeur de saumure.....	59
Figure (III.12)	L'évaporateur.....	60
Figure (III.13)	Section de deux étages évaporateur.....	61
Figure (III.14)	Condenseur Agencement de la récupération.....	62
Figure (III.15)	Condenseur Agencement du rejet.....	62
Figure (III.16)	L'interface H.M illustrant les éjecteurs de vide.....	65
Figure (III.17)	Poste de gaz de dessalement.....	65
Figure (III.18)	Les réservoirs de stockage pour les deux unités de dessalement.....	66
Figure (III.19)	Les instruments de mesure installés.....	67
Figure (III.20)	Les principales pompes nécessaires au processus : (a) Pompe de Circulation saumure, (b) Pompe de Prélèvement saumure, (c) Pompe Extraction Distillat.....	67
Figure (III.21)	Le phénomène de tartre.....	69
Figure (III.22)	L'interface H.M représentant les réservoirs des additifs chimiques.....	70
Figure (III.23)	L'interface H.M illustrant le schéma de fonctionnement de réchauffeur.....	74
Figure (III.24)	Présentation des 10 étages de Récupération de Chaleur de l'unité M.S.F....	75
Figure (III.25)	D'alimentation en eau de mer dans la Section Rejet Chaleur (étage 11 et 12).....	75
Figure (III.26)	Installation de dessalement de la centrale à cycle combiné de Terga.....	77

CHAPITRE IV:

Figure (IV.1)	Différents appareils d'analyse utilisées à laboratoire de la centrale : (a) Spectrophotométrie UV-VIS, (b) Conductivimétrie, (c) pH mètre.....	80
Figure (IV.2)	Evolution de pH.....	83
Figure (IV.3)	Evolution de la température.....	83
Figure (IV.4)	Evolution de la conductivité.....	84
Figure (IV.5)	Evolution de TDS.....	85
Figure (IV.6)	Evolution de fer et de cuivre en fonction de l'eau traitée.....	86
Figure (IV.7)	Evolution de Cu en fonction de Cl 2.....	87
Figure (IV.8)	Histogramme représentant le volume de production des eaux de l'année 2023 dans la centrale.....	88
Figure (IV.9)	Histogramme représentant la production mensuelle de l'eau dessalée en m ³ /h pour l'année 2023.....	90
Figure (IV.10)	Histogramme représentant la production moyenne de l'eau dessalée en m ³ /h pour l'année 2023.....	92

Figure (IV.11) Histogramme représentant La Production quotidienne en fonction de Température de l'eau de mer.....	94
Figure (IV.12) La Production en fonction de température de saumure.....	95
Figure (IV.13) Evolution de pression en fonction de température pour chaque étage.....	96

Liste des tableaux

CHAPITRE I:

Tableau (I.1)	Volume et temps de séjour de l'eau dans les différents réservoirs.....	6
Tableau (I.2)	Les stations monobloc de dessalement en Algérie.....	9
Tableau (I.3)	Les grandes unités de dessalement.....	10
Tableau (I.4)	Comparaison des techniques de dessalement basées sur la distillation.....	25
Tableau (I.5)	Comparaison des techniques de dessalement.....	26

CHAPITRE III:

Tableau (III.1)	Données de la Chaudière.....	58
Tableau (III.2)	Principaux paramètres de conception pour chaque étage évaporateur (Sommet T =90°C, T eau mer = 26°C).....	63
Tableau (III.3)	Les principaux pompes secondaires de l'installation.....	68
Tableau (III.4)	Caractéristiques techniques de l'installation de dessalement MSF.....	72

CHAPITE IV:

Tableau (IV.1)	: Différents méthodes d'analyse utilisées à la centrale.....	80
Tableau (IV.2)	: Résultats des analyses de l'eau de mer.....	81
Tableau (IV.3)	: Résultats des analyses de l'eau dessalée.....	81
Tableau (IV.4)	: Résultats des analyses de l'eau déminéralisée.....	82
Tableau (IV.5)	: Evolution de cuivre en fonction de Chlore.....	87
Tableau (IV.6)	: Volume de production des eaux de l'année 2023 dans la centrale.....	88
Tableau (IV.7)	: La production mensuelle d'une unité de dessalement de l'année 2023.....	90
Tableau (IV.8)	: La production mensuelle et moyenne de l'eau dessalée de l'année 2023.....	92
Tableau (IV.9)	: La Production quotidienne en fonction de Température de l'eau de mer.....	93
Tableau (IV.10)	: La Production en fonction de température de saumure.....	94
Tableau (IV.11)	: Evolution de pression en fonction de température pour chaque étage.....	96

Listes d'abréviations

Ppm : Partie par million

Ppb : Partie par billion

TDS : Solides totaux dissous

MSF : Multi-Stage-Flash distillation (distillation à détente étagées)

MED : Multi-Effet-Distillation (distillation à effet multiple)

RO : Osmose inverse

ED : Electrodialyse

HP : Haute pression

MP : Moyenne pression

BP : Basse pression

SKT : Shariket Kahraba Terga

TG : Turbine à gaz

TV : Turbine a vapeur

HRSG : Heat Recovery Steam Generators (système chaudière de récupération)

LM : Lits Mélangés

Disp. : Dispositif

Sommaire

Résumé	I
Remerciements	III
Dédicace	IV
Sommaire	VI
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VI
Listes d'abréviations	VI
General Introduction	1

CHAPITRE I: Généralités sur le dessalement de l'eau de mer

Introduction.....	3
I.1- Disponibilité et utilisation de l'eau.....	3
I.2- Les eaux marines et saumâtres.....	5
I.2.1-Eaux de mer.....	5
I.2.2-Les eaux saumâtres.....	6
I.3 - Le dessalement de l'eau de mer.....	6
I.3.1- Définition.....	6
I.3.2-Schéma général d'une usine de dessalement.....	7
I.3.3-Dessalement en Algérie.....	8
I.4 -Les principales technologies de dessalement des eaux.....	10
I.4.1-Procédés nécessitant un changement de phase.....	12
I.4.1.1-Passage de l'eau liquide a l'état vapeur (les procédés de distillation).....	12
I.4.1.1.1-Procédé de distillation par détente successive (Multi Stage Flash distillation MSF).....	12
I.4.1.1.2-Distillation à simple effet.....	13
I.4.1.1.3-Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED)	14
I.4.1.1.4-La compression de vapeur.....	15
I.4.1.2-Passage de l'eau liquide a l'état solide.....	17
I.4.1.2.1-Dessalement de l'eau de mer par congélation.....	17
I.4.2-Procédés ne nécessitant pas un changement de phase.....	19
I.4.2.1-Les procédés membranaires.....	19
I.4.2.1.1-L'osmose inverse.....	19
I.4.2.1.2-L'électrodialyse.....	21

I.4.3-Autres procédés de dessalement.....	22
I.4.3.1-Distillation membranaire (MD).....	22
I.4.3.2-Procédé d'humidification-déshumidification (HDH).....	23
I.4.3.3-Processus d'échange d'ions.....	24
I.4.4- Comparaison des procédés thermiques.....	24
I.4.5-Comparaison des procédés membranaires.....	25
I.4.6-Comparaison des procédés de dessalement.....	25
I.4.7-Avantages de la distillation.....	26
I.4.8-L'avantages principal du procédé MSF.....	27
I.5-Impacts environnementaux du dessalement.....	28
Conclusion.....	28

CHAPITRE II: Présentation de la centrale électrique à cycle combine de TERGA

Introduction.....	29
II.1- Présentation général de la centrale électrique.....	29
II.2- Objectifs de la centrale à cycle combiné de TERGA.....	29
II.3- Situation géographique du complexe (Localisation).....	30
II.4- L'organigramme.....	30
II.5- Principe de fonctionnement du cycle combiné « mono arbre ».....	32
II.6- Les différentes unités du complexe.....	33
II.6.1- L'unité principale de production d'énergie électrique.....	33
II.6.2- Les unités auxiliaires de la centrale électrique.....	38
II.6.2.1- La station de pompage E02.....	38
II.6.2.2- Station pompage E40.....	38
II.6.2.3- Unité d'électrochlorination.....	39
II.6.2.4- L'usine de dessalement.....	40
II.6.2.5- L'unité de déminéralisation.....	41
II.6.2.6- La station de production d'eau potable.....	43
II.6.2.7- La station de production d'hydrogène.....	43
II.6.2.8- Station d'air comprimé.....	44
II.6.2.9-Equipements de protection contre les incendies.....	45
II.6.2.10-Système de contrôle.....	45
II.6.2.11-Laboratoire et leurs analyses.....	45
II.6.2.12-Poste d'échantillonnage.....	46
II.6.2.13-Station de traitement des eaux usées.....	47
II.7-Besoins en eau dessalée de la centrale électrique de Terga.....	48
Conclusion.....	49

CHAPITRE III: Technologie de dessalement de l'eau de mer au niveau de la centrale

Introduction.....	50
III.1- Prétraitement.....	50
III.1.1- La prise d'eau.....	50
III.1.2- Filtration de l'eau de mer.....	51
III.1.3- La station de pompage.....	52
III.1.4- La chloration.....	53
III.1.4.1- Dosage en continu.....	53
III.1.4.2- Dosage choc.....	53
III.1.5- Bassin de tranquillisation.....	54
III.2- Présentation de l'installation de dessalement MSF.....	55
III.2.1- L'équipement principal de l'installation.....	55
III.2.1.1- Système de commande.....	55
III.2.1.2- Filtration de l'eau de mer entrer dans l'unité MSF.....	55
III.2.1.3- La Chaudière.....	56
III.2.1.4- Le réchauffeur de saumure.....	59
III.2.1.5- L'évaporateur.....	59
III.2.1.6- Le Système de Vide.....	64
III.2.1.7- Poste gaz.....	65
III.2.1.8- Système d'alimentation en gasoil.....	65
III.2.1.9- les réservoirs de stockage.....	66
III.2.1.10- Les capteurs de mesure.....	66
III.2.1.11- Les pompes.....	67
III.2.2- Description des additifs chimiques.....	68
III.2.2.1- Additifs chimiques pour chaudières.....	68
III.2.2.2- Le traitement antitartre.....	68
III.2.2.3- Le traitement anti-mousse.....	69
III.2.2.4- Nettoyage acide de l'unité de dessalement MSF.....	70
III.2.3- Données techniques.....	72
III.2.4- Principe de désalinisation flash.....	73
III.2.5- Principe du fonctionnement de l'usine de dessalement MSF.....	73
III.2.6- Les phases principales pour le démarrage.....	77
Conclusion.....	78

CHAPITRE IV: Etude expérimentale et interprétation des résultats

Introduction.....	79
IV.1- Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la station de traitement.....	79
IV.1.1-Prélèvement des échantillons.....	79
IV.1.2-Les méthodes d'analyses.....	80
IV.1.3-Résultats et discussion des analyses.....	81
IV.1.3.1-Les résultats.....	81
IV.1.3.2-Interprétation des résultats.....	82

IV.1.3.2-Evolution de cuivre en fonction de chlore.....	86
IV.2-La production des eaux de l'unité de dessalement M.S.F.....	87
IV.2.1-Méthodes et matériels.....	88
IV.2.2-Calculs et interprétation des résultats.....	88
IV.2.2.1-Production des eaux de l'année 2023.....	88
IV.2.2.2-Production mensuelle d'un unité de dessalement MSF a la centrale électrique a cycle combiné de Terga (année 2023)	89
IV.2.2.3-Calcul de la production moyenne de l'unité de dessalement.....	91
IV.2.2.4-Production mensuelle et moyenne d'un unité de dessalement (année 2023).....	91
IV.2.2.5-Evolution de Production quotidienne en fonction de Température de l'eau de mer.....	93
IV.2.2.6- La Production en fonction de température de saumure.....	94
IV.2.2.7-Evolution de pression en fonction de température pour chaque Etage.....	95
Conclusion.....	96
Conclusion générale.....	98



INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

Devant les besoins croissants de l'eau domestique ou bien industrielle, et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'humanité est conduite à étudier et à développer divers procédés permettant de l'obtenir à partir des eaux de mer ou des eaux saumâtres.

L'électricité devient une forme d'énergie de plus en plus essentielle dans la croissance économique mondiale et l'importance de l'eau est différente selon les filières de production considérées. Les centrales thermiques sont des installations qui transforment la chaleur fournie par une source d'énergie en énergie électrique. Cette dernière est produite par divers moyens, c'est ce qui différencie les centrales (centrale hydraulique, diesel, à charbon, à gaz, à vapeur, etc.),

La centrale électrique a cycle combiné de Terga est une centrale thermique qui fait appel aux caractéristiques thermodynamiques de l'eau de mer dans un but de transformation d'énergie. La combustion s'opère à l'intérieur d'une chaudière dans laquelle des tubes assurent une circulation d'eau. La transformation de cette dernière en vapeur entraîne une turbine associée à un alternateur producteur d'énergie électrique.

L'eau de mer, de par sa nature, est très corrosive vis-à-vis des matériaux de construction. Elle est chargée de sels, de gaz dissous et de solides en suspension. Au début du développement des chaudières, le traitement de l'eau n'était pas vraiment un problème, car les températures et les pressions étaient faibles. Il était cependant d'usage d'installer des plaques de zinc et / ou des produits chimiques alcalins pour réduire la corrosion dans la chaudière. Cependant, dans les chaudières modernes, le traitement de l'eau d'alimentation de la chaudière est extrêmement critique, car de nombreux problèmes peuvent résulter de l'utilisation d'eau non traitée dans des environnements de pression et de température extrêmes ; Cela comprend une efficacité moindre en termes de transfert de chaleur, de surchauffe, de dommages et de coûts élevés de nettoyage.

Pour les besoins de production d'énergie électrique et compte tenu de l'insuffisance des ressources en eau brute du réseau pour certains besoins industriels, la centrale de production d'électricité de Terga a été amenée à installer deux unités de dessalement d'eau de mer à détentes successives (Multi-stage flashing M.S.F), chacune d'une capacité de production de 960 m³/jour, et fonctionnant à une température de saumure pouvant atteindre 90 degrés Celsius pour produire de l'eau nécessaire pour l'appoint des chaudières. L'objectif de ce traitement est de diminuer ou d'éliminer totalement les particules dissous dans l'eau.

Objectifs de recherche

L'objectif de cette étude consiste à étudier le processus de fonctionnement de l'usine de dessalement de l'eau de mer (MSF) dans la centrale électrique a cycle combiné de Terga.

Notre étude consiste à définir les procédés de traitement des eaux de mer adaptés pour la centrale dans le but de produire de l'eau destinée à l'alimentation des chaudières à haute pression. Nous allons nous baser sur l'étude de procédés de dessalement de l'eau de mer. Cette étude sera soutenue par des analyses effectuées sur des échantillons prélevés dans différents endroits du circuit de l'eau.

Dans la deuxième partie, nous étudierons les principaux facteurs affectant la production dans l'unité de dessalement MSF de la centrale électrique à cycle combiné de Targa.

Structure du mémoire

Suite à cette introduction :

- ❖ Dans le premier chapitre, une revue de la littérature sera présentée. Disponibilité et utilisation de l'eau, les principales technologies de dessalement et comparaison entre les procédés.
- ❖ Dans le deuxième chapitre, une étude sur la centrale électrique Shariket Kahraba Terga. Présentation générale de la centrale électrique, Objectifs de la centrale à cycle combiné, Les différentes unités du complexe, Besoins en eau dessalée de la centrale électrique.
- ❖ Le troisième chapitre présente Le principe de fonctionnement de l'usine de dessalement MSF, L'équipement principal de l'installation, Description des additifs chimiques.
- ❖ Le dernier chapitre est consacré à l'Etude expérimentale et interprétation des résultats des analyses des eaux traitées, La production des eaux de l'unité de dessalement M.S.F.

Enfin, nous concluons par une conclusion générale de ce manuscrit.



Chapitre I : Généralités Sur Le Dessalement De L'eau De Mer



Introduction

Les ressources en eau douce sont très inégalement réparties et ne représentent qu'environ 2,5 % du volume d'eau existant sur la Terre. Or, les besoins en eau douce sont de plus en plus importants. Une bonne partie des zones consommatrices se trouvant proches des rivages océanique, une solution intéressante consiste à dessaler l'eau de mer. [1]

La nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante dans de nombreuses parties du monde. Au cours des années 1950 – 1990, la consommation mondiale d'eau a triplé, tandis que la population de la planète augmentait de 2,3 milliards d'habitants. Les besoins en eau dans le présent et le futur accusent une croissance effective. On estime que, d'ici à 2025, les demandes en eau augmenteront de 32% au moins pour les pays du Sud et de l'Est. Il va de soi que des besoins d'une telle ampleur ne peuvent être uniquement couverts et satisfaits que si l'on a recours à des ressources en eau non conventionnelles, comme le recyclage et le dessalement de l'eau (UNEP, 2009). [2]

Le dessalement de l'eau s'impose, dans un certain nombre de pays du pourtour méditerranéen, comme une option pour sécuriser l'alimentation en eau potable des populations des villes côtières, compte tenu de l'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'agriculture et de l'industrie. [3]

I.1- Disponibilité et utilisation de l'eau :

Il existe des ressources en eau naturelles renouvelables et des ressources en eau naturelles non renouvelables (MARGAT, 1996). Autrement, elles représentent la quantité d'eau de surface ou souterraine disponible à l'échelle mensuelle ou annuelle dans une région et susceptible de satisfaire les besoins domestiques, industriels, agricoles ou autres (de PARCEVAUX et al, 1990). [4]

La circulation continue de l'eau entre l'atmosphère et la Terre constitue le cycle de l'eau ou cycle hydrologique (figure I.1). Grâce aux rayons de soleil, l'eau peut passer à l'état gazeux et s'évaporer dans l'atmosphère. Ensuite, avec l'abaissement de la température, cette vapeur d'eau se transforme en fines gouttelettes (condensation), qui se maintiennent en suspension dans l'atmosphère pour former les différents types de nuages. Les gouttelettes d'eau s'agglutineront et grossiront jusqu'à ce qu'elles atteignent le poids critique qui causera leur chute. Selon les vents et le climat, l'eau retombera sous forme de pluie, de grêle ou de neige.

En tombant au sol, une partie de l'eau s'écoule à la surface des terres jusqu'aux ruisseaux, aux rivières et aux fleuves pour finalement rejoindre la mer; c'est le ruissellement. Plus la pente du terrain est prononcée et moins le sol est poreux, plus le volume du ruissellement sera important. Le bassin hydrographique ou bassin versant d'un cours d'eau correspond en fait à l'ensemble du territoire drainé par ce dernier.

Une autre partie de l'eau tombée pénètre le sol par percolation et atteint les nappes d'eau souterraine; cette eau peut se déplacer verticalement ou horizontalement sous la surface de la terre jusqu'à ce qu'elle rejoigne des eaux de surface. L'eau qui a pénétré dans le sol peut aussi être captée par les racines des végétaux. Une partie de celle-ci est ensuite rejetée dans l'atmosphère par l'évapotranspiration qui se réalise au niveau des feuilles. Tout au long de son parcours en surface,

l'eau peut également se transformer en vapeur sous l'action du soleil et entreprendre un nouveau cycle. [5].

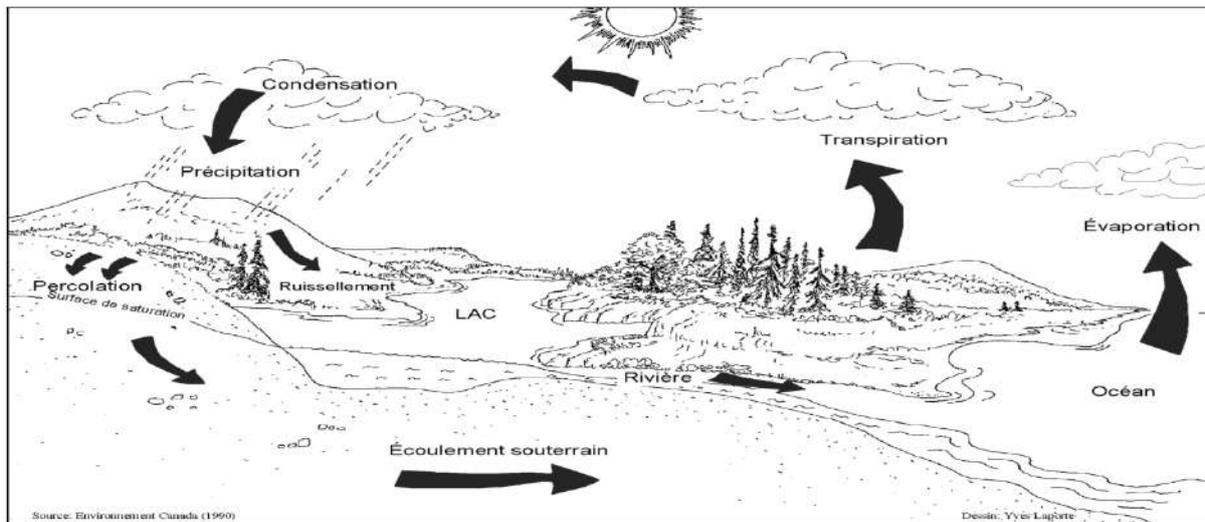


Figure (I.1) : Le cycle de l'eau. [5]

L'eau est indispensable pour la vie mais sa disponibilité n'est pas assurée partout. Pourtant les réserves d'eau sur le globe terrestre sont immenses. Elles sont supérieures à 1 milliard de km³ à comparer à une consommation mondiale inférieure à 1500 km³/an.

Le problème c'est La majeure partie de ces réserves (97,5 %) est sous forme d'eaux salines ou saumâtres. les 2,5 % disponibles, la plus grande partie (70 %) est sous forme de glace. Ce qui reste est souvent inaccessible : humidité du sol ou nappe profonde. [6] (La figure I.2) montre comment l'eau est répartie à la surface de la terre.



Figure (I.2) : Répartition de l'eau sur terre.

Une partie de l'eau douce de surface totale disponible est finalement utilisée pour les activités humaines. L'autre partie s'écoule librement vers les océans. L'agriculture utilise 70 % de l'eau douce totale utilisée pour les activités humaines, 20 % est utilisée par l'industrie et seulement 10 % est utilisée pour les besoins des ménages. [7]

I.2- Les eaux marines et saumâtres :

Ce qui caractérise une eau de mer ou une eau saumâtre, c'est leurs salinités, leurs températures et leurs teneurs en matière en suspension (MeS). Ces trois paramètres sont déterminants car ils influent sur le fonctionnement de l'unité de dessalement et sa rentabilité. Voyons donc, dans un premier temps, ce qu'est la salinité :

La salinité :

La salinité mesure la concentration des sels dissous (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates), elle s'exprime le plus souvent en [g/l]. La salinité peut être différente d'une mer à une autre. Les salinités les plus basses se rencontrent au voisinage des pôles ou dans les zones de fort apport d'eau douce.

La salinité augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche des tropiques. Dans certaines zones telles que l'Arabie Saoudite, elle peut dépasser 45g/l. Ceci est dû aux faits que les eaux sont peu profondes et que la chaleur est excessive, ce qui favorise l'évaporation donc la concentration en sels.

La température :

Le deuxième paramètre qui caractérise une eau de mer est sa température. Notons que ce sont les courants polaires qui influent sur la température des mers et des océans. Au niveau de la péninsule arabique la température de l'eau de mer peut atteindre 35°C. La température influence beaucoup plus les systèmes fonctionnant par RO que ceux fonctionnant par distillation à détentes successives. En effet, la production des membranes augmente d'environ 3% par degré Celsius. En contrepartie, la qualité de l'eau produite diminue et le vieillissement de la membrane s'accélère. L'expérience montre que l'optimum se situe autour de 25°C.

La teneur des matières en suspension (MeS) :

La troisième caractéristique d'une eau de mer et sa teneur en MeS. En effet, en plus des organismes vivants souvent microscopiques, l'eau de mer transporte des matières minérales telles que les sédiments et les morceaux de coquillage : il s'agit des MeS. De plus, la pollution par les rejets urbains et industriels ne peut pas, surtout de nos jours, être négligée. Pour toutes ces raisons, le site de la prise d'eau et sa conception seront choisis afin de minimiser toute pollution et éviter, quand cela est possible, les zones à forte teneur en matières en suspension. [8]

I.2.1-Eaux de mer :

Le terme d'eau de mer regroupe l'eau salée des mers et des océans à la surface de la terre. [2] L'eau est présente sous diverses formes sur notre planète mais sa quantité globale n'évolue pas. En effet, elle se transforme d'une forme à l'autre lors du cycle de l'eau. Alors que l'eau utilisée provient en majorité des lacs, cours d'eau et des nappes d'eau souterraine, la majorité de l'eau se retrouve à plus de 97 % dans les océans (Tableau I-1) qui couvrent 71 % de la surface de la Terre (61 % dans l'hémisphère nord et 81 % dans l'hémisphère sud). L'océan représente ainsi une ressource quasi inépuisable en eau. [9].

Réservoirs	Volume (10 ⁶ km ³)	%	Temps de résidence
Océans	1 350	97	2 500 ans
Glaciers (calotte glacière)	33	3,4	1000 à 10 000 ans
Eaux souterraines	8	0,6	1 500 ans
Lacs	0,1	< 0,01	17 ans
Eau dans le sol	0,07	< 0,01	1 an
Eau dans l'atmosphère	0,013	< 0,001	8 jours
Rivières	0,0017	0,0001	16 jours
Eau dans la matière vivante	0,0011	0,0001	Quelques heures
Total	1 391	100	-

Tableau (I.1) : Volume et temps de séjour de l'eau dans les différents réservoirs [Maurel 2006] [9]

Le PH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4, l'eau de mer est un milieu légèrement basique. [4]

I.2.2-Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le NaCl. [10].

I.3 - Le dessalement de l'eau de mer :

I.3.1- Définition :

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres est une alternative intéressante pour la production d'eau potable, d'eau pour l'industrie ou d'eau pour l'agriculture. [11] Il s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale. [12]

On peut définir aussi comme suit : « c'est une technique de suppression du chlorure de Sodium (NaCl) de l'eau de mer. Pour contrer les pénuries d'eau, des systèmes sont mis en place pour produire de l'eau douce à partir d'eau de mer ». [4]

Les processus de dessalement éliminent également d'autres contaminants de l'eau, tels que les minéraux dissous (par exemple, le calcium, le magnésium), les métaux lourds (par exemple, le cuivre, le zinc) et les matières organiques dissoutes, ainsi que les bactéries et virus. [7]

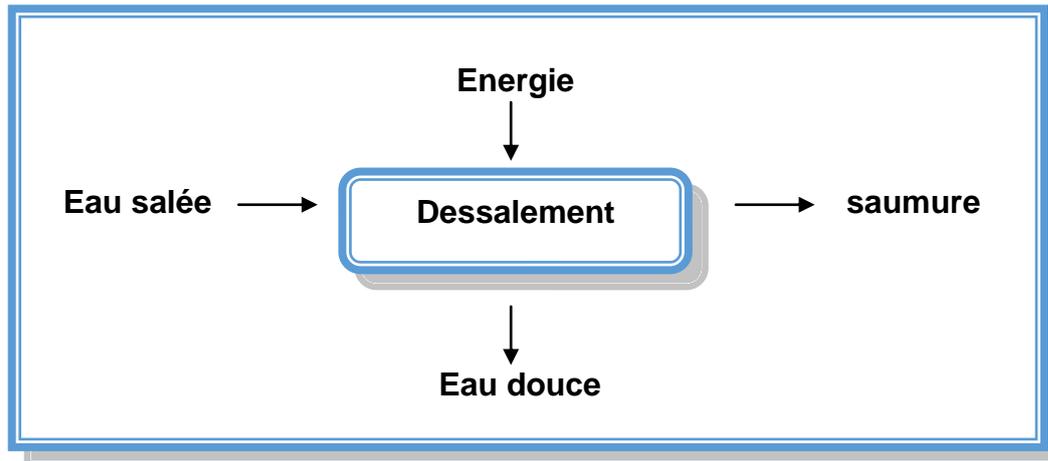


Figure (I.3) : Principe de base du dessalement de l'eau de mer.

I.3.2-Schéma général d'une usine de dessalement :

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 04 postes (Figure n°4) :

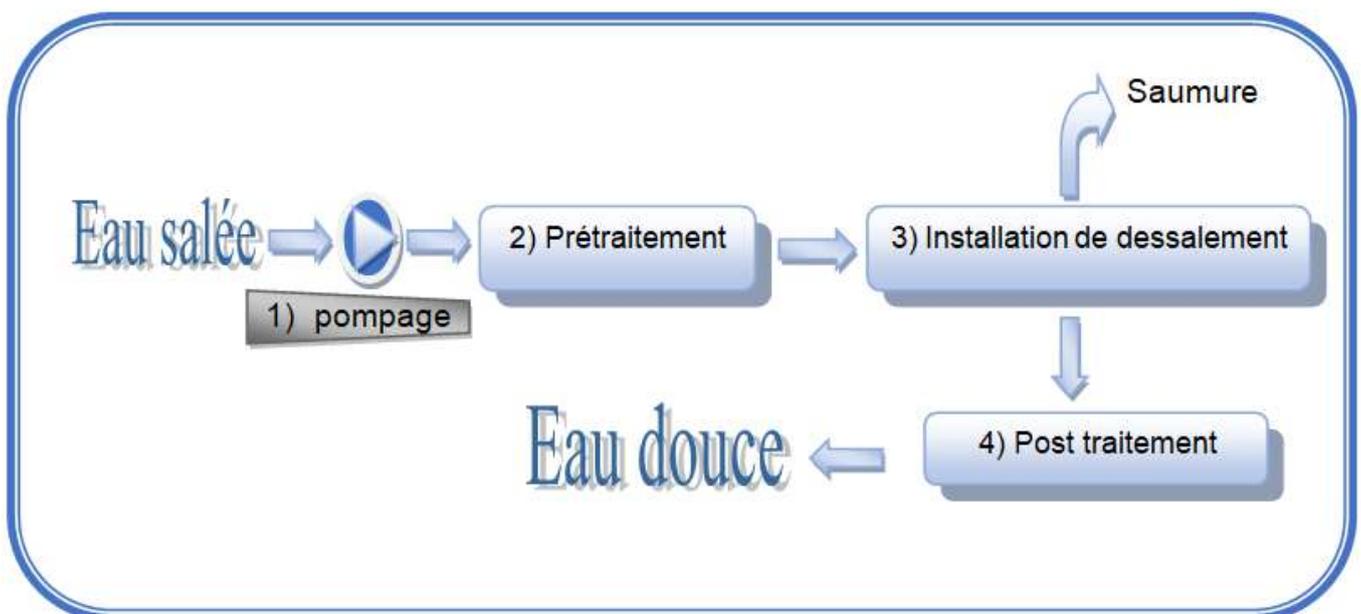


Figure (I.4) : Schéma générale d'une installation de dessalement (Maurel, 2006)

- ❖ Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- ❖ Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'ajout de composés biocides et de produits anti-tartes,
- ❖ Le processus de dessalement lui-même,
- ❖ Post-traitement avec une éventuelle déminéralisation de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou peut être utilisée industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre. [7].

I. 3.3-Dessalement en Algérie :

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 exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi inexistant.

Néanmoins 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'OuledDjellal 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 8 m³/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). Le procédé utilisé est « à tubes submergés » travaillant à basse pression. Et en 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j. Le procédé utilisé est MSF.

Dés lors de nombreuses installations de dessalement et de déminéralisation ont été mise en place en parallèle avec les nouveaux complexes. D'autres installations ont été mise en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au process des complexes de production d'électricité (CapDjénét à l'est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction(Arzew et Skikda).

Egalement quelques installations sont destinées, principalement dans le Sud, à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières. [13]

L'expérience de l'Algérie dans le dessalement de l'eau de mer est récente, elle date des années 2005 ou elle a produit 50 millions de m³/an et compte réaliser plus de 43 stations de dessalement de l'eau de mer pour un volume de 690 millions de m³/an en perspective de 2025 (800 millions de m³/an) et en 2040 (1000 millions de m³/an).[14]

L'Algérie est un pays qui possède des ressources hydriques limitées pour des raisons climatiques capricieuses, caractérisé par une pluviométrie irrégulière oscillant entre 100 et 600 mm/an et enregistrant un déficit hydrique estimé à 20% durant les cinq dernières années.

Ces faits sont aggravés par une période exceptionnelle de sécheresse qui dure depuis une vingtaine d'années. La mobilisation des ressources en eau depuis l'indépendance a été axée en premier lieu sur les ressources souterraines. L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que besoins incompressibles de la population ont amené les pouvoirs publics à mobiliser de plus en plus de ressources superficielles. (Khirani, 2007).

Mais la mobilisation des eaux souterraines au nord du pays a atteint son seuil maximal, d'où une surexploitation des nappes superficielles et la détérioration de la qualité de l'eau notamment dans

l'Ouest du pays. Le recours au dessalement d'eau de mer devient alors indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable dans cette région.

Pour assurer une alimentation pérenne en eau potable, l'Algérie a choisi de se tourner résolument vers la mer. Ce faisant, notre pays entend profiter au maximum de l'expérience déjà acquise dans d'autres pays.

