

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Hydraulique

Spécialité : Technologies de Traitement des Eaux

Par : M^{lle} **KESBI Ammaria**

Sujet

**Analyses physico-chimiques des eaux de mer dessalées par
distillation « Cas d'ALZINC - Ghazaouet »**

Soutenu publiquement, le 13 Juin 2017

Devant le jury composé de :

M^r CHERIF ZINE EL ABIDINE
M^r CHIBOUB FELLAH.ABDELGHANI
M^{me} BOULEFRED SOUMIA(CRAPC)
M^r DEBBAL MOHAMMED ZAKARIA
M^r TERKI HASSAINE TAHA EL AMINE

Président
Directeur de mémoire
Co-Directeur de mémoire
Examineur 1
Examineur 2

Année Universitaire : 2016-2017

Remerciements

Avant de présenter ce travail, tout d'abord, je remercie en premier lieu mon DIEU tout puissant de m'avoir accordé la puissance et la volonté et la patience pour réaliser ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à mes encadreurs **Mr CHIBOUB FELLAH ABDELGHANI, Mme BOULEFRED SOUMIA**, pour leurs disponibilités ,tout au long de l'élaboration de ce mémoire de fin d'études, pour leurs aides, leur suivi, et leurs conseils judicieux qui m'ont beaucoup aidé au cours de mes recherches.

Je tiens à remercier avec plus grande gratitude

Président de jury

Mr CHERIF ZINE EL ABIDINE.

Mes examinateurs

Mr DEBBAL MOHAMMEED ZAKARIA

Mr TERKI HASSAINE TAHA EL AMINE

de m'avoir honoré par leur présence et d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Je remercie le **PDG ALZINC Mr BERRAHOU SIDAHMED** qui m' a donné l'occasion pour préparer mon projet de la fin d'étude.

Je tiens à remercier toute l'équipe de l'entreprise **ALZINC**, en particulier **Mr GHOUIZI SAMIR, Mr RAHMI MOHAMED, Mr EL BACHIR AZZEDINE et ABID ALI**, pour leurs disponibilité malgré leurs occupations, leur contribution, par les données et les documents nécessaires, et pour l'intérêt permanent qu'ils m'ont manifesté tout au long de ce travail.

J'exprime toute mon gratitude à tout le personnel de laboratoire central de l'unité **ALZINC**, spécialement : **Mme HENNI, Mme MEGGABEUR, Mr SALAH NASREDDINE** .Merci à eux pour leurs conseils, leur disponibilité, leur compétence et leur bonne humeur.

Dédicaces

A l'aide de DIEU le tout puissant j'ai pu réaliser ce modeste travail que je le dédie :

A mes chers parents qui m'ont soutenus, encouragés, aidés durant ma formation et durant toute ma vie, sans eux on n'en sera pas là, gratifions leurs efforts, pour leurs sacrifices, leur soutien

A mon frère Youcef et mes chers sœurs :Leila, Rafika , Meriem et son mari Ismail.

Pour les efforts et l'attachement qu'ils m'ont fourni pour me supporter.

A ma petite chère nièce ALAA

A ma chère grande mère ,mes oncles et mes tantes. Toute la famille KESBI.

A tous les professeurs qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences j'ai soutenu durant tout mon cursus.

Tous mes amis de promotion Hydraulique Option : Technologie et

Traitement des Eaux (TTE) 2016-2017

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.

Résumé

Le recours à un procédé de dessalement de l'eau de mer constitue une solution compétitive pour pallier à l'insuffisance en alimentation en eau industrielle perturbée pendant ces dernières années par les précipitations irrégulières et la demande croissante en eau pour la consommation, l'agriculture et l'industrie.

L'objectif de ce travail est d'étudier la station de dessalement de l'eau de mer la société algérienne METANOF « ALZINC» qui consiste à une évaporation de l'eau de mer et une condensation pour produire de l'eau douce d'une grande pureté et l'utilisée pour la production de zinc (électrolyse) et pour le refroidissement des machines tournantes. On a pour but dans cette mémoire de montrer les différentes matériaux et méthodes suivie pour gérer ces stations .

Il s'agit aussi suivie la qualité physico-chimique de l'eau obtenue par le dessalement de l'eau de mer par la technique distillation à multiple effet MED de la station de la société ALZINC de Ghazaouet .

Notre étude montre le bon fonctionnement de cette installation.

Mot clés : ALZINC, Dessalement, Encrassement ,Corrosion, eau de mer.

Abstract

The recourse to a process of desalination of sea water constitutes a competitive solution to palliate the insufficiency in industrial water disturbed during these last years by the irregular precipitations and the increasing request in water for consumption, agriculture and industry.

The objective of this work is to study the seawater desalination plant of the Algerian company METANOF "ALZINC" which consists of an evaporation of sea water and a condensation to produce fresh water of high purity and used for the production of zinc (electrolysis) and for cooling and rotating machines. The purpose of this memory is to show the different materials and methods used to manage these stations.

It is also followed by the physicochemical quality of the water obtained by the desalination of seawater by the distillation technique with multiple effect MED of the station of the company ALZINC of Ghazaouet.

Our study shows the good functioning of this installation.

Key words : ALZINC, Desalination, Clogging, Corrosion, sea water.

الملخص

استخدام عملية تحلية مياه البحر هو الحل التنافسي للتغلب على نقص المياه الصناعية المضطربة في السنوات الأخيرة من عدم انتظام هطول الأمطار وتزايد الطلب على المياه للشرب والزراعة والصناعة.

الهدف من هذا العمل هو دراسة محطة تحلية مياه البحر في ميتا نوف المجتمع الجزائري "الزنك" الذي ينطوي على تبخر مياه البحر وتكثيفها لإنتاج المياه العذبة عالية النقاء واستخدامها لإنتاج الزنك (التحليل الكهربائي) وتبريد الآلات الدوارة.

الغرض من هذه المذكرة إظهار المواد والأساليب المستخدمة لإدارة هذه المحطات . وأيضاً مراقبة الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه المحصل عليها عن طريق تحلية مياه البحر بواسطة تقنية التقطير من محطة شركة "الزنك" بالجزوات.

نتائج هذا البحث أظهرت السير الحسن لهذه المحطة .

الكلمات المفتاحية : الزنك ، تحلية المياه ، انسداد ، التآكل ، مياه البحر .

Tables des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les eaux

I.1 Introduction.....	3
I.2. Définition	3
I.3. Importance de l'eau.....	3
I.4. Les besoins en eau	4
I.4.1. Besoins physiologiques.....	4
I.4.2. Besoins domestiques	4
I.5. Répartition des eaux sur la terre.....	4
I.6. Caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres	4
I.6.1. Les eaux saumâtres	4
I.6.2. Les eaux de mer	5
I.7. Paramètres de l'eau	6
I.7. 1. Paramètres physico-chimiques.....	6
❖ La température.....	6
❖ PH.....	6
❖ Matières en suspensions	6
❖ Conductivité électrique.....	6
❖ Dureté totale	7
❖ Solubilité des gaz dans l'eau	7
❖ Alcalinité	8
❖ Cation et anion.....	8
❖ Les Nitrates NO ₃ -	8
❖ Les Nitrites NO ₂ -	9
❖ Matières phosphatées	9
❖ les métaux lourds.....	10

❖ Chlorures	10
❖ Le sodium	10
❖ Le potassium.....	10
❖ Les Sulfates	10
❖ Les carbonates et les bicarbonates.....	11
❖ Ion magnésium	11
I.7. 2. Paramètres organoleptiques	11
❖ la couleur	11
❖ l'odeur et la saveur	11
❖ Turbidité	12
❖ La matière solide dissoute totale (TDS)	12
I.7. 3. Paramètres microbiologiques	12
❖ Protozoaires	13
❖ Les coliformes totaux et fécaux.....	13
❖ Les streptocoques fécaux.....	13
I.8. Catégories de l'eau.....	14
a. Eau potable	14
b. Eau de source.....	14
c. Eau minérale	14
Conclusion.....	14

Chapitre II: Différents Procédés de dessalement

II.1. Introduction	15
II.2- Situation de dessalement dans le monde	15
II.3 Importance du dessalement de l'eau de mer.....	16
II.4. Les étapes de dessalement de l'eau de mer	16
• Captation d'eau de mer	17
• Un pré-traitement	17
• Différents procédés de dessalement	18
1. Les procédés utilisant des membranes	18
a. l'électrodialyse	18
a. 1. Principe de fonctionnement	18
b. L'osmose inverse.....	19
b. 1. Pression osmotique.....	20
b. 2. Polarisation.....	21
2. Les procédés agissant sur les liaisons chimiques	22
a. Echange ionique	22

3. Les procédés thermiques :	22
a. Le dessalement par congélation	22
b. Le dessalement par distillation	23
b. 1. Procédés de distillation	23
➤ Distillation à simple effet	23
➤ Distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED)	24
a. Les évaporateurs multiples effets à tubes horizontaux arrosés	25
b. Les évaporateurs multiples effets à plaques	26
c. Les évaporateurs multiples effets à longs tubes verticaux	27
1. Détermination du nombre d'effets	27
➤ Distillation par détente successive ou procédé Flash (Multi Stage Flash distillation MSF)	28
➤ Distillation par compression de vapeur	29
❖ Evaporateur à Ejectocompression	30
❖ Evaporateur à compression mécanique	31
• Principe	31
➤ Distillation solaire	31
A. Distillation solaire directe	31
• Principe	31
B. Distillation solaire à plusieurs étages	32
• Le post-traitement	34
II.5. Considérations techniques et économiques des différents Procédés de dessalement	33
II.6. Impacts sur l'environnement	36
Conclusion	37

Chapitre III: Description de la station de dessalement d'ALZINC

III.1. Introduction	39
III.2. Situation géographique de l'entreprise ALZINC	39
III .3. Principe de fonctionnement de l'unité de dessalement	40
III .4. Description de l'installation	41
III .4.1. Evaporateur	42
a. L'enveloppe de l'évaporateur	43
b. Les cellules	43
III .4.2. Ejectocompresseur	46
III .4.3. Système d'extraction d'air	46
III .4.4. Circuit eau de mer	47

a. Station de pompage	47
III 4.5.Circuit saumure	49
III 4.6.Circuit eau distillée.....	50
III 4.7.Circuit vapeur	51
III 4.8. Prétraitement de l'eau d'appoint :	51
III 4.9.Système de contrôle	54
III 5.Description du procès de dessalement	55
III 6. Problèmes rencontrés par l'unité de dessalement	62
III 6.2. Corrosion.....	62
III 6.3. Prolifération de végétaux et d'animaux marins.....	63
III 6.4. Présence d'incondensables.....	65
III 6.5 .Entartrage des faisceaux tubulaires	65
III 7.Caractéristiques techniques	66
III 8. Conclusion.....	67

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV 1. Introduction.....	68
IV.2. Matériels et méthodes	68
IV.2.1. Mode de prélèvement.....	69
IV.2.2.Méthodes d'analyses	70
IV.2.2.1.Méthodes Volumétriques	70
➤ Dosage par la méthode compléxometrique	70
IV.2.2.2.Analyse gravimétrique	71
•Principe.....	71
•Appareillage	71
IV.2.2.3.Spectrophotomètre UV / visible (Méthode colorimétrique)	72
•Principe	72
•Appareillage	73
IV.2.2.4.Absorption atomique.....	74
•Appareillage	75
IV.3.Essais de laboratoire.....	76
IV.3.1.Paramètres physico-chimiques.....	76
IV.3.1.1.Température	76
IV.3.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	76
IV.3.1.3.Mesures de conductivité.....	77
•La conductivité électrique	77
IV.3.2.Paramètres chimiques	78

IV.3.2.1. Caractéristiques de l'eau	78
A. Dureté de l'eau	78
➤ Dosage de la dureté de l'eau	79
• Réactifs utilisés	80
a. Modes opératoires	80
A.1. Dureté totale	80
B. Alcalinité	82
• Principe	83
• Réactifs	83
a. Mode opératoire	84
B.1. Titre alcalimétrique simple TA	84
B.2. Titre alcalimétrique complet TAC	85
C. Concentration en sels dissous	86
D. Dosages chimiques	87
1. Chlorures	87
1. Principe	87
❖ Produits utilisée	87
a. Mode opératoire	88
2. Sulfates	89
• Principe	89
• Produits utilisée	89
a. Mode opératoire	89
3. Calcium, magnésium, sodium, cadmium, cuivre, zinc et plomb :	91
a. Méthode de travail	91
Conclusion	91

Chapitre V: Résultats et discussion

V.1. Introduction	92
V.2. Résultat d'analyse de l'eau distillée de l'année 2013	92
V.2.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)	92
V.2.2. La Conductivité	93
V.2.3. Chlorure (Cl ⁻)	94
V.3. Résultat d'analyse de l'eau distillée de l'année 2014	95
V.3.1. Le potentiel hydrogène (pH)	95
V.3.2. La Conductivité	96
V.3.3. Chlorure (Cl ⁻)	97

V.4.Resultat d' analyse de l'eau distillée de l'année 2015.....	98
V.4.1. Le potentiel hydrogène (pH)	98
V.4.2. La Conductivité :	99
V.4.3. Chlorure (Cl-).....	100
V.5.Resultat d' analyse de l'eau distillée de l'année 2016.....	101
V.5.1. Le potentiel hydrogène (pH)	101
V.5.2. La Conductivité	102
V.5.3.Chlorure(Cl-):	103
V.6. Résultat d' analyse de quinze jours	104
V.6.1.Titre alcalimétrique (T.A)	104
V.6. 2.Titre alcalimétrique complet (T.A.C).....	106
V.6.3. Les sels dissous	107
V.6.4..La dureté totale (T.H).....	108
V.6.5.La dureté permanente	109
V.6.6. Le potentiel hydrogène (pH)	110
V.6.7.la température	111
V.6.8.La Conductivité	112
V.6.9.Chlorure (Cl-).....	113
V.6.10.Sulfate (SO ₄ ⁻²)	114
V.6.11.Métaux lourd	116
a. Le sodium (Na).....	116
b.Le Zinc (Zn)	117
c.Le cuivre (Cu).....	118
d.Le Fer (Fe).....	119
e.Le Calcium (Ca)	120
f.Le Magnésium (Mg)	121
g.Le Potassium (K).....	122

Conclusion générale

Bibliographie

Liste des figures

Figure II.1 :Schéma général d'une installation de dessalement	17
Figure II.2 :Principe de fonctionnement d'un système par électrodialyse.....	18
Figure II.3 :Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....	19
Figure II.4 :Schéma général d'une unité d'osmose inverse	20
Figure II.5 : Distillation à simple effet.....	23
Figure II.6 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).....	24
Figure II.7 :Évaporateurs à tubes horizontaux arrosés.....	25
Figure II.8 : Principe de L'évaporateur à longs tubes verticaux.....	26
Figure II.9 : Principe de fonctionnement d'un système par détentés successives (MSF) à 3étages.....	28
Figure II.10 :Distillation par compression de vapeur.....	29
Figure III.11 : Principe de distillation solaire directe.....	30
Figure II.12 :Distillation solaire à plusieurs étages.....	32
Figure III.13 :Situation géographique de l'entreprise ALZINC.....	39
Figure III.14 :Station de dessalement	41
Figure III.15 : 3 ^{ème} cellule (rampe d'arrosage, faisceau de chauffe).....	44
Figure III.16 :4 ^{ème} cellule (séparateur, faisceau tubulaire du condenseur distillateur).....	44
Figure III.17 :Ejectocompresseur	45
Figure III.18 :Pompe d'eau de mer au niveau dessalement.....	47
Figure III.19 :Pompe centrifuge d'eau saumure.....	48
Figure III.20 :Pompe centrifuge d'eau distillée.....	49
Figure III.21 :Filtre a panier d'eau de mer.....	51
Figure III.22 :Bacs de traitement de l'eau de mer (antitartre et antimousse).....	52
Figure III.23 :Armoire électrique + le système d'alarme pour signaler les défauts de fonctionnement.....	53
Figure III.24 : Condenseur distillateur	57

Figure III.25: Chaudière	57
Figure III.26: Stockage de l'eau distillée	58
Figure III.27: condenseur de buée.....	59
Figure III.28: Schéma du principe de l'installation de dessalement.....	60
Figure III.29 : La corrosion des matériaux.....	62
Figure III30 : Prolifération de végétaux	63
Figure III .31: Prolifération d'animaux marins (Coquillage).....	63
Figure IV 32 : laboratoire.....	68
Figure IV.33: point de prélèvement de l'eau de mer (bassin de stockage).....	69
Figure IV.34: Balance analytique type KERN 770.....	72
Figure IV.35 : Spectrophotomètre type JASCO V-550.....	74
Figure IV.36 : spectrophotomètre d'absorption atomique type Perkin Elmer.....	75
Figure IV.37: appareil de mesure de pH et de température.....	77
Figure IV.38: appareil de Conductimètre de type INOLAB Condlevel 1.....	78
Figure IV.39: Les réactifs utilisés	80
Figure IV.40: Ajoute de noir d'érichrome T.....	81
Figure IV.41: virage de solution de violacée au bleu franc.....	82
Figure IV.42: Les réactifs utilisés.....	84
Figure IV.43: Détermination de T.A.....	85
Figure IV.44: Détermination de T.A.C.....	86
Figure IV.45: Dosage des chlorures(Cl ⁻) dans l'eau.....	89
Figures IV.46 : le filtre avec le précipité, et le creuset.....	90
Figure IV.47 : Four type Gerhard Tmax=1200°C.....	91
Figure V.48: Variation moyenne du pH de l'eau distillée (2013).....	93
Figure V.49: Variation moyenne de la conductivité de l'eau distillée (2013).....	94
Figure V.50: Variation moyenne de Cl ⁻ de l'eau distillée (2013).....	95
Figure V.51: Variation moyenne de pH de l'eau distillée (2014).....	96
Figure V.52: Variation moyenne de la conductivité de l'eau distillée (2014).....	97
Figure V.53: Variation moyenne de Cl ⁻ de l'eau distillée (2014).....	98
Figure V.54: Variation moyenne de pH de l'eau distillée (2015).....	99
Figure V.55: Variation moyenne de la conductivité de l'eau distillée (2015).....	100
Figure V.56: Variation moyenne de Cl ⁻ de l'eau distillée (2015).....	101
Figure V.57: Variation moyenne de pH de l'eau distillée (2016).....	102
Figure V.58: Variation moyenne de la conductivité de l'eau distillée(2016).....	103

Figure V.59: Variation moyenne de Cl ⁻ dans l'eau distillée (2016).....	104
Figure V.60: variation de TA à l'entrée et à la sortie de la station.....	105
Figure V.61: Variation de TAC à l'entrée et à la sortie de la station.....	106
Figure V.61: Variation des sels dissous à la sortie de la station.....	107
Figure V.62: Variation de TH à l'entrée et à la sortie de la station.....	108
Figure V.63: Variation de La dureté permanente à l'entrée et à la sortie de la station.....	109
Figure V.64: Variation de pH à l'entrée et à la sortie de la station.....	111
Figure V.65: Variation de la température à l'entrée et à la sortie de la station.....	112
Figure V.66: Variation de la conductivité à la sortie de la station.....	113
Figure V.67: Variation de chlorure à la sortie de la station.....	114
Figure V.68: Variation de Sulfate à la sortie de la station.....	115
Figure V.69: Résultat d'analyse de sodium.....	116
Figure V.70: Résultat d'analyse de zinc.....	117
Figure V.71: Résultat d'analyse de cuivre.....	118
Figure V.72: Résultat d'analyse de Fer.....	119
Figure V.73: Résultat d'analyse de calcium.....	120
Figure V.74: Résultat d'analyse de magnésium.....	121
Figure V.75: Résultat d'analyse de Potassium.....	122

Liste des tableaux

Tableau I.1: Composition de l'eau de mer	5
Tableau I.2: Classification de l'eau selon la dureté totale.....	7
Tableau I.3 : Les classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau.....	11
Tableau II.4: Comparaison entre les principales technologies de dessalement.....	34
Tableau III.5: Les caractéristiques techniques	65
Tableau IV.6: Les expressions de la teneur en différents sels en fonction du TA et de TAC.....	85
Tableau V.7 : Résultat d'analyse de potentiel d'hydrogène.....	90
Tableau V.8: Résultat d'analyse de la conductivité.....	91
Tableau V.9: La concentration de chlorure dans l'eau distillée.....	92
Tableau V.10: Résultat d'analyse de potentiel hydrogène.....	93
Tableau V.11: Résultat d'analyse de la conductivité.....	94
Tableau V.12: La concentration de chlorure dans l'eau distillée.....	95
Tableau V.13: Résultats d'analyses de potentiel d'hydrogène.....	96
Tableau V.14: Résultat d'analyse de la conductivité.....	97
Tableau V.15: La concentration de chlorure dans l'eau distillée.....	98
Tableau V.16: Résultat d'analyse de potentiel hydrogène.....	99
Tableau V.17: Résultat d'analyse de la conductivité.....	100
Tableau V.18: La concentration de chlorure dans l'eau distillée.....	101

Tableau V.19: Résultat d'analyse de titre alcalimétrique.....	103
Tableau V.20: Résultat d'analyse de titre alcalimétrique complet.....	104
Tableau V.21: Résultats d'analyses des sels dissous de l'eau distillée	105
Tableau V.22: Résultat d'analyse de la dureté total.....	106
Tableau V.23: Résultat d'analyse de la dureté permanent.....	107
Tableau V.24: Résultat d'analyse de potentiel d'hydrogène.....	109
Tableau V.25: Résultat d'analyse de la température.....	110
Tableau V.26: Résultat d'analyse de conductivité.....	111
Tableau V.27: La concentration de chlorure dans l'eau distillée.....	112
Tableau V.28: Résultat d'analyse de Sulfate.....	113
Tableau V.29: La concentration de sodium dans l'eau distillée	114
Tableau V.30: La concentration du Zinc dans l'eau distillée.....	115
Tableau V.31 : La concentration de cuivre dans l'eau distillée.....	116
Tableau V.32 : La concentration de fer dans l'eau distillée.....	117
Tableau V.33 : La concentration de calcium dans l'eau distillée.....	118
Tableau V.34: La concentration de magnésium dans l'eau distillée.....	119
Tableau V.35: La concentration de potassium dans l'eau distillée.....	120

LISTE DES ABREVIATIONS

TA : Titre alcalimétrique simple

TAC :Titre alcalimétrique complet

TDS : Concentration totale de solides dissous

TH : Dureté totale

TH_{Ca} :Dureté calcique

TH_{Mg} :Dureté magnésienne

F° : Degrés français

V : Volume

ALZINC : Société Algérienne de Zinc

MSF : Distillation par détente successive (Multi Stage Flash distillation)

MED :Distillation à multiples effets (Multi-effect distillation)

OI : Osmose inverse

P : Pression

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

Π : Pression osmotique.

T : Température.

°C : Degré Celsius.

pH : Potentiel Hydrogène.

NO₂ : Nitrites

NO₃ : Nitrates

AgNO₃ : Nitrate d'argente

Cl :Chlorure

Cu :Cuivre

Fe :Fer

Fe₂(SO₄) :Alun ferrique

Fe³⁺ :Oxyde de fer ferreux

H₂O : Molécule d'eau

H₃O⁺ : Hydronium ion

H⁺ : l'acidité

H₂SO₄ : Acide Sulfurique

KSCN : Thio cyanate de potassium

OH⁻ : Ion hydroxyde

Zn : Le Zinc

K : Le Potassium

E.D.T.A : Ethylène Diamine tétra Acétique

NET : Noir d'ériochrome T

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une substance essentielle à la survie et au développement de l'humanité. Mais que va devenir cette fragile ressource ? [a1]

l'eau est très inégalement répartie. Plus d'un tiers des terres de la planète sont des étendues arides, soumises à des déficits en eau, et aux problèmes quantitatifs s'ajoutent des problèmes qualitatifs qui limitent les ressources d'eau disponibles. [1]

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. [2]

La rareté de l'eau se fait de plus en plus sentir et devient sans doute l'un des défis majeurs de ce siècle. D'après le 'Water Resources Institute', il existe déjà plus de 26 pays, qui commencent à souffrir du manque d'eau et d'ici 2032, ce chiffre dépassera la barre des 50 % de la population mondiale [3]. Pourtant les réserves d'eau sur le globe terrestre sont immenses. La majeure partie de ces réserves (97,5 %) est sous forme d'eaux salines ou saumâtres et sur 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. [4]

L'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, le problème de l'eau. Le prélèvement global de l'eau, en additionnant les usages domestiques, industriels et agricoles, est de 250m^3 par an et par habitant, en moyenne mondiale. Par ailleurs il est certain que nos besoins en eau ne cesseront de croître alors que les réserves en eau de bonne qualité diminuent. Ceci implique de ménager la ressource, en limitant les rejets de pollution dans le milieu naturel mais aussi produisant une eau propre à la consommation. C'est dans cette logique que les stations de dessalement des eaux s'inscrivent puisqu'elles permettent de produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer ou d'eaux saumâtres grâce à des techniques particulières[5]. Donc Le dessalement peut constituer dans certains cas une solution compétitive pour pallier à ce manque.

On dispose aujourd'hui de nombreux systèmes dont beaucoup ont atteint le stade industriel. La totalité des installations de dessalement fait appel à deux grandes familles de procédés :

Introduction générale

- Les procédés par évaporation ou distillation : distillation simple, à multiples effets et multi flash..., l'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels et les autres substances. La vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce.
- Les procédés membranaires qui sont plus récents : osmose inverse, électrodialyse..., l'eau de mer est filtrée sous pression à travers une membrane. Les sels et les micro-organismes sont retenus par cette dernière. Ce procédé nécessite toutefois un traitement de l'eau en amont. [1]

On s'est intéressé dans ce travail à étudier la station de dessalement par procédé MED à l'unité d'ALZINC " Ghazaouet ".

Pour ce faire, ce présent travail est subdivisé principalement en deux parties :

- ✓ Une partie théorique comportant deux grands chapitres :
 - ✗ On présentera en premier chapitre quelques généralités sur l'eau.
 - ✗ Ensuite le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la connaissance générale sur les techniques de dessalement.
- ✓ La seconde partie de l'étude est axée sur l'expérimentation, elle est présentée en trois chapitres :
 - ✗ Le troisième chapitre consiste à l'étude de la station de dessalement par procédé MED à l'unité Ghazaouet ALZINC .
 - ✗ Le quatrième chapitre donne le matériel et les méthodes analytiques utilisées dans cette étude .
 - ✗ Le cinquième chapitre présente les résultats expérimentaux trouvés et leurs interprétations.

Comme nous concluons ce mémoire par une conclusion générale.

Partie I

Etude bibliographique

CHAPITRE I

Généralités sur les eaux

I.1 Introduction

L'eau est une ressource vitale essentielle conditionnant la vie et l'existence des êtres vivants. Sans cet élément la terre ne serait qu'un astre mort .