Aujourd'hui, plusieurs facteurs jouent en faveur de l'application de cette technologie dans Notre pays:

- Un littoral long de 1200 Kilomètres ;
- Disponibilité de l'eau de mer, ressource inépuisable ;
- Une population et une industrie grandes consommatrices d'eau se trouvant à proximité de la mer ;
- Disponibilité de la ressource énergétique ou combinaison de sa production

Actuellement le volume dessalé mobilisé est : 111,45 millions de mètre cube par an dont :

- 105,85 Hm³/an sont produits par les grandes stations de dessalement de l'eau de mer
- 5,60 Hm³/an sont produits par les stations monoblocs de dessalement de l'eau de mer. [2]

Wilaya	Site	Commune	Capacité m ³ /j	Population à servir
Alger	Champ de tir	Zéralda	5 000	33 330
Alger	Palm Beach	Staoueli	2 500	16 660
Alger	La Fontaine	Ain Benian	5 000	33 330
Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	5 000	33 330
Tipasa	Bou Ismail	Bou Ismail	5 000	33 330
Skikda	L.Ben Mhidi	L.Ben Mhidi	7 000	47 000
Tizi -Ouzou	Tigzirt	Tigzirt	2 500	16 660
Oran	Bou Sfer	Bou Sfer	5 000	33 330
Oran	Les Dunes	Ain Turk	2X2 500	33 330
Ain-Temouchent	Bou Zdjer	Bou Zdjer	5 000	33 330
Ain-Temouchent	Chatt el Ward	Bou Zdjer	5 000	33 330
Boumerdes	Corso	Corso	5 000	33 330

Tableau (I.2) : Les stations monobloc de dessalement en Algérie (ADE, 2007).

N°	Localisation	Capacité m ³ /j	Population à servir	Echéancier prévisionnel
01	Kahrama (Arzew)	90 000	540 000	En Exploitation
02	Hamma (Alger)	200 000	L'Algérois	En Exploitation
03	Skikda	100 000	666 660	En Exploitation
04	BeniSaf A.Temouchent	200 000	1 333 320	En Exploitation
05	Mostaganem	200 000	1 333 320	En Exploitation
06	Douaouda (Alger Ouest)	120 000	666 660	En Exploitation
07	Cap Djenet (Alger Est)	100 000	666 660	En Exploitation
08	Souk Tleta (Tlemcen)	200 000	1 333 320	En Exploitation
09	Honaine (Tlemcen)	200 000	1 333 320	En Exploitation
10	Mactaa (Oran)	500 000	1 333 320	1er T 2014
11	El Tarf	50 000	-	-
12	Ténès	200 000	999 990	-
13	Oued Sebt (Tipaza)	100 000	-	-

Tableau (I.3) : Les grandes unités de dessalement (ADE, 2007).

I.4 -Les principales technologies de dessalement des eaux :

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

- ✓ Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- ✓ Les procédés utilisant des membranes: l'osmose inverse et l'électrodialyse.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent. [10]

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, par les différents procédés existants, se développe de manière significative. Parmi les plus connus, Trois procédés de distillation et deux procédés membranaires (MAUREL, 2001) :

- a) distillation à multiples effets (MED : Multi Effect Distillation),
- b) distillation par détentes successives (MSF : Multi Stage FLASH),
- c) distillation à compression de vapeur (VCD : Vapor Compression Distillation),
- d) électrodialyse (ED : Electro Dialysis),
- e) osmose inverse (OI ou RO : Reverse Osmosis). [15]

À ces deux grandes familles, on peut ajouter des procédés non conventionnels très peu utilisés ou en cours de développement tels que la cristallisation, les cycles à air (humidification-déshumidification d'air), échange ionique, la distillation membranaire, l'osmose directe et bien d'autres encore. [16]

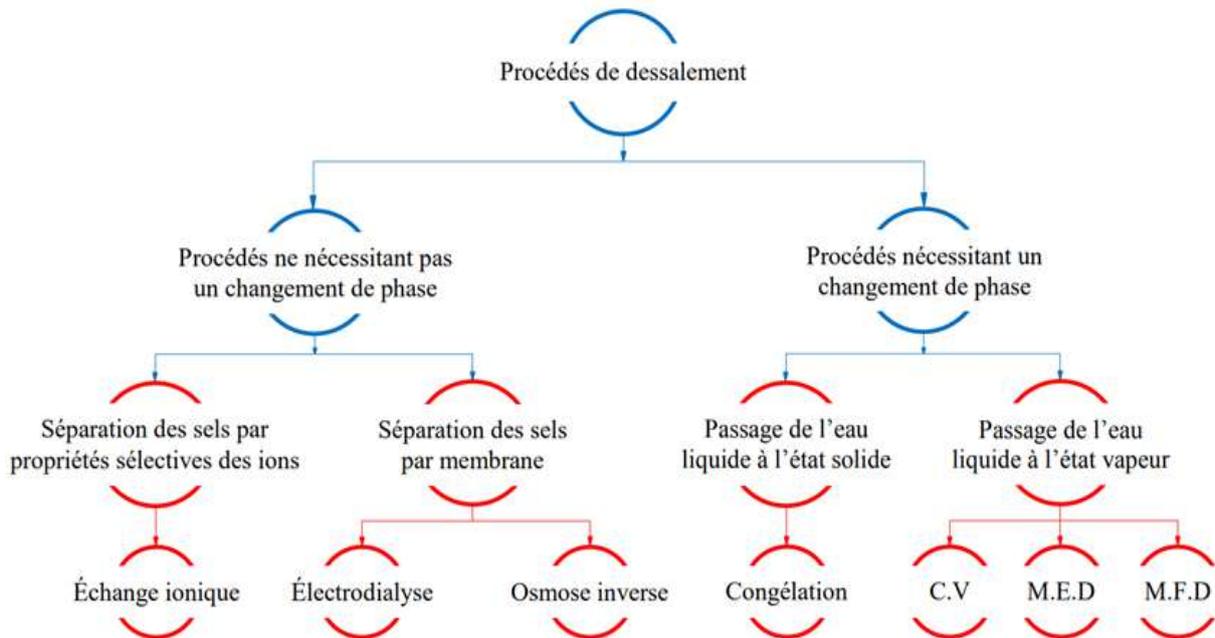


Figure (I.5) : Procédés de dessalement (Maalej et Bouguecha, 2002).

Selon la nature du procédé mis en jeu, la capacité de production peut varier de quelques litres par jour à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes par jour. Le choix du procédé mis en œuvre dépend de multiples paramètres mais en premier lieu de la nature de l'eau à traiter – eau de mer ou eau saumâtre, de la capacité de production souhaitée, et de la source d'énergie disponible comme indiqué sur la Figure (I.6) . [16]

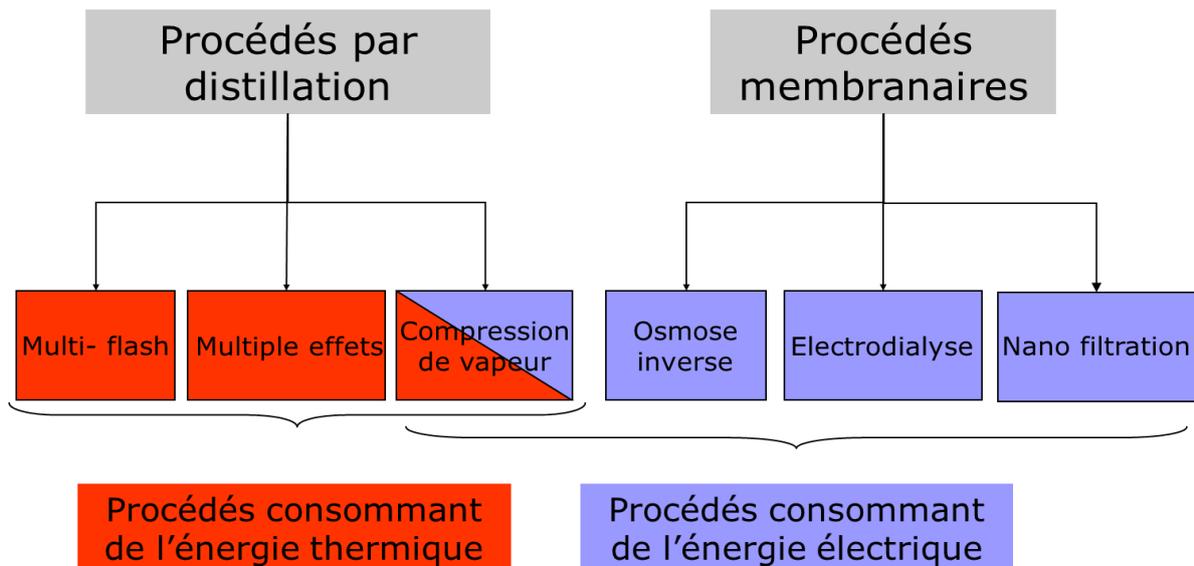


Figure (I.6) : La source d'énergie disponible des procédés industriels de dessalement - Source: Philippe Bandelier. [16]

I.4.1-Procédés nécessitant un changement de phase :

I.4.1.1-Passage de l'eau liquide a l'état vapeur (les procédés de distillation) :

Bien sûr, rien ne paraît plus facile que d'imiter la nature. Il suffit de distiller de l'eau de mer pour en extraire de l'eau douce, c'est à dire produire de la vapeur d'eau en faisant bouillir l'eau de mer et récupérer l'eau douce par condensation de la vapeur. Il est à noter qu'à cause de la présence de sel, l'eau salée bout à une température légèrement supérieure à l'eau pure. [16]

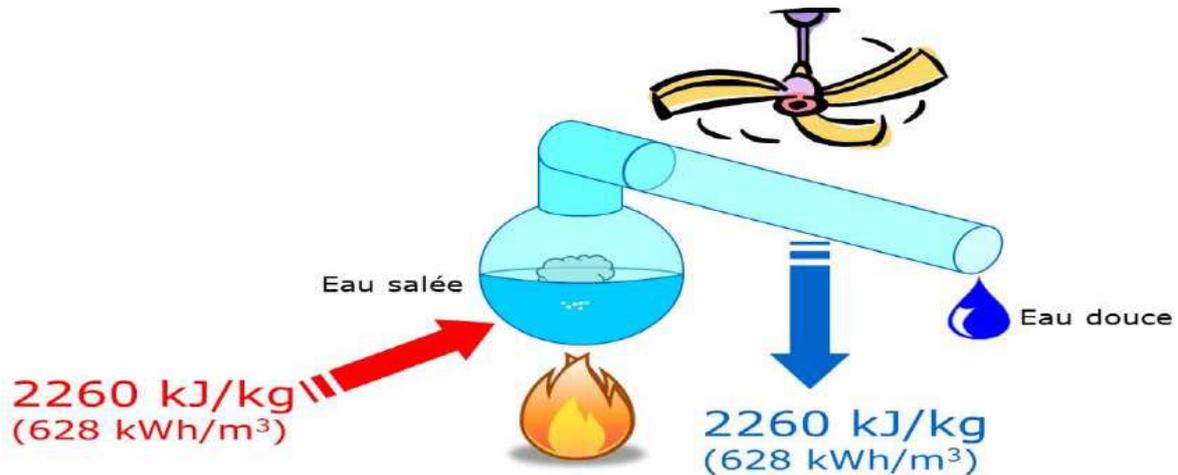


Figure (I.7) : Procédé de distillation – source : auteur [16]

Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique : le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF) et le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED). [10].

I.4.1.1.1-Procédé de distillation par détente successive (Multi Stage Flash distillation MSF) :

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 85 °C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (voir figure I.8) puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des récipients en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détente successive dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle. [10]

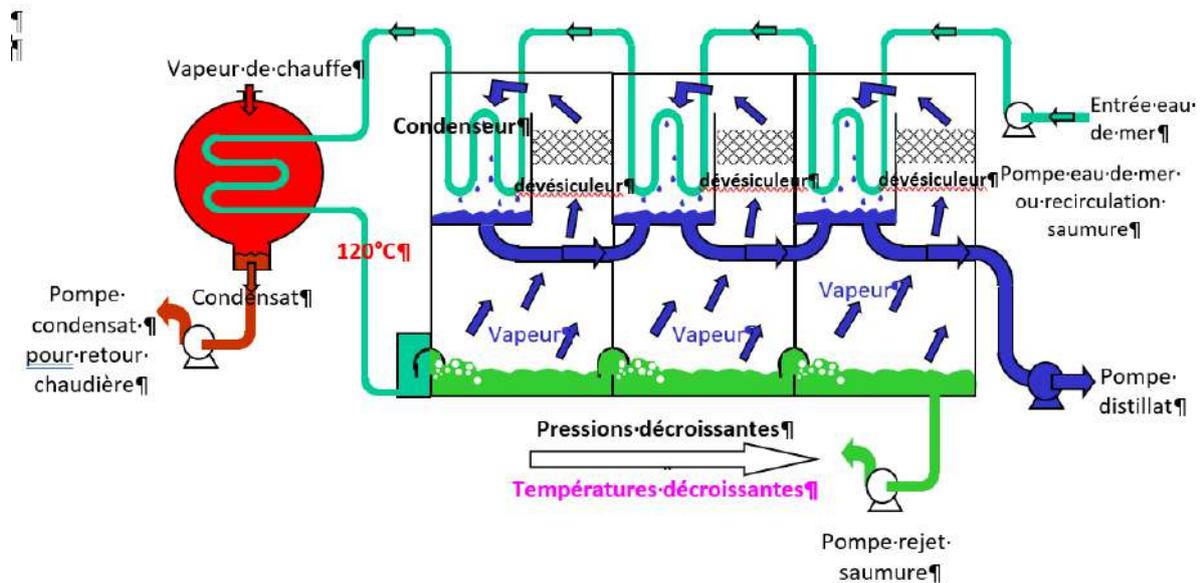


Figure (I.8) : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages

I.4.1.1.2-Distillation à simple effet :

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

- ✓ Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.
- ✓ La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.
- ✓ Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

Cette première solution est simple à mettre en œuvre met n'offre qu'un rendement réduit, aussi elle n'est utilisée que dans les navires disposant d'une source d'énergie thermique. [17]

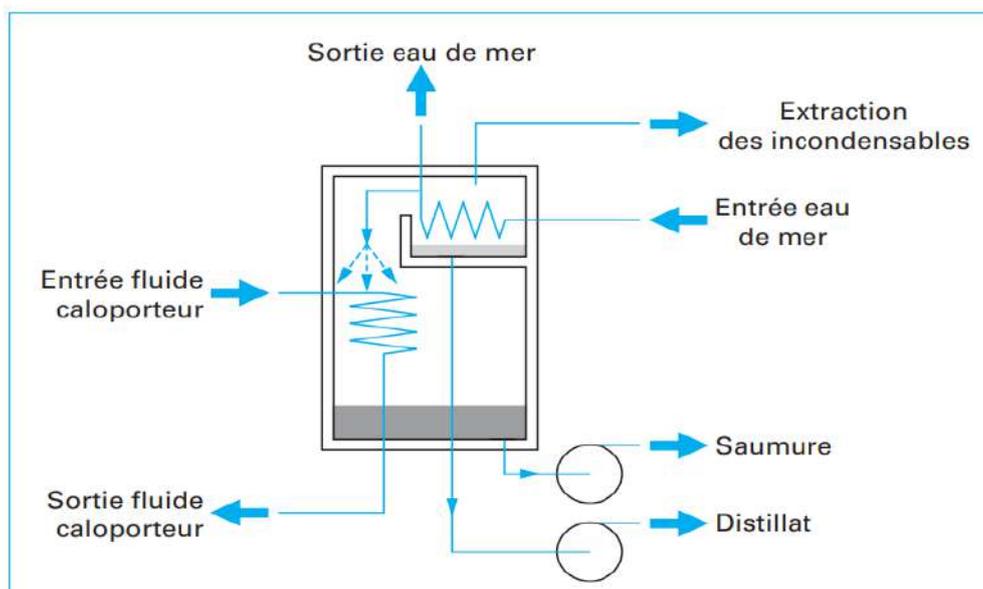


Figure (I.9) : Distillation à simple effet (Techniques de l'Ingénieur, 2010).

I.4.1.1.3-Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED) :

Le procédé à multiple-effet (Multi-Effect Distillation, MED) a été spécifiquement développé dans le but d'économiser l'énergie thermique. Les premières tentatives datent du 19ème siècle. La puissance thermique apportée à l'évaporateur de tête par un fluide caloporteur – fluide qui transporte la chaleur – sert à faire évaporer de l'eau de mer. La vapeur produite est condensée dans l'évaporateur suivant, qu'on appelle le premier effet. [16]

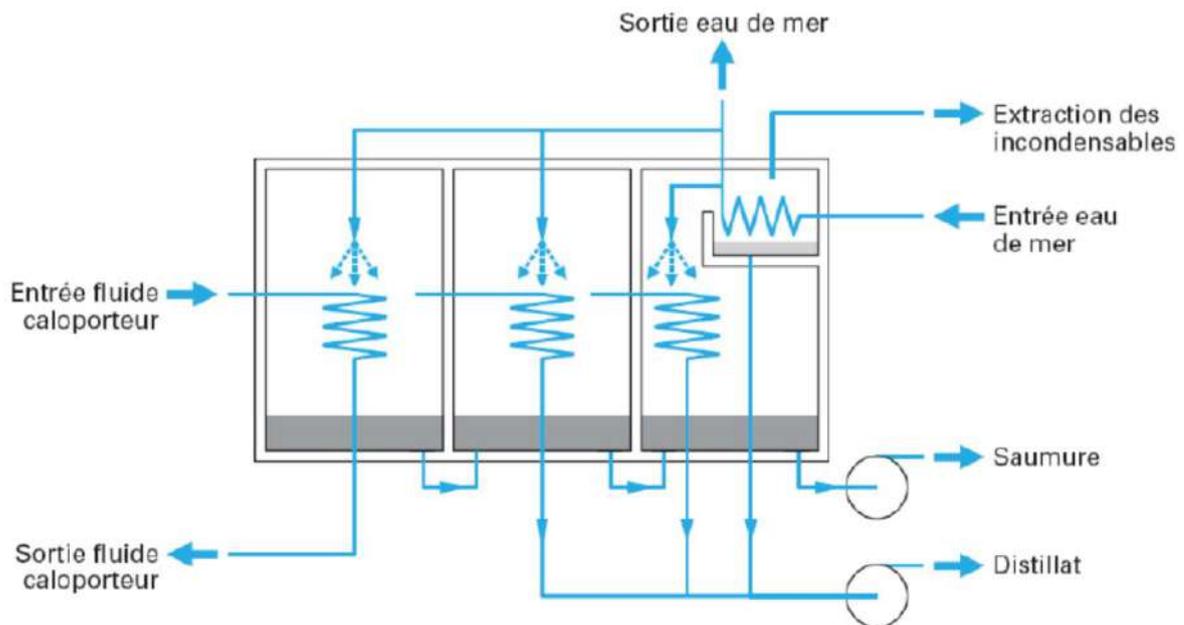


Figure (I.10) : Distillation à effets multiples (Danis, 2003), détails (Henri, 2008).

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1er effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2ème effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2ème effet et ainsi de suite (voir figure I.11). Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite). [10]

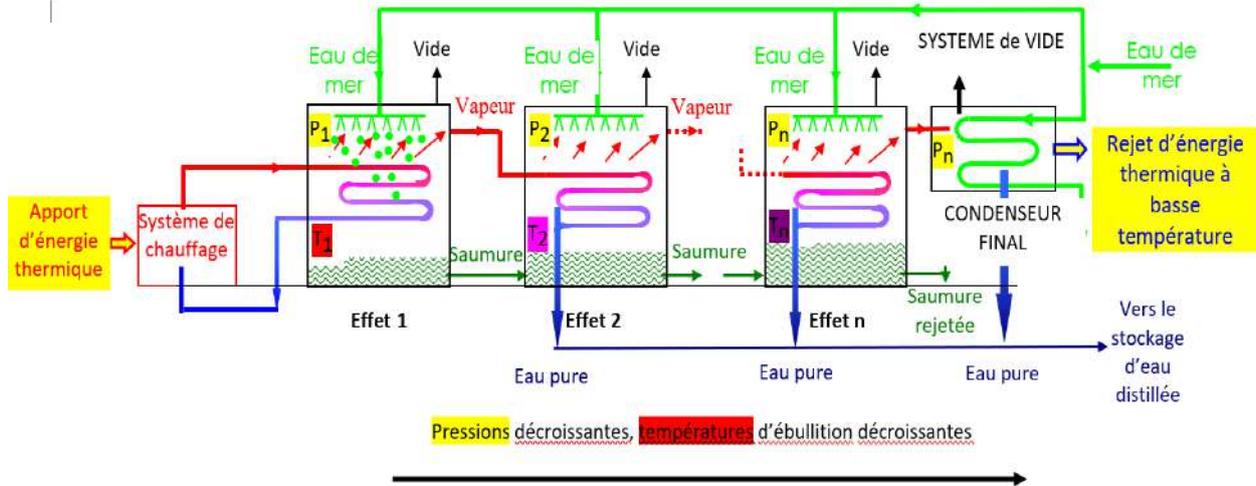


Figure (I.11) : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)
Auteur(s)/Autrice(s) : Viviane Renaudin

I.4.1.1.4-La compression de vapeur :

La distillation par compression de vapeur est aussi un procédé permettant de produire de l'eau en minimisant la consommation d'énergie. Elle est toujours associée au procédé multiple-effet, le nombre d'effets pouvant être réduit à un seul. Le principe est le même que celui des pompes à chaleur, le fluide de travail subissant le cycle thermodynamique étant cette fois l'eau. Contrairement à une pompe à chaleur, le circuit du fluide thermodynamique est ouvert au lieu d'être fermé. La compression peut être réalisée avec un compresseur mécanique (Mechanical Vapor Compression, MVC) ou avec un thermocompresseur (Thermal Vapor Compression, TVC). [16]



Figure (I.12) : Usine de dessalement Al Ghalilah (Oman) 2 x 500 m³/j MVC - source : Veolia – Sidem. [22]

a) Compression mécanique de vapeur (MVC) :

Pour améliorer la technique MED, on peut comprimer la vapeur produite et l'utiliser comme fluide caloporteur. Cette compression peut être mécanique ou thermodynamique.

Dans une cellule de distillation, on constate que l'enthalpie de la vapeur émise est peu différente de celle utilisée pour le chauffage, d'où l'idée de comprimer la vapeur émise et de s'en servir comme fluide chauffant (voir figure I.13 et 14). Ce procédé fonctionne uniquement avec de l'énergie électrique. Cependant, on peut lui associer un échangeur thermique pour récupérer d'éventuelles calories « basses températures » disponibles sur le site. On réchauffera ainsi à peu de frais l'eau de mer avant son admission dans l'évaporateur. La puissance nominale de ce compresseur est de l'ordre de 300 kW pour une unité capable de produire 600 m³ /j. [8]

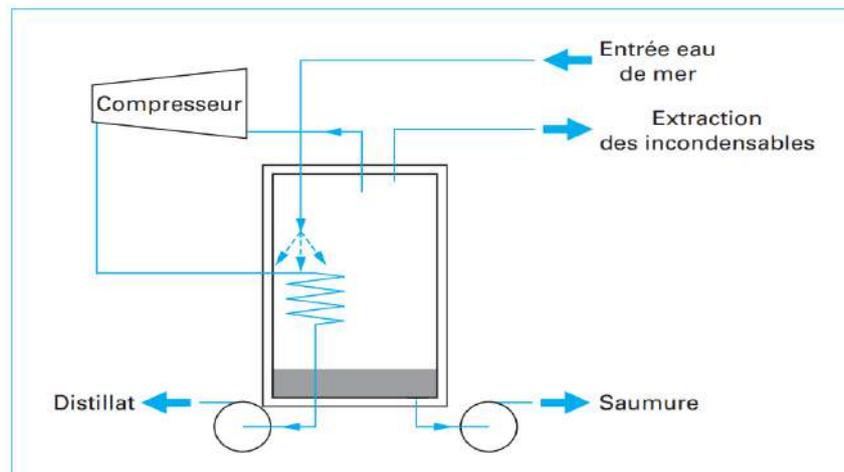


Figure (I.13) : Compression mécanique de vapeur à un seul effet (Techniques de l'Ingénieur, 2010). [8]

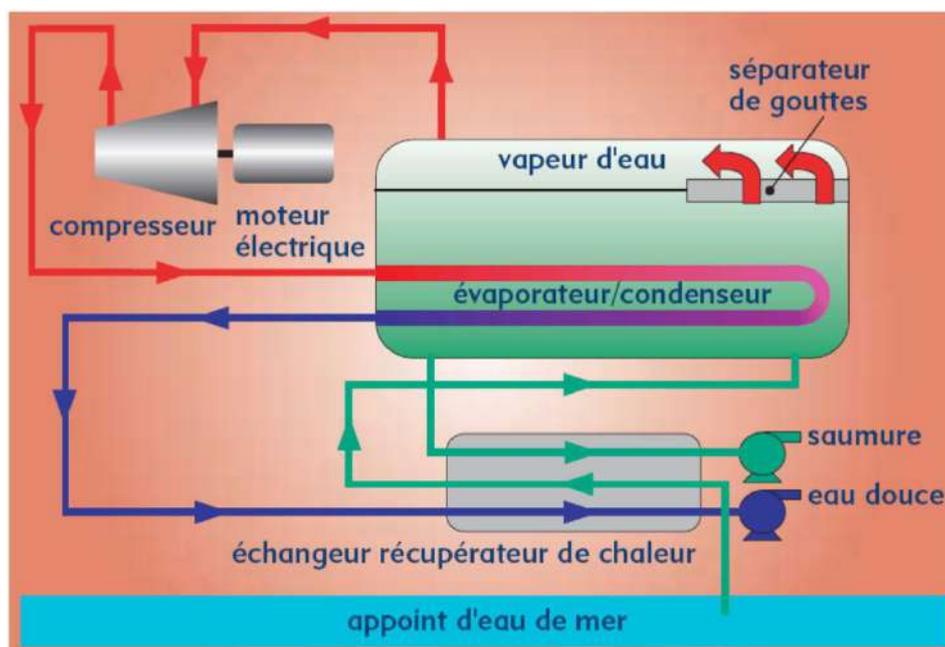


Figure (I.14) : Principe du procédé à compression mécanique de vapeur (MVC). [16]

b) Thermocompression de vapeur (TVC) :

La taille des usines de dessalement n'ayant jamais cessé de croître, la compression mécanique a rapidement été inadaptée aux grosses installations, à cause des limites à la fois techniques et économiques pour le compresseur. Même si le rendement diminue très vite quand le taux de compression augmente, la thermocompression s'est rapidement imposée car l'investissement et le coût de maintenance sont extrêmement bas.

Le principe est d'utiliser une tuyère dans laquelle, par accélération dans un injecteur et un col, de la vapeur haute pression aspire de la vapeur basse pression pour obtenir de la vapeur à pression moyenne. La compression s'opère entre la vapeur à basse pression aspirée et le mélange à pression moyenne qui est restitué. La seule source d'énergie étant la vapeur haute pression, c'est bien un procédé « thermique » de compression. Les performances sont caractérisées par le débit de vapeur motrice à haute pression nécessaire pour entraîner la vapeur à basse pression (consommation de vapeur par unité de vapeur aspirée) ou bien par le taux d'entraînement (débit entraîné par unité de vapeur motrice).

La thermocompression est toujours combinée avec le procédé à multiple-effet (Figure I.15). La recompression de la vapeur peut s'effectuer entre le dernier et le premier effet ; dans ce cas le taux de compression est maximum et le rendement de compression peu élevé, ce qui se traduit par une consommation de vapeur haute pression élevée. Mais elle peut aussi se faire entre un étage intermédiaire et le premier effet, le rendement est alors bien meilleur et la consommation de vapeur plus basse. [16]

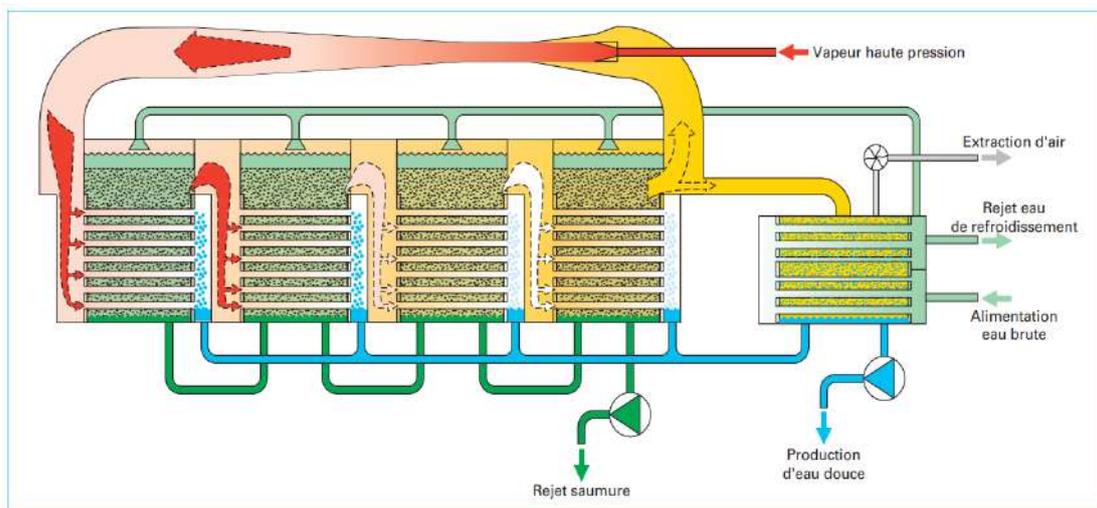


Figure (I.15) : Thermo compression à quatre effets (Techniques de l'Ingénieur, 2010). [8].

I.4.1.2-Passage de l'eau liquide a l'état solide :

I.4.1.2.1-Dessalement de l'eau de mer par congélation :

Il est possible de dessaler l'eau par congélation. C'est un autre procédé de dessalement qui se base sur la différence entre les points de congélation de l'eau douce et de l'eau salée. Ce procédé est particulièrement intéressant dans les régions où la température de l'eau de mer est souvent inférieure à 0 °C. Lorsque la température est suffisamment basse, on remplit des bassins à des profondeurs allant

de 1 à 1,5 cm. Les cristaux de glace sont séparés de la saumure, lavés du sel puis fondus (Tahri et al., 2010). Il existe trois étapes :

- ✓ La congélation partielle de l'eau à dessaler.
- ✓ La séparation des cristaux de glace et de la saumure.
- ✓ La fusion des cristaux de glace pour obtenir l'eau douce à l'état liquide

Le dessalement peut se faire par congélation naturelle dans les régions où la température de l'air demeure suffisamment longtemps inférieure à la température de congélation de l'eau à traiter. Dans le cas échéant, une congélation artificielle est envisageable. [3]

On distingue deux types de procédés par congélation, cette dernière pouvant être «directe» ou «indirecte». Le principe de la congélation directe repose sur la formation de cristaux de glace par contact direct entre un réfrigérant et l'eau de mer. Ce réfrigérant peut être l'eau de mer elle-même : la chaleur est soustraite à la saumure par une évaporation flash sous pression réduite. Ce procédé est appelé VFVC (Vacuum Freezing Vapour Compression) dans la littérature anglo-saxonne. La congélation directe peut également être assurée par un réfrigérant secondaire: le refroidissement est obtenu par la détente d'un gaz comprimé et froid injecté directement dans la saumure. Le procédé est alors appelé SRF (Secondary Refrigerant Freeze). Dans le cas de la congélation indirecte, le refroidissement est assuré par un échangeur de chaleur et une couche de glace est déposée sur les parois froides de l'échangeur. [18]

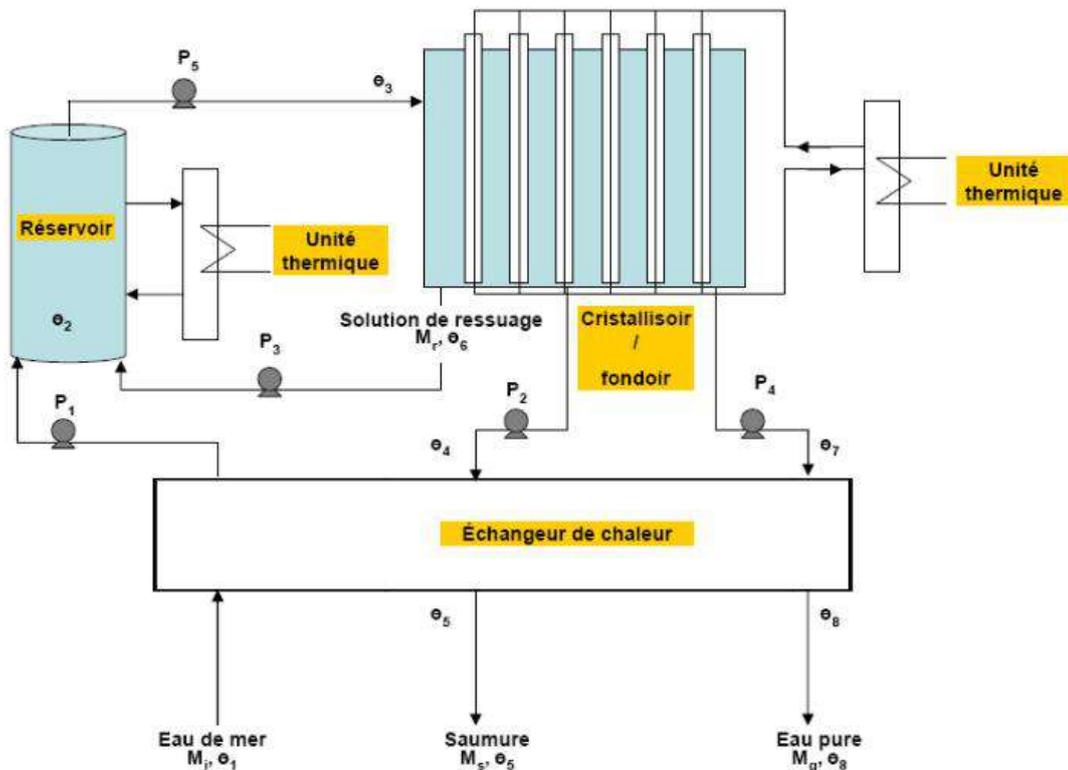


Figure (I.16) : Schéma du procédé de dessalement par congélation sur parois froides. [18]

I.4.2-Procédés ne nécessitant pas un changement de phase :

I.4.2.1-Les procédés membranaires :

Les procédés membranaires sont des procédés permettant de séparer les ions dissous et autres particules indésirables de l'eau par une membrane, sous l'effet d'un gradient de potentiel électrique (électrodialyse), de pression (nano filtration, osmose inverse) ou de concentration (osmose directe ou "forwardosmosis"). [19]

I.4.2.1.1-L'osmose inverse : [10]

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

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g.L-1.