La terre est souvent appelée la planète bleue parce que l'eau recouvre la majorité de la surface de la terre ; environ 71% , de plus le volume d'eau sur terre est estimé a environ 1,4milliard de km³[6] . Même si la consommation en eau connaissait un accroissement formidable, il serait impossible de la consommer entièrement.

Mais ce n'est pas si simple. En effet, cette quantité d'eau colossale n'est pas 100% propre à la consommation . La plus grande partie, 97.2% voire 97.5% selon les sources, est de l'eau de mer et le reste, 2.5% à 2.8% est de l'eau douce [7].

I.2. Définition

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur à l'état pur, et est liquide a température ordinaire. Elle est formée de deux volumes d'hydrogènes et un volume d'oxygène. [6].

Une eau pure est une eau de haute qualité garantissant une bonne santé. La qualité de l'eau doit impérativement être conforme aux normes de potabilité au niveau bactériologique et physico-chimique [8].

I.3. Importance de l'eau :

L'eau est indispensable a tous les êtres vivants, il est possible de jeuner un mois sans danger considérable, mais on ne peut être privé d'eau plus de 48 heures sans risque . L'eau nous permet d'éliminer nos déchets par les urines, de lutter contre la chaleur par sudation et la ventilation pulmonaire, de transporter des vitamines hydrosolubles qui seront grâce a l'eau mieux absorbées par les muqueuses intestinales. En revanche une perte d'eau de 12% peut provoquer la mort..

En cas de manque total d'eau, de graves troubles apparaissent des le 3^{ème} jour et la mort suivra entre le 5^{ème} et le 6^{ème} jour . Comme toutes les cellules vivantes, les cellules microbiennes ne vivent que dans un milieu répondant à certaines caractéristiques. L'eau compose la plus grande partie de nos aliments [9].

I.4. Les besoins en eau :

Les besoins en eau de l'être humain sont de nature variée, physiologiques d'une part et liés à leurs cultures et industries d'autre part. [10].

I.4.1. Besoins physiologiques :

L'eau est considérée comme un nutriment puisqu'il répond à un besoin essentiel de l'organisme. Premièrement, on distingue les besoins physiologiques qui sont faibles, Il suffit, en climat tempéré, d'un litre et demi de boissons chaque jour . Alors que durant les temps chauds, (l'été) les besoins sont multipliés et dépassent parfois les 5 litres.

I.4.2. Besoins domestiques :

Les besoins domestiques sont des besoins liés à la culture et à l'industrie, ces besoins la sont plus divers. Les propriétés calorifiques de l'eau sont utilisées pour la cuisson aussi bien que pour les usages industriels, le refroidissement et le chauffage.

A partir de cela, on constate l'utilité et l'importance de l'eau dans la création et le maintien de la vie, dont l'essor techno-industriel devient évident [11].

I.5. Répartition des eaux sur la terre:

L'eau recouvre 71 % de la surface de la terre (97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce dans différents réservoirs). L'ensemble des réserves d'eau de la terre s'appelle l'hydrosphère qui est constituée de :

- (97,2 %) des mers et océans,
- (0,02 %) des cours d'eaux (fleuves, rivières, torrents),
- (0,9 %) des réserves souterraines,
- (1,8 %) des glaces (glaciers, banquises, icebergs, neige),
- (0,001 %) des différentes formes d'eau présente dans l'air (nuage, vapeur d'eau) [a2].

I.6. Caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres :

I.6.1. Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Les eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en

traversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés.

Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [5].

I.6.2. Les eaux de mer

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité (tableau I.1), c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et, de magnésium, sulfates, carbonates).

La salinité moyenne de l'eau de mer est de l'ordre de 35 g/L, cependant cette valeur varie fortement selon les régions et la saison :

Mer Baltique : 7 g/L,

Mer Méditerranée : 36 à 39 g/L,

Golfe Arabo - Persique : 40 à 70 g/L,

Mer Morte : 270 g/L.

Mer Rouge : environ 40g.l^{-1} ,

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

Tableau I.1: Composition de l'eau de mer [12].

Tableau 1 :Composition de l'eau de mer (35g/ L)		
Sels	Concentrations	
NaCl	27,2 g/L	78 %
MgCl ₂	3,8 g/L	11%
MgSO ₄	1,7 g/L	5%
CaSO ₄	1,26 g/L	3,5%
K ₂ SO ₄	0,86 g/L	2,4%

I.7. Paramètres de l'eau

I.7. 1. Paramètres physico-chimiques

❖ La température

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels donc sur la conductivité électrique et surtout des gaz, et la détermination du pH.

La mesure de la température est très utile pour les études limnologiques et le calcul des échanges. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau [13].

❖ PH :

Le pH dépend de l'origine des eaux et de la nature géologique du substrat [14]. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable [15].

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 [16].

❖ Matières en suspensions :

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdale. Les MES qui comportent les matières organiques ou minérales constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou bien industriel [17]. ce paramètre s'exprime en mg/L. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble et, souvent, un mauvais goût et une mauvaise odeur [18].

❖ Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m) [28]. La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...), et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau [13].

❖ Dureté totale

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue: une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1°F correspond à 10 mg de carbonate de calcium dans 1 litre d'eau [15].

Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses :

Le calcium dérive de l'attaque par le CO₂ dissout des roches calcaires (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés.

En fonction de leur dureté totale, les eaux peuvent être classées suivant les indicateurs du tableau suivant:[19].

Tableau I.2: Classification de l'eau selon la dureté totale

TH en degrés français (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 à plus	Eau Très dure

❖ Solubilité des gaz dans l'eau :

L'eau contient toujours des gaz dissous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeux avec laquelle elle est en contact. La loi de HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, prévoit que, la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact de l'eau .

la loi de Henry :

$$C_i = K_{Hi} \cdot P_i$$

Avec : C_i : est la concentration en gaz i

K_{Hi} : La constante de Henry du gaz i

P_i : la pression partielle du gaz i [20].

❖ **Alcalinité :**

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles dans les eaux naturelles. L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-).

Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encore une fois à deux bornes de pH :

- **Alcalinité au virage du rouge de méthyle** : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} et OH^- . Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet TAC.

- **Alcalinité au point de virage de la phénophtaléine (alcalinité composite)** : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8.3. L'alcalinité composite se nomme également titre alcalimétrique (TA) [21],[22]. L'unité utilisée est le degré français ($1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/L de CaCO}_3 = 0,2 \text{ milliéquivalent} \cdot \text{L}^{-1}$) [20].

❖ **Cation et anion :**

Les eaux douces, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus des indications données par les paramètres globaux de type « titre » et « potentiel ». Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau douce est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...) [20].

❖ **Les Nitrates NO_3^- :**

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par la décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels [23].

L'azote est un élément indispensable dans l'édification de la cellule. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme moléculaire (N_2) ou ionisée : Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée, etc.). Ces différentes formes de l'azote sont en perpétuelle évolution. Elles passent de l'une à l'autre par des processus physico-chimiques et surtout biochimiques. Les nitrates ne représentent qu'une des multiples formes de l'azote présent dans l'eau, tout en constituant, en général, la forme la plus abondante de l'azote minéral.

❖ Les Nitrites NO_2^- :

Ils sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les nitrates. Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Comme les nitrates, les nitrites sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfite-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac [3].

❖ Matières phosphatées :

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation répondent au test spectrophotométrique sont considérés comme étant des ortho phosphates.

L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et la minéralisation, le phosphore organique.

Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en ortho phosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique.

Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO_4 ou de P_2O_5

$$1\text{mg/L } PO_4 = 0,747 \text{ mg / L } P_2O_5 = 0,326 \text{ mg/L P}$$

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration [24].

❖ les métaux lourds :

Les métaux lourds libérés dans l'environnement peuvent se déposer dans les cours d'eau et les contaminer. Suivant les concentrations rencontrées, le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le cuivre, le zinc et le chrome peuvent être dangereux pour la santé. Ils s'accumulent dans l'organisme et leurs effets toxiques aigus et chroniques sont reconnus sur plusieurs organes. Certains d'entre eux sont toxiques pour le cerveau (troubles neurologiques) et les os. [a3].

❖ Les chlorures :

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives [25]. La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé.

Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux à des concentrations très variables. La présence des chlorures en concentrations élevées dans l'eau contenant du sodium donne un goût salé. Par ailleurs, les chlorures sont indispensables aux régimes alimentaires. Les effluents des industries de conserve des viandes et certains légumes sont connus par une forte teneur en sels et particulièrement en chlorure [13].

❖ Le sodium :

Ce métal, très abondant ne se rencontre pas naturellement à l'état natif mais toujours associé à d'autres éléments chimiques (comme le chlorure de sodium NaCl). Le sodium est ingéré quotidiennement par l'eau et les aliments qui en représentent la principale source [26].

❖ Le potassium :

C'est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature [27].

❖ Les sulfates :

Les sulfates (SO_4^{-2}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chlorothiobactéries, rhodothiobactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate [28].

❖ Les carbonates et les bicarbonates :

L'ion bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO₂ à partir des minéraux contenant des carbonates [24].

❖ Ion magnésium

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature et il est présent dans la plupart des eaux naturelles. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel et aussi il est indispensable pour la croissance et pour la production de certaines hormones [26].

I.7. 2. Paramètres organoleptiques :**❖ la couleur :**

La couleur de l'eau peut provenir des substances minérales comme le fer ou le manganèse et/ou des substances organiques. Les substances organiques comprennent généralement des algues, des protozoaires et des produits naturels provenant de la décomposition de la végétation (substances humiques, tanins, lignine) [24]. Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement [29].

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration.

❖ l'odeur et la saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs [24].

❖ Turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce paramètre dans les eaux superficielles et souterraines selon leur

origine [26]. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

Unité JTU (Jackson Turbidity Unit) = unité FTU (Formazine Turbidity Unit) = unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit) [29].

La qualité de l'eau est classée selon la valeur de sa turbidité, comme le montre le tableau suivant :

Tableau I.3 : Les classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau

Turbidité NTU	Qualité de l'eau
< 5	Eau claire
5 < T < 30	Eau légèrement trouble
> 50	Eau trouble

❖ La matière solide dissoute totale (TDS) :

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporée, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS [30].

I.7.3. Paramètres microbiologiques :

Le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau de microorganismes pathogènes, ou potentiellement pathogènes (opportunistes) et ce en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires. Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné non seulement par les propriétés de l'agent infectieux, mais aussi par la réceptivité de l'hôte. La présence de coliformes et de streptocoques témoigne d'une contamination fécale de ces eaux [31].

❖ Protozoaires :

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste .

La principale forme pathogène pour l'homme est *Entamoeba histolytica* ,agent responsable de la dysenterie amibienne [32] .

❖ Les coliformes totaux et fécaux :

C'est un groupe de bactéries utilisé comme indicateur de contamination fécale. Ils appartiennent à la classe des Enterobacteriaceae. Ce sont des bacilles à gram négatif, asporogènes, oxydase négative, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de se multiplier et de fermenter le lactose et produisent du gaz, d'acide et d'aldéhyde .On les considère comme bons indicateurs de contamination fécale, ils se cultivent à 44°C.

Les coliformes totaux se développent à 37°C. Ces derniers peuvent avoir une origine non strictement fécale : Le sol, les insectes et les plantes peuvent les héberger. Les coliformes totaux sont inclus dans les germes témoins de contamination fécale de deuxième ordre [33].

❖ Les streptocoques fécaux :

Ces bactéries appartiennent à la famille des streptococcaceae, sont des cocci généralement disposés en diplocoques ou en courte chaîne , à gram négatif, aérobies facultatifs et possédant un métabolisme fermentatif. Ces germes colonisent l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud . Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale. Cependant, on peut trouver aussi des streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes. Le genre *Streptococcus* est vaste et divers, de sorte qu'il est difficile de classer ces bactéries de façon satisfaisante. Les 29 espèces du genre *Streptococcus* sont subdivisées en 5 groupes principaux :

- ✓ Les streptocoques pyogènes hémolytiques .
- ✓ Les streptocoques oraux .
- ✓ Les entérocoques .
- ✓ Les streptocoques lactique [a4].

I.8.Catégories de l'eau :**a. Eau potable :**

On entend par eau potable, l'eau naturelle ou traitée qui convient à la consommation, à la cuisson d'aliments, à la préparation de mets et au nettoyage d'objets entrant en contact avec les denrées alimentaires [34].

Selon certaines normes, une eau potable est une eau qui ne porte pas atteinte à la santé.

b. Eau de source :

Selon la loi fédérale sur les aliments, l'eau de source est une eau potable qui provient d'une source souterraine. C'est une eau naturelle, dont la composition doit être identique à celle de l'eau à sa source. Sa teneur en minéraux dissous est inférieure à 500 parties par million (ppm).

c. Eau minérale :

Cette eau provient aussi d'une source souterraine. Elle possède les mêmes Caractéristiques que l'eau de source, sauf qu'elle contient une quantité de minéraux dissous égale ou supérieure à 500 ppm [a5].

Conclusion :

L'eau est un élément vital répandu sur terre, indispensable à toute forme de vie. D'un point de vue chimique, l'eau à l'état pur, est un liquide inodore, transparent et insipide. D'un point de vue biologique, c'est dans l'eau que la vie est apparue et c'est grâce à elle que la vie se maintient. En effet, l'organisme humain peut vivre pendant près d'un mois sans manger mais ne peut survivre que quelques jours sans boire.

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée.

CHAPITRE II

Les différents procédés de dessalement

II.1. Introduction

La double croissance économique et démographique de notre planète a pour conséquence une pression importante sur l'ensemble des ressources naturelles, jamais les tensions sur les matières premières n'ont été aussi fortes.

Les besoins deviennent de plus en plus importants et les pollutions rendent la ressource inutilisable.

Une des solutions pour pallier le déficit d'eau potable, est la conception des stations de dessalement [35].

Le dessalement (désalinisation ou dessalage) consiste à produire de l'eau douce à partir d'une eau salée ou saumâtre, généralement par extraction de l'eau douce et plus rarement par extraction du sel [36]. C'est une technique intéressante en vue de l'abondance de la matière première : l'eau de mer et les eaux saumâtres [5].

Les premières technologies utilisées industriellement furent des méthodes, dites « thermiques », de distillation. Dans les années 1980, se sont développées les méthodes dites à « membranes » telles que l'osmose inverse et l'électrodialyse, présentant un coût énergétique plus faible, aujourd'hui de 3,5 KWh/m³ d'eau produite en moyenne [37].

II.2- Situation de dessalement dans le monde :

Le dessalement de l'eau est en très forte croissance dans le monde. L'approvisionnement en eau potable sur le plan quantitatif et qualitatif s'impose de plus en plus, parallèlement aux risques de pollutions (vecteurs de maladies, toxines ou matières en suspension ou agents pathogènes) qui perdurent à chaque étape du parcours de l'eau. La disponibilité géographique en eau douce est inégalement répartie dans le monde. Face à cette réalité, le dessalement de l'eau de mer est venu s'imposer pour pallier à ce déséquilibre [38]. On assiste d'ailleurs à une très forte augmentation (plus de 10% par an) du volume d'eau produit par dessalement. Les usines de dessalement se multiplient dans de nombreux pays (la Libye, l'Australie, la Grande Bretagne); surtout dans les pays en prise à des pénuries d'eau (Algérie, Libye, pays du golfe) mais aussi dans les pays d'Europe du sud (Espagne, Italie, Grèce) et aux États-Unis [5].

Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m³/j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions m³/j, 75% sont destinés à la consommation humaine, 25% à un usage industriel ou agricole. Rappelons que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m³/j.

La Chine a annoncé 1 million de m³/j d'eau de mer traitée en 2010 et jusqu'à 3 millions de m³/j en 2020. 60% des besoins en eau douce des pays du Golfe Persique sont satisfaits par le dessalement d'eau de mer. En Méditerranée, la production artificielle d'eau douce par le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre souterraine a débuté d'abord dans des situations d'isolement insulaire (Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades...), littorales (Libye) et désertiques (Algérie), et essaime aujourd'hui très rapidement tout autour de la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème de pénurie. A ce jour, la Méditerranée représente environ un quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m³/j) [38].

II.3 Importance du dessalement de l'eau de mer

Devant une crise d'eau certaine qui commence à se faire sentir à travers le monde, en plus des contraintes économiques pour un développement durable, des solutions appropriées nécessitent d'être élaborées afin de se préparer à faire face à ce défi qui menace l'existence même de l'homme. Plusieurs pays qui disposent de ressources hydriques salines considérables, doivent utiliser les techniques de dessalement, dont la fiabilité n'est plus à démontrer. Cette solution constitue un moyen assez fiable pour produire de l'eau potable [39].

II.4. Les étapes de dessalement de l'eau de mer

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

- Une prise d'eau de mer avec une pompe
- Un pré-traitement avec une filtration plus fine
- Le procédé de dessalement lui-même ;

- Le post-traitement.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre [a6].

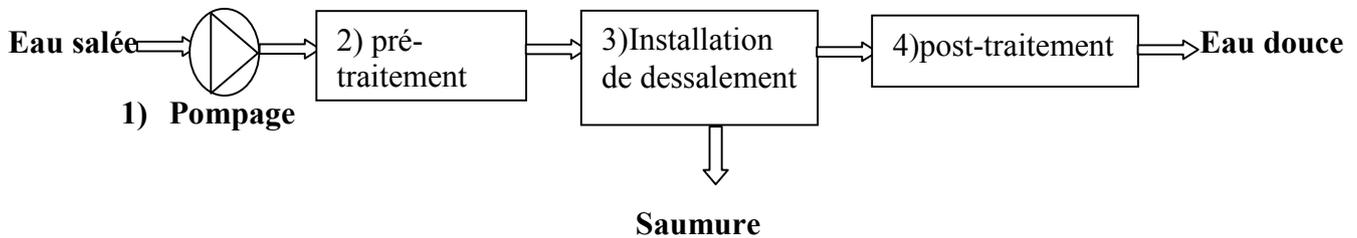


Figure II.1 :Schéma général d'une installation de dessalement [1].

- **Captation d'eau de mer :**

Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Sont utilisés dans cette étape deux types de technologies :

- Les forages côtiers : soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables,
- La prise d'eau de surface : peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants [1].

- **Un pré-traitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte ;**

Le prétraitement de l'eau de mer est une étape clé pour chaque usine de dessalement.

Le but principal du système de prétraitement est d'éliminer les particules colloïdales, organiques, minérales et les contaminants microbiologiques contenus dans l'eau brute (eau de mer). La teneur et la nature des salissures contenues dans l'eau de mer dépendent du type et de l'emplacement de l'entrée d'une usine de dessalement [40].

- **Différents procédés de dessalement :**

Ces différents procédés peuvent être classés en trois grandes familles :

1. Les procédés utilisant des membranes :

a. l'électrodialyse :

L'électrodialyse est un procédé à membranes très ancien, il consiste à éliminer les sels dissous dans l'eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. Soit une cellule d'électrolyse dans laquelle on fait circuler une solution saline : Les cations vont se diriger vers la cathode et les anions vers l'anode.

a. 1. Principe de fonctionnement :

Sous l'effet d'un courant appliqué dans les bacs externes les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative et les ions Cl^- vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes; c'est à dire les ions Na^+ peuvent uniquement traverser les membranes cationiques et les ions Cl^- les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments. (Figure II.2)

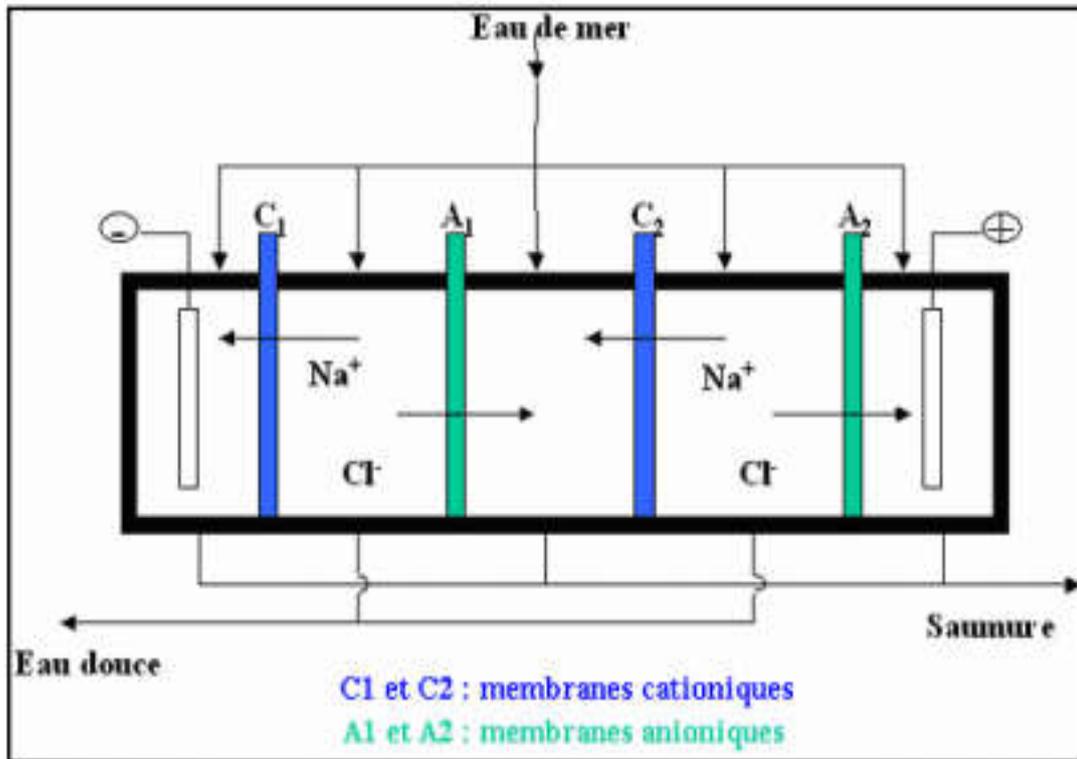


Figure II.2 : Principe de fonctionnement d'un système par électrodialyse [44].

b .L'osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes [41].

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. [1] .

Si l'on applique une pression P supérieure à la pression osmotique π (dont la valeur peut se calculer en connaissant la concentration des espèces dissoutes), on observe l'osmose inverse, c'est-à-dire la diffusion du solvant en sens inverse : la concentration augmente dans le compartiment où on applique la pression P , la concentration diminue dans l'autre. C'est ainsi que l'on peut produire de l'eau pure en extrayant de l'eau à une solution d'eau salée que l'on comprime fortement.

Les pressions typiques à exercer pour vaincre la pression osmotique sont de l'ordre de 70 bars. [37] (Figure II.3)

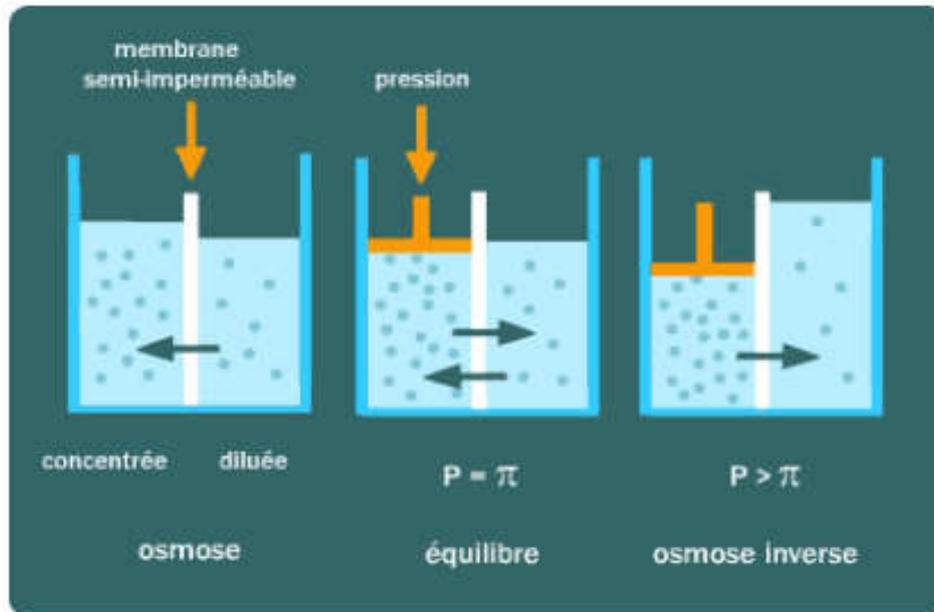


Figure II.3 :Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse [37].

b. 1. Pression osmotique

En première approximation, la pression osmotique peut être calculée en assimilant le comportement des molécules du soluté à celles des molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, on peut appliquer la loi des gaz parfaits (Van't Hoff).

$$n RT = V \pi$$

- π Pression osmotique en bar

- R est la constante des gaz parfaits $R = 0,082 \text{ L. bar. mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- T est la température absolue de la solution en Kelvin.

- V volume de la solution en L

- n nombres de moles de soluté

La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume V et à la même température T. Si le soluté est dissocié en i ions la pression osmotique sera i fois supérieure.

La pression d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en soluté :

$$T R C I = \pi$$

Où :

- I est le nombre des ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,
- C est la concentration en sels en mol .m³
- R est la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J. mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ($R = 0,082 \text{ L. bar .mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- T est la température absolue de la solution en Kelvin.

Les principaux éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la (Figure II.4):

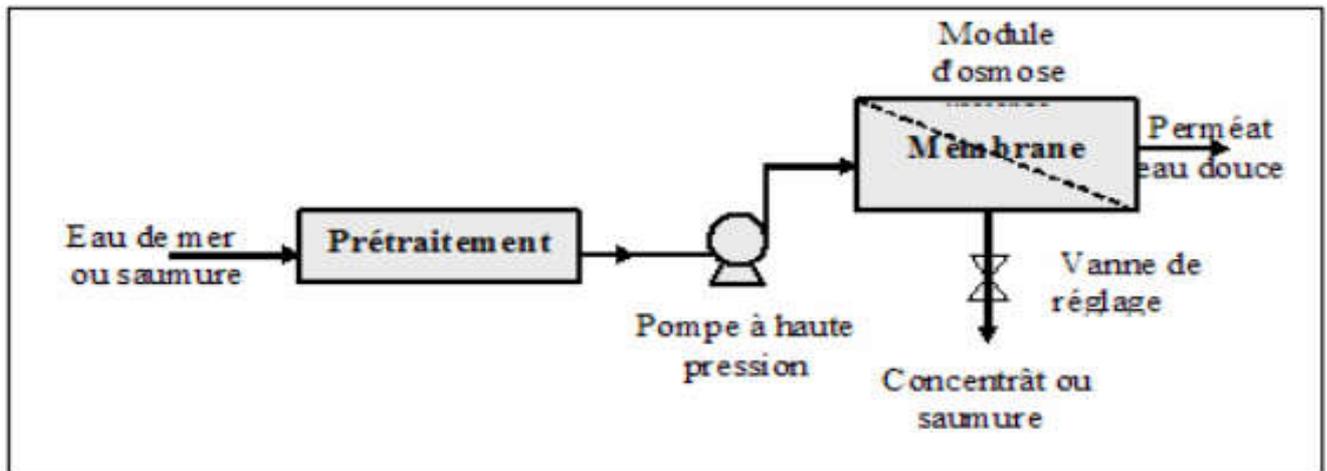


Figure II.4:Schéma général d'une unité d'osmose inverse [44].

b. 2. Polarisation :

La polarisation, apparaissant en osmose inverse, est un phénomène réversible (disparaissant quand le gradient de concentration s'annule) caractérisé par une accumulation à la surface de la membrane des espèces retenues.