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure I.17). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eaus'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

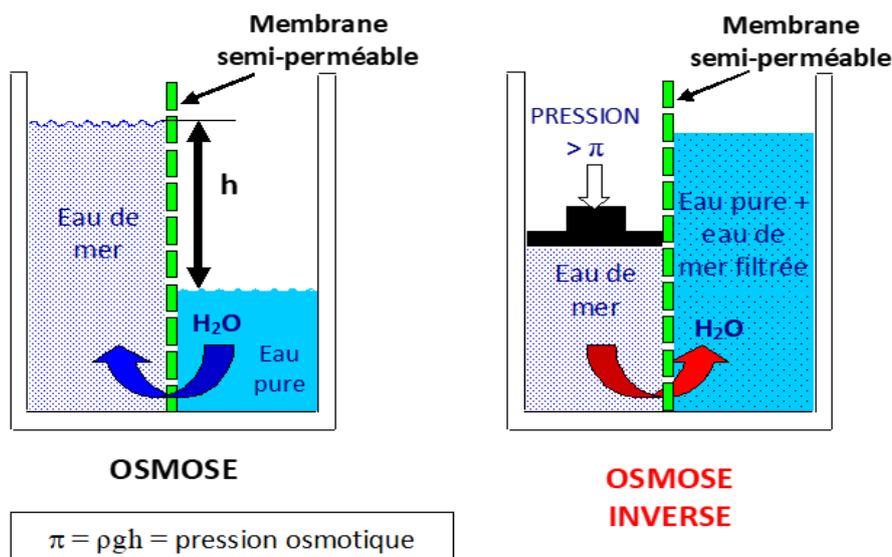


Figure (I.17) : Osmose et osmose inverse.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure I.17), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse.

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée π peut être calculée d'après la loi de Van'tHoff :

$$\Pi = i \times C \times R \times T,$$

Où:

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

C est la concentration en sels en mol.m⁻³

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

T est la température absolue de la solution en Kelvin.

Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure I.28.

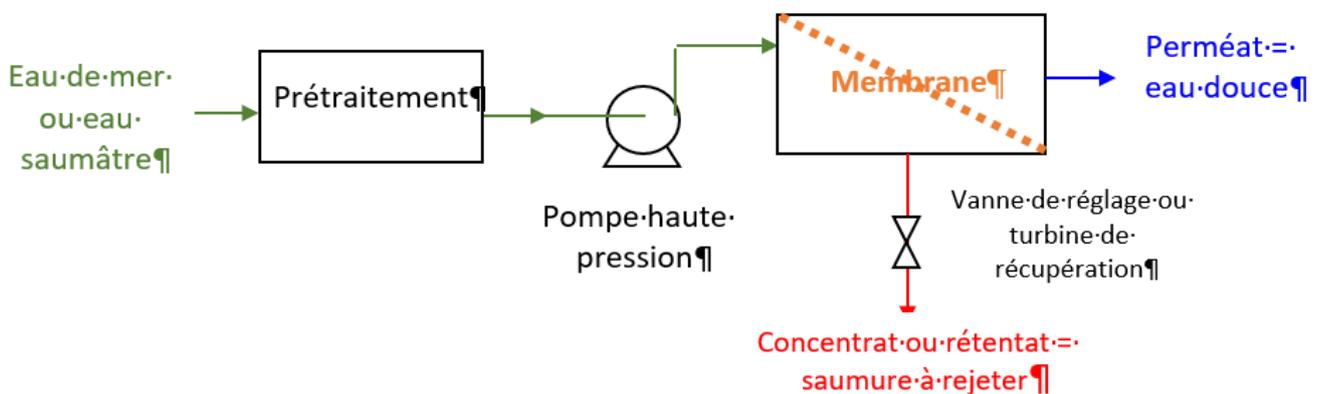


Figure (I.18) : Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.

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

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50 μm selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une préfiltration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses. Puis un traitement biocide et une acidification sont nécessaires pour éviter le développement de microorganismes sur la membrane et éviter la précipitation de carbonates. Enfin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules de taille de l'ordre de quelques dizaines de μm qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable.

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

De plus, un deuxième phénomène intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de concentration de la membrane. En effet, au cours du temps, la concentration de la solution salée augmente puisque la majorité des molécules sont retenues d'un seul côté de la membrane. De ce fait, la pression osmotique augmente également près de la couche limite, avec des risques de précipitation des composés à faible produit de solubilité. Pour un même rendement, la pression à appliquer est donc plus élevée. Pour éviter ce phénomène on balaye la membrane du côté de la solution salée par un flux d'eau continu. Toute l'eau n'est pas filtrée, une partie sert à nettoyer la membrane. Ce procédé est donc semblable à une filtration tangentielle. L'eau non filtrée est appelée rétentat tandis que l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat.

Afin de limiter la consommation d'énergie du procédé, on peut placer sur le circuit du rétentat une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression. [10]

I.4.2.1.2-L'électrodialyse :

L'électrodialyse est un procédé électro-membranaire permettant la concentration et la déminéralisation de solutions contenant des espèces chargées. La force motrice est un gradient de potentiel appliqué entre deux électrodes. Entre ces électrodes, sont placées alternativement des membranes échangeuses d'anions et des membranes échangeuses de cations. Le champ électrique provoque un déplacement des ions présents dans l'eau. Ces ions se concentrent dans un compartiment (concentrat) tandis que l'autre est appauvri en sel. En raison de sa consommation électrique, l'électrodialyse n'est compétitive (face à l'osmose inverse) et donc utilisée que pour le traitement des eaux saumâtres de concentration inférieure à 3 g.L⁻¹. [9]

L'électrodialyse est une technique électro - membranaire qui permet le transfert des ions à travers des membranes à perméabilité sélective. Le but de l'opération est d'extraire les sels d'une solution, d'où on obtient alors, d'un côté une solution saumure très concentrée et de l'autre une solution dessalée (voir figure I.19).

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes, les ions Na⁺ sont attirés vers l'électrode négative et les ions Cl⁻ vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes seuls les ions Na⁺ peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et seuls les ions Cl⁻ peuvent traverser les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments. [8]

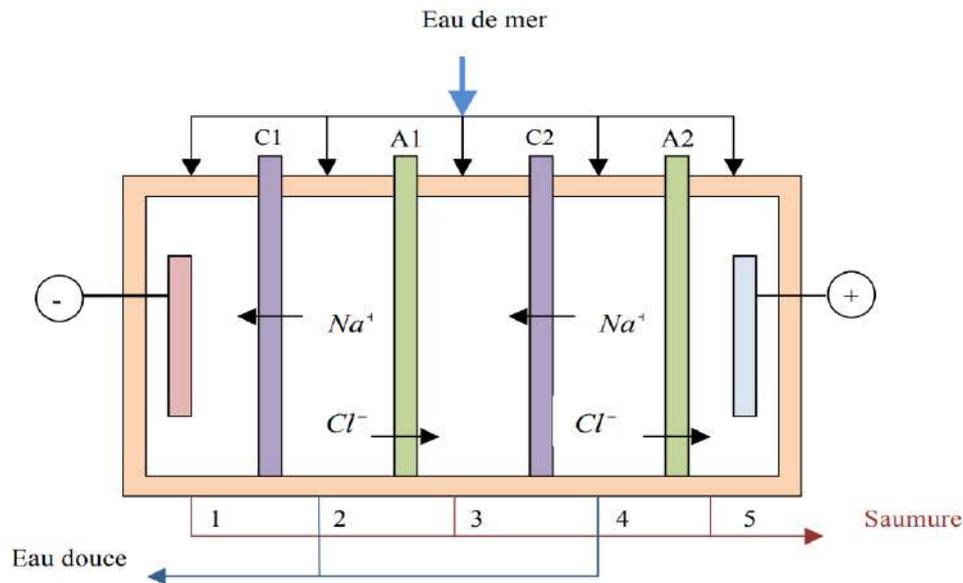


Figure (I.19) : Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle. [8].

I.4.3-Autres procédés de dessalement :

I.4.3.1-Distillation membranaire (MD) :

La distillation membranaire est une technologie émergente pour le dessalement. Elle diffère des autres technologies membranaires : la force agissante pour le dessalement est la différence de la pression de vapeur d'eau à travers la membrane, plutôt que la pression totale. Les membranes de MD sont hydrophobes, ce qui permet à la vapeur d'eau (mais pas à l'eau liquide) de passer. Le gradient de pression de vapeur est créé par chauffage de l'eau, élevant ainsi sa pression de vapeur. Le besoin majeur en énergie est pour l'énergie thermique. [17]

En plus d'être moins énergivore que la distillation classique (températures plus basses : environ 80°C), on obtient grâce à ce procédé un distillat de pureté supérieure. La distillation membranaire offre cependant un flux de perméat moins important que l'osmose inverse car la résistance de la membrane aux transferts de masse est plus importante. Résistance au transfert peut être contrebalancée en assistant le procédé par une pompe à vide côté condensation (distillation membranaire sous vide ou VMD), ce qui a pour effet d'accroître la différence de pression de vapeur de part et d'autre la membrane. [19]

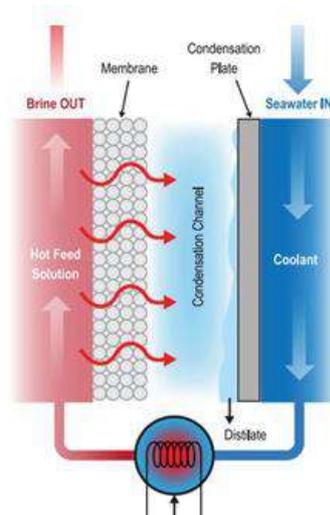


Figure (I.20) : Principe de la distillation Membranaire. [7]

Il existe quatre variantes principales du processus MD :

1. Distillation membranaire par contact direct (DCMD) ;
2. Distillation par membrane à entrefer (AGMD) ;
3. Distillation membranaire sous vide (VMD) ;
4. Distillation sur membrane de gaz de balayage (SGMD). [7]

I.4.3.2-Procédé d'humidification-déshumidification (HDH) :

Le procédé HDH est basé sur le fait que l'air peut être mélangé à des quantités de vapeur. La capacité de l'air à transporter de la vapeur d'eau augmente en augmentant sa température. Par exemple, 1 kg d'air sec peut transporter 0,5 kg de vapeur et environ (2 814 kJ) lorsque sa température passe de 30° à 80°, comme indiqué dans . Lorsque le flux d'air est en contact avec de l'eau salée, l'air extrait une certaine quantité de vapeur aux dépens de la chaleur sensible de l'eau salée (assurant le refroidissement). D'autre part, l'eau distillée est récupérée en maintenant de l'air humide au contact de la surface de refroidissement, provoquant la condensation d'une partie de la vapeur mélangée à l'air. La condensation se produit dans un autre échangeur de chaleur dans lequel l'eau salée est préchauffée par récupération de chaleur latente. Le procédé HDH fonctionne, comme tout procédé de distillation, avec un seul passage d'eau salée (un seul passage). Il peut également fonctionner avec recirculation d'eau. Dans le premier cas, l'évaporation de 1 kg d'eau provoque une diminution d'environ 60°C dans 10 kg d'eau salée. La quantité d'eau distillée récupérée varie de 5 à 20 % de la quantité d'eau salée en circulation. Cela conduit à une très faible concentration d'eau salée mais à une perte de chaleur sensible élevée. Dans le deuxième cas, on obtient une solution plus concentrée et une consommation d'énergie plus faible. [20]

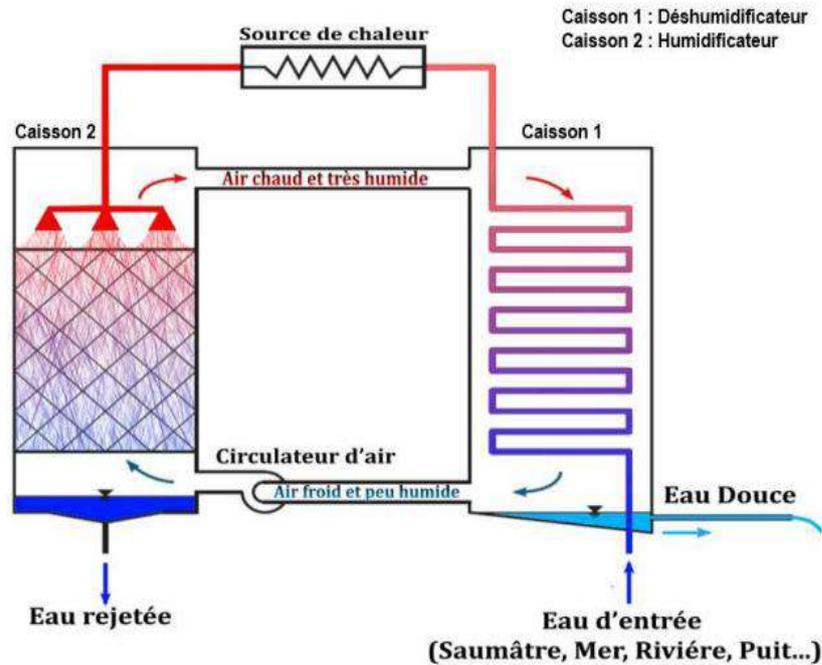


Figure (I.21) : Système Humidification-déshumidification. [21]

I.4.3.3-Processus d'échange d'ions :

Certaines résines, insolubles, ont la propriété d'échanger certains de leurs ions avec ceux des sels dissous dans la solution (l'eau de mer) avec laquelle on met ces résines en contact. On utilise les résines anioniques pour échanger les anions de la solution par des ions OH^- et les résines cationiques qui permettent de remplacer les cations (Na^+) par des ions H^+ . Ce procédé est plutôt utile pour déminéraliser l'eau de faible teneur en sel. (Maurel, 2006). [22] Cette méthode est applicable seulement pour les eaux contenant jusqu'à 8 et même 10 g/l. [3]

I.4.4- Comparaison des procédés thermiques :

Chacune des techniques introduites dans cette première partie présentent des avantages et des inconvénients qui permettent de les sélectionner en fonction de leurs conditions et contraintes d'utilisation. Des indices de performances indicatifs sont donnés mais sont dépendants de l'échelle de production, des conditions opératoires et de la nature de l'énergie utilisée. Les différents avantages et inconvénients de chaque technique et leurs consommations énergétiques moyennes sont résumées dans le Tableau (I.7). [19]

Technique	Avantages	Inconvénients	Conso. ep. (kWh _{ep} .m ⁻³)
MED	Peu de maintenance, investissement faible	Sensible à la corrosion	48 à 230
MED+MVC	Faible consommation d'énergie Adapté aux sites isolés	Limités aux faibles et moyennes capacités (< 5000 m ³ /jour ⁻¹)	20 à 40
MED+TVC	Faible consommation d'énergie	Sensibilité à la source de chaleur	60
MSF	Grande capacité	Sensible à l'encrassement	60 à 150

Tableau (I.4) : Comparaison des techniques de dessalement basées sur la distillation. [19]

I.4.5-Comparaison des procédés membranaires : [7]

Depuis 1990, l'OI n'a cessé de s'améliorer grâce à ses performances, par exemple en termes de coûts d'investissement, ainsi que les performances des membranes par rapport à leur surface et leur consommation énergétique. En revanche, il n'y a pas eu de progrès significatifs sur les problèmes (bien connus) de l'ED. Dans tous les cas, les avantages de la dysfonction érectile persistent.

- ❖ C'est le seul moyen d'obtenir de l'eau « vivante », ce qui signifie que la composition de l'eau dessalée est proche de celle de l'eau de départ. Le sel est extrait de l'eau mais l'eau elle-même reste intacte. Elle n'est pas obligée de traverser une membrane comme c'est le cas pour la salle d'opération. Pour cela, l'eau retient toutes les autres substances susceptibles de s'y trouver.
- ❖ Avec l'utilisation d'ED, le sel est concentré dans une véritable saumure. Elle peut effectivement permettre la production de sel alors que l'OI ne permet pas vraiment de produire des solutions très concentrées.
- ❖ L'ED nécessite moins de 1,5 m³H₂O/t, tandis que le RO nécessite 2-3 t. Selon l'application spécifique utilisée, la question de l'élimination des solutions salines très concentrées se pose et peut présenter un réel problème lorsque l'on est à l'intérieur des terres, un problème inexistant en bord de mer.
- ❖ Dans le cas d'eaux contenant des nitrates, leur concentration peut être réduite de manière sélective avec ED.

En conclusion, nous pouvons dire que là où le RO a atteint ses limites, l'ED présente encore un grand potentiel de développement ultérieur.

I.4.6-Comparaison des procédés de dessalement :

Le dessalement est un processus très consommateur d'énergie. Pour le MED et les usines MSF, l'énergie principale est sous forme de chaleur, mais un peu d'énergie électrique est exigée pour les pompes et les auxiliaires. L'osmose inverse utilise seulement de l'énergie électrique. [17]

Toutes les technologies de dessalement présentées précédemment sont disponibles dans le commerce et peuvent être combinées avec des installations de production combinée d'eau douce et d'électricité. Cependant, le procédé de dessalement le plus favorable à ce couplage doit être choisi après avoir comparé toutes les possibilités. [7]

Tableau 4 : Comparaison des procédés	MSF	MED	MED-TVC	MVC	OI
Température de fonctionnement (°C)	< 120	< 70	< 70	< 70	< 45
Principale source d'énergie	Thermique	Thermique	Thermique	Mécanique (via électricité)	Mécanique (via électricité)
Consommation thermique (kWh/m ³)	12	6	21	Pas applicable	Pas applicable
Consommation électrique (kWh/m ³)	3.5	1.5	1.5	8-14	4-7
Salinité de l'eau brute (g/l)	30 – 100	30 – 100	30 – 100	30 – 50	1 – 45
Salinité de l'eau traitée (mg/l)	< 10	< 10	< 10	<10	< 500
Capacité d'un train (m ³ /j)	5.000 – 60.000	500 – 12.000	100 – 20.000	10 – 2.500	1 – 10.000
Avantages	Technique éprouvée	20 % moins cher que le MSF	Capacité, robustesse	Simplicité	Modularité
Inconvénients	Investissement, consommation	Capacité plus faible que MSF	Consommation	Capacité limitée	Fragilité

Tableau (I.5) : Comparaison des techniques de dessalement. [17]

Chaque technique a une particularité technique qui la fera préférer dans un cas plutôt que dans l'autre. Ainsi, les techniques thermiques sont adaptées aux fortes salinités et aux hautes températures alors que les techniques à membranes sont meilleur marché dans des conditions de salinité moyenne et de température peu élevée (autour de 25°C).

D'autre part, le coût de l'énergie est très différent d'un pays à l'autre. Ainsi, dans les pays pétroliers, le baril de pétrole est très bon marché et les autorités préfèrent les techniques thermiques. L'absence de ressources fossiles favorisera l'osmose inverse. [17]

I.4.7-Avantages de la distillation : [23]

La production est en théorie de l'eau pure (eau distillée). En fait, il y a toujours des entraînements des gouttelettes dans la vapeur, si bien que l'eau condensée présente une salinité comprise normalement entre 20 et 80 mg/L. Ces valeurs sont très inférieures aux recommandations de l'OMS. Le distributeur d'eau a donc toute latitude pour reminéraliser l'eau en fonction des conditions locales : ajout de réactifs et/ou dilution avec de l'eau saumâtre.

En prévoyant des aménagements spéciaux (séparateurs de gouttelettes) dans les cellules de distillation, on obtient une eau dont la salinité est inférieure à 10 mg/L, qui peut servir d'appoint à une chaudière basse pression sans déminéralisation complémentaire.

Hormis le cas de la compression mécanique de vapeur, la distillation utilise de l'énergie thermique sans spécification très stricte. On peut donc récupérer de la chaleur souvent considérée comme « perdue » telles que :

Couplage avec un moteur Diesel

La récupération se fait aux niveaux des gaz d'échappement et du circuit de refroidissement. Un poste de distillation associé dans les meilleures conditions à un moteur de 1 000 kW pourra fournir 230 m³ /j d'eau douce. Ce type d'unité équipe les navires et les communautés isolées vivant dans des îles.

Couplage avec une turbine à gaz

Dans ce cas, une chaudière récupère la chaleur des gaz de combustion de la turbine et produit la vapeur nécessaire au fonctionnement de l'unité de distillation, La production prévisible est de 500 à 1 000 m³ /j d'eau douce pour 1 000 kW d'énergie électrique produite.

Couplage avec centrale thermique à vapeur

Pratiquement toutes les grandes unités de distillation (> 5 000 m³ /j) sont couplées à des centrales thermiques. On sait que les organes de base d'une centrale thermique sont la chaudière, la turbine à vapeur et son condenseur et l'alternateur. Dans cette ligne de production d'électricité, la vapeur qui s'échappe de la turbine est la fuite d'énergie la plus importante. L'idée est d'utiliser cette vapeur « basse pression » pour distiller l'eau de mer. On remplace alors le couple turbine + condenseur par l'association d'une turbine à contre-pression avec une unité de distillation.

I.4.8-L'avantages principal du procédé MSF :

Capacité de production journalière élevée par rapport à d'autres procédés thermiques, Jusqu'à 60 mille mètres cubes par jour.

L'utilisation des concentrateurs pour le procédé MSF de dessalement est particulièrement intéressante, puisque ces capteurs sont très développés ces dernières années, notamment pour la production de la vapeur surchauffée pour alimenter des turbines à vapeur, peuvent assurer la production d'énergie nécessaire au fonctionnement de l'installation. [24]

L'avantage principal du procédé MSF est que l'évaporation de l'eau de mer ne se produit pas autour des tubes de chauffe puisque le liquide « flashe » ceci limite les risques d'entartrage.

I.5-Impacts environnementaux du dessalement :

la plupart des impacts proviennent principalement de la saumure lorsque celle-ci est rejetée directement dans la mer, sans dilution et sans aucun traitement. [25] suivant sont présentées les Problèmes environnementaux du dessalement d'eau de mer :

- Rejet des saumures concentrées au double de la salinité naturelle en mer ou injectées dans le sol ;
- Rejet de polluants atmosphériques, notamment du dioxyde de carbone (CO₂), des oxydes de soufre et d'azote et des particules solides.
- Rejet d'eaux chaudes en mer dans le cas de la distillation ;
- Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes (chlore et autres) ;
- Traces de cuivre échappés des installations ;
- Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements ;
- Exploitation du terrain pour la construction des usines.

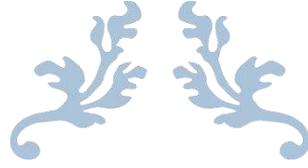
Les scientifiques s'accordent sur le fait que les impacts des effluents (eaux rejetées) issus de ces usines sont principalement dus à la forte concentration en sel et dans une moindre mesure à la présence de produits chimiques (utilisés pour le fonctionnement de l'usine) et à la température potentiellement élevée de ces eaux.

Lorsque la saumure est rejetée sans dilution ni traitement, elle induit une augmentation de la concentration en sel autour de la zone de rejet. une grande quantité de saumure, composée de divers sels, métaux lourds, composés organiques... Si cette saumure est rejetée dans la mer, cela entraîne un grand déséquilibre dans la composition physique et chimique de l'eau de mer, avec des conséquences dramatiques sur la biodiversité.

Les rejets chimiques soulèvent d'autres inquiétudes, surtout pour les usines à distillation. Le chlore est utilisé pour limiter la contamination biologique des installations. C'est un biocide très efficace qui, une fois libéré dans le milieu marin, peut toucher des organismes non ciblés. [26]

Conclusion:

En conclusion de ce chapitre, nous avons examiné en détail le processus de dessalement d'eau de mer, en mettant l'accent sur la technique de distillation par détentes successives (Multi Stage Flash distillation MSF). Ce qui sera présenté dans le troisième chapitre. Cette méthode de dessalement est largement utilisée en raison de sa capacité de production journalière élevée et sa qualité d'eau dessalé dans le domaine industriel. Nous avons également abordé les différentes techniques de dessalement, telles que les procédés membranaires et l'électrodialyse.



Chapitre II : Présentation de la centrale électrique à cycle combine de Terga



Introduction :

Le principe de base de la production d'électricité repose sur la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique. On utilise une source d'énergie qui peut être de l'eau, de la vapeur ou un gaz. Cette énergie fait tourner une énorme turbine qui est reliée à un alternateur. L'alternateur agit comme un aimant et attire les électrons, ce qui les oblige à se déplacer et le déplacement des électrons génère le courant électrique (dans quelques cas rares par un moteur Diesel stationnaire).

La centrale à cycle combiné TERGA datant de 2012, qui utilise (gaz naturel ou fioul) comme combustible, en plus de la vapeur d'eau pour une turbine à vapeur, d'une capacité totale de 1200 MW répartis en trois groupes mono arbre d'une capacité de 400 MW chacun, est l'une des centrales électriques qui Cela comprenait la quantité et la qualité de la demande énergétique de ses clients.

Dans ce chapitre nous allons présenter la centrale a cycle combine de TERGA, et décrire ses principaux éléments.

II.1- Présentation général de la centrale électrique :

SHARIKET KAHRABA TERGA est une société par deux actionnaires : SONALGAZ avec 51% SONATRACH 49%.

Le Projet Shariket Kahraba Terga est une centrale électrique située à Terga, Algérie, Afrique, réalisé par un consortium dirigé par Alstom et comprenant la société égyptienne Orascom Construction Industries pour le génie civil et la construction, Le début de réalisation de la centrale était en 2008 et mise en exploitation en 2012 elle contribue de 10% de la production nationale. Le démarrage de la centrale d'une puissance nominale de 1200 MW.

La centrale électrique à cycle combiné de TERGA se compose de trois unités « mono-arbre » (ou single shaft) KA26 d'une puissance de 400MW pour chacun.

La centrale électrique Shariket Kahraba Terga c'est la Première centrale à cycle combiné KA26 en Algérie et en Afrique.

II.2- Objectifs de la centrale à cycle combiné de TERGA :

Le rôle principal de cette centrale est de produire de l'énergie électrique à partir de la combustion du gaz naturel, elle est chargée dans le cadre national alimenté avec d'autres centrales en parallèles formant un réseau interconnecté qui part de l'est à l'ouest en passant par le centre.

La centrale Terga Power produit de l'électricité nécessaire au réseau de 400 kV. La centrale est autonome, ne demande que peu de ressources extérieures et est capable de démarrer et d'alimenter le groupe à l'aide de dix générateurs diesel au total. Le combustible est amené aux turbines à gaz depuis un collecteur souterrain de gaz naturel ou depuis de deux réservoirs de stockage de 18000 mètres cubes pour ce qui concerne le combustible liquide.

La centrale électrique à cycle combiné « 3 x 400 MW-KA26-1 SS » est composée de trois unités à cycle combiné à arbre unique, de type turbine à gaz avec récupération de chaleur.



Figure (II.1) : La centrale électrique à cycle combine de TERGA.

II.3- Situation géographique du complexe (Localisation) :

La centrale électrique S.K.T est située dans la partie l’Ouest de l’Algérie, à la commune d’OULED BOUDJEMAA à 25 km d’Ain Temouchent.



Figure (II.2) : Localisation géographique de la centrale SKT.

II.4- L’organigramme :

L’organisation du fonctionnement de la centrale est faite selon l’organigramme suivant :

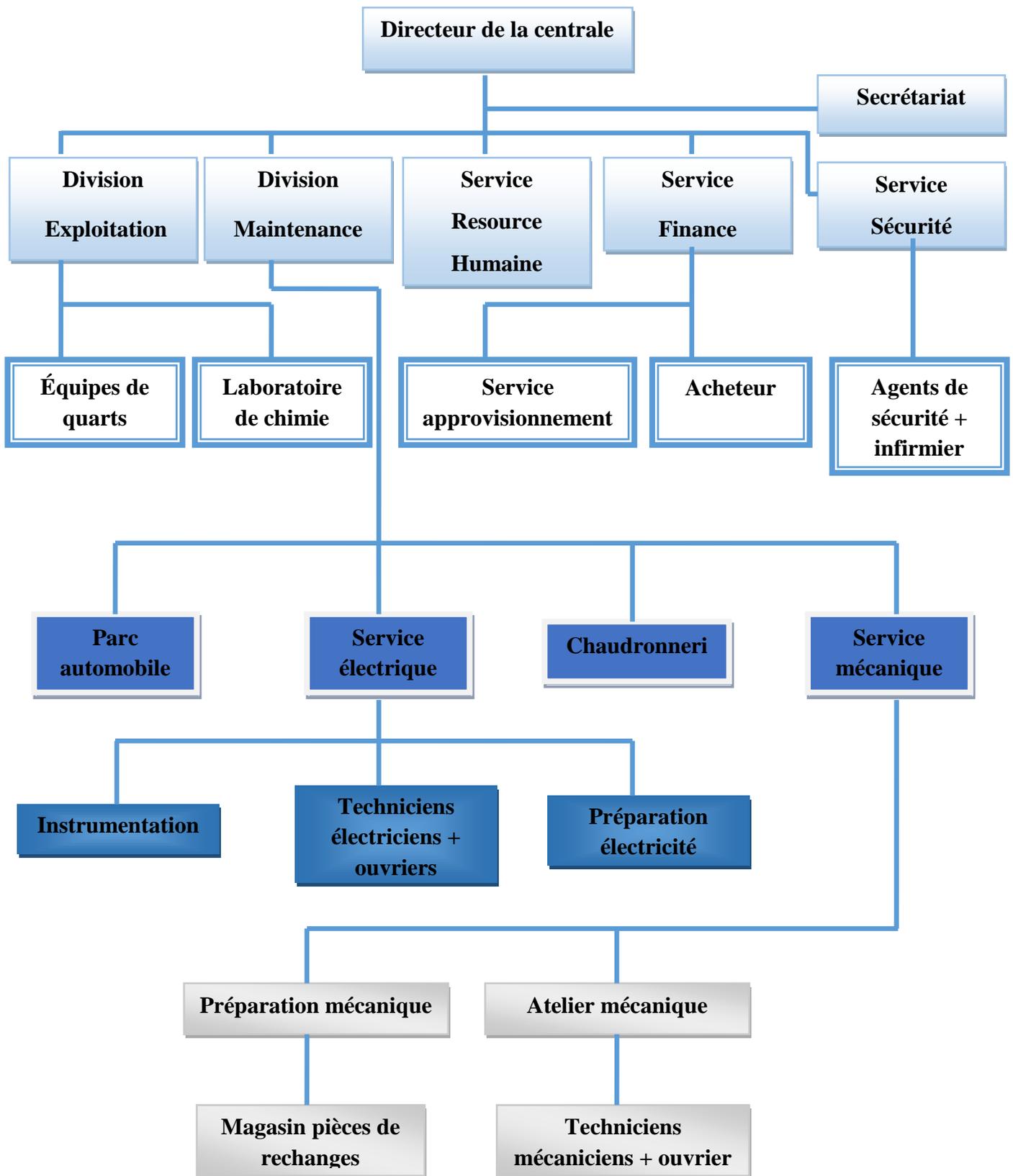


Figure (II.3) : L'organisation du fonctionnement de la centrale.

II.5- Principe de fonctionnement du cycle combiné « mono arbre » :

Un cycle combiné « mono arbre » est constitué d'une seule turbine à gaz, d'une seule chaudière de récupération qui alimente une turbine à vapeur et d'un unique alternateur dimensionné pour les deux turbines.

Dans les centrales à cycle combiné, le processus de production d'électricité se déroule en deux temps :

La turbine à gaz comprime l'air ambiant qui s'enflamme en présence de gaz naturel pressurisé. Dès que le mélange combustible/air se consume, les gaz chauds se détendent à travers une turbine, laquelle est reliée à un alternateur pour la production d'électricité.

L'échappement de la turbine est relié à la chaudière de récupération pour la fabrication de vapeur, cette vapeur traverse une turbine à vapeur, qui entraîne un générateur qui est reliée avec la turbine à gaz.

Sur cette configuration, la turbine à gaz, la turbine à vapeur et l'alternateur sont installés sur la même ligne d'arbre. Cette configuration est préférable car elle permet une facilité dans le fonctionnement et le contrôle.

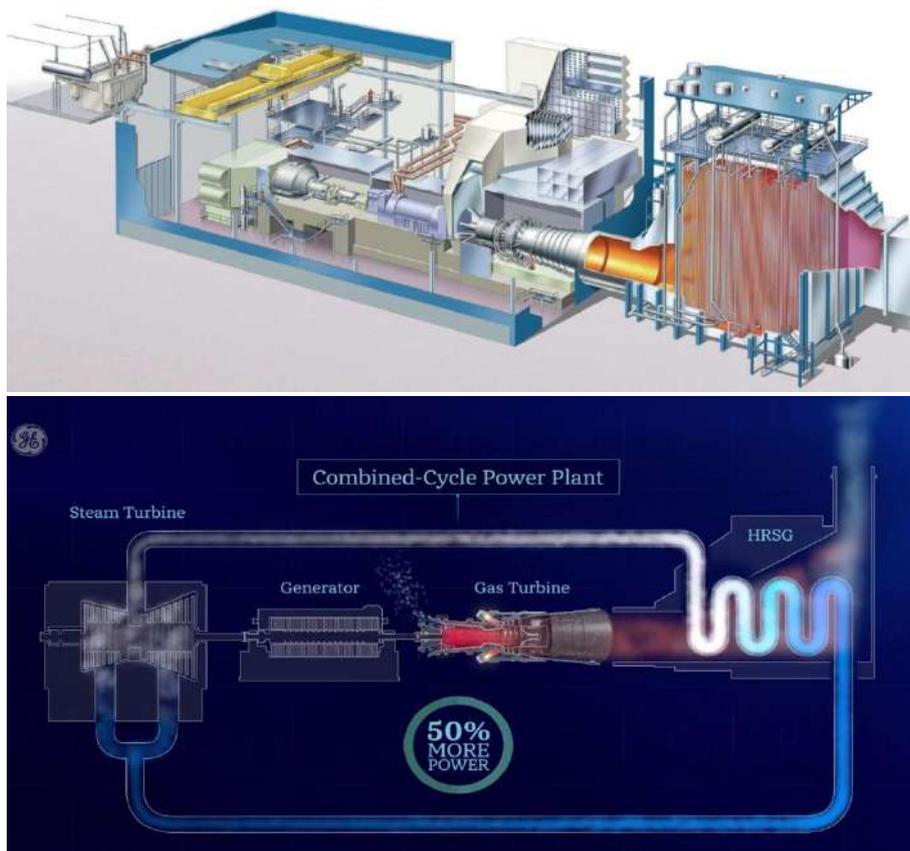


Figure (II.4) : Principe du fonctionnement du cycle combiné mono arbre.

Parmi les Avantages majeurs du cycle combiné on cite:

- ✓ rendement élevé
- ✓ Fiabilité et disponibilité supérieures
- ✓ Coûts du capital contrôlés
- ✓ Compatibilité environnementale
- ✓ Flexibilité en exploitation

II.6- Les différentes unités du complexe :



Figure (II.5) : Vue en 3D de la centrale électrique de TERGA

II.6.1- L'unité principale de production d'énergie électrique :

SKT est une centrale thermique à cycle combiné produit de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de gaz naturel. Elle combine deux types de turbine : une turbine à combustion et une turbine à vapeur reliées à un alternateur.

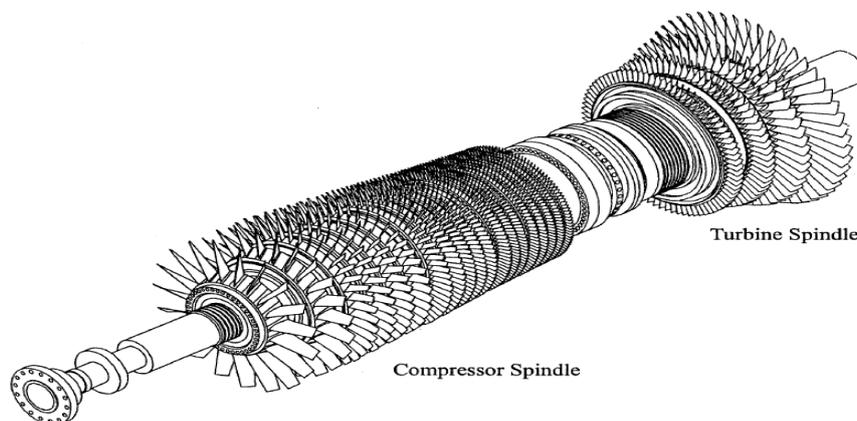


Figure (II.6) : L'unité de production d'énergie électrique.

La centrale électrique à cycle combiné de TERGA se compose de trois unités « mono-arbre » (ou single shaft), chaque unité se compose de:

Turbine à gaz :

La turbine à gaz de type GT26 d'Alstom comprend un rotor constitué d'un étage turbine « haute pression », de 4 étages turbine « basse pression », de 22 étages compresseur, et deux chambres de combustion annulaires, appliquant le principe de combustion séquentielle.



Assemblage typique d'un rotor de turbine à Gaz

Figure (II.7) : Un rotor de turbine a gaz.

L'air en entrée de la TG est filtré dans le bloc de prise d'air ensuite il se mélange au gaz naturel dans la chambre de combustion, les fumées de combustion avec une température d'environ 1600°C font tourner une turbine à gaz.

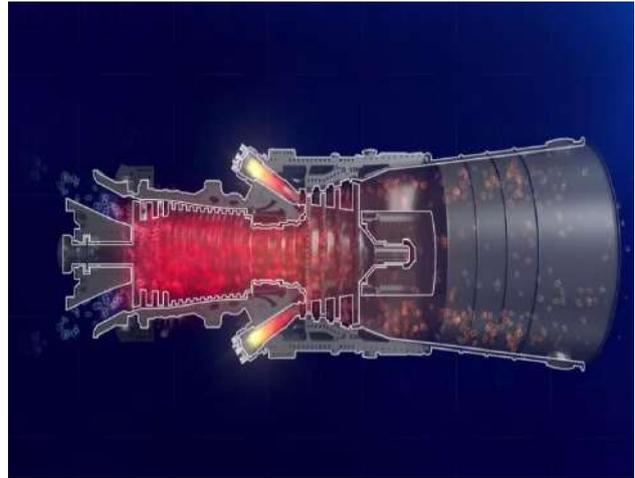
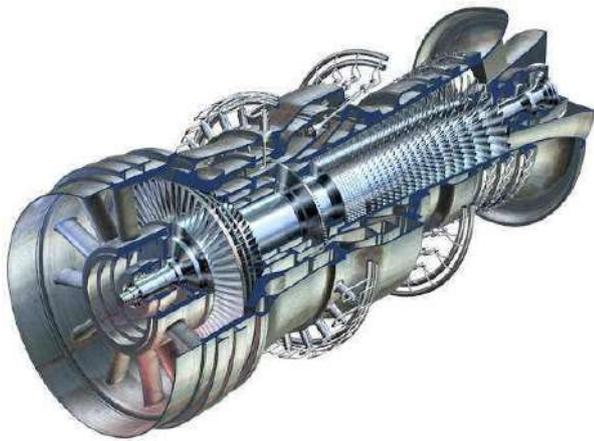


Figure (II.8) : Turbine à gaz GT 26.

Alternateur :

L'alternateur Alstom (type 50WT21H-120) est entraîné à la fois par la turbine à gaz et par la turbine à vapeur. La puissance est produite à une tension de 20kV. L'alternateur, à trois phases et deux pôles synchrones, est refroidi à l'hydrogène. L'hydrogène est ensuite refroidi dans des échangeurs à eau se trouvant dans l'enceinte de l'alternateur.

L'alternateur est utilisé comme un moteur synchrone de démarrage alimenté par un convertisseur statique de fréquence. L'énergie de démarrage est fournie par le réseau Haute Tension, à travers le transformateur élévateur.

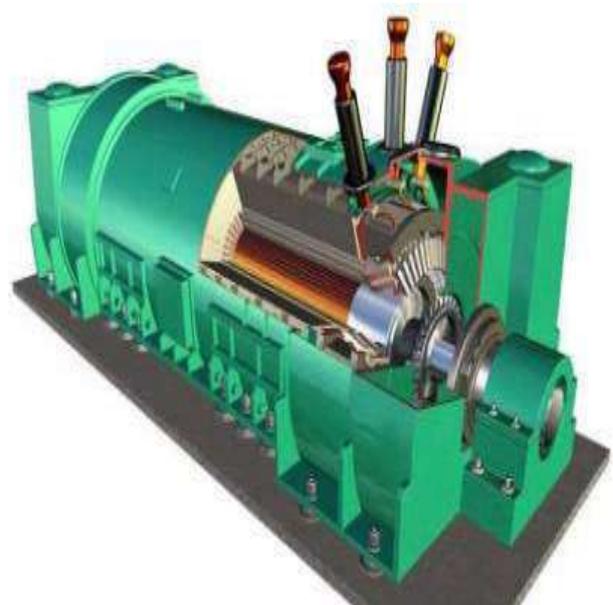


Figure (II.9) : Un alternateur Alstom (type 50WT21H-120).

Chaudière de récupération :

La chaudière de récupération est de design horizontal. Elle fonctionne en mode de circulation naturelle pour les trois niveaux de pression BP, MP, et HP. La chaleur, contenue dans les gaz d'échappement de la turbine à gaz, sert de source de chaleur pour produire la vapeur.

La Chaudière de Récupération (HRSG) est, au fond un échangeur de chaleur composé de sections de surchauffeurs, d'évaporateurs et d'économiseurs. Ces sections sont situées entre l'entrée et la sortie du gaz d'échappement de la turbine pour récupérer le maximum de chaleur des fumées. La chaleur récupérée dans la (HRSG) porte la vapeur de la turbine à vapeur, à la bonne température et à la bonne pression.

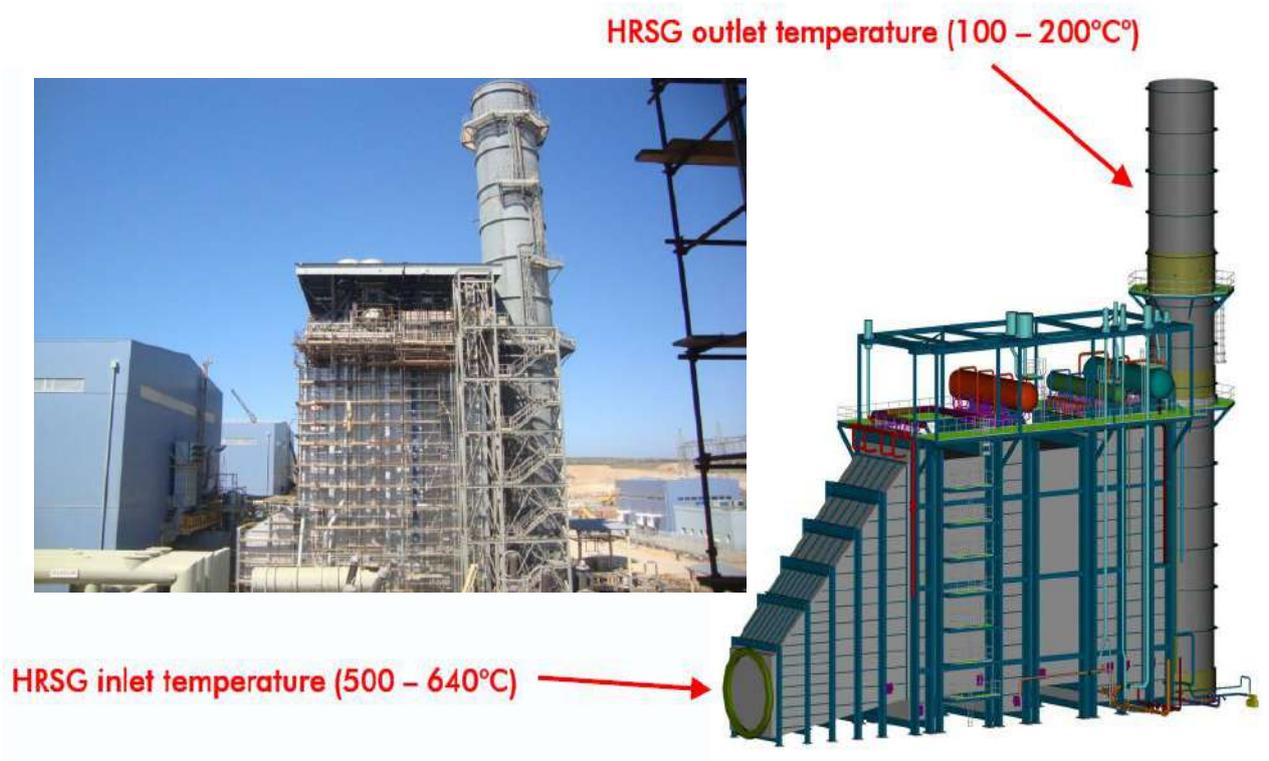


Figure (II.10) : La Chaudière de Récupération (HRSG).

Turbine à Vapeur

La Turbine à vapeur Alstom, de type DKYZZ2-1N41BA, possède deux corps, trois pressions, et une resurchauffe. Le premier corps est l'étage haute pression (HP) et le deuxième corps de la turbine se compose des étages moyenne pression (MP) et basse pression (BP). Le corps MP/BP est à double flux.

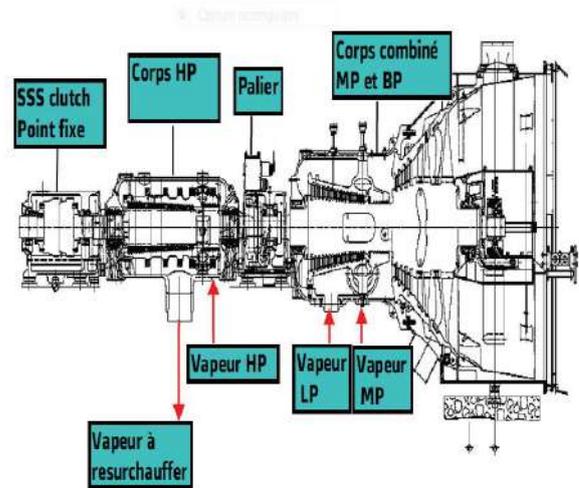


Figure (II.11) : La Turbine à vapeur Alstom.

Embrayage

L’embrayage permet de connecter la TV à l’alternateur, alors que celui-ci est déjà entraîné par la TG.

La ligne d’arbre comprend la turbine à gaz entraînant le turboalternateur via un accouplement rigide. La turbine à vapeur est accouplée via un embrayage auto-commutable synchrone sur l’autre côté de l’alternateur. Cette disposition permet de démarrer et d’arrêter la turbine à vapeur indépendamment de la turbine à gaz, alors que la turbine à gaz est déjà en fonctionnement.

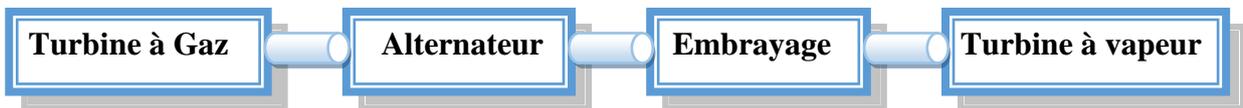


Figure (II.12) : Schéma de la ligne d’arbre.

Bâche alimentaire / Dégazeur :

Une Bâche alimentaire munie d’un dégazeur stocke l’eau alimentaire pour la chaudière de récupération, préchauffe et dégaze l’eau d’extraction .

En fonctionnement normal au gaz, le préchauffage de l’eau alimentaire est assuré par le système de préchauffage de l’eau alimentaire. En fonctionnement à basse charge ou au gasoil, le préchauffage utilise la vapeur à resurchauffer..

Chaque pompe de recirculation est pourvue d’un dispositif de débit minimum vers la bâche. La vapeur de resurchauffe, si nécessaire, est prise sur la ligne de vapeur à resurchauffer. La vanne de régulation de pression de cette alimentation permet de réguler la pression du dégazeur et en conséquence la température de l’eau alimentaire. Cette méthode de régulation de la température de la bâche alimentaire est répandue, fiable, et efficace dans une large gamme de température.

Ballon de récupération des purges à l'atmosphère :

Le ballon de récupération des purges à l'atmosphère recueille les purges externes à la turbine à vapeur. Après séparation la vapeur est envoyée à l'atmosphère et les condensats sont renvoyés au système de traitement des effluents.

Condenseur :

L'installation est de design axial refroidi à l'eau de mer. Le condenseur est constitué de deux faisceaux double passe. Afin d'opérer le condenseur avec un seul demi condenseur, les boîtes à eau sont divisées. Du fait de l'augmentation de la pression à l'échappement de la TV, la puissance produite est dans ce cas réduite.

Les gaz incondensables côté vapeur sont extraits de chaque faisceau de tube à l'endroit le plus froid, la pression partielle de vapeur y est plus basse. La vapeur condensée est envoyée dans le puits du condenseur, qui sert ainsi de capacité de stockage.

Le ballon d'éclatement des purges est raccordé au condenseur et recueille les purges internes de la turbine à vapeur. La phase vapeur est renvoyée au condenseur et les condensats sont renvoyés au puits du condenseur.

II.6.2- Les unités auxiliaires de la centrale électrique**II.6.2.1- La station de pompage E02 :**

Le système se compose de la tuyauterie d'amenée de l'eau de mer constitué de 5 pipes, ainsi un autre bassin de filtration avec 6 dégrilleurs et 6 filtres rotatifs pour éliminer tout les impuretés, de plus 06 pompes de transfert vers le bassin de tranquillisation. Il se compose aussi des trois pompes de dilution pour refroidir le rejet à une température de 25°C.

II.6.2.2- Station pompage E40 :

Cette station tout se compose de 6 pompes de refroidissement du condenseur.



Figure (II.13) : Station pompage E40.

II.6.2. 3- Unité d'électrochloration :

La production sur site d'une solution d'hypochlorite de sodium à partir d'eau de mer est réalisée par un processus électrochimique produisant une électrolyse partielle du chlorure de sodium contenu dans l'eau de mer. Cette électrolyse partielle est obtenue par passage de l'eau de mer entre des électrodes anodiques et cathodiques alimentées en courant continu. L'hypochlorite est injecté :

- ✓ En entrée des tuyaux d'amenée d'eau de mer.
- ✓ A l'aspiration des pompes de transfert.

Le système se compose de :

- Trois électrolyseurs.
- Trois transformateurs redresseurs de courant.
- Quatre pompes d'alimentation d'eau de mer.
- Deux réservoirs de stockage de solution d'hypochlorite.
- Quatre pompes d'injections de solution d'hypochlorite.
- Deux ventilateurs pour la dilution de l'hydrogène gazeux.

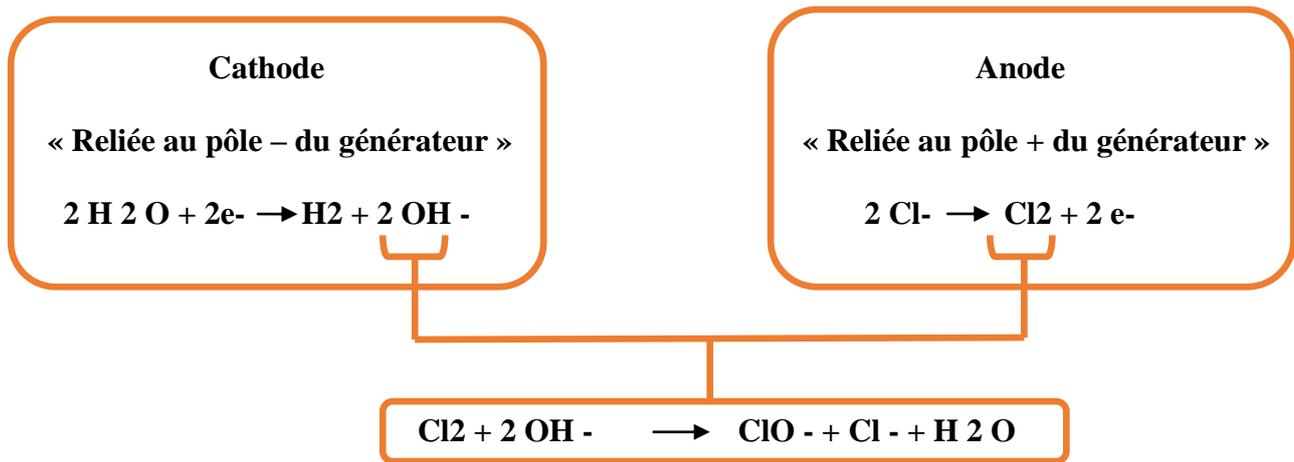
❖ *Description de l'installation d'électrochloration :*

L'eau de mer est ensuite filtrée, afin d'éliminer les particules solides de plus de 500 µm avant d'alimenter les générateurs d'hypochlorite de sodium. Chaque générateur Seacolor est composé de trois modules (i.e. électrolyseurs), et du redresseur correspondant. Les trois électrolyseurs sont branchés en série. Des séparateurs intermédiaires (entre les électrolyseurs 1 et 2 / 2 et 3) permettent une séparation préliminaire H₂-liquide pour garantir une haute efficacité d'électrolyse et une meilleure séparation au niveau des bâches de stockage. L'hydrogène s'échappe de la phase liquide dans la partie supérieure des réservoirs (1/3 du volume total est dédié au dégazage), et il est poussé hors des réservoirs avec l'air afin de conserver la concentration en H₂ 1 % volume. La solution d'hypochlorite de sodium est distribuée aux utilisateurs au moyen de pompes centrifuges.

❖ *Réaction chimique et électrochimique :*

Le procédé consiste en une électrolyse partielle du chlorure de sodium dissous dans l'eau de mer qui est forcée à travers des couples d'électrodes (anodes et cathodes) assemblées en un électrolyseur connecté à une source de courant continu. Des réactions électrochimiques et chimiques se développent successivement à l'intérieur des électrolyseurs. Parmi les produits de l'électrolyse,

- Le chlore gazeux se développe à l'anode.
- L'hydrogène gazeux se développe à la cathode avec formation des ions d'hydroxyle.
- Le chlore et les ions hydroxyles se combinent chimiquement pour produire des ions de chlorure et d'hypochlorite.



Donc, la formation d’hypochlorite de sodium à partir de chlorure peut se résumer suivant la réaction globale :

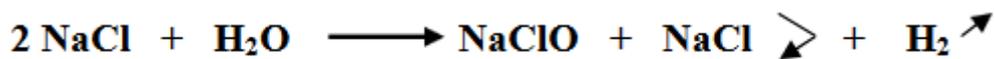


Figure (II.14) : Unité d’électro-chloration.

II.6.2. 4- L'usine de dessalement :

Le poste de traitement d’eau produit une eau dessalée. Ce poste se compose d’une unité de dessalement de type flash multi étage (MSF pour Multi Stage Flash). L’eau produite est recueillie dans les réservoirs de stockage d’eau dessalée.

L’installation comprend 2 unités de dessalement communes aux trois tranches de la centrale fonctionnant selon le principe de la distillation par détentes successives et produisant 960 m3/jour d’eau dessalée chacune.

L'eau dessalée produite sera stockée dans deux réservoirs à la pression atmosphériques d'une capacité de 17500 m3 chacun.



Figure (II.15) : Unité de Production d'eau dessalée MSF.

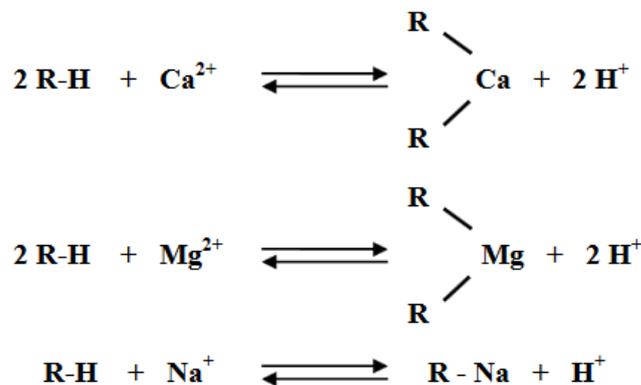
II.6.2.5- L'unité de déminéralisation :

La déminéralisation est l'élimination des sels minéraux présents dans une eau (généralement eau saumâtre ou eau de mer) par un échangeurs d'ions afin de rendre en vue d'un usage destiné à l'alimentation en eau potable de la population ou pour assurer la fourniture de l'eau des chaudières, des cycles de refroidissements...etc. [27]

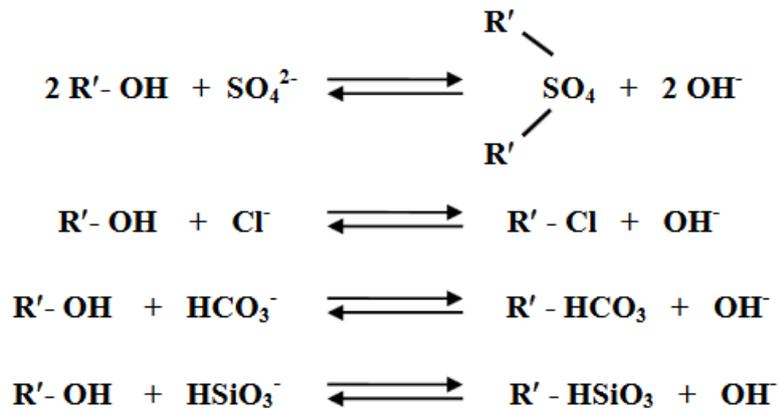
Les échangeurs d'ions utilisés en traitement des eaux sont presque toujours des résines sur les quelles sont greffés des groupements fonctionnels d'un seul type. On distingue ainsi:

- Les échangeurs de cations.
- Les échangeurs d'anions.

Les cations de l'eau sont absorbés par la résine cationique et échangés contre les ions H⁺ selon les réactions suivantes :



Les anions sont absorbés par la résine anionique et échangés contre les ions OH⁻ - selon les réactions suivantes :



Lits mélangés (LM) :

Ce procédé combine deux résines fortes, cationique et anionique, dans un seul appareil. Elles sont intimement mélangées par brassage à l'air comprimé. Les grains de résine ainsi disposés côte à côte se comportent donc comme une infinité d'échangeurs de cations et d'anion en série.

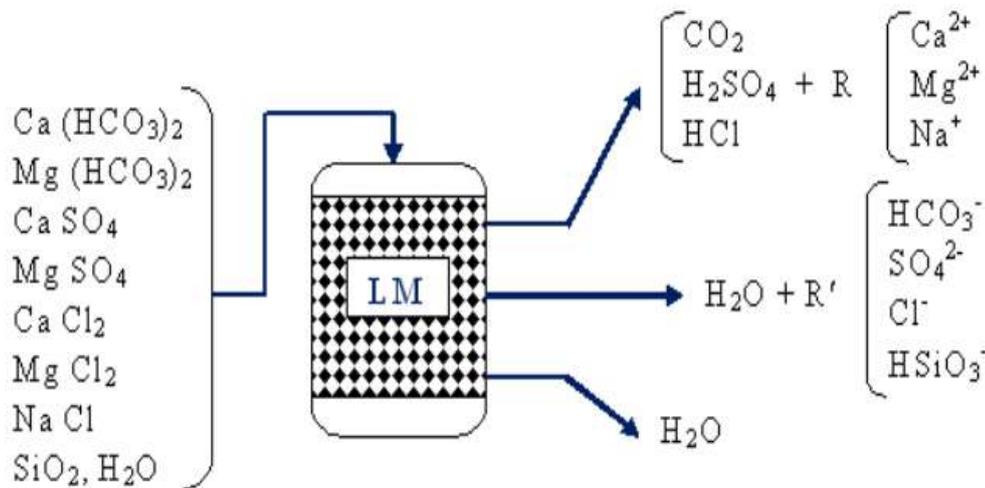


Figure (II.16) : Déminéralisation totale avec lit mélangé.

L'eau déminéralisée est produite par une centrale de production d'eau déminéralisée pour la purge en continue. La centrale de déminéralisation comprend :

- ❖ Deux pompes de transfert d'eau dessalée.
- ❖ Deux échangeurs à résines à lits mélangés,
- ❖ Deux réservoirs de stockage d'eau déminéralisée (capacité 2 x 500 m³).
- ❖ Quatre pompes d'eau déminéralisée pour l'appoint aux cycles.
- ❖ Quatre pompes d'eau déminéralisée DeNox pour la marche au fioul comprenant moteur, accouplement et carter de protection.



Figure (II.17) : L'Unité de déminéralisation

II.6.2.6- La station de production d'eau potable :

La station a pour fonction de reminéraliser l'eau dessalée en utilisant l'hydro-calcite afin de produire de l'eau potable et de la distribuer aux différents consommateurs.

L'eau dessalée sera dirigée, à débit constant par les pompes d'alimentation d'eau, jusqu'aux échangeurs de bore. Les échangeurs de bore sont conçus pour éliminer l'acide borique et le borate de l'eau.

Le système comprendra un système de deux échangeurs de bore entièrement automatisés.

L'eau sera stockée dans un réservoir d'eau potable qui servira de réserve pour les deux pompes de transfert.

La quantité d'hydro-calcite s'épuisera avec le temps et des chargements manuels devront être effectués avant d'être distribuée par les pompes de transfert. L'hypochlorite de sodium sera dosé dans l'eau pour la désinfection.

II.6.2.7- La station de production d'hydrogène :

L'installation est commune aux trois unités et comprend :

- un électrolyseur,
- un groupe de lavage et de refroidissement,
- un gazomètre,
- deux compresseurs avec sécheurs,
- les tuyauteries, pompes et accessoires,
- les équipements électriques,
- les équipements de contrôle commande.

L'électrolyseur est équipé:

D'un bloc de cellules divisé en deux chambres pour séparer l'H₂ produit à la cathode de l'O₂ se dégageant à l'anode.

De séparateurs de gaz l'un pour l'H₂ et l'autre pour l'O₂ pour la séparation du gaz de l'électrolyte.

Un système de refroidissement est prévue afin de récupérer la vapeur saturée contenant de la potasse caustique, entraînée avec les gaz, les condensats engendrés retournes vers l'électrolyseur.

Un système de lavage est nécessaire pour éliminer les traces de potasse contenues dans le gaz.

Un gazomètre sert au stockage de l'hydrogène et sert de tampon entre l'électrolyseur et l'installation de compression.



Figure (II.18) : La station de production d'hydrogène

II.6.2.8- Station d'air comprimé :

L'air comprimé requis par la centrale est produit dans une station d'air comprimé centralisée, composée de 2 compresseurs (1 en fonctionnement normal et 1 en de secours), à partir de laquelle l'air est distribué aux différents utilisateurs. La station d'air comprimé fournit :

- l'air instrument (filtré, séché, et déshuilé)
- l'air de service (filtré)

Toutes les zones principales sont alimentées en air de service pour les opérations de maintenance. Le réseau d'air instrument est prioritaire.

II.6.2.9-Equipements de protection contre les incendies :

Les mesures de protection passives contre les incendies, les systèmes anti-incendie (les mesures actives telles que les extincteurs), et les protections contre les explosions sont fournis suivant la législation locale en vigueur et les obligations contractuelles pour fournir une protection adéquate de la centrale.

Les éléments principaux de la protection contre les incendies sont la détection incendie et les systèmes d'alarmes (générant des alarmes), le système de détection du gaz (générant des alarmes), les systèmes d'extinction automatiques à gaz (CO₂), le système manuel de lutte anti-incendie (lance à eau) et le système d'approvisionnement en eau pour la lutte anti-incendie indépendant pour l'usine.



Figure (II.19) : Equipements de protection contre les incendies.

II.6.2.10-Système de contrôle :

La centrale électrique est équipée d'un système distribué pour contrôler l'ensemble de la centrale électrique.

Le système de contrôle distribué (DCS) permet un fonctionnement, un contrôle et une supervision sûrs et efficaces du processus avec un haut degré d'automatisation. Le démarrage et l'arrêt de l'unité sont automatisés ainsi que le fonctionnement en charge en fonction des exigences du réseau et des changements de mode.

II.6.2.11-Laboratoire et leurs analyses :

- Relevée des analyses chimiques pour le cycle eau vapeur. (Annexe 1)
- Analyses chimiques des BOP. (annexe 2)
- Les analyses pour le rejet.



Figure (II.20) : Laboratoire de la centrale.

Les analyses des huiles (pour les turbines et les transformateurs) :

- Viscosité
- La tension de claquage
- Le teneur en eau dans les huiles



(a)



(b)



(c)

Figure (II.21) : Appareils d'analyse d'huile dans laboratoire : (a) Viscosité, (b) La tension de claquage et (c) Le teneur en eau dans les huiles.