Les conséquences du phénomène de polarisation sont :

- Diminution du flux du perméat
- Diminution de la sélectivité
- Colmatage due à des précipitations [42].

2. Les procédés agissant sur les liaisons chimiques :

a. Echange ionique :

Le phénomène d'échange d'ions se produit quand on met en contact une eau saumâtre avec certaines substances insolubles ayant la propriété d'échanger certains de leurs ions avec les sels de l'eau, les produits employés actuellement sont des produits insolubles dénommés échangeurs d'ions (résines synthétiques sous la forme de graines d'environ 0,3 à 1,5 mm). Cette méthode est applicable seulement pour les eaux contenant jusqu'à 8 et même 10 g/L [43].

3. Les procédés thermiques :

a. Le dessalement par congélation :

Lors du processus de congélation, les sels dissous sont naturellement éliminés lors de la formation initiale de cristaux de glace. Le refroidissement de l'eau salée pour former des cristaux de glace sous des conditions bien définies est un moyen de dessaler l'eau de mer [44].

Le procédé par congélation exige la mise en œuvre des moyens mécaniques complexes pour trier les glaçons de l'eau de mer. Il est, de ce fait, presque complètement abandonné. On distingue les procédés par congélation sous vide et les procédés par congélation basés sur un réfrigérant [45].

Le principe du procédé de congélation sous vide est assez simple. Lorsqu'on fait geler de l'eau salée, les cristaux qui se forment consistent en de la glace pratiquement pure, le sel étant chassé de l'eau lors de la cristallisation et forme une saumure à la surface du cristal. Ce procédé de congélation sous vide pour le dessalement de l'eau entraîne un phénomène trop onéreux du point de vue commercial, d'abord, la congélation de l'eau salée, puis le lavage des cristaux et enfin la fusion pour obtenir de l'eau douce. Dans la pratique, les choses sont un peu plus compliquées [46].

Une autre méthode fondée sur la congélation est celle du réfrigérant secondaire, dans laquelle le transfert de chaleur est obtenu par l'emploi de butane ou d'un autre hydrocarbure liquide non miscible dans l'eau. Le mélange de butane et de l'eau de mer passe par un échangeur de chaleur où l'échauffement fait bouillir le butane, ce qui entraîne la congélation de l'eau dans la saumure. Les cristaux de glace sont lavés, séparés et finalement fondus, moyennant l'échange de chaleur avec la vapeur de butane préalablement comprimée.

L'inconvénient de ces procédés est leur impact sur l'environnement. En effet pour produire 1 litre d'eau douce, ce sont deux litres d'eau fortement concentrés en sel qui sont rejetés dans la mer ou injectés dans les sols, pour ces derniers, le risque d'augmenter la salinité des nappes [47].

b. Le dessalement par distillation :

b. 1. Procédés de distillation :

Les procédés thermiques sont principalement des procédés de distillation. Le procédé de distillation consiste simplement à évaporer l'eau de mer sous forme de vapeur d'eau qui est ensuite condensée. Ce procédé est utilisé depuis l'Antiquité. De nos jours, la distillation peut être réalisée suivant différentes techniques :

- ✓ Distillation à simples ou multiples effets ;
- ✓ Distillation par détentes successives appelé aussi multi flash ou flash ;
- ✓ Distillation par compression de vapeur ;
- ✓ Distillation solaire.

Tous ces procédés suivent le principe qui comporte trois étapes : production de la vapeur, transfert à un condenseur puis condensation [48].

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer 1 kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100 °C).

Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés à multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point. [49].

➤ Distillation à simple effet :

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentín de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (Figure II.5). La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentín alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables.

Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième pour l'eau de mer concentrée ou saumure. [5].

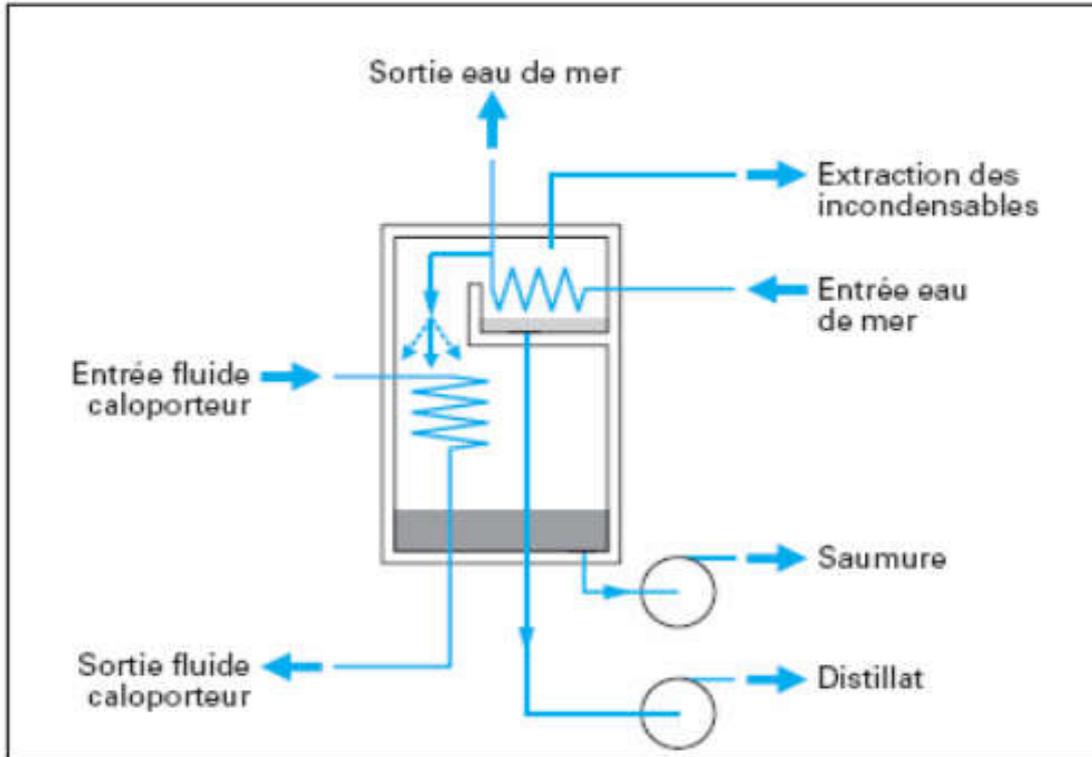


Figure II.5: Distillation à simple effet [48].

➤ Distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED) :

Le plus ancien évaporateur multiples effets a été breveté il y a plus de 80 ans, ce procédé (Figure II.6) 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 60 et 70 °C.

L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1^{er} effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite. Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique

(énergie/m³ d'eau douce produite) [47]. Dans ce procédé, la consommation d'énergie est approximativement celle de la distillation simple divisée par le nombre d'effets [50].

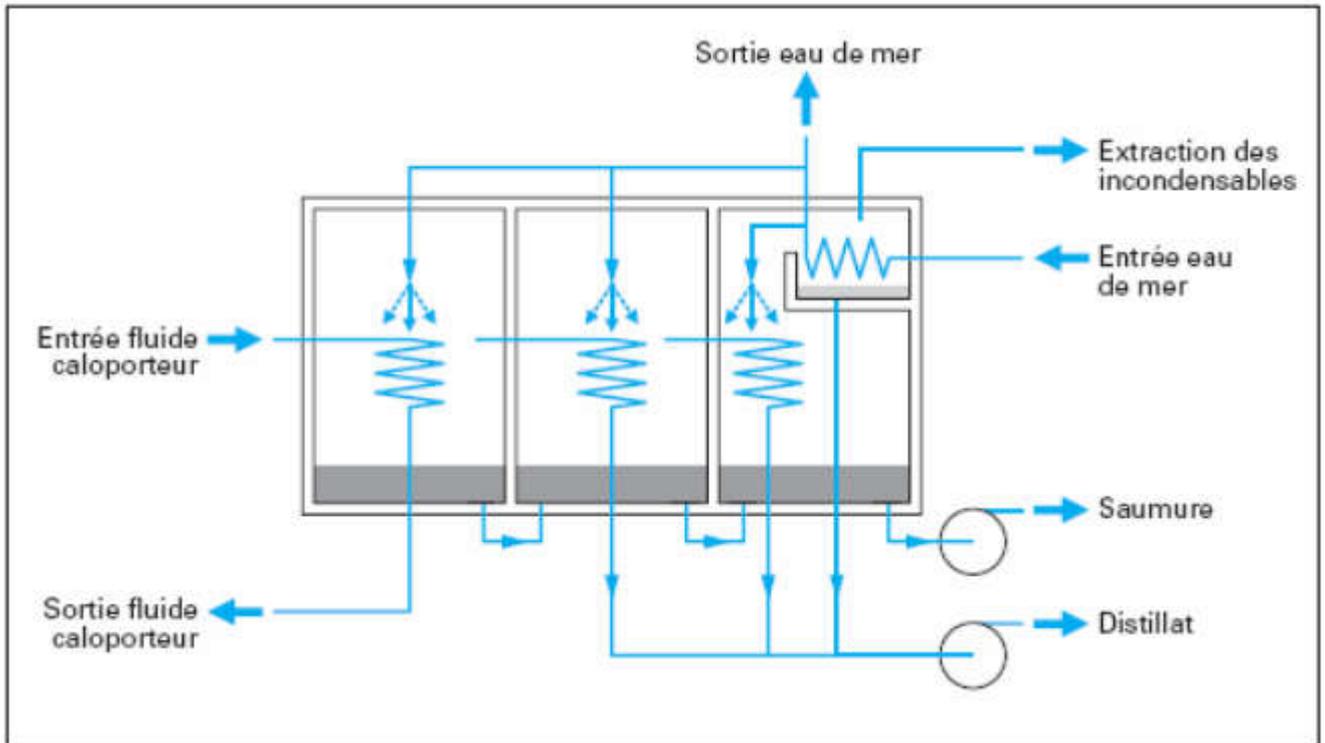


Figure II.6 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) [48].

-Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent :

a. Les évaporateurs multiples effets à tubes horizontaux arrosés :

Sont les appareils les plus utilisés actuellement. [51]. Dans ces derniers, le fluide de chauffage s'écoule dans les tubes horizontaux tandis que l'eau de mer à évaporer est arrosée de façon à s'écouler sous forme de film le plus uniforme possible sur l'extérieur des tubes. La vapeur produite dans la calandre (enceinte cylindrique qui contient le faisceau de tubes) est ensuite envoyée dans les tubes de l'effet suivant où elle cédera son énergie de condensation. Ces évaporateurs présentent un très bon coefficient d'échange grâce à l'écoulement en film de l'eau de mer.

C'est la raison pour laquelle ils remplacent actuellement les plus anciens évaporateurs à faisceau de tubes noyés dans lesquels les tubes étaient plongés dans l'eau de mer.

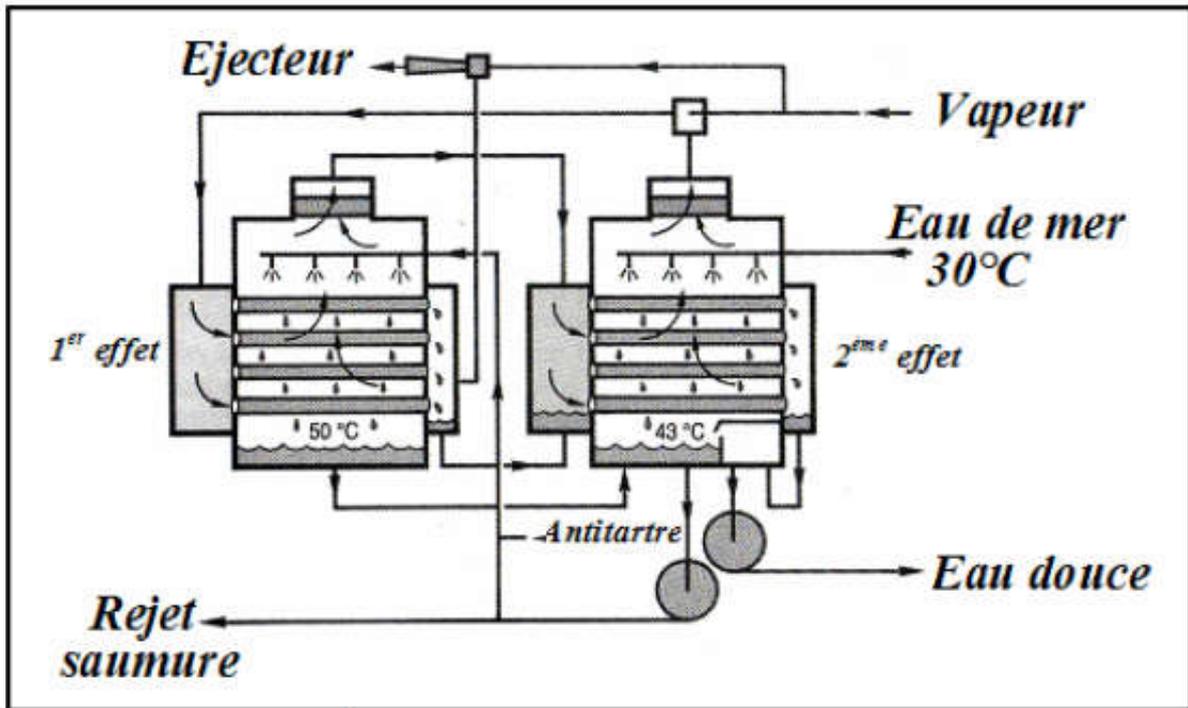


Figure II.7 :Évaporateurs à tubes horizontaux arrosés

Les coefficients d'échange de chaleur se sont révélés très largement supérieurs à tous ceux obtenus par les technologies connues. Depuis lors, ces coefficients n'ont cessé de s'améliorer et sont passés en 30 ans de $1500-2000 \text{ kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ à $5000-6000 \text{ kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ [1].

b. Les évaporateurs multiples effets à plaques :

Sont également en cours de développement. Dans ce type de système, l'eau de mer à évaporer s'écoule alors sous forme de film mince le long d'une mince plaque métallique chauffée par la vapeur provenant de l'effet précédent qui s'écoule le long de l'autre face de la plaque métallique. De nombreuses plaques entre lesquelles s'écoulent alternativement l'eau de mer et la vapeur de chauffage, sont associées en parallèle pour constituer un effet. La vapeur produite est recueillie dans une calandre cylindrique dans laquelle sont placées les plaques. Cette vapeur est ensuite envoyée entre les plaques situées dans une calandre qui constitue le deuxième effet et ainsi de suite.

c. Les évaporateurs multiples effets à longs tubes verticaux

Dans cette configuration, l'eau de mer coule à l'intérieur des tubes tandis que la vapeur est admise à l'extérieur. L'eau de mer est récupérée à la base du faisceau de tubes, puis transférée par pompe à la partie supérieure du faisceau de la cellule suivante.