II.6.2.12-Poste d'échantillonnage :

Notre poste d'échantillonnage se compose par des différents analyseurs comme suite :

- Analyseur de la conductivité spécifique et cationique,
- Analyseur du PH,
- Analyseur d'oxygène,

- Analyseur de silice,
- Analyseur de sodium.
- Ce système nous assure le control instantané de notre cycle eau vapeur afin d'assurer une longue durée de vie de notre chaudière de récupération.

Dans notre contrôle de notre chaudière, on base sur les paramètres suivants :

- ✓ Le PH : il faut être un PH basique 8.9-9.5 afin d'éliminé le phénomène de corrosion.
- ✓ La présence d'oxygène : on doit éliminer la valeur d'oxygène jusqu'au 06ppb.
- ✓ Et on a notre paramètres on doit les éliminer comme la silice ; le sodium ; les chlorures et le fer afin d'éliminer les dégâts sur notre turbine à vapeur.

En plus on doit contrôler qu'on injecte comme l'ammoniaque et le phosphate et le carbo-hydrazine.



Figure (II.22) : Poste d'échantillonnage.

II.6.2.13-Station de traitement des eaux usées :

Les eaux usées produites par la centrale électrique sont classées selon leurs caractéristiques en cinq catégories :

- ✓ Eaux usées propres (eaux de purge provenant du cycle eau vapeur).
- ✓ Eaux huileuses.
- ✓ Effluents chimiques.
- ✓ Eaux usées sanitaires.
- ✓ Eaux usées provenant du lavage compresseur.

Ces eaux usées sont traitées de manière appropriée avant de quitter la centrale. Les eaux usées de procédé sont traitées de manière à se conformer aux critères des effluents (par ex. par neutralisation). L'eau huileuse traverse un séparateur d'huile /solides.

Les eaux usées sanitaires sont conduites dans une fosse septique.

Le système est une station d'épuration des eaux usées domestiques, localisée près de l'atelier.

Cette installation d'épuration du type à boues activées, est conçue pour une charge dérivant de 40 H.E (équivalent habitant), sera réalisée en fibre de verre. Les eaux arrivent à la station de traitement par gravité et par gravité les eaux traitées sont envoyées à la destination finale.

Les dimensions des divers compartiments ont été définies en respectant les données du projet.



Figure (II.23) : Station de traitement des eaux usées.

II.7-Besoins en eau dessalée de la centrale électrique de TERGA :

Le rôle principal de l'unité de dessalement installée dans la centrale TERGA est de produire de l'eau dessalée pour répondre aux besoins de l'usine (alimentation de la chaudière, besoins internes, réseau incendie, etc.).

90 % de l'eau dessalée est transformée en eau déminéralisée pour faire fonctionner les trois chaudières puis les turbines à vapeur de l'unité de production d'énergie électrique. Les 10 % restants sont divisés en une petite partie qui sert à remplir le réservoir d'incendie et l'autre partie est fournie à l'unité d'épuration pour produire l'eau de service de la centrale.

Le schéma suivant résume la répartition de l'eau dessalée dans la centrale :

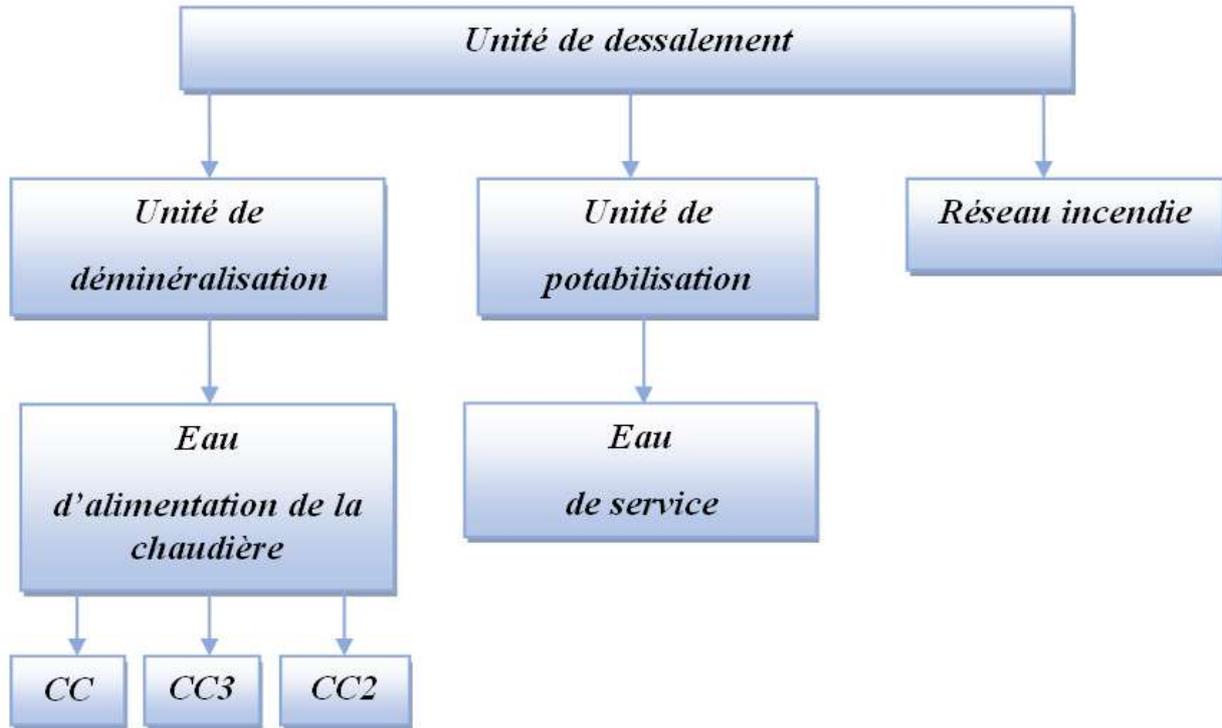
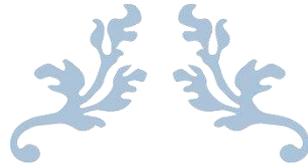


Figure (II.24) : la répartition de l'eau dessalée dans la centrale.

Conclusion :

La source utilisée par la centrale de TERGA pour produire de l'électricité est (gaz naturel ou fioul) comme combustible, en plus l'eau de mer. et cette eau doit être traitée avant toute utilisation. Une étude a montré que si l'usine fonctionnait directement à l'eau de mer, quelques heures suffiraient pour toutes les utilisations obstruant les canalisations de l'usine. La vérité est qu'il faut utiliser de l'eau pure qui ne laisse ni sels ni minéraux dans les circuits après évaporation afin qu'elle ne pose pas de problèmes. Afin de purifier l'eau des sels, des minéraux et des dépôts calcaires qu'elle contient, elle doit être transférée de deux usines chimiques : l'usine de dessalement de l'eau et l'usine de déminéralisation. Dans le chapitre suivant, nous présenterons le processus de dessalement de l'eau dans la centrale à cycle combiné de TERGA, réalisée par distillation flash multi-étape.



Chapitre III: Technologie de dessalement de l'eau de mer au niveau de la centrale électrique « SKT »



Introduction :

Tous les centrales de production électrique par turbine a vapeur nécessite généralement d'une installation de dessalement et de déminéralisation de l'eau brute (eau de mer) pour alimenter les chaudières.

Ce chapitre se propose de décrire les caractéristiques principales du processus de l'usine de Dessalement MSF installée à la centrale électrique a cycle combiné, située à Terga, Ain Temouchent, Algérie.

Cette dernière est constituée de deux unités de dessalement d'eau de mer à détentés successives (Multi-stage flashing M.S.F), chacune d'une capacité de production de 960 m³/jour, et fonctionnant à une température de saumure pouvant atteindre 90 degrés Celsius.

La première étape est le prétraitement qui consiste a une prise d'eau avec un système de filtration effectué à la station de pompage à l'aide d'un groupe de dégrilleurs et des filtres rotatifs, suivi d'une injection de chlore. Cette dernière peut se faire en continu ou par choc selon les opérateurs.

La deuxième étape, le Principe de fonctionnement l'usine de dessalement MSF dans la centrale électrique cycle combiné de Terga avec tous L'équipement principal de l'installation MSF et l'injection d'additifs chimiques.

III.1- Prétraitement :

La présence des stations de dessalement à proximité de la mer, comme c'est le cas de la centrale thermique de Terga. L'eau passe d'abord par une étape de filtration grossière permettant d'éliminer les gros matériaux. Et puis On utilise des filtres rotatifs à toile métallique et à lavage automatique retenir toutes les matières de dimension supérieure à 0,5 mm ou 1 mm, susceptibles d'endommager les installations et de diminuer l'efficacité globale du procédé de traitement.

Deuxièmement, la chloration pour empêcher la multiplication des organismes et ainsi éviter le colmatage des canalisations.

III.1.1- La prise d'eau :

Une prise d'eau faite en pleine mer à 700m de l'arrivée de l'eau à la station de pompage. Ce processus s'effectue par gravité à travers 5 tuyaux d'aspiration d'un diamètre de 3 m qui se terminent par une crépine. Chaque tuyau possède un bassin dans lequel pénètre l'eau de mer (Figure III.1), chacun des cinq canaux est pourvu d'un batardeau.

Le captage est effectué en zone profonde d'environ 7m, éloignée de la côte, protégée des pollutions et des forts courants, il n'est pas influencé par les rejets ; la pression d'entrée de l'eau de mer est de 2 à 4 bars.



Figure (III.1) : Station d'entrée d'eau de mer.

III.1.2- Filtration de l'eau de mer :

Les bassins d'arrivée d'eau sont répartis en six voies de filtration, chacun équipé d'un dégrilleur. Et puis ça passe aux filtres rotatifs.

- **Filtration primaire (dégrillage) :**

Une première filtration de l'eau de mer est effectuée par une installation composée d'une grille fixe et une dégrilleur entraîné électriquement. Ce dégrilleur fonctionne comme une pelle pour les particules de plus grande taille et les matières solides présentes dans l'eau de mer.

Les matières retenues par le réseau sont portées au niveau de l'évacuation des déchets.



Figure (III.2) : Filtration primaire (dégrillage).

- **Filtration secondaire (filtres rotatifs) :**

La filtration secondaire qui est finale se fait par des filtres rotatifs, chaque filtre est constitué par une structure à rotation lente dans la quelle l'eau entre de chaque côté.

Les panneaux filtrants sont montés à la périphérie de la structure tournante et l'eau est refoulée vers l'extérieur depuis le centre de tambour à travers les mailles filtrantes.



Figure (III.3) : Filtration secondaire (filtres rotatifs).

III.1.3- La station de pompage :

La station de pompage est une structure étanche en béton armé constituée d'un bassin d'alimentation s'étendant à plus de 7 m sous le niveau de l'eau de la mer. Le processus de pompage est effectué à travers trois tuyaux et 6 pompes de transfert vers le bassin de tranquillisation, Chaque tuyau fonctionne avec deux pompes pour augmenter la pression.



Figure (III.4) : La station de pompage.

III.1.4- La chloration :

Dés la prise d'eau de mer, Nous devons empêcher la propagation des organismes. Dans le cas contraire, nous devons faire face à toute une série d'incidents comme une diminution des échanges thermiques et un bouchage partiel voire complet des canalisations.

Le procédé le plus courant consiste à injecter du chlore, un réactif dont le stockage et la manipulation nécessitent de strictes précautions. Pour éliminer le danger lié au chlore, celui-ci peut être remplacé par de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel).

Le système de distribution de l'hypochlorite de sodium est conçu pour fournir un dosage à la fois continu et choc.

III.1.4.1- Dosage en continu :

L'injection continue est principalement réalisée sur la prise d'eau de mer en injectant une solution d'hypochlorite de sodium en proportion du débit total d'eau de mer à chlorer. Les points d'injection suivants sont pris en considération:

- L'injection en continu est effectuée dans les 5 embouchures de la prise d'eau de mer (5 points) : chaque point d'injection d'hypochlorite de sodium est équipé d'une vanne manuelle et d'un indicateur de débit local permettant d'équilibrer le débit sur chaque embouchure de prise d'eau de mer.
- Alternative : l'injection en continu peut être effectuée dans les 5 embouchures de la prise d'eau de mer (5 points) pour un pourcentage variable entre 60 et 100%. La partie restante sera dosée au niveau de la station de pompage (6 points) avant l'aspiration des les pompes.

Le débit continu normal d'injection est de **2,0** mg/l Cl₂ de chlore libre disponible.

III.1.4.2- Dosage choc :

L'injection choc est basée sur le débit. Il sera fait exclusivement dans la prise d'eau de mer. D'habitude, l'injection choc sera effectuée automatiquement. Toutes les 12 heures, pendant 15 min. Le démarrage sera régulé par minuteur. Il sera aussi possible d'activer ou de désactiver l'injection choc manuellement. L'injection choc peut être mis en route à n'importe quel moment, à condition qu'il y ait un volume suffisant de solution d'hypochlorite de sodium dans le réservoir de stockage. La fréquence et la durée de l'injection choc peuvent être ajustées à 15 minutes toutes les 12 heures, soit un maximum d'½ heure par jour, eu regard à la capacité maximale de l'électro chloration.

La concentration de dosage choc (deux fois par jour) est de 5 mg/l Cl₂ de chlore libre disponible.

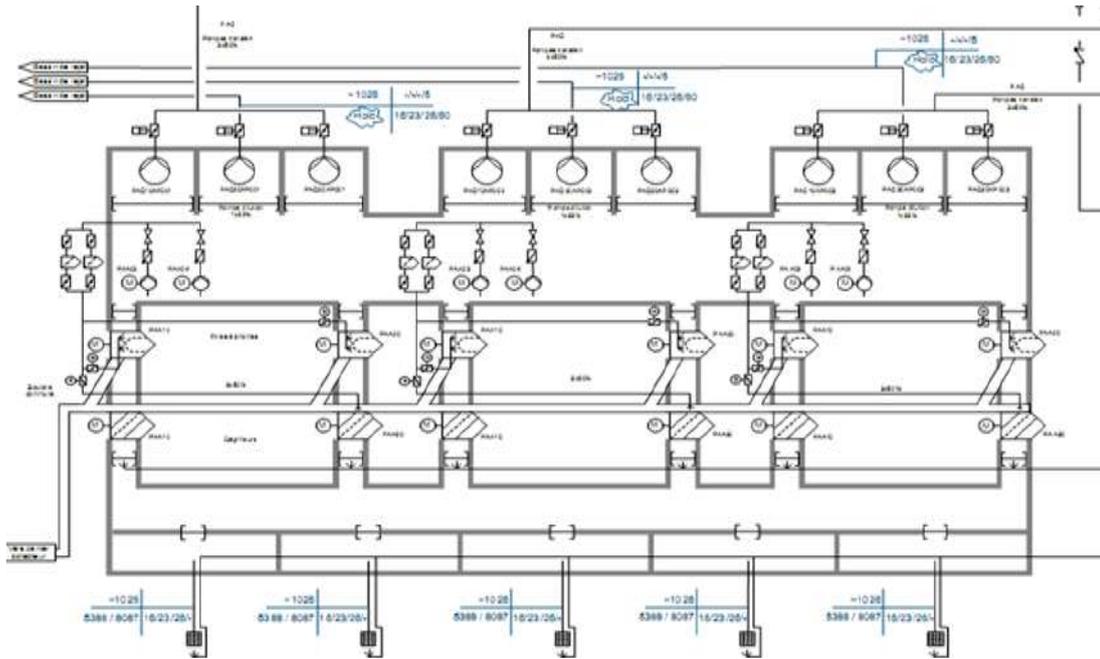


Figure (III.5) : Schéma de station de pompage.

III.1.5- Bassin de tranquillisation:

Le bassin de tranquillisation est proportionnel au niveau de la centrale électrique . Il récupère toute l'eau de mer de la station de pompage.

Ce bassin est un ouvrage construit en béton utilisé dans le but de ralentir l'eau à la sortie des tuyaux de refoulement des pompes, avant que cette eau n'entre dans le canal d'alimentation en eau. ce bassin de plus, faire office de bassin de sédimentation pour les particules solides plus fines.



(a)



(b)

Figure (III.6) : Station de transfert de l'eau de mer : (a) Bassin de tranquillisation, (b) trois pompes de dessalement.

III.2- Présentation de l'installation de dessalement MSF :

L'usine de dessalement se compose de deux unités MSF, ayant chacune une capacité de production de distillat de 960 m³/jour, et fonctionnant à une température de saumure au sommet allant jusqu'à 90°C; les deux unités fonctionnent de façon complètement indépendante et sont équipées de moyens adéquats pour un contrôle approprié de tous les paramètres du processus dans les différentes conditions opérationnelles.

III.2.1- L'équipement principal de l'installation:

L'eau de mer est un milieu naturellement très corrosif. L'élévation de sa température augmente encore la vitesse de corrosion. Le choix des matériaux doit donc être fait avec soins : durée de vie de l'installation, frais de maintenance et même qualité de l'eau en dépendent. Pour les parties en contact avec l'eau de mer, il faut envisager au minimum des aciers inoxydables bas carbone voire pour les zones en contact avec de l'eau de mer chaude, ou les incondensables des alliages plus nobles tels que les aciers duplex, les cupronickels, le titane...[27], En plus des éclairs suicides.

III.2.1.1- Système de commande :

L'interface utilisateur (Homme-Machine « IHM ») est de type Clavier-Ecran basée sur un système d'exploitation Windows.

Ce logiciel définit les moyens et les outils mis en œuvre afin que l'opérateur puisse contrôler et communiquer avec les équipements en fonctionnement, et intervenir en cas d'anomalie.

III.2.1.2- Filtration de l'eau de mer entrée dans l'unité MSF :

Le type de filtre installé anti-colmatant (autonettoyant). L'eau de mer à filtrer entre dans ce filtre par la bride d'entrée, traverse le double panier filtrant et sort du filtre par la bride de sortie.

Les impuretés sont retenues dans le filtre par le tissu du panier filtrant, lorsque la perte de pression maximale est atteinte après le colmatage du filtre. Le processus de suppression du blocage à contre-courant démarre automatiquement.



Figure (III.7) : Les filtres d'eau de mer entrée dans l'unité de production d'eau dessalée.

III.2.1.3- La Chaudière :

Le but de la chaudière est de produire la vapeur nécessaire au chauffage de la saumure dans le Réchauffeur de Saumure et la dépressurisation de l'installation en fonctionnant comme un fluide moteur des éjecteurs du système vide.

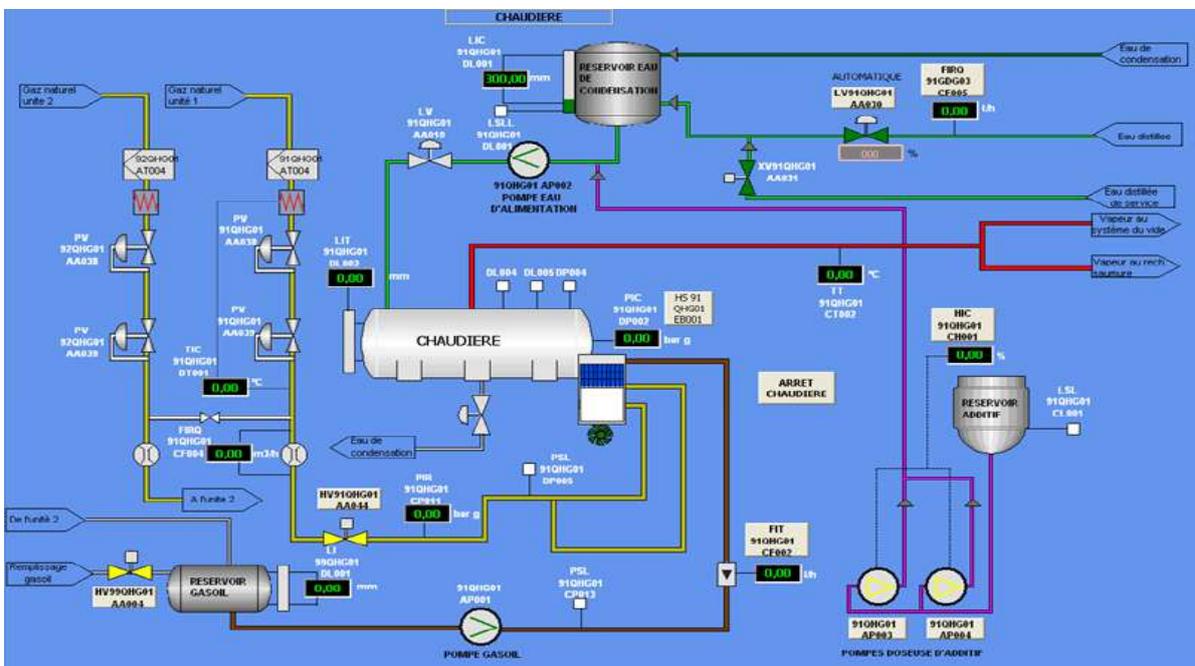


Figure (III.8) : L'interface H.M illustrant le schéma de fonctionnement de la chaudière.

La chaudière une unité entièrement assemblée et emballée en usine, consistant en une chaudière à tubes à 3 -passages, une carcasse en réfractaire, isolée, un bloc brûleur avec ventilateur à tirage forcé, un système de contrôle de protection de la flamme, des contrôles d'exploitation et de sécurité, un bloc

ventilateur à tirage forcé, des tuyauteries, des composants électriques et accessoires, le tout monté sur un châssis en acier, qui fait partie intégrante de l'unité.

Chaque colis de chaudière à tubes de fumées a pour but de fournir, de façon sûre et automatique, la quantité de vapeur nécessaire à la marche de l'installation MSF dans toutes les conditions de fonctionnement attendues.



Figure (III.9) : La chaudière à vapeur.

Il s'agit d'une chaudière à eau chaude basse pression qui combine le principe de la flamme de retour et le principe des trois passages. De cette façon, l'eau est réchauffée en deux étapes :

- La première surface chauffante comprend les parois de la chambre de combustion.
- La seconde comprend la partie extérieure des tubes de fumée. Cette conception permet une bonne circulation de l'eau et un transfert de chaleur optimal, ainsi que de basses températures de fumée.

Caractéristiques principales de la Chaudière :

- Foyer de grand diamètre,
- Tuyaux mandrinés,
- Plaques tubulaires bordées,
- Trois parcours de fumée,
- Grande capacité et intense circulation de l'eau.

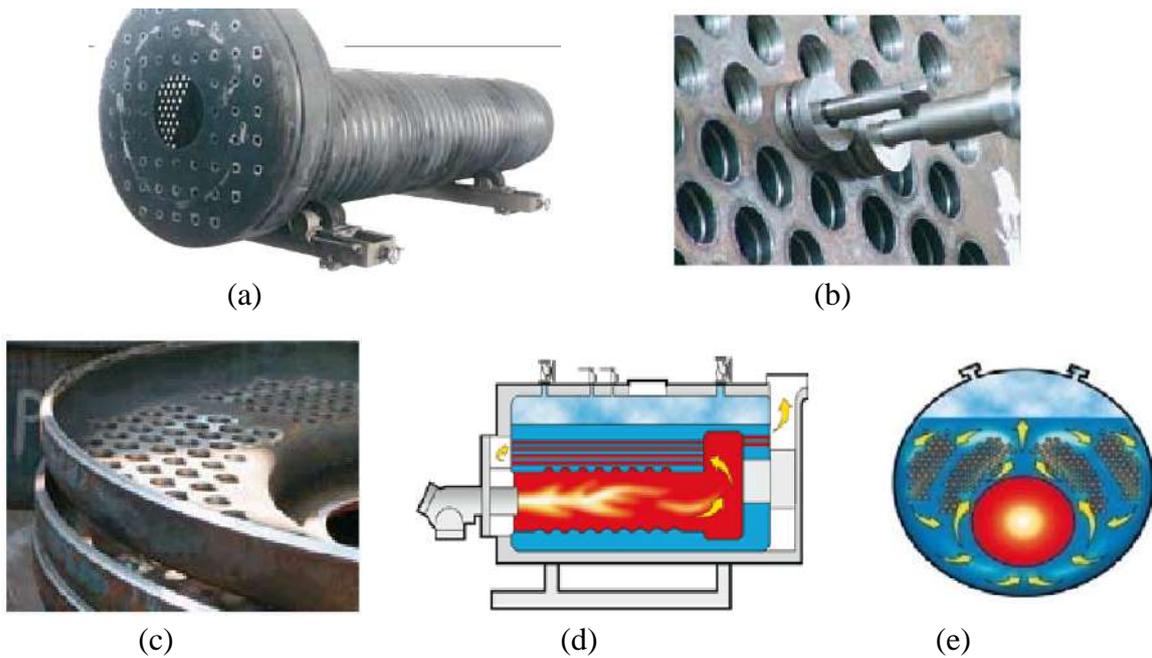


Figure (III.10) : Caractéristiques principales de la Chaudière : (a) Foyer de grand diamètre, (b) Tuyaux mandrinés, (c) Plaques tubulaires bordées, (d) Trois parcours de fumée, (e) Grande capacité et intense circulation de l'eau.

Données de la Chaudière :

SORTIE VAPEUR ESTIMEE	kg/h	8,000
CAPACITE DE PRODUCTION DE CHALEUR	kcal/h	4,800,000
COMBUSTIBLE GASOIL (PCI)	kcal/kg	10,434
COMBUSTIBLE GAZ NATUREL (PCI)	Kcal/Nm ³	8,420
TEMPERATURE EAU ALIMENTATION	°C	65 ÷ 96
TEMPERATURE PROJET CHAUDIERE VAPEUR	°C	192
TEMPERATURE FONCTIONNEMENT MAX CHAUDIERE VAPEUR	°C	170.4
PRESSION PROJETEE	Bar g	12
PRESSION EXPLOITATION MAXIMALE	Bar g	7
PRESSION ESSAI HYDRAULIQUE	Bar g	18
RENDEMENT THERMIQUE AVEC GASOIL	%	91.1
RENDEMENT THERMIQUE AVEC GAZ	%	91.1
CHARGE NOMINALE	kg/h	6,554
SURFACE CHAUFFAGE	m ²	170
CONSOMMATION GASOIL (à charge nominale = 6554 kg/h, avec température eau alimentation= 96 °C)	kg/h	389.4
CONSOMMATION GAZ NATUREL (à charge nominale = 6554 kg/h, avec température eau alimentation = 96 °C)	Nm ³ /h	482.5

Tableau (III.1) : Données de la Chaudière.

Données vapeur :

- Température vapeur= 170.4 °C.
- Pression vapeur = 8 bar abs.
- Température condensat de la chaudière Saumure = 96 °C.
- Enthalpie vapeur = 2768 kJ/kg.
- Enthalpie condensat = 402.3 kJ/kg.
- Débit vapeur = $40/6 * 2326 / (2768 - 402.3) = 6554$ kg/h

III.2.1.4- Le réchauffeur de saumure :

Le Réchauffeur Saumure est un échangeur de chaleur chemise-et-tubes avec la saumure qui s'écoule à l'intérieur des tubes et la vapeur qui se condense côté chemise. Son but est d'élever la température de la saumure en circulation par une entrée de chaleur extérieure de façon à permettre l'instauration du profil de température demandé dans l'évaporateur MSF. Il consiste à chauffer la saumure de 81,7°C à une température de 90°C.



Figure (III.11) : Le réchauffeur de saumure.

III.2.1.5-L'évaporateur :

L'évaporateur conçu pour le projet de Terga est du type à circulation de saumure, à tubes transversaux.

L'évaporateur se compose de dix étages de récupération et deux étages de rejet, chaque étage contient un condenseur. Sur la base de considérations géométriques, le condenseur de chaque étage est formé de deux passages de tubes. comme le montre Figure 2 ci-dessous.



Figure (III.12) : L'évaporateur.

Orifices pour la Saumure :

La saumure arrive au bas de l'évaporateur et passe d'un étage au suivant par un dispositif spécial à barrage d'orifices, conçu d'après le standard Sowit développé sur plus de trente projets MSF, capable de fournir une grande flexibilité dans le fonctionnement sans apparition de fuite de vapeur entre les étages ou de transport important de gouttelettes aux dispos.

Disp. Antibuée :

Les Dispositifs antibuée adoptés dans ce projet sont du type horizontal, à treillis métallique, permettant d'atteindre une pureté élevée du distillat par une chute de pression modérée. l'épaisseur du tampon du Dispositifs antibuée maintenu à 100 mm, tandis que la largeur minimale de 300 mm pour des raisons de facilité d'accès. Ils sont dimensionnés de manière adéquate à permettre des vitesses de vapeur suffisantes à chaque étage et sont placés à l'intérieur de l'évaporateur à une hauteur de désengagement minimale de 1,250 mm au-dessus du niveau de la saumure, dans le but d'assurer une très haute pureté du distillat. Tous les composants des Dispositifs antibuée faits en Acier Inoxydable 316.

Extraction gaz par cheminée :

Un système d'extraction par cheminée est placé dans le faisceau de chaque étage, comme montré Figure 3. En particulier, les extractions par cheminée des étages 1, 2 et 7 sont directement amenées au Système de Vide, tandis que les autres courants d'aspiration tombent en cascade à l'étage suivant, comme représenté sur la même figure.

Pour atteindre un rendement élevé de l'extraction par cheminée, en réduisant autant que possible la quantité de vapeur mélangée aux gaz non condensables, à chaque étage une configuration spéciale de la zone de sous-refroidissement du condenseur (voir Figure 3), capable d'assurer une distribution appropriée au mélange des gaz autour des tubes du premier passage (les plus froids) avec un échange

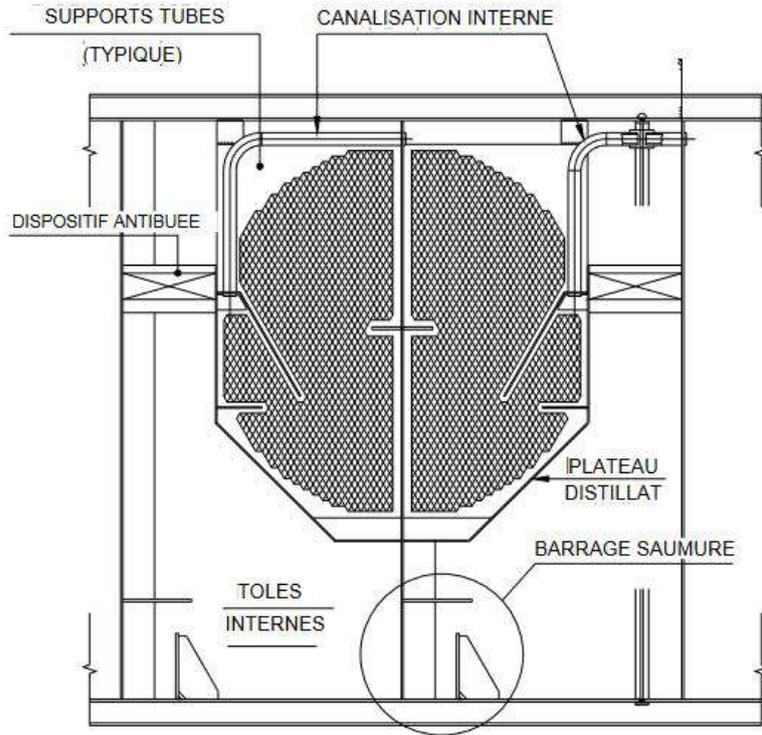


Figure (III.14) : Condenseur Agencement de la récupération.

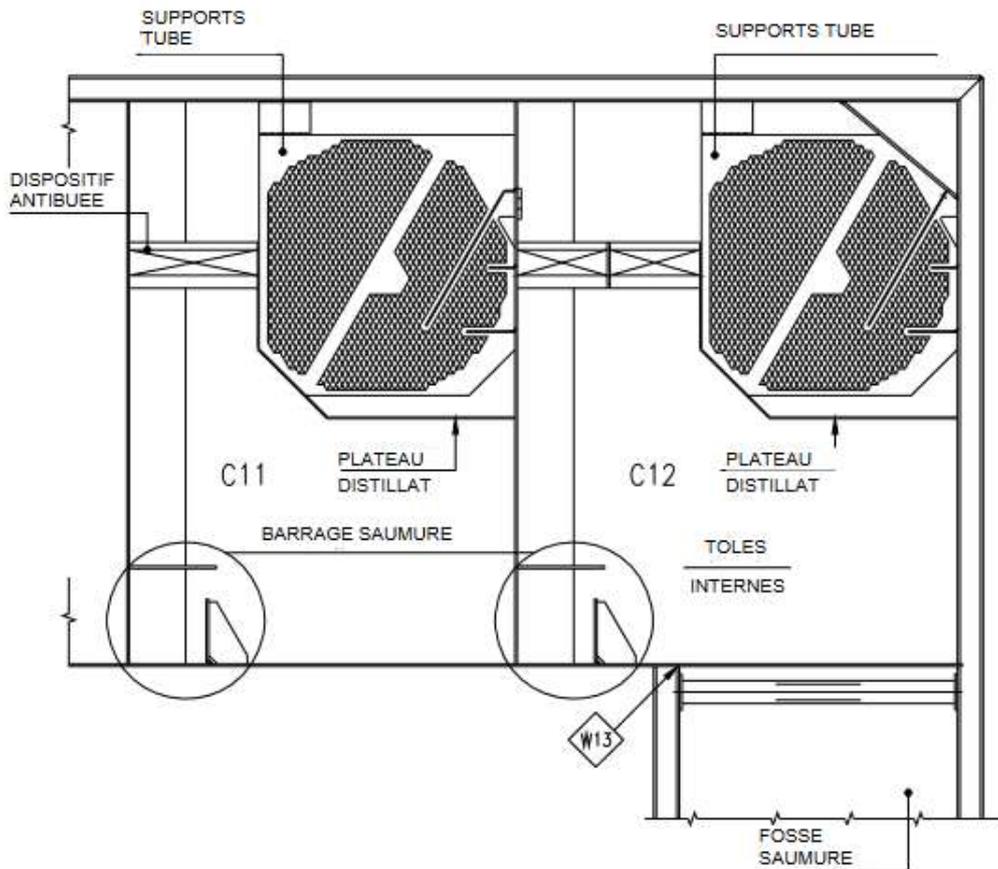


Figure (III.15) : Condenseur Agencement du rejet.

Les principaux paramètres du procédé, pour chaque étage de l'évaporateur :

Un résumé des principaux paramètres du procédé, pour chaque étage de l'évaporateur en condition de fonctionnement pour une température de saumure au sommet de 90°C et une température de l'eau de mer de 26°C, est présenté Tableau

Etage	TEMP.	TEMP.	PRESSION	VOLUME	PRODUCTION	PRODUCTION
	SAUMURE °C	VAPEUR °C	VAPEUR bar abs	SPECIFIQUE mc/kg	ETAGE t/h	TOTALE t/h
1	85.38	83.98	0.555	2.94	3.569	3.569
2	80.67	79.35	0.461	3.49	3.595	7.163
3	75.92	74.61	0.379	4.2	3.578	10.741
4	71.13	69.83	0.309	5.08	3.555	14.296
5	66.31	65.02	0.25	6.2	3.529	17.825
6	61.47	60.19	0.201	7.62	3.495	21.32
7	56.63	55.34	0.16	9.43	3.453	24.773
8	51.8	50.5	0.126	11.77	3.401	28.174
9	46.99	45.67	0.099	14.79	3.34	31.514
10	42.21	40.86	0.077	18.72	3.27	34.784
11	38.23	36.81	0.062	22.98	2.702	37.486
12	34.12	32.7	0.049	28.5	2.766	40.252
Etage	SURFACE DISP. ANTIBUÉE	VITESSE DISP. ANTIBUÉE	TEMPER. ADM. FAISCEAU °C	TEMPER. SORTIE FAISCEAU °C	LMTD °C	FLUX CHALEUR kW
1	0.9	3.2	77.13	81.73	4.13	2284
2	0.9	3.9	72.44	77.13	4.13	2330.8
3	0.9	4.6	67.71	72.44	4.08	2350.9
4	0.9	5.5	62.94	67.71	4.05	2366.6
5	1.2	5.0	58.14	62.94	4.02	2380.5
6	1.2	6.2	53.32	58.14	3.99	2388.8
7	1.2	7.5	48.49	53.32	3.96	2391
8	1.2	9.3	43.67	48.49	3.93	2386.1
9	1.8	7.6	38.88	43.67	3.91	2373.1
10	1.8	9.4	34.12	38.88	3.89	2352.9
11	1.8	9.6	30.36	34.6	3.96	1963.4
12	2.1	10.4	26	30.36	4.14	2017.5

Tableau (III.2) : Principaux paramètres de conception pour chaque étage évaporateur (Sommet T =90°C, T eau mer = 26°C).

III.2.1.6- Le Système de Vide :

L'eau de mer naturelle utilisée dans le processus d'évaporation est saturée de gaz non condensables est progressivement libéré dans les sols d'installation et peut compromettre l'échange thermique.

Le Système de Vide a pour but de recueillir de l'Évaporateur tous les gaz non-condensables formés dans le processus et d'en purger le système en les envoyant dans l'atmosphère. Comme on le sait bien, la source de gaz non condensables à l'intérieur de l'équipement peut être la suivante:

- ✓ Fuites d'air aux raccords des brides;
- ✓ Dégagement des gaz dissout dans l'eau de mer tels que l'oxygène et l'azote;
- ✓ Dioxyde carbone dégagé par la décomposition des bicarbonates aux étages à température élevée de l'Evaporateur.

Le Système de Vide se compose de l'équipement suivant:

- Pré Condenseur;
- Ejecteur Premier Etage;
- Condenseur Intermédiaire;
- Ejecteur Deuxième Etage;
- Après Condenseur.

L'opération d'aspiration de l'évaporateur s'effectue ainsi :

L'eau de mer complémentaire, qui a été mélangée à la saumure en circulation dans le dernier étage de l'évaporateur, dégage une quantité considérable de dioxyde de carbone par décomposition thermique dans le premier et deuxième étage; en conséquence ces deux étages sont directement déchargés vers le condenseur intermédiaire.

Du troisième au septième étage, le système d'aspiration se fait en cascade d'un étage au suivant et est raccordé au Pré condenseur au septième étage.

De l'étage huit à l'étage douze, le système d'aspiration se fait aussi en cascade; le dernier étage est raccordé au Pré condenseur.

Au dernier étage se trouve aussi une zone de dégazage où l'eau de mer complémentaire qui entre relâche la plus grande partie de son oxygène qui est ainsi envoyé directement au Précondenseur.

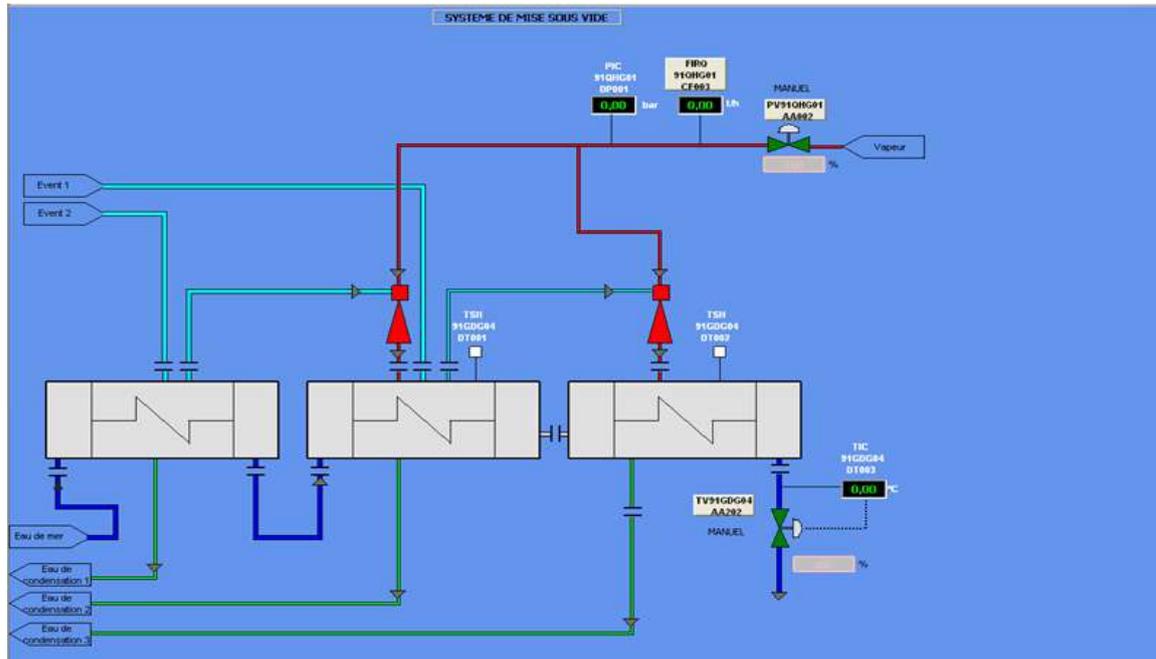


Figure (III.16) : L'interface H.M illustrant les éjecteurs de vide.

III.2.1.7- Poste gaz :

Le poste de gaz doit Être aussi disponible pour l'alimentation de la chaudière. Il se compose de ligne de filtration de gaz, et ligne de régulation pour la détente de gaz de HP à gaz de BP.



Figure (III.17) : Poste de gaz de dessalement.

III.2.1.8- Système d'alimentation en gasoil :

En cas d'incident qui se présente sur le poste gaz on peut allumer la chaudière au gasoil.

Le poste de dépotage du gasoil permet le remplissage des réservoirs de stockage à partir des camions citernes. Ce poste de dépotage est équipé d'un système de comptage du débit

transféré depuis les camions vers le réservoir. Depuis les réservoirs de stockage, les pompes de transfert assurent l'alimentation de la chaudière du système de dessalement.

III.2.1.9- les réservoirs de stockage :

- 02 Réservoir eau dessalé.
- Nature : acier
- Capacité : 2 x 17500 m³
- Dimensions :
 - diamètre : 36 m
 - hauteur : 18 m



Figure (III.18) : Les réservoirs de stockage pour les deux unités de dessalement.

III.2.1.10- Les capteurs de mesure :

on a placé des instruments sur les appareils, tels que indicateurs de pression, de température de niveau, de conductivité ainsi qu'un dispositif de sécurité pour la chaudière.

Ce sont des appareils qui convertissent l'état d'une grandeur observée en une valeur utilisable. Les capteurs de mesure sont des éléments essentiels des systèmes d'acquisition de données.





Figure (III.19) : Les instruments de mesure installés.

III.2.1.11- Les pompes :

Les principales pompes nécessaires au processus ci-dessus décrit sont les suivantes:

- Pompe de circulation saumure, qui extrait la saumure de la dernière chambre flash et la livre (après mélange avec l'eau de mer d'alimentation) aux condenseurs de la section récupération;
- Pompe de Prélèvement saumure, qui décharge une partie de la saumure, recueillie dans la dernière chambre flash, de façon à maintenir sa concentration à la valeur souhaitée;
- Pompe Extraction Distillat, qui extrait le distillat recueilli dans la dernière chambre flash et l'envoie au stockage;
- Pompe Extraction Condensat, qui extrait le condensat de Le réchauffeur de saumure bien chaud et le retourne à la Chaudière.



(a)



(b)

(c)

Figure (III.20) : Les principales pompes nécessaires au processus : (a) Pompe de circulation saumure, (b) Pompe de Prélèvement saumure, (c) Pompe Extraction Distillat.

Le Tableau suivant résume les principaux pompes secondaires de l'installation :

Pompes secondaires
POMPE DU LAVAGE ACIDE
POMPE DE CHARGE DE SOUDE CAUSTIQUE
POMPE DE CHARGE DE L'ACIDE
POMPE DE L'ANTI MOUSSE
POMPE DE L'ANTI TARTRE
POMPE DE GASOIL
POMPE DOSAGE D'ADDITIF (PHOSPHATE) CHAUDIER
POMPE ALIMENTATION EAU CHAUDIER
POMPE TRANSFERT EAU DE SERVICE

Tableau (III.3) : Les principaux pompes secondaires de l'installation.

III.2.2- Description des additifs chimiques :

III.2.2.1- Additifs chimiques pour chaudières :

Le produit qui est utilisé pour ces chaudières est un mélange de deux réactifs :

- Une amine grasse pour l'absorption d'oxygène dissous dans l'eau d'appoint.
- Un alcalisant (phosphate) pour remonter le pH jusqu'au pH de corrosion nulle du métal (> 9.70).

Pour cela, et en attendant l'acquisition du produit préconisé, les chimistes doivent impérativement surveiller le pH et ne pas le laisser chuter en dessous de 9.6 et ne pas dépasser 10.00.

De plus s'assurer que les débourbeurs (purges automatique cycliques) fonctionnent bien, dans le cas contraire, purger au moins 2 fois par quart pendant 1 à 2 minutes.

III.2.2.2- Le traitement antitartre :

Dans les installations thermiques de dessalement de l'eau de mer, particulièrement dans le procédé MSF, le phénomène de pollution se manifeste par la formation de tartre, principalement sous la forme de "tartre alcalin". Les sels dont la solubilité est inversement proportionnelle à la température (tel le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium) précipiteront, car ils dépassent leur solubilité maximale dans la région des températures les plus élevées. Cela conduit à la formation de tartre à la surface du métal (face interne des tubes des échangeurs), qui agit comme une résistance au transfert de chaleur.

La mousse produite par l'eau de mer lors des multiples étapes de distillation flash est imprévisible mais tend à poser un problème plus grave lorsque les séparateurs sont proches de la surface du flux de saumure, ce qui ne permet pas de séparer qu'un volume réduit en phase aqueuse et la phase vapeur,

Une partie de cette mousse peut atteindre le distillat et le rendre inutilisable. Dans ce cas, Dissoudre un produit chimique comme le « Belite M33 à 0,1 mg/L » et dosé avec l'inhibiteur d'incrustation,

Lorsque la température au sommet de la saumure atteint 50°C, l'injection d'additifs chimiques dans l'eau de mer d'appoint démarrera. Tous les réservoirs de produits chimiques sont déjà remplis avec de l'eau de service, les additifs ajoutés dans les proportions requises et la solution mélangée avec l'agitateur.

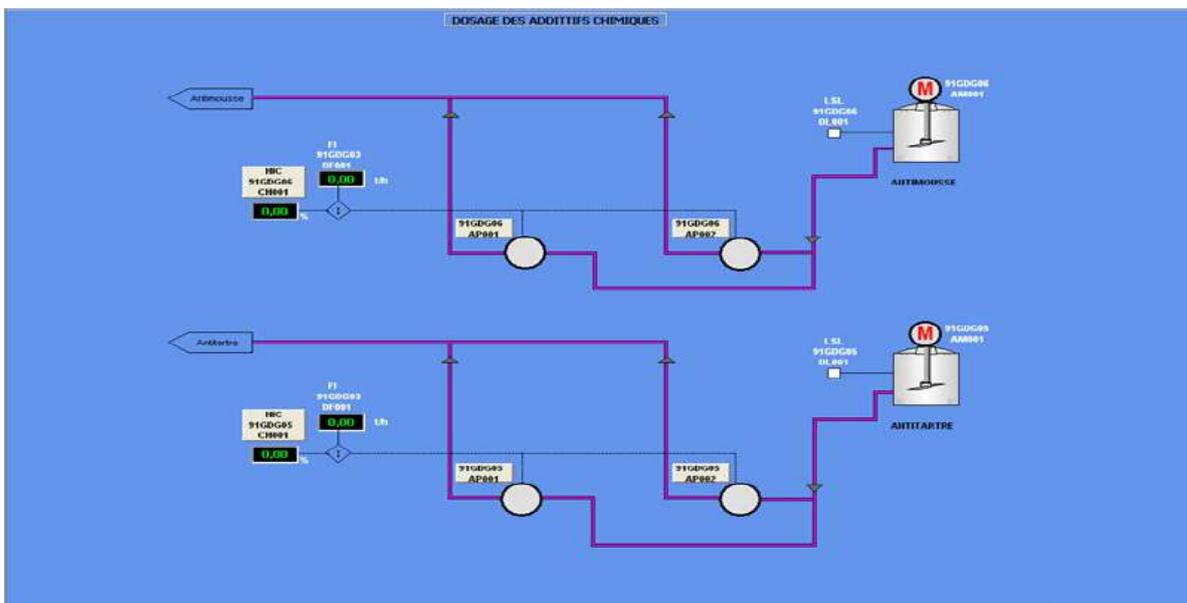


Figure (III.22) : L'interface H.M représentant les réservoirs des additifs chimiques.

III.2.2.4- Nettoyage acide de l'unité de dessalement MSF :

L'opération de nettoyage acide doit être effectuée sur l'unité de désalinisation lorsqu'on remarque une diminution significative des performances (par ex., augmentation de la consommation spécifique de vapeur) liée à la formation de tartre sur les tubes d'échangeurs de l'Evaporateur et de la Chaudière de Saumure.

Le nettoyage acide est efficace en ce qu'il enlève le tartre alcalin formé (c-à-d., Carbonate de Calcium et Hydroxyde de Magnésium) sur la surface interne du tube, par réaction avec une solution acide que l'on fait circuler à l'intérieur des tubes. Dans le cas présent, on utilise de l'Acide Chlorhydrique.

Le Système de Nettoyage Acide fourni dans notre cas permet soit le nettoyage des tubes de la Chaudière Saumure seulement, soit le nettoyage des tubes des deux étages Chaudière Saumure et Récupération Saumure. Cette particularité est justifiée par le taux plus élevé de formation de tartre trouvé dans les tubes de la Chaudière Saumure que dans les condenseurs de l'Evaporateur, à cause de la température de fonctionnement plus élevée du premier.

Il faut noter que, aussi en raison du potentiel de corrosion élevé de l'Acide Chlorhydrique, l'opération de nettoyage acide doit être effectuée par du personnel expérimenté et en observant les mesures de sécurité adéquates.

Sur la base des données historiques, le nettoyage acide sera exécuté une fois par an.

La quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour un nettoyage acide peut être évaluée par calcul stœchiométrique, après estimation de l'épaisseur moyenne du dépôt de tartre et en tenant compte des données géométriques suivantes :

- Surface interne des tubes des étages de récupération = 193 m² par étage ;
- Surface interne des tubes du réchauffeur de saumure = 180 m².

III.2.3- Données techniques :

DESCRIPTION	UNITE	DONNEES PROCEDE
<i>DESALINISATION FLASH MULTI-ETAGES (MSF)</i>		
N° OFF UNITES INSTALLEES	N°	2 unités
CONTRÔLE NOMINAL INTERVALLE SORTIE DISTILLAT		60% - 100%
100% DE CAPACITE PAR TRAIN A < 90° TBT	t / jour	960
CAPACITE TRAVAIL MIN. DISTILLAT PAR TRAIN A < 90° TBT	t / jour	576
TEMPÉRATURE SORTIE DISTILLAT A LIMITE BATTERIE	°C	33
PRESSION DISTILLAT A LIMITE BATTERIE	bar a	3
GOR		6.0
CONSOMMATION SPECIFIQUE (avec surfaces transfert chaleur polluées)	kcal/ kg	92
TAUX DE CHALEUR NET	kg / Mcal	10.87
TEMPÉRATURE EVAPORATION MAX A PREMIER ETAGE MSF	°C	85.7 (TBT = 90 °C)
TEMPÉRATURE EVAPORATION NOMINALE A PREMIER ETAGE MSF	°C	85.4 (TBT = 90 °C)
PRESSION EVAPORATION MAX A PREMIER ETAGE MSF	bar	0.594
PRESSION EVAPORATION NOMINALE A PREMIER ETAGE MSF	bar	0.56
TEMPS DEMARRAGE MAX (UNITE FROIDE, PRESS. ATM., CAP. NOM.)	h	3

Tableau (III.4) : Caractéristiques techniques de l'installation de dessalement MSF

III.2.4-Principe de désalinisation flash :

Le principe sur lequel une usine de désalinisation flash fonctionne est basé sur le fait que la température à laquelle le liquide atteint son point d'ébullition dépend strictement des conditions de pression du liquide lui-même. Lorsqu'un liquide (dans ce cas particulier de la saumure) est introduit dans une chambre où la pression est telle que le point d'ébullition est inférieur à la température du liquide qui arrive (c'est-à-dire que la température de saturation correspondant à cette pression est plus basse que la température d'admission du liquide), il commence à bouillir et de la vapeur est engendrée. Cette évaporation sans fourniture de chaleur directe est connue sous le nom de "flashing".

La vapeur ainsi produite est en théorie exempte de substances qui pourraient être en suspension ou dissoutes dans le liquide. En condensant cette vapeur, on obtient de l'eau pure.

Le procédé ci-dessus peut être répété en faisant s'écouler le liquide au travers d'un certain nombre de chambres flash (appelés étages), chacune maintenue à des conditions de température et de pression légèrement plus basses que dans la chambre précédente. Une vaporisation importante du liquide peut être ainsi obtenue en mettant ensemble un certain nombre d'étages, en disposant d'un système de vide approprié et de joints hydrauliques qui permettent un écoulement continu du liquide d'un étage à l'autre et en même temps assurent une différence de pression entre les étages successifs.

Comme l'opération ci-dessus s'effectue à des pressions inférieures à la pression atmosphérique, on a l'avantage avec ce système d'utiliser de la chaleur de basse qualité et d'avoir un flash continu même à basses températures.

Un système qui utilise ce principe, avec plusieurs étages flash en série, constitue un type d'usine de Désalinisation Flash Multi-Etages (MSF).

III.2.5-Principe du fonctionnement de l'usine de dessalement MSF :

Le système de distillation MSF avec circulation de saumure, qui a été adopté pour l'usine de Désalinisation, représenté schématiquement sur la Figure 26, peut être subdivisé, en les sections suivantes:

- Section Admission Chaleur (Le réchauffeur de saumure);
- Section Récupération Chaleur;
- Section Rejet Chaleur.

Les deux dernières sections sont combinées dans l'Evaporateur et consistent en douze chambres flash en série avec les condenseurs correspondants (dont dix composant la Section Récupération Chaleur et deux la Section Rejet Chaleur).

Le procédé est basé sur le recyclage de la saumure (eau de mer concentrée) dans la Section Récupération de l'Evaporateur, où la chaleur latente de la vapeur qui se condense est récupérée et sert à faire monter la température de la saumure qui circule à contre-courant à l'intérieur des tubes des condenseurs. Une telle récupération de la chaleur latente permet de réduire l'admission de chaleur nécessaire à la distillation de l'eau de mer.

La chaleur fournie à la saumure en circulation est donnée par le réchauffeur de saumure, un échangeur formé d'un faisceau de tubes où la température de la saumure circulant côté tube monte par échange thermique avec la vapeur qui condense côté chemise.

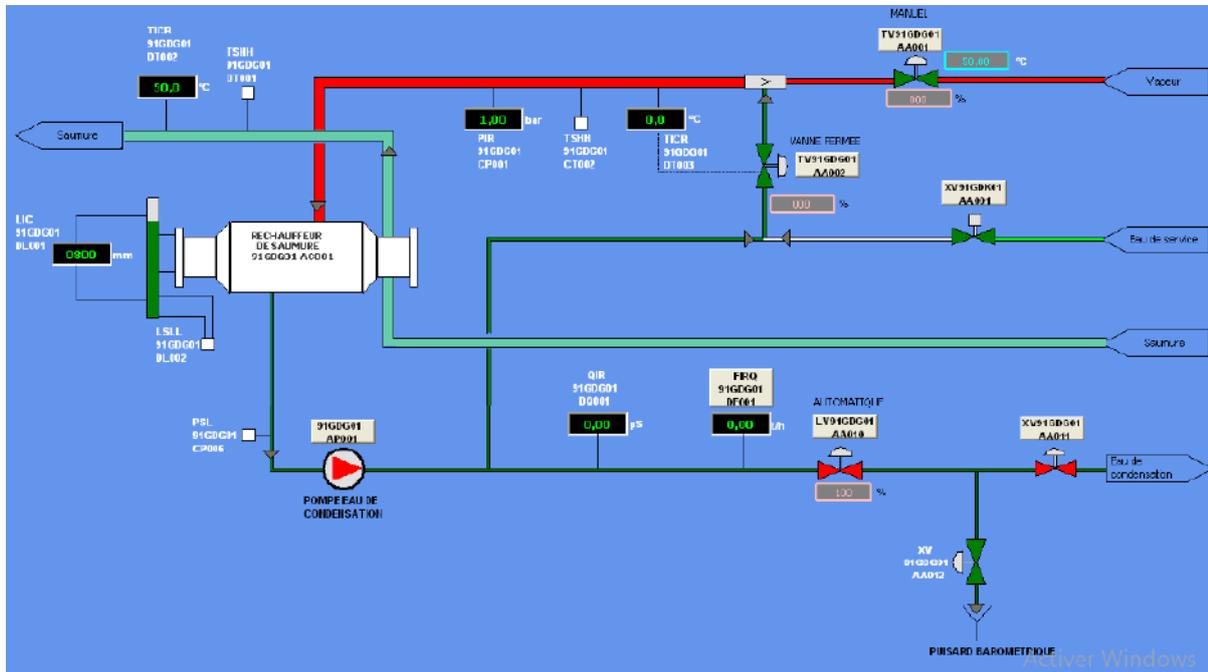


Figure (III.23) : L'interface H.M illustrant le schéma de fonctionnement de réchauffeur.

La saumure chauffée passe alors – au travers d'orifices convenables – au pied de la première chambre de l'évaporateur (Section Récupération Chaleur), où la pression est maintenue par un équilibre thermodynamique à une valeur telle (inférieure à la saturation par rapport à la température de la saumure à la sortie de le réchauffeur de saumure) à permettre le flash (c'est-à-dire, la vaporisation brutale) d'une petite quantité de la saumure entrante. La vapeur ainsi dégagée s'écoule au travers des dispositifs antibuée (où toute gouttelette d'eau de mer entraînée est séparée) et, par libération de sa chaleur latente dans le condenseur à la saumure en circulation, produit un courant de distillat. Ce courant de distillat tombe sur un plateau approprié installé au-dessous du faisceau de tubes et s'écoule à l'étage suivant. Ce processus provoque une baisse de la température de la saumure flash et un accroissement correspondant de la température de la saumure en circulation (qui s'écoule à l'intérieur des tubes du condenseur), justifiant pour cette raison le nom de 'Récupération de Chaleur' donnée à cette section.

Le processus ci-dessus est répété (à températures et pressions décroissantes) dans tous les dix étages de la Section Récupération Chaleur, en faisant tomber en cascade la saumure non "flashée" aux étages de plus basses températures par différence de pression.

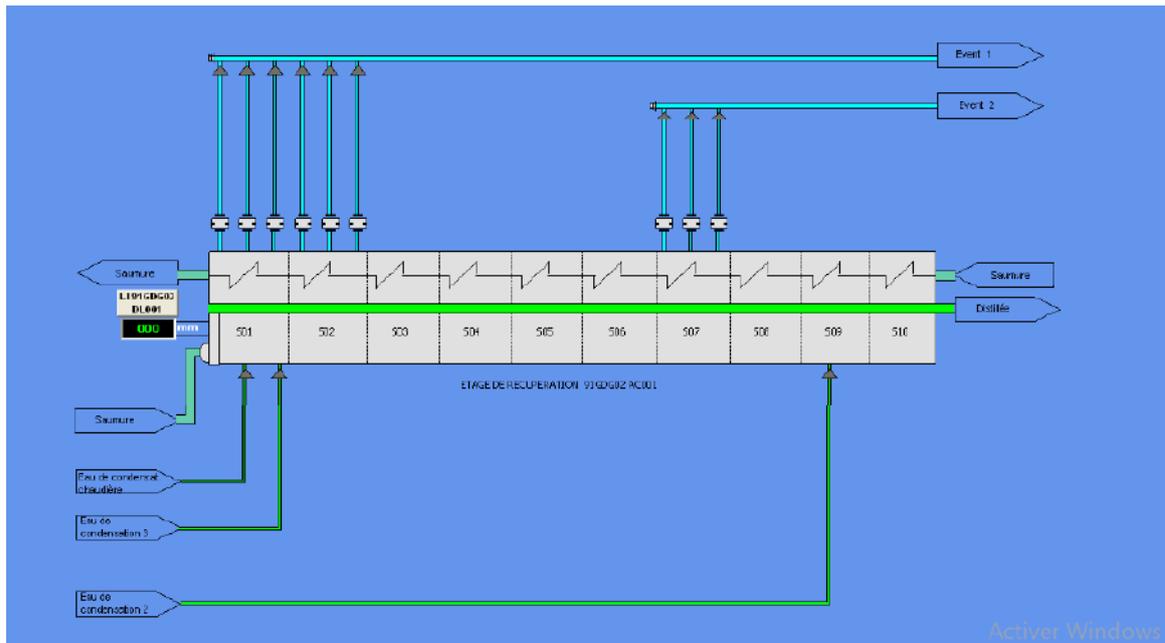


Figure (III.24) : Présentation des 10 étages de Récupération de Chaleur de l'unité M.S.F.

La saumure passe alors aux étages de la Section Rejet Chaleur, où se produit un processus de distillation semblable, avec la seule différence que dans ce cas le moyen de refroidissement pour la condensation de la vapeur est de l'eau de mer fraîche au lieu de la saumure en circulation. Par l'échange au travers des condenseurs de la Section Rejet Chaleur, le flux de chaleur admis dans le système dans le réchauffeur de saumure est rejeté vers l'atmosphère à une température inférieure.

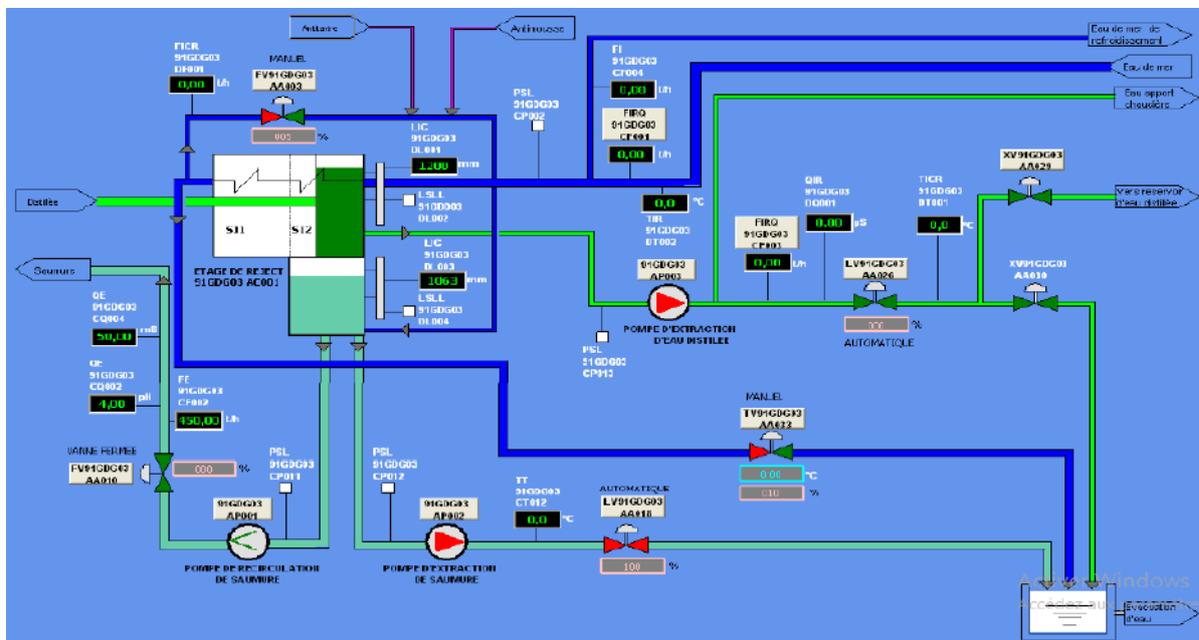


Figure (III.25) : D'alimentation en eau de mer dans la Section Rejet Chaleur (étage 11 et 12).

La concentration en sel de la saumure en circulation est maintenue à la valeur maximale souhaitée par un prélèvement continu de la saumure concentrée et une alimentation adéquate d'eau de mer

complémentaire. Cette eau de mer complémentaire, après dosage avec des additifs organiques, est mélangée à la saumure en circulation.

Après mélange avec l'eau complémentaire traitée, la saumure en circulation est distribuée aux tubes des condenseurs du dernier étage de récupération, où elle sert de moyen de refroidissement pour la vapeur produite par la saumure flashant à cet étage. La saumure en circulation passe alors au travers des tubes des condenseurs des étages précédents, à contre-courant, augmentant progressivement sa température par absorption de la chaleur latente de la vapeur qui se condense, comme décrit précédemment. Ce procédé établit un profil de température croissant de la section de rejet, au travers des étages de récupération, à la chaudière de saumure. La disposition du transfert de saumure vers la chambre voisine est telle qu'aucune vapeur ne peut s'échapper de la chambre, ce qui permet d'établir un profil de pression au travers des chambres correspondant à la température de saturation de la vapeur.

Après mélange avec l'eau complémentaire traitée, la saumure en circulation est distribuée aux tubes des condenseurs du dernier étage de récupération, où elle sert de moyen de refroidissement pour la vapeur produite par la saumure flashant à cet étage. La saumure en circulation passe alors au travers des tubes des condenseurs des étages précédents, à contre-courant, augmentant progressivement sa température par absorption de la chaleur latente de la vapeur qui se condense, comme décrit précédemment. Ce procédé établit un profil de température croissant de la section de rejet, au travers des étages de récupération, à la chaudière de saumure. La disposition du transfert de saumure vers la chambre voisine est telle qu'aucune vapeur ne peut s'échapper de la chambre, ce qui permet d'établir un profil de pression au travers des chambres correspondant à la température de saturation de la vapeur.

Dans ce flux à contre-courant à l'intérieur des tubes des échangeurs, la saumure en circulation est finalement transférée du condenseur du premier étage à la chaudière de la saumure, où sa température doit être augmentée seulement de peu de degrés pour permettre de poursuivre le cycle thermodynamique ici décrit.