Cette technologie n'a pas réussi à s'imposer sur le marché du dessalement :

- les installations sont volumineuses ;
- une pompe est nécessaire à chaque étage pour relever l'eau de mer du bas de la colonne (n-1) au haut de la colonne (n) ;
- le système de distribution de la saumure en haut des tubes est relativement complexe.

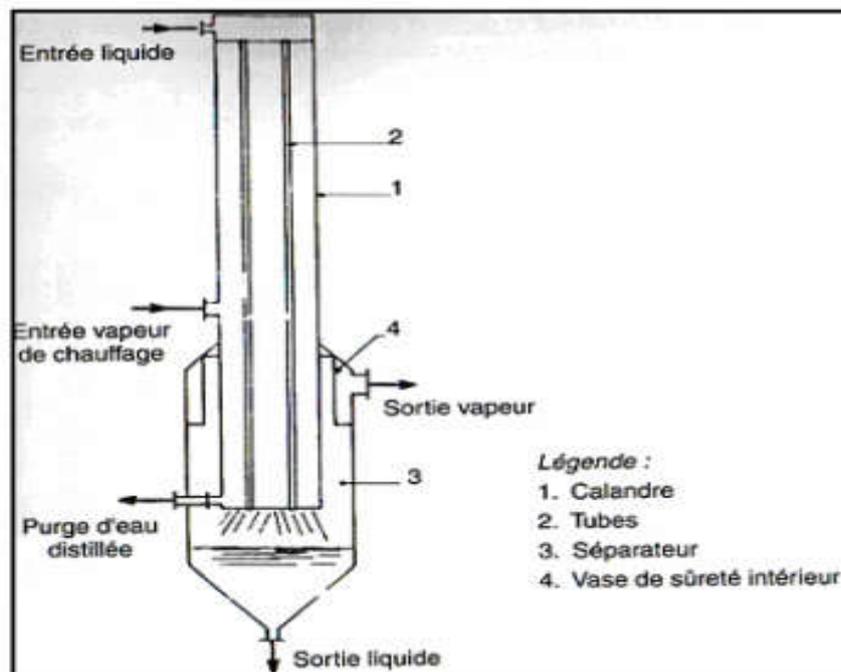


Figure II.8: Principe de L'évaporateur à longs tubes verticaux

1. Détermination du nombre d'effets :

Le choix du nombre d'effets doit faire l'objet d'une optimisation économique entre le coût des investissements et le coût de la consommation d'énergie :

- le coût des investissements augmente avec le nombre d'effets : cette augmentation n'est toutefois pas linéaire, compte tenu d'un effet d'échelle. En fonction du nombre d'effets, l'investissement spécifique d'un effet I_{sp} est donné par la relation.

$$I_{sp} = K \cdot n^{0.75}$$

- Le coût de l'énergie diminue avec le nombre d'effets. Cela étant, le nombre d'effets dépend des paramètres techniques et en particulier :

- De la température de tête choisie pour le premier effet qui peut être comprise entre 55 et 110 °C ;
- De la température de l'eau de mer qui peut varier suivant les sites et les saisons de 15°C à 35°C;

En pratique, la plupart des unités de dessalement à multiples effets ont un nombre d'effets compris entre 4 et 12 [1].

D'autre part, le prix de revient d'un évaporateur dépend de cinq variables essentielles [52]

- Charges fixes: amortissement plus entretien,
- Main d'œuvre;
- Coût de la vapeur de chauffage;
- Coût de l'eau de condensation.
- Coût de l'énergie.

➤ **Distillation par détente successives ou procédé Flash (Multi Stage Flash distillation MSF).**

Ce procédé dit "Flash" (**Figure II.9**) consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°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, puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles 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 détentes successives dans une série d'étages. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière, cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il faut également fournir de l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer [47].

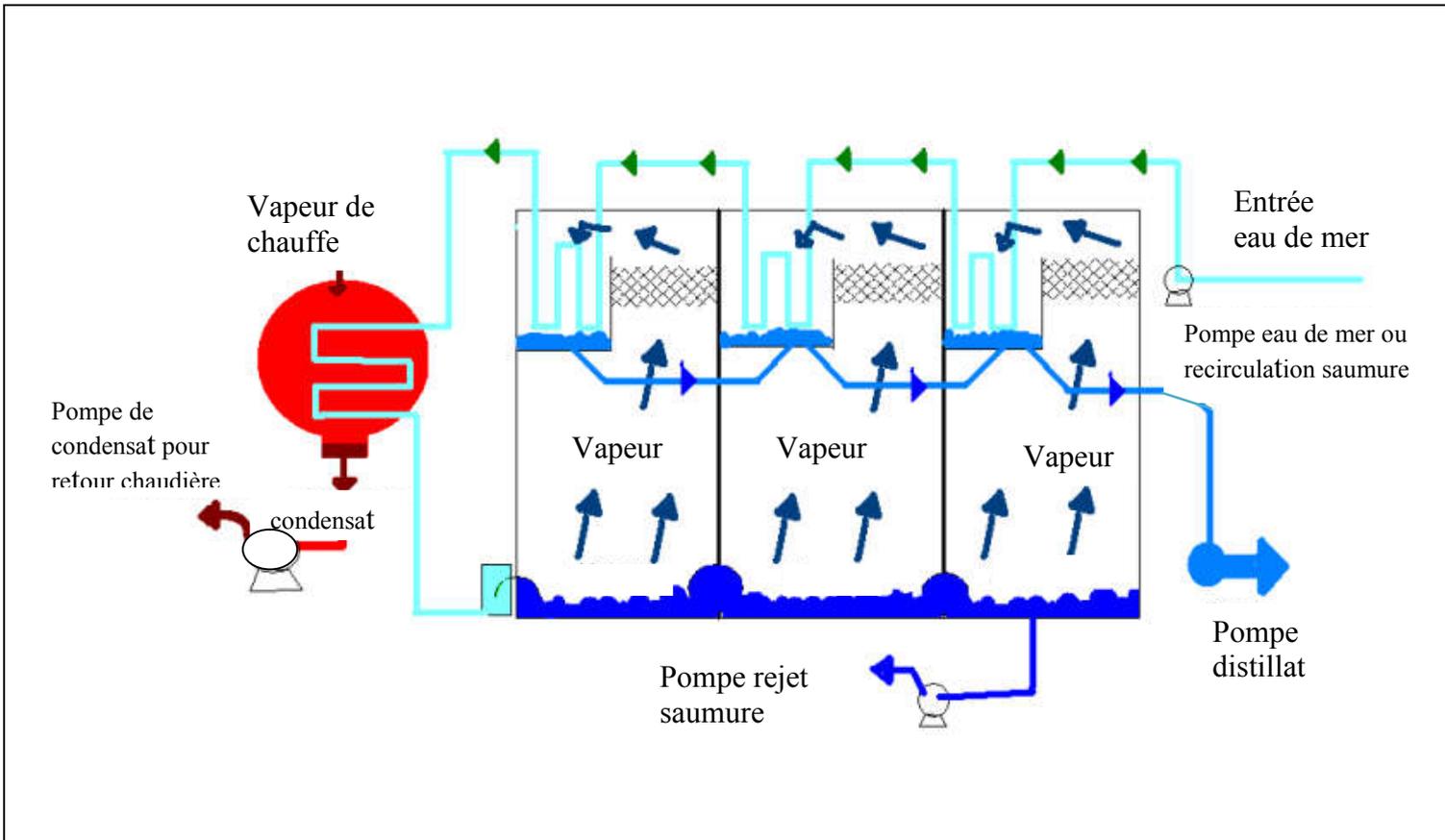


Figure II.9: Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF)

à 3 étages [37].

➤ **Distillation par compression de vapeur :**

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

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

puis envoyée dans le faisceau de chauffe du bouilleur où elle se refroidit à pression constante, puis se condense, en cédant à l'eau de mer la chaleur nécessaire à son ébullition.

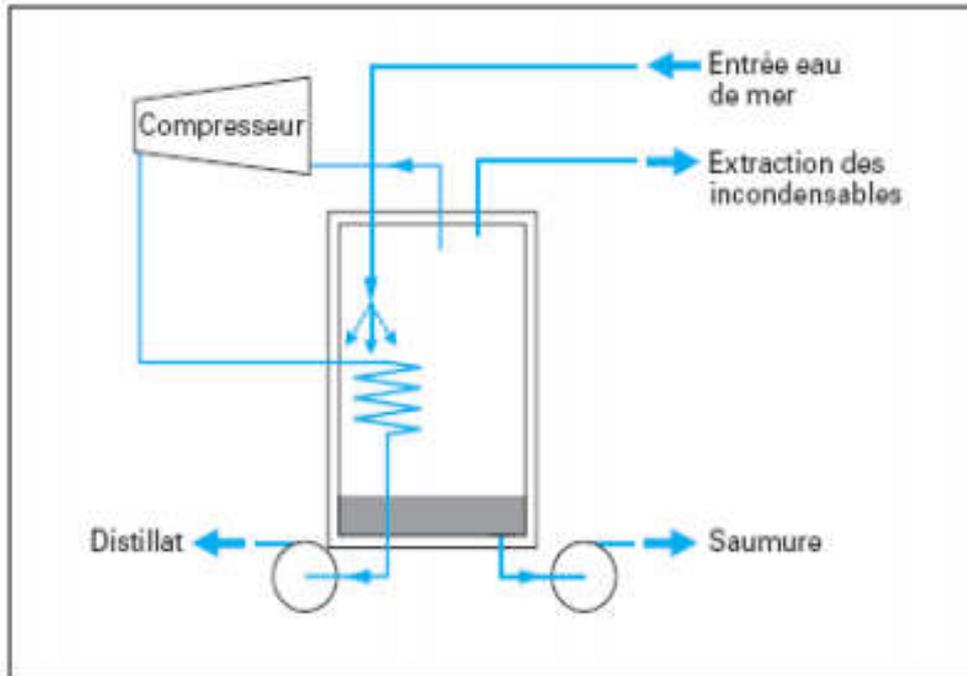


Figure II.10 : Distillation par compression de vapeur

-La compression de vapeur peut être obtenue par deux méthodes : [48].

❖ Evaporateur à Ejectocompression :

Pour comprimer la vapeur, il est possible d'utiliser des éjecteurs dont la vapeur motrice est fournie par une chaudière. Un Ejectocompresseur est un appareil dans lequel la vapeur motrice à haute pression et à haute énergie, provenant de la chaudière, échange de l'énergie avec la vapeur à basse pression, aspirée de l'évaporateur et la comprime à une pression élevée. Il est composé principalement de :

- Une ou plusieurs tuyauteries, dans lesquelles la vapeur motrice reçoit de l'énergie cinétique.
- Un convergent-divergent, où s'effectuent le mélange et la compression des deux vapeurs, motrice et molle.

❖ Evaporateur à compression mécanique :

La totalité des buées d'évaporation est comprimée dans un compresseur, puis utilisée comme fluide de chauffage de l'évaporateur. Un faible apport de vapeur motrice peut être rendu nécessaire en fonctionnement continu pour assurer l'équilibre thermique du système. La quantité de vapeur véhiculée par le compresseur représente la totalité de l'eau évaporée si l'évaporation est à simple effet, environ la moitié de l'eau évaporée si l'évaporateur est un double effet et environ le tiers si l'évaporateur est un triple effet[48].

➤ .Distillation solaire :

A. Distillation solaire directe :

▪ Principe :

Soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une lame d'eau de mer ou d'eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau (douce) qui se condense au contact de la paroi relativement froide du verre. Les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies en bas du vitrage dans une gouttière (Figure II.11).