La température de la saumure qui quitte la chaudière de la saumure (température au sommet) est réglée à la valeur maximale de 90 °C, tandis que sa température au dernier étage peut être maintenue à environ 10°C au-dessus de la température de l'eau de mer.

Afin de maintenir la condition de vide souhaitée, les fuites d'air et les gaz non condensables dégagés dans l'évaporateur par l'eau de mer d'alimentation doivent être purgés en continu vers l'atmosphère. Les gaz non condensables sont recueillis à chaque étage d'évaporateur par un système adéquat de ventilation et envoyés en cascade à l'étage suivant ou purgés vers l'atmosphère par un groupe à vide.

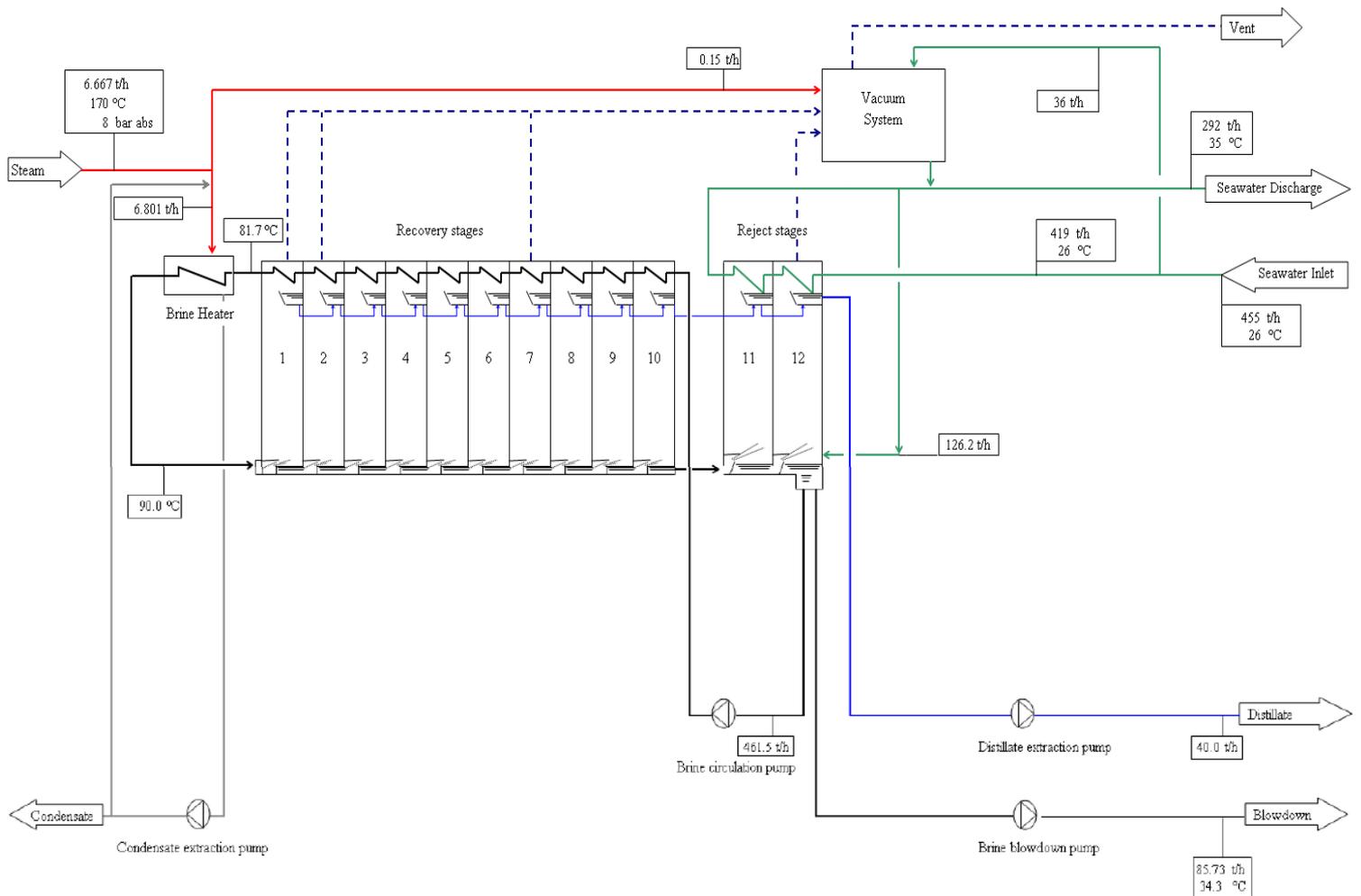


Figure (III.26) : Installation de dessalement de la centrale a cycle combiné de Terga.

III.2.6- Les phases principales pour le démarrage :

La liste suivante met en relief les phases principales de la séquence à effectuer pour le démarrage de l'installation de désalinisation:

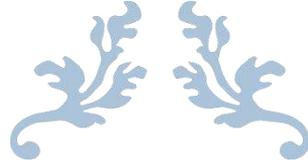
1. Alimentation en eau de mer
2. Démarrage Chaudière
3. Fonctionnement du Système de Prélèvement
4. Fonctionnement des Ejecteurs sous Vide
5. Fonctionnement de la Pompe de circulation Saumure
6. Alimentation en vapeur de la Chaudière Saumure et désurchauffe
7. Augmentation de la température de la saumure

8. Production de Distillat
9. Dosage des Produits chimiques
10. Réglage final aux conditions évaluées

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a vu les différentes étapes que l'eau de mer subisse dans la centrale électrique à cycle combiné de Terga pour obtenir une eau dessalée prête à l'alimentation des chaudières.

Le but de ce traitement est de réduire la salinité de l'eau de mer, qui provient généralement des eaux souterraines, qui contiennent un pourcentage important de substances dissoutes. Ce qui sera présenté dans le prochain chapitre.



Chapitre IV : Etude expérimentale et interprétation des résultats



Introduction :

Après avoir décrit toutes les étapes de fonctionnement de distillation de l'eau de mer (voir chapitre 3) présentées dans la centrale électrique à cycle combiné de Terga pour l'alimentation des auxiliaires électriques. Aussi, nous nous sommes rapprochés des ingénieurs techniques pour la collecte des données nécessaires à notre étude.

Dans un premier temps, on s'est intéressé à la partie d'analyse. Pour cela, on a retenu trois points de prélèvement :

- Le premier concerne l'eau brute, le prélèvement a été effectué sur l'eau de mer au niveau d'une vanne placée sur la conduite de pompage.
- Le deuxième prélèvement concerne l'eau dessalée, après passage à travers l'unité de dessalement.
- Et le troisième prélèvement a été effectué à la sortie de l'unité de déminéralisation.

Les résultats obtenus peuvent nous renseigner sur l'efficacité de la méthode de dessalement utilisée dans le traitement de l'eau de mer.

Dans la deuxième partie, nous présenterons les principaux facteurs affectant la production dans l'unité de dessalement installée au niveau de la centrale électrique de TERGA, Ain – Témouchent.

IV.1- Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la station de traitement :

Dans la première partie, nous étudions les analyses des eaux traitées réalisées par le laboratoire de l'usine, afin d'évaluer l'efficacité du traitement des eaux adaptées pour la centrale thermique, il est nécessaire de suivre l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau durant le traitement.

IV.1.1-Prélèvement des échantillons :

Il s'agit d'un processus délicat auquel il faut prêter le plus grand soin ; Il définit les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera fournie. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les propriétés physiques et chimiques de l'eau. De manière générale, il faut mettre en place une organisation structurée, développer une méthodologie adaptée à chaque cas, choisir judicieusement les points de prélèvement et utiliser les équipements appropriés.

Quel que soit la méthode adoptée, les principes de bases suivants doivent être respectés :

- Localisation des différents points de prélèvement.
- Définir les quantités à prélever : le volume nécessaire pour une analyse complète est de 2 litres.
- Stabiliser l'échantillon en le conditionnant dans un récipient hermétique approprié. Les prélèvements seront effectués dans des flacons bien propres en polyéthylène ou en verre borosilicaté. Pour une meilleure conservation des échantillons, certains matériels sont à déconseiller comme les bouteilles en plastique ou en caoutchouc, leur

réemploi poserait des problèmes de contamination résiduelle. Dans notre travail on a utilisé des flacons en polyéthylène qui sont lavés et séchés de la manière suivante :

- ✓ Lavage au détergent avec de l'eau plusieurs fois.
- ✓ Rinçage abondant avec de l'eau distillée, puis séchage.
- ✓ Avant remplissage, rinçage des flacons avec l'eau à analyser.
- ✓ Eviter toutes bulles d'air dans les flacons.

Les échantillons soigneusement étiquetés et conservés à 4°C seront transportés jusqu'au laboratoire dans un laps de temps ne dépassant pas 24 heures. Toutefois, un certain nombre d'analyses sont pratiqués sur place tel que la température et le pH.

- Etiqueter l'échantillon en précisant l'origine exacte et la date de prélèvement.

IV.1.2-Les méthodes d'analyses :

Le tableau suivant représente les différentes méthodes d'analyse utilisées au niveau de la centrale a cycle combiné de Terga.

Paramètres d'analyse	Méthodes d'analyses
pH	pH mètre
Conductivité électrique	Conductivimétrie
TDS, Fer, Cuivre, Chlore	Spectrophotométrie UV-VIS

Tableau (IV.1) : Différents méthodes d'analyse utilisées à la centrale.



(a)



(b)

(c)

Figure (IV.1) : Différents appareils d'analyse utilisées à laboratoire de la centrale : (a) Spectrophotométrie UV-VIS, (b) Conductivimétrie, (c) pH mètre.

IV.1.3-Résultats et discussion des analyses :

IV.1.3.1-Les résultats:

Le tableaux suivant présentent les caractéristiques de :

- L'eau de mer (eau brute).
- L'eau dessalée (distillat).
- L'eau déminéralisée.

Paramètres d'analyses	Unités	Eau de mer			
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy
PH	/	7,84	7,82	7,85	7,836
Conductivité	μs/cm	55500	54900	55200	55200
Température	°C	22,56	22,65	22,7	22,636
TDS	mg/l	37978,93	38832,65	38889,23	38566,936
Cuivre	(ppb)	3	/	/	3
Fer	(ppb)	47	58	52	52,33

Tableau (IV.2) : Résultats des analyses de l'eau de mer.

Paramètres d'analyses	Unités	Eau dessalée			
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy
PH	/	7,47	7,26	7,44	7,39
Conductivité	μs/cm	5,27	4,77	7,31	5,78
Température	°C	27,15	26,33	28,01	27,163
TDS	mg/l	3	2	4	3
Cuivre	(ppb)	17	/	/	17
Fer	(ppb)	15	9	10	11,33

Tableau (IV.3) : Résultats des analyses de l'eau dessalée.

Paramètres d'analyses	Unités	Eau déminéralisée			
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy
PH	/	7,23	7,29	7,18	7,233
Conductivité	μs/cm	0,055	0,073	0,078	0,06866
Température	°C	23,14	22,64	22,83	22,87
TDS	mg/l	0,08	0,06	0,07	0,07
Cuivre	(ppb)	2	/	/	2
Fer	(ppb)	6	7	5	6

Tableau (IV.4) : Résultats des analyses de l'eau déminéralisée.

IV.1.1.3.2-Interprétation des résultats :

Pour réaliser une analyse à grande échelle des résultats enregistrés dans le tableau précédent, et pouvoir évaluer la qualité du traitement, nous avons utilisé des graphiques qui définissent les différents paramètres pour les différentes qualités de l'eau analysée.

❖ Le pH :

Le maintien d'un niveau de pH approprié est essentiel dans les systèmes de traitement des eaux afin d'optimiser l'efficacité, de protéger les équipements et de sauvegarder l'environnement.

Le paramètre fondamental qui influence de manière significative l'efficacité et la performance de ces systèmes de traitement est le niveau de pH de l'eau traitée. Le niveau de pH affecte à la fois les propriétés chimiques et physiques de l'eau, influençant ainsi le comportement des contaminants et les processus de traitement.

La figure n° 24 représente l'évolution du pH en fonction du l'eau traitée.

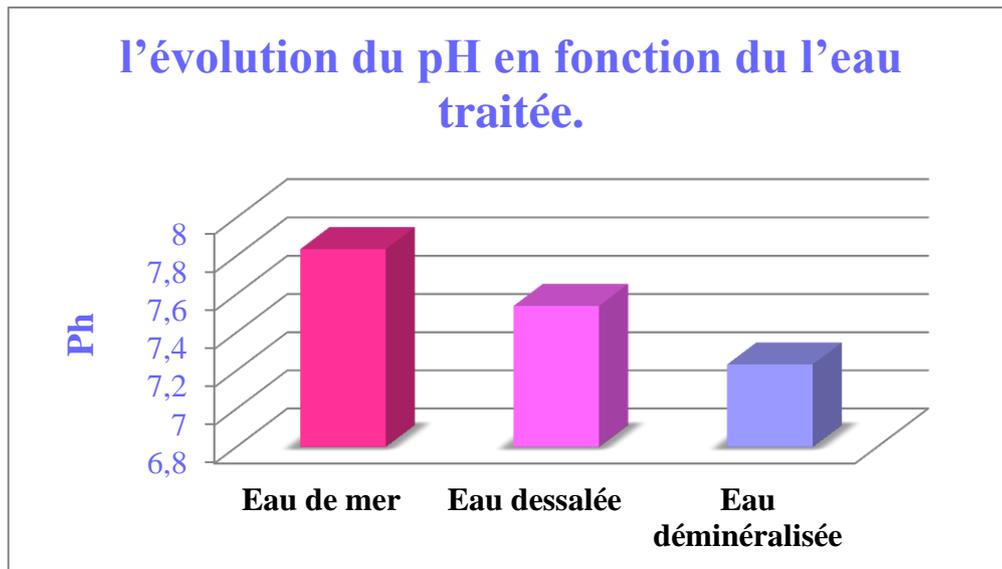


Figure (IV.2) : Evolution de pH.

Le pH est un élément important pour déterminer la nature de l'eau. On constate des résultats obtenus que le pH est quasiment le même, on conclut donc qu'il est neutre et pratiquement identique aux trois caractéristiques de l'eau. On peut donc dire que les processus de distillation et de déminéralisation n'ont aucun effet sur le pH.

❖ **La température :**

La figure n° 25 donne l'évolution de la température durant le traitement.

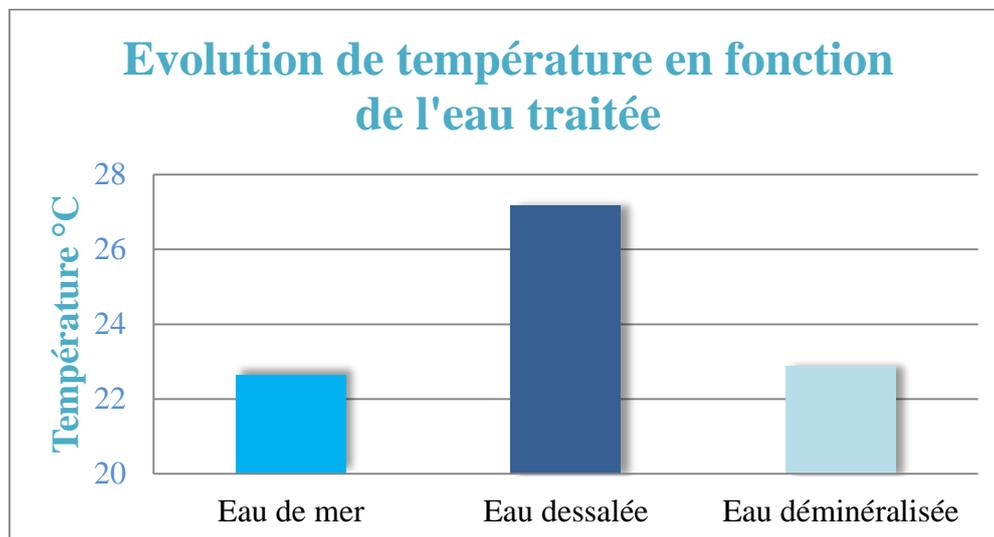


Figure (IV.3) : Evolution de la température

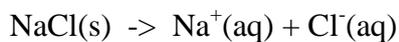
D'après les résultats obtenus pour les trois qualités de l'eau, on remarque une légère différence entre la température de l'eau de mer et la température de l'eau déminéralisée. On peut dire que leurs températures changent avec le changement climatique. Par exemple, en été, leurs températures sont élevées et vice versa en hiver.

Mais pour l'eau dessalée, sa température atteint 27 degrés Celsius en raison du processus de distillation lui-même, qui repose sur le principe de l'évaporation. Cette augmentation s'accompagne d'une variation de densité qui diminue avec l'augmentation de la température, d'une diminution de la viscosité et d'une augmentation de la pression de vapeur saturante en surface (évaporation). D'une manière générale, la température n'a pas d'effet néfaste sur la qualité de l'eau produite.

❖ La conductivité et TDS :

L'eau est un solvant polaire. Elle a donc la propriété de dissoudre les solides ioniques. La dissociation qui accompagne la dissolution se traduit par une équation. A l'issue de la dissolution, l'eau contient des ions .

exemple :



La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. La conductivité varie en fonction de la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique qui conduit peu.

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif.

La figure n° 26 et n° 27 représentent respectivement l'évolution de la conductivité et de TDS en fonction de l'eau traitée.

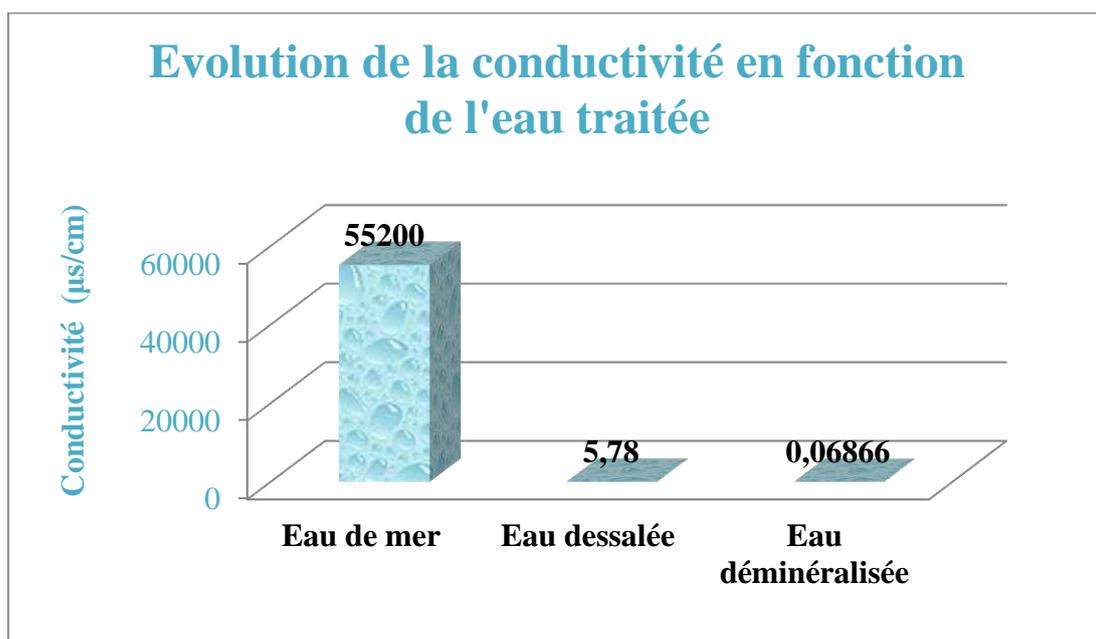


Figure (IV.4) : Evolution de la conductivité.

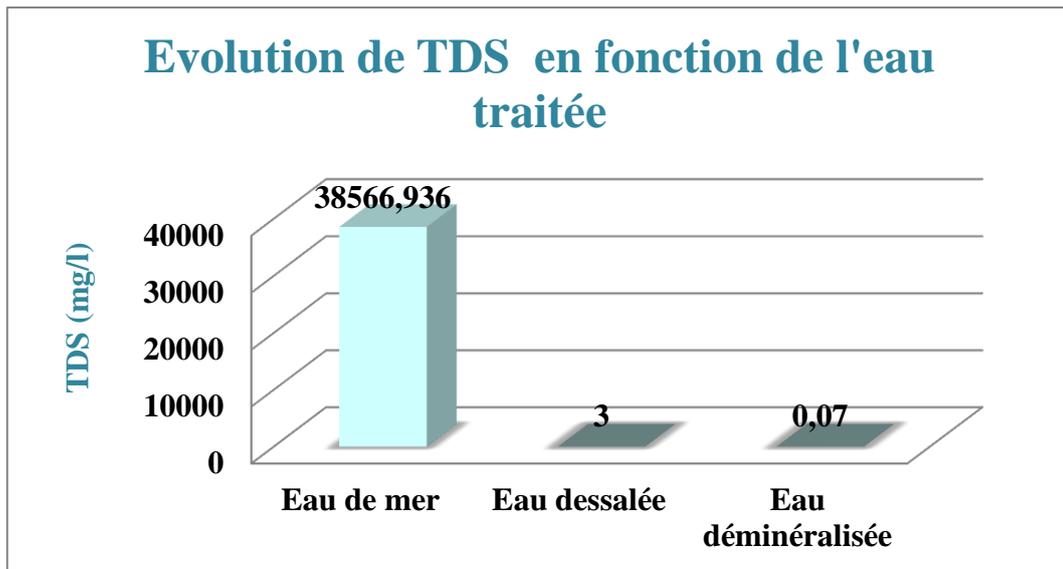


Figure (IV.5) : Evolution de TDS.

La conductivité électrique est proportionnelle aux matières dissoutes dans l'eau, Il est particulièrement compatible avec les sels dissous dans l'eau.

A partir des résultats obtenus pour les trois qualités d'eau, on constate que la conductivité de l'eau de mer est très élevée. elle varie entre 55 et 56 milles $\mu\text{s}/\text{cm}$. Après la distillation, nous constatons une forte diminution, il ne reste que 5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans le distillat. Enfin, nous obtenons une conductivité résiduelle de 0,06 $\mu\text{s}/\text{cm}$. par traitement sur lit mélangé.

Nous notons que le processus de dessalement de l'eau est celui qui réduit la grande quantité de matériaux dissous dans l'eau de mer, ce qui conduit à réduire La conductivité électrique.

Par conséquent, nous pouvons dire que ce procédé de dessalement sont efficace et très appropriés pour une réduction conséquente de la conductivité.

- **Le fer, le cuivre :**

La figure n° 32 représente respectivement l'évolution de fer, de cuivre en fonction du l'eau traitée.

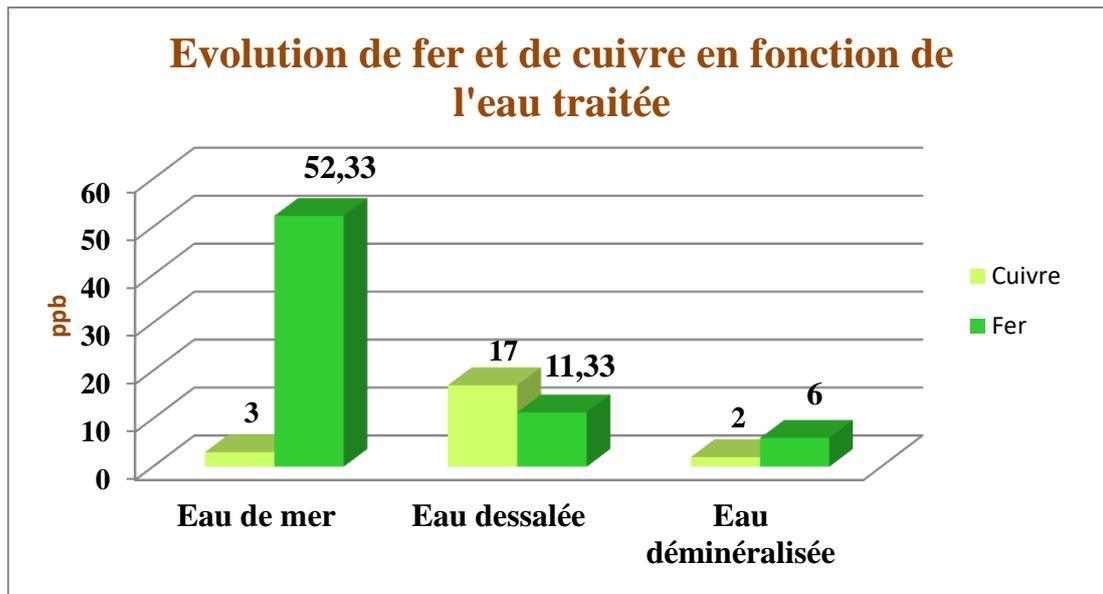


Figure (IV.6) : Evolution de fer et de cuivre en fonction de l'eau traitée.

L'analyse des ions ferriques et cuivre est importante dans une centrale thermique car ces derniers, même en faible quantité, peuvent provoquer une corrosion des canalisations qu'ils traversent.

La majeure partie du fer est éliminée par le processus de distillation tandis que la teneur en cuivre augmente au cours de ce processus. Cette augmentation provient de la corrosion du cuivre qui compose le réservoir de distillat et le condenseur (en Cupronickel, Cu Ni 30 Fe).

Comprendre les causes de la corrosion du cuivre est essentiel pour développer des mesures préventives efficaces. Plusieurs facteurs contribuent à la corrosion du cuivre, notamment les conditions environnementales, la qualité de l'eau et l'exposition aux produits chimiques.

IV.1.3.2-Evolution de cuivre en fonction de chlore :

Le cuivre se caractérise par la bonne résistance à la corrosion. Cette propriété destine ce matériau à des utilisations en milieu marin, comme la protection des coques de navires, les unités de dessalement et aussi dans les centrales thermiques . Cependant, la présence de certaines espèces corrosives comme les chlorures ou les sulfates dans le milieu marin, provoque la dégradation du matériau.

Le Chlore est le composant le plus fréquents de l'eau de mer, Cependant nous l'avons augmenté à l'entrée d'eau de mer et à la station de pompage par l'injection de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel).

Dans cette expérience, nous avons effectué des analyses d'eau où le pourcentage de chlore dans l'eau de mer était différent, Et on mesure le cuivre dissous dans l'eau distillée.

Le tableau suivant représente évolution de cuivre en fonction de chlore :

Cl 2 (ppm)	0,15	0,2	0,38	0,43	0,54
Cu (ppb)	9	23	40	51	69

Tableau (IV.5) : Evolution de cuivre en fonction de chlore.

- **Interprétation des résultats :**

La figure n° 32 représente respectivement évolution de Cu en fonction de Cl 2.

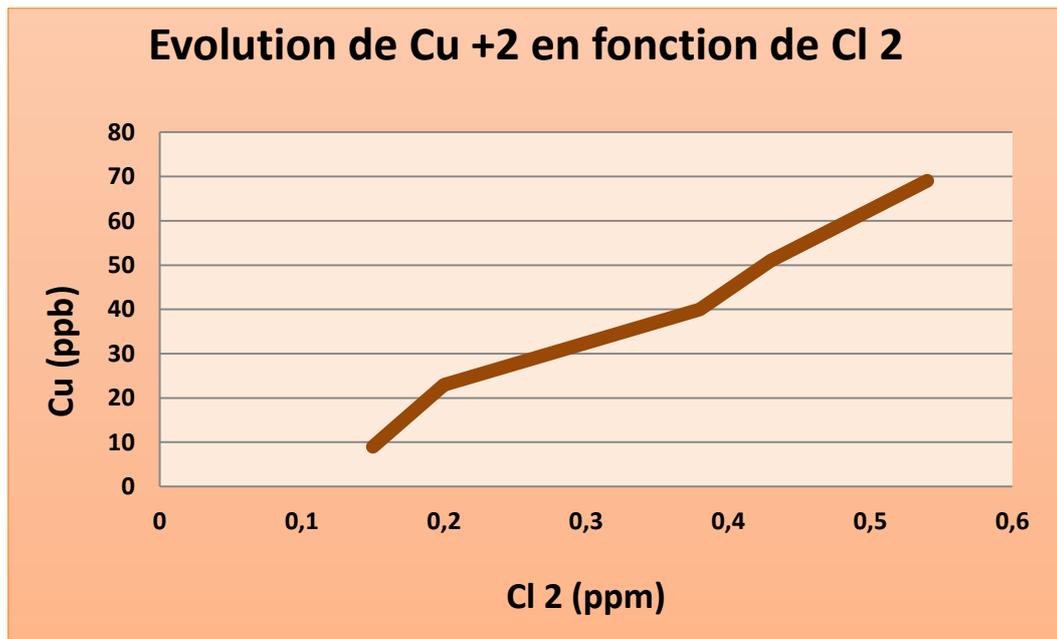


Figure (IV.7) : évolution de Cu en fonction de Cl 2.

Nous remarquons que plus il y a de chlore dans l'eau de mer, plus le pourcentage de cuivre dissous dans l'eau distillée est élevé. Cela est dû à l'augmentation de la concentration d'une eau en chlore accroît la probabilité de la corrosion de cuivre.

Les chlorures sont dangereux car ils peuvent localement former des acides sur la surface chaude des tubes des évaporateurs et créer une corrosion.

Malgré tous les moyens et précautions nécessaires pour réduire la corrosion, celle-ci se produit rarement, Car la corrosivité de l'eau de mer varie avec sa teneur en oxygène et sa température. Les eaux froides sont ainsi moins corrosives que les eaux chaudes. En raison du processus de distillation lui-même est basé sur le principe de l'évaporation, La corrosion au chlore devient de plus en plus rapide avec la montée de la température.

IV.2-La production des eaux de l'unité de dessalement M.S.F :

Dans cette partie, nous présenterons les principaux facteurs affectant la production dans l'unité de dessalement MSF de la centrale électrique à cycle combiné de Targa.

IV.2.1-Méthodes et matériels :

Le prélèvement de données, nécessaires pour notre étude, se fait selon deux façon : Soit par l’interface Homme-Machine (H.M.I) de la salle de contrôle de l’unité de dessalement M.S.F (Nous pouvons lire les données nécessaires (température, pression, débit, ouverture des vannes,...) permettant de commander à distance le système.), ou à l’aide des afficheurs (capteurs) installés sur site.

IV.2.2-Calculs et interprétation des résultats :

IV.2.2.1-Production des eaux de l’année 2023 :

Le volume de production d’eau distillée durant l’année 2023 exprimé en m3/an est regroupé dans les tableaux suivant :

DESIGNATION	DESSALEMENT	DEMINERALISATION	EAU POTABLE	RESEAU INCENDIE
Volume de production en eau m3/an	222332	199382	19055	3895

Tableau (IV.6) : Volume de production des eaux de l’année 2023 dans la centrale.

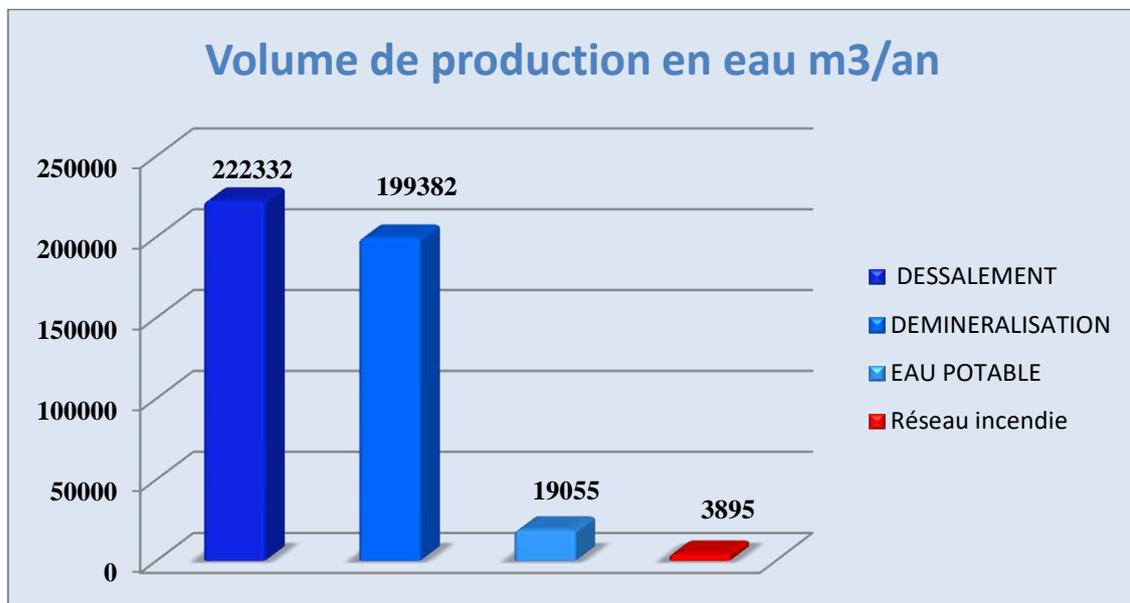


Figure (IV.8) : Histogramme représentant le volume de production des eaux de l’année 2023 dans la centrale.

- **Interprétation de l'histogramme :**

La production annuelle en eau dans la centrale électrique est égale à 222332 m³, ce volume regroupe :

- De l'eau dessalée avec un volume de 222332 m³ :
- Une quantité de cette eau dessalée sera déminéralisée (un volume de 199382 m³) pour être ensuite envoyée aux tranches pour produire de l'électricité.
- Un volume de 19055 m³ est transformé en eau potable pour répondre aux besoins internes de la centrale.
- Le reste sera stockée pour alimenter le réseau incendie (un volume de 3895 m³).

Toute l'eau traitée dans la centrale électrique provient de l'eau distillée, qui est traitée dans l'usine de dessalement puis divisée dans d'autres stations en fonction des exigences de qualité de l'eau à utiliser.

La grand quantité de cette eau dessalée sera déminéralisée, C'est l'objectif principal du traitement et le volume d'eau potable est un peu petit car elle n'est utilisée que pour répondre aux besoins internes de la centrale.

une partie de l'eau sera stockée pour alimenter le réseau incendie, Ce dernier n'est utilisé que dans de rares cas.

IV.2.2.2-Production mensuelle d'un unité de dessalement MSF a la centrale électrique a cycle combiné de Terga (année 2023) :

Le tableau qui suit représente la production mensuelle de l'année 2023 de l'eau dessalée en fonction des jours de disponibilité :

Mois	Production mensuelle (m ³)	JD
Janvier	14328	20
Février	9198	12
Mars	21312	30
Avril	11787	17
Mai	18970	28
Juin	7307	11
Juillet	17770	27
Août	12964	20
Septembre	5379	8
Octobre	21880	30
Novembre	11488	15
Décembre	14083	18

Tableau (IV.7) : La production mensuelle d'un unité de dessalement de l'année 2023.

Sur la figure nous présentons, sous forme d'histogramme, la production mensuelle de l'eau dessalée en m³/h pour l'année 2023.

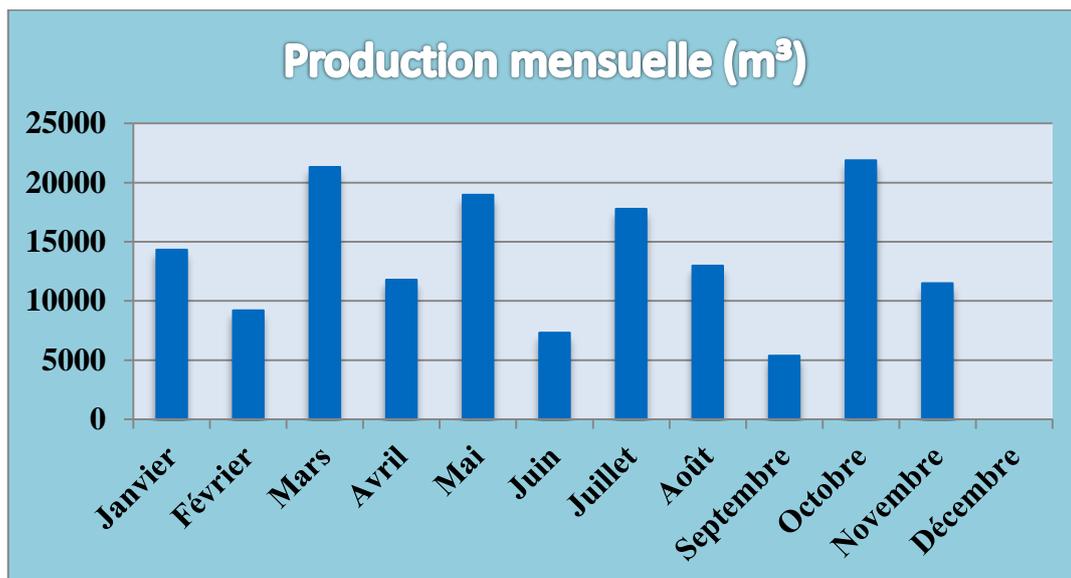


Figure (IV.9) : Histogramme représentant la production mensuelle de l'eau dessalée en m³/h pour l'année 2023.

- **Interprétation de l'histogramme :**

On remarque une grande différence de production entre les mois, et cela est dû uniquement aux jours de disponibilité de l'unité de dessalement MSF.

Raisons pour les jours d'indisponibilité de l'unité de dessalement MSF :

- ✓ L'usine de dessalement contient deux unités à détentes successives donc une unité peut produire les besoins de la central électrique et l'autre au repos.
- ✓ L'unité est en maintenance.
- ✓ Les deux unités à l'opération du lavage acide.
- ✓ Les deux réservoirs de stockage de l'eau dessalée sont remplis.

Ceci nous a amené à calculer la production moyenne de l'unité de dessalement pour cerner la vraie valeur de la production.

IV.2.2.3-Calcul de la production moyenne de l'unité de dessalement :

Le calcul de la production moyenne se fait en utilisant la formule suivante :

$$\text{Production moyenne} = \frac{\text{Production mensuelle}}{\text{JD} \cdot 24}$$

JD : Jours de disponibilité

IV.2.2.4-Production mensuelle et moyenne d'un unité de dessalement (année 2023) :

Le tableau qui suit représente la production mensuelle et moyenne de l'année 2023 de l'eau dessalée en fonction des jours de disponibilité :

Mois	Production mensuelle (m ³)	Production moyenne (m ³ /h)	JD
Janvier	14328	29,85	20
Février	9198	31,93	12
Mars	21312	29,6	30
Avril	11787	28,88	17
Mai	18970	28,22	28
Juin	7307	27,67	11
Juillet	17770	27,42	27
Août	12964	27,008	20
Septembre	5379	28,01	8
Octobre	21880	30,38	30
Novembre	11488	31,91	15
Décembre	14083	32,59	18

Tableau (IV.8) : La production mensuelle et moyenne de l'eau dessalée de l'année 2023.

Sur la figure, nous présentons, sous forme d'histogramme, la production moyenne de l'eau dessalée en m³/h pour l'année 2023.

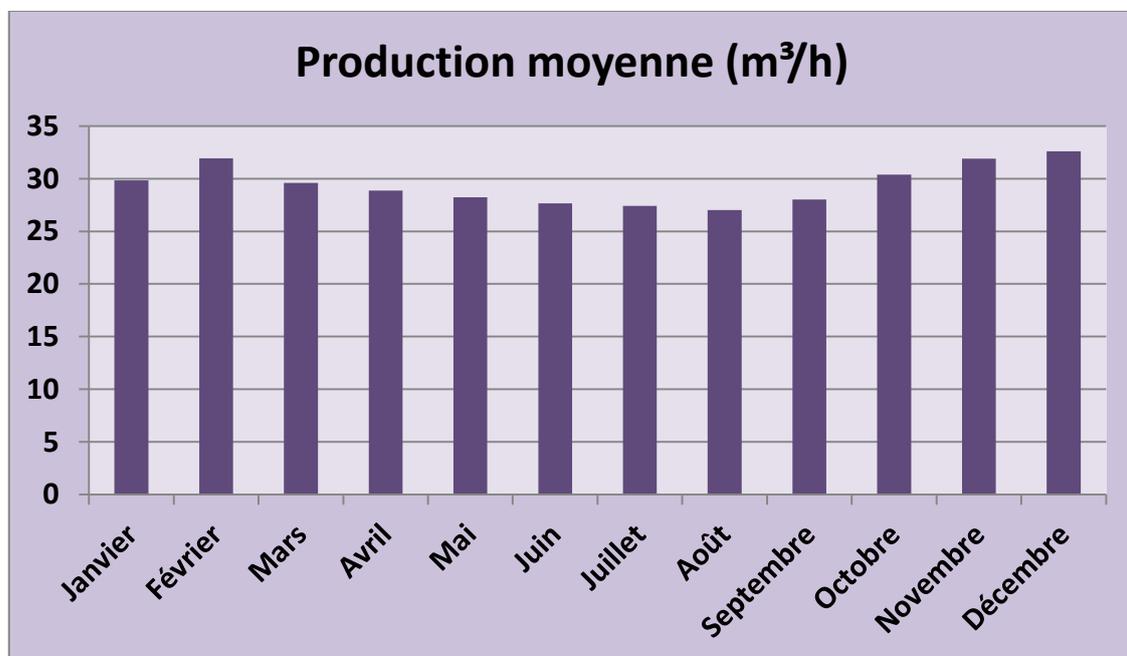


Figure (IV.10) : Histogramme représentant la production moyenne de l'eau dessalée en m³/h pour l'année 2023.

- **Interprétation de l'histogramme :**

Nous constatons que la production moyenne de l'eau dessalée dans la centrale subit une diminution remarquable à partir du mois de Mai jusqu'au mois du Septembre, avec un volume minimal de production de 27,008 m³/h dans le mois de aout . Tandis qu'elle est maximale dans les mois restants de l'année avec un volume maximal de production dans le mois de Décembre de 32,59 m³/h. La baisse dans la production du mois de Janvier est liée à l'opération du lavage des unités de production de l'eau dessalée à cause de la présence du tartre.

L'histogramme indique une différence remarquable dans les productions moyennes en eau dessalée des mois de année 2023.

nous constatons une chute remarquable dans la production de l'eau dessalée durant la période d'été . Ceci nous a amené à calculer l'évolution de Production mensuelle en fonction de Température de l'eau de mer. pour confirmer cette diminution.

IV.2.2.5-Evolution de Production quotidienne en fonction de Température de l'eau de mer :

Nous avons pris quatre jours des quatre saisons, où la température de l'eau de mer est différente, et nous avons mené une étude sur l'évolution de Production quotidienne en fonction de Température de l'eau de mer Comme le montre le tableau suivant :

	Janvier	Avril	Août	Octobre
Température (°C)	15	18	26	20
Production quotidienne (m³/J)	782	750	708	722

Tableau (IV.9) : La Production quotidienne en fonction de Température de l'eau de mer.

Sur la figure, nous présentons, sous forme d'histogramme, Evolution de Production quotidienne en fonction de Température de l'eau de mer.

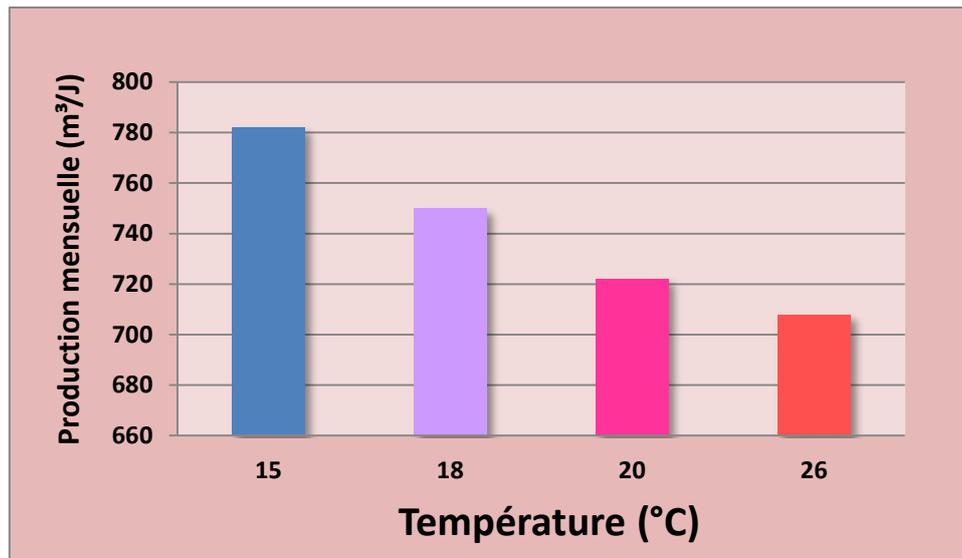


Figure (IV.11) : Histogramme représentant La Production quotidienne en fonction de Température de l'eau de mer.

- **Interprétation :**

La figure représente l'Evolution de Production quotidienne de l'unité M.S.F en fonction de Température de l'eau de mer, On remarque une diminution de la production pendant la période où la température est élevée et vice versa.

Ce qui confirme la diminution constatée lors du calcul de la production mensuelle et la production moyenne de l'unité de dessalement.

Nous constatons que la diminution de la production en eau dessalée . Cela est très remarquable durant la période d'été (Août). la cause de cette diminution c'est la différence de température de refroidissement.

IV.2.2.6- La Production en fonction de température de saumure :

Nous avons pris différentes valeurs pour la température de l'eau sortant du de réchauffeur de saumure (saumure), où la température de l'eau de mer est constante, pour voir l'effet de la température de saumure sur la production dans l'usine de dessalement.

Le tableau qui suit représente La Production par heure en fonction de température de saumure :

Température (°C)	79	80	81	82	83
La Production (m³/h)	29,63	30,25	30,74	31,66	32,28

Tableau (IV.10) : La Production en fonction de température de saumure.

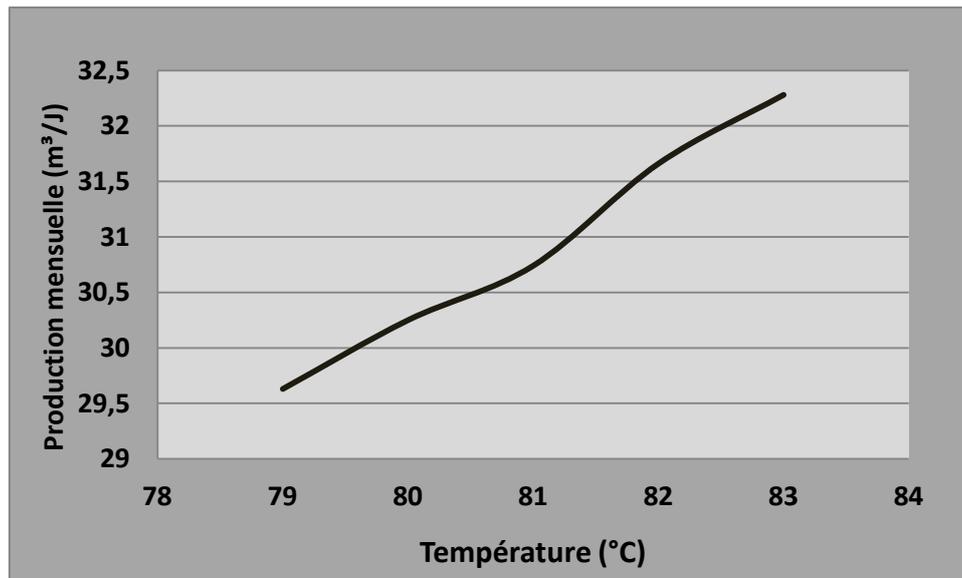


Figure (IV.12) : La Production en fonction de température de saumure.

- **Interprétation :**

La figure représente la Production mensuelle en fonction température d'eau sortant du de réchauffeur de saumure, On constate que la Production augmente en fonction du température d'eau sortant du de réchauffeur de saumure.

La température de la saumure a un impact sur la production de l'unité de dessalement de l'eau car ce processus dépend de l'évaporation et du refroidissement de saumure. Plus la température de la saumure est élevée, plus l'évaporation est importante et donc la production augmente.

Nous remarquons également dans notre étude que la valeur de la température de saumure augmente et diminue même en dessous de 80 degrés, et cela est dû à des problèmes techniques liés aux installations de dessalement :

- ✓ la présence du tartre dans le réchauffeur de saumure (Mauvais échange thermique).
- ✓ S'il y a un défaut la chaudière, par exemple Il y a des percement dans les tubes (Dans ce cas, la qualité de la vapeur diminue).

IV.2.2.7-Evolution de pression en fonction de température pour chaque étage :

Nous avons voulu étudier la production de l'usine de dessalement dans la centrale électrique de Terga en fonction de la pression dans les chambres de l'évaporateur pour connaître l'effet de la pression sur la production. Après recherche et consultation avec les ingénieurs de l'usine, nous avons découvert que la pression est constante et ne change pas.

Si l'on décide d'étudier la pression par rapport à la température de saumure dans chaque chambre de l'évaporateur.

Le tableau qui suit représente l'évolution de pression en fonction de température pour chaque étage :

ETAGE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TEMP. SAUMURE (°C)	80,28	77,67	73,92	68,43	63,38	59,97	54,72	50,62	46,55	39,34	36,89	33,4
PRESSIION (bar)	0,557	0,468	0,38	0,315	0,255	0,209	0,162	0,126	0,101	0,08	0,067	0,051

Tableau (IV.11) : Evolution de pression en fonction de température pour chaque étage.

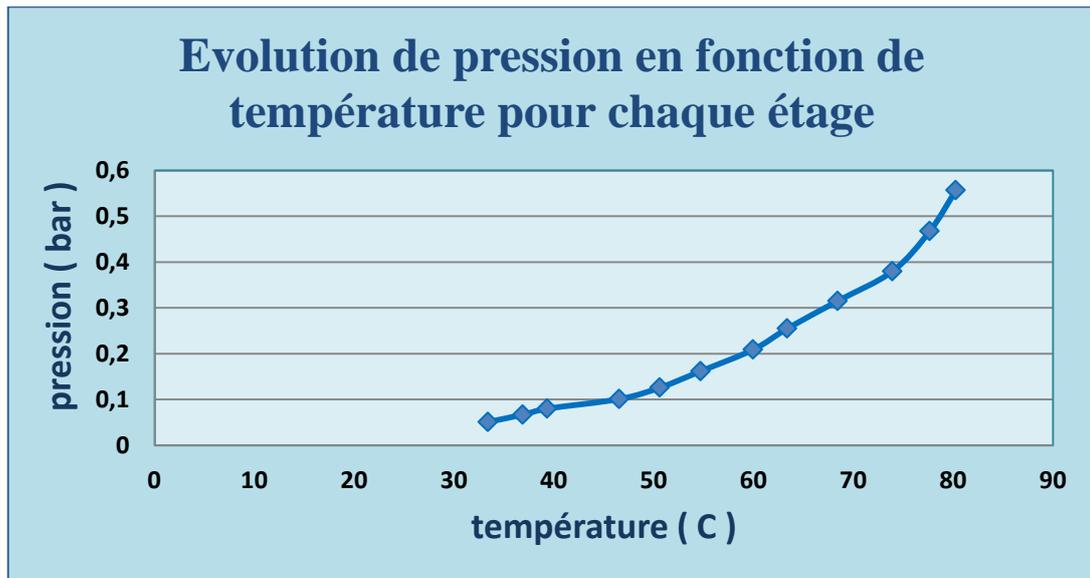


Figure (IV.13) : Evolution de pression en fonction de température pour chaque étage.

- **Interprétation :**

On constate que la pression augmente en fonction de la température de saumure. C'est ce que le constructeur a mis dans la conception de l'unité de dessalement en définissant un système de vide dédié pour chaque pièce. Lorsque la température de saumure diminue d'une pièce à l'autre en raison des échanges thermiques dans le milieu dans lequel elle se trouve, elle doit être suivie d'une diminution de la pression (la pression est inférieure à la pression de saturation « annexe 3 »).

Conclusion :

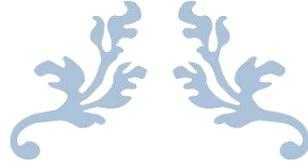
Dans notre première étude, On remarque que la distillation élimine la majeure partie de leurs teneurs et le reste éliminé par le lit mélangé.

Donc, on peut dire que l'eau traitée est de parfaite qualité, elle est totalement déminéralisée. De ce fait, on peut dire que le procédé de dessalement l'eau de mer dans la centrale électrique à cycle combiné de Terga (la distillation par détentes successives) fonctionne très bien et est donc efficace.

Deuxièmement, Les procédés de dessalement MSF dans la centrale électrique affrontent de sérieux problèmes entraîne une baisse dans la production de l'eau dessalée dans les deux unités MSF.

Après avoir calculé les productions en eau dessalée de l'année 2023 par rapport à la différence de température de l'eau de refroidissement et la différence de température de saumure . nous avons constaté qu'il y a un changement notable dans l'efficacité de l'unité de dessalement MSF.

Ainsi nous avons fait une comparaison entre la pression et de température pour chaque étage. Enfin Nous concluons que la température de l'eau de mer, la température de saumure et la pression ont un impact sur la production dans l'usine de dessalement.



Conclusion générale



Conclusion générale

L'étude que nous avons effectuée à la centrale à cycle combiné de Terga nous a été bénéfique à plus d'un titre, parce qu'elle nous a permis d'appliquer en pratique les connaissances acquises en théorie et de côtoyer la réalité industrielle.

Elle nous a permis maîtriser le dessalement de l'eau de mer utilisable pour les eaux destinées à l'alimentation des chaudières et de mieux apprécier l'exploitation et la gestion l'installations de dessalement de l'eau de mer, ainsi que de comprendre les paramètres physico chimiques qui influent sur la fiabilité des équipements.

la distillation élimine la majeure partie de leurs teneurs et le reste éliminé par le lit mélangé pour assure une meilleure production d'eau de plus grande pureté.

Le procédé de distillation représente un traitement pour l'eau d'appoint, car il permet de traiter l'eau destinée à la déminéralisation sur lits mélangés de telle sorte qu'elles soit très faiblement chargée en ions de l'eau qui est pratiquement la condition exigée pour ce genre de traitement.

D'après les analyses que nous avons effectuées sur l'eau traitée, on a constaté que l'eau finale est totalement pure conforme à une eau d'alimentation d'une chaudière à haute pression.

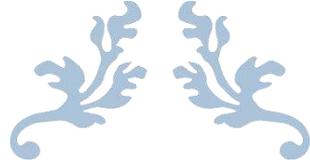
On peut donc dire que le processus de dessalement de l'eau de mer à la centrale électrique à cycle combiné de Terga (distillation par détente successive) fonctionne très bien et est donc efficace.

Après avoir calculé les productions en eau dessalée de l'année 2023 et la différence de température et de pression. nous nous intéressons à effectuer les performances de l'unité de dessalement sur la section de production installée au niveau de la centrale électrique de TERGA, Ain – Témouchent.

Nous sommes arrivés aux facteurs contrôlant la production, qui sont :

- La température de l'eau de refroidissement (eau de mer).
- La température de saumure.
- La pression dans l'évaporateur (système de vide).

Enfin, D'après notre expérience dans l'usine de dessalement d'eau de mer de la centrale électrique SKT et nos propres recherches on peut dire que recourir au dessalement MSF pour distiller l'eau de mer destinée à alimenter les chaudières présente un avantage qualitatif. Et Il n'y a pas beaucoup de facteurs complexes qui affectent la production en grande quantité.

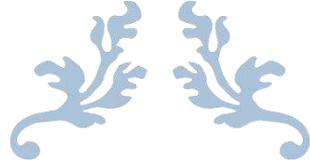


Références bibliographiques



- [1] Jean Dunglas, Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau, février 2014, Membre de l'Académie d'agriculture de France, Groupe Eau Notes de travail n° 4.
- [2] Mr MEHTOUGUI MOHAMED SAMIR, IMPACTS DU DESSALEMENT D'EAU DE MER SUR LES ECOSYSTEMES LITTORAUX DE L'OUEST ALGERIEN, 2015, THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES de l'Environnement, UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES .
- [3] BAIT OMAR, ÉTUDE NUMÉRIQUE DE LA PHÉNOMÉNOLOGIE DE DISTILLATION : APPLICATION À PLUSIEURS SYSTÈMES SOLAIRES, THÈSE Préparée au sein du Laboratoire d'Études des Systèmes Énergétiques Industriels (L.E.S.E.I), UNIVERSITÉ DE BATNA 2 – MOSTEFA BEN BOULAÏD.
- [4] BELARIBI Fatima Zohra, Utilisation des méthodes d'aide multicritère à la décision dans la gestion des ressources en eau : Application de la méthode PROMETHEE à la sélection d'un procédé de dessalement de l'eau de mer, THESE de DOCTEUR EN SCIENCES En : sciences économiques, Univ. Tlemcen.
- [5] Serge Hébert et Stéphane Légaré, Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau en collaboration avec La Direction régionale de l'Estrée.
- [6] M. Simon Nisan, DESSALEMENT ET REACTEURS NUCLEAIRES, Février 2008 , Fiche N°32 ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA GROUPE ARGUMENTAIRE SUR LE NUCLEAIRE.
- [7] Ramlaoui
- [8] MOUDJEBER Djamel-Eddine, Utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement : Cas de l'Algérie, le 28 janvier 2015, Thèse présentée et soutenue à Mostaganem.
- [9] Jean-Pierre Méricq, Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire Le 9 décembre 2009, DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE.
- [10] Viviane Renaudin, Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, le 18.11.03, Enseignant-chercheur au Département Génie Chimique - Génie des Procédés de l'IUT de Nancy-Brabois (Université de Lorraine).
- [11] C. Le Guern, P. Lachassagne, Y. Noel, F. Persin et L. De Buysscher. «Dessalement et recharge artificielle : synthèse techno-économique ». Rapport BRGM/RP-52262-FR.2003.
- [12] DUNGLAS J. « Le dessalement de l'eau de mer, une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau. » 2014 Groupe eau. Académie d'agriculture de France.
- [13] A. Kettab, M. Bessnasse. Dessalement d'eau de mer : option incontournable pour l'Algérie. Publié en 2005. Repéré le 13/09/2021 à <https://www.researchgate.net/publication/340968037>.

- [14] Dr. Abdelmadjid RAMDANE, Dessalement de l'eau de mer en Algérie : Solution durable face à la pénurie d'eau Maître de conférences, 2021, (A) Université KasdiMerbah - Ouargla (Algérie).
- [15] Jean BOUGIS Aspects maritimes du dessalement d'eau de mer Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime EDITION 2, TANGER, MAROC (2011).
- [16] BANDELIER Philippe, Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres, 29 novembre 2016.
- [17] Farid TATA-DUCRU, Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes , Janvier 2009.
- [18] Youssef MANDRI1, Anouar RICH1 , Denis MANGIN1 , Claudia COGNE1 , Alain RIVOIRE2 , Tijani BOUNAHMIDI3 , Ahmed BOUHAOUSS4 ,Etude paramétrique du dessalement de l'eau de mer par congélation sur parois froides.
- [19] Clément Lacroix, Procédé thermo-hydraulique solaire pour le dessalement par osmose inverse, 18 Jan 2022.
- [20] A. E. Kabeel, Mofreh H. Hamed, Z. M. Omara, S. W. Sharshir Water Desalination Using a Humidification-Dehumidification Technique—A Detailed Review Vol.4 No.3(2013), Article ID:33877,20 pages
- [21] REINNOVA Vol 1 N°1 , Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation, Mars 2016.
- [22] Mourad AMITOCHE, IMPACTS DES REJETS DES STATIONS DE DESSALEMENT SUR LE MILIEU RECEPTEUR, 2016 , Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en sciences en : Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [23] Jean-Marie ROVEL, Dessalement de l'eau de mer, Mise à jour du dossier [J 2 700] écrit par Patrick Danis et paru en juin 2003 dans la base documentaire « Génie des procédés »
- [24] N. Nouah , K. Dahmani, N. Djennaoui et M. Brahim, Estimation du flux de masse et de chaleur d'une installation de distillation à détentes étagées (MSF) couplée à un capteur cylindro parabolique pour le dessalement d'eau de mer Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°3 499 – 506, (2013).
- [25] A. KARA OMAR , A. KHALDI , DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX : CAS DE LA STATION D'EL-MACTAÂ, J. Wat. Env. Sci. Vol. 1, (Numéro spécial ICWR 2) (2017), 249-253
- [26] Djoher ABDERRAHMANE & Chaouki BOURI , Les enjeux environnementaux et économiques des projets de dessalement de l'eau de mer en Algérie. Accepté et publié le: 18.02.2019.
- [27] Rapport sur un séminaire de l'OMS, La technologie appropriée de déminéralisation de l'eau potable, Organisation mondiale de la Santé Bureau régional de l'Europ Copenhague, Alger, 14-19 novembre 1981.



Annexe



Annexe 1

- Relevée des analyses chimiques pour le cycle eau vapeur :

Echantillon	Paramètre	Référence	Observations
Vapeur BP	CC (µS/cm)	< 0,2	
	SiO ₂ (ppb)	< 20 ***	
	Na(ppb)	< 10 ***	
	CS (µS/cm)	3 à 11 *	
Vapeur MP	CC (µS/cm)	< 0,2	
	SiO ₂ (ppb)	< 20 ***	
	Na (ppb)	< 10 ***	
	CS (µS/cm)	3 à 11 *	
Vapeur saturée HP	CC (µS/cm)	< 0,2	
	SiO ₂ (ppb)	< 20 ***	
	Na (ppb)	< 10 ***	
	CS (µS/cm)	3 à 11 *	
Vapeur surchauffée HP	CC (µS/cm)	< 0,2	
Ballon BP	CC (µS/cm)	< 25	
	CS (µS/cm)	< 40 *	
	PH	9 à 10 *	
	SiO ₂ (ppb)	< 7500**	
	PO ₄ ⁻³ ₂ (ppm)	2 à 6 **	
	Fer (ppb)	<100 **	
	Cu(ppb)	<10 **	
	Cl ⁻ (ppb)	<1 ***	
Ballon MP	CC(µS/cm)	< 25	
	CS(µS/cm)	< 40 *	
	PH	9 à 10 *	
	SiO ₂ (ppb)	< 7500**	
	PO ₄ ⁻³ ₂ (ppm)	2 à 6 **	
	Fer ₂ (ppb)	<100 **	
	Cu(ppb)	<5**	
	Cl ⁻ (ppb)	<1 ***	
Ballon HP	CC(µS/cm)	< 5 *	
	CS(µS/cm)	< 20*	
	PH	9 à 9,8 *	
	SiO ₂ (ppb)	< 400 **	
	PO ₄ ⁻³ ₂ (ppm)	1 à 3 **	
	Fer(ppb)	<50 **	
	Cu(ppb)	<5 **	
	Cl ⁻ (ppb)	< 1 ***	
Eau alimentaire	CC(µS/cm)	< 0,2	
	CS(µS/cm)	<10 ***	
	PH	9 à 10 *	
	NH ₃ (ppb)	<1000**	
	N ₂ H ₄ (ppb)	<50**	
	Fer(ppb)	<20 ***	

	Cu(ppb)	<5 **	
	Cl ⁻ (ppb)	< 1000*	
	O ₂ (ppb)	<10 ***	
Eau extraction	CS(μS/cm)	3 à 11	
	PH	09 à 9,6 *	
	CC(μS/cm)	< 0,2	
	Fer(ppb)	<20 ***	
	Na(ppb)	<20 **	
	Cl ⁻ (ppb)	<50 ***	
	O ₂ (ppb)	<50 ***	
	Condenseur	CS(μS/cm)	<20
CS(μS/cm)		<20	
CS(μS/cm)		<20	
CS(μS/cm)		<20	
Eau de refroidissement	CS(μS/cm)	< 60**	
	PH	9 à 10**	
	TH(ppmCaCO ₃)	< 2***	
	Fer(ppb)	< 500**	
	Cl ⁻ (ppb)	< 100***	
Eau d'appoint	CS(μS/cm)	< 1***	
	PH	>6***	
	Cu (ppb)	<5 ***	
	Fer (ppb)	< 20**	
	SiO ₂ (ppb)	< 20 ***	

Annexe 2

- Relevée des BOP's :

ANALYSES CHIMIQUES DES BOP						
CIRCUIT EAU DE REFROIDISSEMENT PRINCIPAL						
Echantillon	Temps	Paramètre	Référence	Valeur mesurée	Valeur relevée	Observations
EAU DE MER DE REJET	14:30	Cl ₂ libre (ppm)	< 0,5**		////	*l'analyseur de chlore libre est à l'arrêt (la pompe d'aspiration en défaut).
STATION DE DEMINERALISATION						
Echantillon	Temps	Paramètre	Référence	Valeur mesurée		Observations
EAU DEMINE	09:00			GCF10	GCF11	

		CS(μ S/cm)	0,2**			
		PH	6,5 à 7,5**			
		SiO ₂ (ppb)	< 20**			
		Fe (ppb)	< 20**			
		Cu (ppb)	< 3**			
		TOC(ppb)	< 300**			

STATION DE DESSALEMENT						
Echantillon	Temps	Paramètre	Référence	91GDG	92GDG	Observations
EAU DESSALEE	10:45	CS(μ S/cm)	< 4**			
		PH	6,5 à 7,5**			
		Cu (ppb)	< 40**			
		Fe total (ppb)	< 200**			
		TDS (mg/l)	< 5**			
CHAUDIERE DE DESSALEMENT		CS (μ S/cm)	<7000**			
		PH	07_12**			
		PO ₄ ⁻³ (ppm)	01_30**			
		Couleur	claire**			

UNITE POTABILISATION						
Echantillon	Temps	Paramètre	Référence	GKD21	GKD20	Observations
EAU POTABLE	11:00	Conductivité (μ S/cm)	<2800**			
		PH	6.5-8.5**			
		Dureté (mg/l)	100-500**			
		Chlorures (mg/l)	200-500**			
		Calcium (mg/l)	75-200**			
		Magnésium (mg/l)	150**			
		Chlorelibre (mg/l)	0,5**			
		Fe total (mg/l)	0,3**			
		TA(mg/l)	nulle**			
		TAC(mg/l)	**			

Annexe 3

- Courbe de saturation de l'eau de mer et cycle MSF :