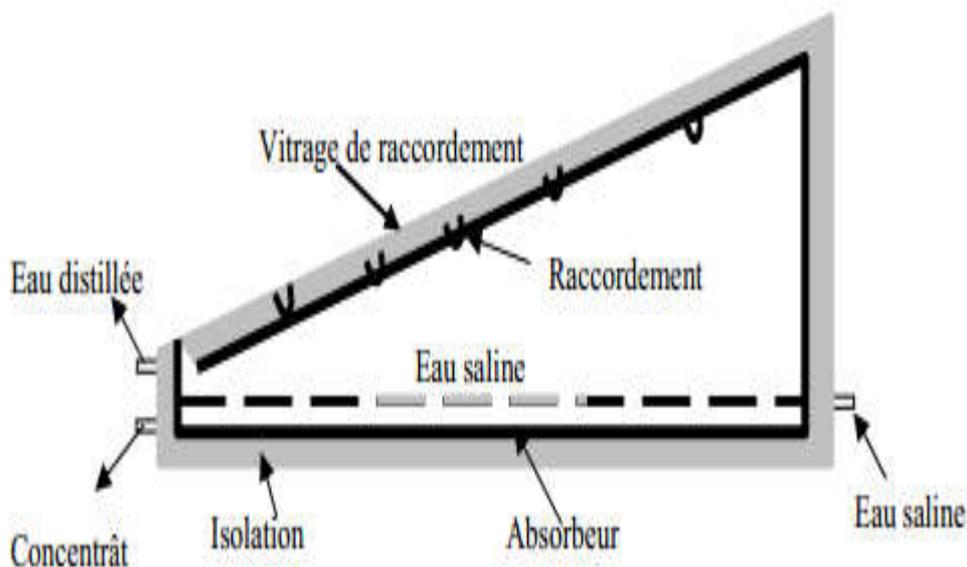


Figure II.11: Principe de distillation solaire directe [48].

B. .Distillation solaire à plusieurs étages :

Contrairement au distillateur simple, Le distillateur solaire d'eau de mer à étages multiples avec récupération de chaleur, se compose de deux unités différentes:

- la source de chaleur (un capteur solaire)
- l'unité de distillation.

Le distillateur est basé sur la construction d'un bâti constitué de plusieurs bassins contenant de l'eau saline, superposés les uns sur les autres et qu'on qualifie des étages (Figure II.12). Seul, le bassin inférieur est alimenté en énergie thermique . Lorsque l'eau de ce bassin est réchauffée, s'évapore et se condense à la surface inférieure du bassin conique situé au-dessus.

Il y a une formation de gouttes d'eau qui s'écoulent vers une gouttière qui les conduit au stockage.

A la condensation de la vapeur d'eau, l'énergie de conversion de phase, appelée aussi l'enthalpie d'évaporation, est libérée. Cette énergie réchauffe l'eau contenue dans l'étage supérieur qui s'évapore à son tour et se condense à la surface inférieure de l'étage suivant et ainsi de suite...

De cette manière, l'énergie, prévue pour réchauffer l'eau du bassin inférieur, est récupérée, du moins en grande partie, pour être plusieurs fois utilisée. Ce processus de récupération de chaleur a un effet multiplicateur sur la production d'eau potable.

Le remplissage du distillateur s'effectue à partir du dernier étage: le système est alimenté en eau saline à un débit deux fois élevé que celui de l'eau évaporée.

Cette eau, introduite continuellement à travers les tuyaux de débordement de chaque bassin, sert à :

- Compenser la quantité d'eau évaporée;
- Eviter une accumulation des sels dans les bassins;
- Aider à conserver les gradients de température entre les étages.

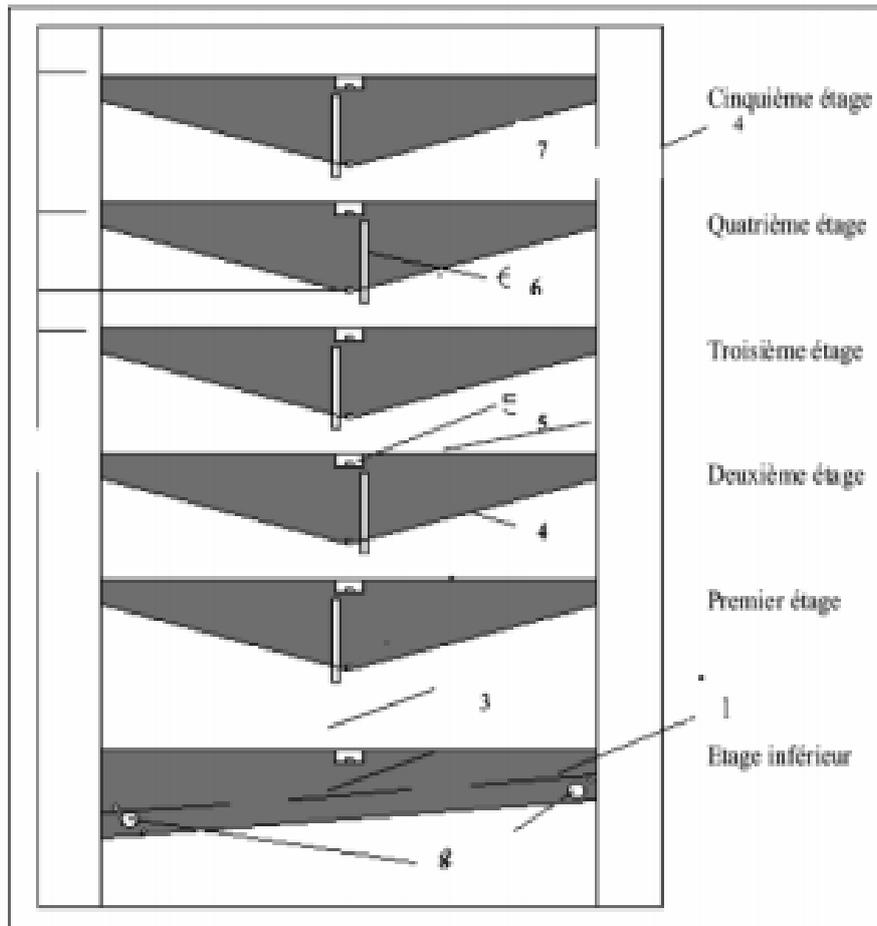


Figure II.12: Distillation solaire à plusieurs étages [48].

- **Le post-traitement** : de l'eau douce, à la sortie, est destiné à sa potabilité . Il s'agit d'une aération et une légère correction de pH par ajout de carbonate de calcium.

II.5.Considérations techniques et économiques des différents Procédés de dessalement :

Le développement du dessalement de l'eau de mer durant ces dernières années, a montré que cette technique constitue une source supplémentaire d'eau. Le coût du m^3 d'eau dessalée constitue en général le premier critère d'orientation du choix d'un procédé de dessalement. La diversité de ces paramètres et leur variation temporelle et spatiale font que le coût du mètre cube (m^3) d'eau dessalée varie d'une région à une autre et d'une unité à une autre. Il faut signaler que la qualité des eaux méditerranéennes (salinité, turbidité et température) est plus favorable au

dessalement que les eaux du golf persique. Par conséquent, le coût du m³ d'eau produit dans le bassin méditerranéen est plus bas. Ce coût de production d'eau douce dépend également de la capacité de production de l'unité : plus l'unité est grande et plus le coût du m³ d'eau dessalée est faible.

Les procédés les plus utilisés sont le procédé de distillation Flash et le procédé d'osmose inverse qui représente à eux seul près de 88% de la capacité totale de dessalement installé dans le monde [1].

Compte tenu des problèmes énergiques et économiques, le choix d'un procédé est en fonction de plusieurs paramètres :

- Composition physico-chimique de l'eau à traiter.
- Qualité exigée de l'eau produite.
- Coût de l'énergie.
- Impact sur l'environnement
- Conditions spécifiques du site d'implantation, conception de projet, Durée de vie.
- Capacité de production et évaluation financière (équipements, produits chimiques, main d'œuvre, maintenance ...).

Le tableau (II.4) permet de comparer les divers procédés de dessalement à partir de leurs caractéristiques [48].[1].

La comparaison des avantages et des inconvénients de chaque procédé permet de situer leur domaine d'application. Les procédés de distillation sont très bien adaptés aux grosses capacités de production bien que la capacité maximum des usines par techniques membranaires (principalement osmose inverse) augmente sans cesse.

Les deux gammes de dessalement ont fini par se recouvrir partiellement. En règle générale un peu plus coûteux que les procédés membranaires, les procédés de distillation produisent une eau d'une très grande pureté, indépendante de la qualité et de la salinité de l'eau initiale. Les procédés membranaires sont beaucoup plus intéressants dans le cas d'eau peu salée.

Tableau II.4 : Comparaison entre les principales technologies de dessalement

Procédés de dessalement	Distillation par détentes successive	Distillation à multiple effets MED	Distillation Par compression de vapeur	Osmose Inverse	Electrodialyse
Consommation thermique (Kcal /m ³)	6900 à 13800	2600 à 6000	-	-	-
Consommation électrique (Kcal /m ³)	4 à 5	2 à 3	12 à 17 Si 1 effet ,7 à 9 Si 2 effets	5 à 10	3
Prix de revient (\$/m ³)	1,2	1	-	0,95 à 1,15	0,8 à 0,9
Capacité (m ³ /j)	50.000	10.000 à 25.000	<5000	Technologie modulaire qui s'adapte à toutes les capacités	1 à plus de 20.000
Salinité eau produite	50 à 100mg/L	1 à 50 mg/l	1 à 50 mg/l	De l'ordre de 500mg/l	300à400 mg/l
Température de fonctionnement	80 à 120 °C	60 à 70 °C	Température de l'eau de mer	Température de l'eau de mer 25 °C	Température de l'eau de mer
Prétraitement					
Chloration	Requise	Requise	Requise (peut être supprimé si l'alimentation	Requise	Requise

			par forage)		
Filtration	Tamisage à 0,5 mm	Tamisage à 0,5 mm	Tamisage à 0,5 mm	Filtration fine ou mieux micro Filtration sur membrane	Filtration fine ou mieux micro Filtration sur membrane
Antitartre	Injection d'un inhibiteur+ acidification+ Dégazage de CO ₂	Injection d'un inhibiteur	Injection d'un inhibiteur	Injection d'un inhibiteur+ acidification éventuelle	Injection d'un inhibiteur+ acidification éventuelle
Décoloration	Non Requisite	Non Requisite	Non Requisite	Requise. Objectif : Chlore <0,1mg/l	Non Requisite

II.6. Impacts sur l'environnement :

Le dessalement de l'eau peut remédier à la pénurie d'eau et pourrait donc contribuer à apaiser son manque, qui fait obstacle à l'amélioration des niveaux de vie et au développement des secteurs qui en dépendent. Mais cette technologie n'est pas neutre en termes d'impacts environnementaux, comme les problèmes de dégradation paysagère, bruits, émissions de gaz (CO₂, NO_x), ou encore les rejets associés comme les eaux provenant du nettoyage (filtres de sable, membranes et dépôts) [53].

Sachant que les sols ont un besoin immense de carbone, d'azote, de potassium et de phosphore comme éléments essentiels à la vie des plantes, ensuite viennent les différents sels tels que le sulfate de calcium, de magnésium plus des nitrates et des ammoniums. La présence de sel en particulier le chlorure de sodium, a un effet négatif sur la végétation, de plus il existe des seuils à ne pas dépasser afin de ne pas endommager les différentes cultures.

L'évaluation de l'impact environnemental doit passer par une meilleure gestion des rejets, action sur la faune et la flore des saumures, diffusion, bio surveillance des populations dans leur environnement, contrôle drastique des rejets et traitement des rejets de prétraitement [35].

Conclusion

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres est un enjeu important pour l'avenir des régions arides mais n'apporte pas une réponse définitive au problème de l'eau, d'autant que le coût de dessalement reste plus au moins élevé.

Les procédés de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres étant de plus en plus nombreux, compte tenu de la quantité d'eau dessalée de l'environnement et des considérations techniques, seulement les procédés thermiques par distillation et le procédé membranaire par osmose inverse sont utilisés et se développent d'avantage. Cependant, le coût énergétique reste élevé il faudra donc orienter le dessalement par l'utilisation des énergies renouvelables telle que le dessalement solaire, à multiple effet.

Le procédé par distillation est adapté aux eaux chaudes, très salées et de caractéristiques fluctuantes. Deux techniques sont utilisées :

- La distillation par détente successive : utilisée dans les grandes usines;
- La distillation à effet multiple, ou à compression de vapeur.

L'osmose inverse est une technique plus récente. Elle met en œuvre des membranes semi-perméables industrielles qui sont apparues sur le marché industriel dans les années 1960. Apportant des économies d'énergie, l'osmose inverse s'est peu à peu imposée vis-à-vis d'utilisateurs réticents devant cette technique si différente de la distillation. Entre temps, les fabricants de membranes ont perfectionné leurs produits, mis au point des membranes capables de résister aux pressions nécessaires au dessalement de l'eau de mer, si bien qu'aujourd'hui l'osmose inverse est le procédé concurrent de la distillation. Le pourcentage d'eau osmosée augmente lentement et régulièrement, car plus la salinité de l'eau de mer est basse, plus la consommation d'énergie diminue.

Récemment, deux alternatives prometteuses ont fait leur apparition. La première est une innovation technique qui permettrait d'obtenir une eau de très bonne qualité à des coûts très inférieurs aux techniques classiques : c'est la distillation membranaire.

L'autre est une substitution des centrales thermiques classiques par des centrales nucléaires pour fournir la chaleur aux usines de dessalement.

Du cout, l'apport sera bénéfique sur les deux plans : pas de rejet de gaz à effet de serre et diminution du prix global de production de l'eau.

Partie II

Etude expérimentale

CHAPITRE III

Description de la station de dessalement d'ALZINC

III.1. Introduction

La société Algérienne de zinc par abréviation "ALZINC ", dotée d'un capital de 855 .000.000 DA et tournant avec un effectif de 450 ouvriers est une société par action (Spa) détenus à 100% par METANOF ALZINC est chargée conformément à ses statuts de la production et de la commercialisation du zinc et dérivés du zinc.

Comme toute entreprise, ALZINC a rencontré beaucoup de problèmes depuis son démarrage notamment des difficultés d'approvisionnement en matière première, en produits chimiques et en pièces de rechanges .Mais le grand problème qui a influencé l'activité de l'entreprise et qui a duré longtemps, était le problème d'alimentation en eau brute.

En effet l'usine était conçue pour une consommation d'environ 100 l /s. Pour cela, une conduite a été tirée depuis une zone de forage située à Maghnia jusqu'à l'unité.

Mais les perturbations d'alimentation et la persistance du problèmes, a cause d'une diminution du niveau de l'eau de la nappe phréatique de Maghnia et aussi des pannes mécaniques et électriques au niveau de la station de pompage, a poussé les responsables d'investir dans une station de dessalement de l'eau de mer pour acquérir son autonomie et pour répondre à leurs besoins en eau.

Parmi toutes les technologies de dessalement des eaux, le choix s'est arrêté sur le fournisseur français SIDEM et sur la technologie de dessalement par Distillation à Multiples Effets et Ejectocompression.

III.2. Situation géographique de l'entreprise "ALZINC" :

Sur une superficie de 14 hectares, l'entreprise est située à Ghazaouet dans l'ouest de l'Algérie juste au bord de la mer. Cette situation a été choisie tenant compte des conditions :

- Faciliter les opérations d'importations et d'exportations par voie maritime et par voie ferrée.
- La proximité de mer et les caractéristiques de ses eaux pour la déminéralisation.

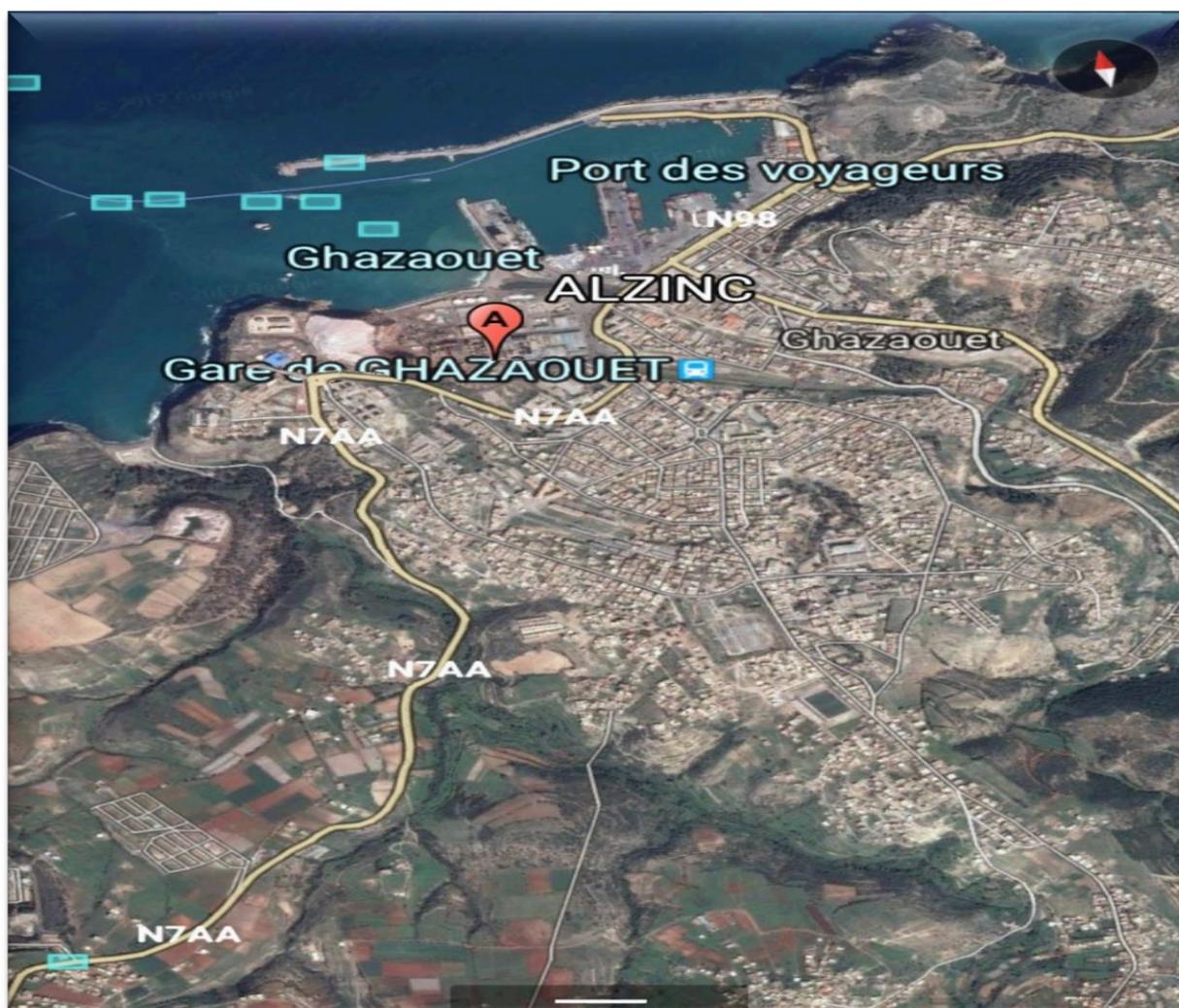


Figure III.13: Situation géographique de l'entreprise "ALZINC "

III .3.Principe de fonctionnement de l'unité de dessalement :

Le procédé de base utilisé par l'unité de dessalement est la distillation sous vide d'eau de mer. Portée à ébullition ,une partie de l'eau de mer se transforme en vapeur d'eau qui une fois condensée fournit de l'eau distillée.

En diminuant la pression de l'enceinte où l'on chauffe l'eau de mer, celle-ci bout à une température inférieure à 100°C qui dépend du vide qui y est maintenu. L'unité distille l'eau de mer entre 40° et 60°C.

L'unité est principalement constituée d'un évaporateur à multiples effets composé de quatre cellules et dans chaque cellule l'eau est évaporée à une température différente. Le principe consiste à utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans la première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe de la seconde chambre à pression et une température plus faibles, et ainsi de suite.

L'unité est également équipée d'un éjectocompresseur alimenté en vapeur par la chaudière (vapeur motrice), aspire la vapeur produite par la cellule la plus froide à une température T et la comprime de telle sorte que le mélange de vapeur à sa sortie soit à une température $T + \Delta T$. Ce mélange peut faire fonctionner la cellule la plus chaude. Le rendement de l'appareil est amélioré car il demande moins de vapeur provenant de la chaudière.

Le procédé à multiple effet avec thermo compression présente de nombreux avantages dont :

- température de fonctionnement basse (en dessous de 65°C) ce qui limite l'entartrage et la corrosion.
- Faible consommation d'énergie.
- Production d'eau d'une grande pureté
- Tolérance d'une eau très salée et chaude.
- Conception compacte permettant un montage sur charpente métallique et diminuant les travaux de montage.
- Absence de traitement sophistiqué de l'eau de mer .
- Fonctionnement très souple .

III .4.Description de l'installation

L'installation du dessalement d'eau de mer par distillation à multiples effets et éjectocompression (Figure III.14) se compose principalement de :

- Une alimentation en eau de mer ;
- 04 Chambres d'évaporation;
- Faisceaux de chauffe;

- Un éjectocompresseur;
- Condenseurs;
- Un Système de rejet des saumures;
- Stockage de l'eau distillée.



Figure III.14: Station de dessalement

III .4.1.Evaporateur :

a. L'enveloppe de l'évaporateur :

C'est un bloc formé de cellules soudées entre elles. La partie en contact avec l'eau est en métaux résistant à la corrosion, principalement de l'acier inox.

Les parois sont d'une épaisseur suffisante pour supporter un vide total et les renforts

permettent d'éviter tout cintrage des plaques sous vide.

L'évaporateur peut être complètement rempli d'eau sans dommage. Il est monté sur une charpente métallique sur laquelle sont installés les équipements nécessaires à l'opération (groupe motopompe, bacs de traitement chimique,...) .

L'évaporateur est de forme parallélépipédique et contient 04 cellules .

b .Les cellules

Chaque cellule contient principalement un faisceau de chauffe (**Figure III.15**) .Ce faisceau tubulaire est constitué de tubes circulaires droits qui traversent des plaques dites intermédiaires et sont dudgeonnées à leurs extrémités sur des plaques tubulaires.

D'un côté, la plaque tubulaire donne sur une boîte vapeur principale fermée par une porte boulonnée . De l'autre côté , la plaque tubulaire donne sur un corridor . Le corridor est fermé entre chaque cellule par une plaque.

Les plaques de séparation sont munies d'une porte pour permettre de passer de cellule en cellule lors des inspection .

Le faisceau tubulaire est à deux parcours côté vapeur.

La vapeur, provenant de l'Ejectocompression (pour la cellule 1) ou de l'évaporation d'eau d'appointe ruisselant sur les tubes de la cellule précédente, entre dans les tubes du bas côté corridor . A la sortie de ces tubes, la vapeur qui n'est pas encore condensée atteint la boîte vapeur principale et entre dans les tubes du haut (2^{ème} parcours).

Les tubes du haut du deuxième parcours sont fermés par une deuxième boîte vapeur côté corridor . La vapeur se condense à l'intérieur des tubes et par gravité se rassemble au fond de la boîte à vapeur principale. L'eau distillée ainsi produite rejoint la boîte suivante par un tube en U.

Au-dessus du faisceau, trois rampes munies de buses de pulvérisation assurent l'arrosage (4 rampes pour la cellule 4).

L'eau d'appoint ruisselle sur les tubes, tombe au fond de la cellule (sous le nom de saumure) et partiellement s'évapore pour former la vapeur qui va chauffer la cellule suivante. La saumure rejoint la cellule suivante par un tube en U (jusqu'à la cellule 4).

Des séparateurs de vapeur sont montés entre les faisceaux. Ces séparateurs sont des matelas de fils en acier inoxydable. Ils filtrent la vapeur de tout entraînement de gouttelettes d'eau de mer.

La cellule 4 est un peu différente, elle contient un faisceau et un système d'arrosage comme les cellules précédentes. Elle comprend de plus un autre compartiment (compartiment distillat). Le compartiment distillat est traversé par un autre faisceau tubulaire : le condenseur distillateur (Figure III.16).

Dans le condenseur distillateur, l'eau de mer provenant de la station de pompage circule à l'intérieur des tubes. Le compartiment distillat est connecté par le haut à l'aspiration de l'éjectocompresseur.

La vapeur produite par la cellule 4 passe par le compartiment distillat en traversant des séparateurs de vapeur. Une partie de cette vapeur est condensée sur les tubes du condenseur distillateur. L'eau distillée ainsi produite tombe au fond du compartiment. L'eau distillée collectée dans la boîte de la cellule 4 rejoint le compartiment distillat par un tube en U. L'ensemble de la production ainsi réussi est aspiré par la pompe distillat .

L'autre partie de la vapeur produite par la cellule 4 est aspirée par l'éjectocompresseur.



Figure III.15: 3^{ème} cellule (rampe d'arrosage, faisceau de chauffe).



Figure III.16: 4^{ème} cellule (séparateur, faisceau tubulaire du condenseur distillateur).

III .4..2. Éjectocompresseur

Un éjectocompresseur est monté dans l'évaporateur (dans la partie haute du corridor). Il est alimenté en vapeur motrice par une tuyauterie le reliant à la chaudière.

Il aspire la vapeur de la cellule 4 et refoule de la vapeur dans la cellule 1. Il est constitué essentiellement d'un jeu de tuyères et d'un tube convergent-divergent.



Figure III.17:Éjectocompresseur

III .4.3.Système d'extraction d'air

L'unité est mise sous vide au démarrage avec un éjecteur de démarrage à vapeur. Cet éjecteur est équipé :

- D'une vanne isolement vapeur,

- D'une vanne d'aspiration d'air
- D'un silencieux à son refoulement.

L'unité est maintenue sous vide avec un éjecteur d'entretien à vapeur. Cet éjecteur est équipé :

- D'une vanne d'isolement vapeur pneumatique,
- D'une vanne d'aspiration d'air.

L'éjecteur aspire les incondensables dans le condenseur de buées et refoule dans condenseur d'éjecteur.

Le condenseur de buées mis sous vide par l'éjecteur d'entretien (ou l'éjecteur de démarrage) aspire un mélange de gaz incondensable et de vapeur du faisceau de la cellule 1, il condense la vapeur. Les condensats produits rejoignent la boîte vapeur de faisceau de la cellule 1.

Le condenseur d'éjecteur reçoit le mélange gaz incondensable/vapeur provenant de l'éjecteur d'entretien. Il condense la vapeur. Les condensats produits rejoignent la boîte vapeur de faisceau de la cellule 1 en passant par le purgeur. Les gaz incondensables sont rejetés à l'atmosphère.

Les deux condenseurs sont principalement constitués de :

- Deux boîtes à eau (entrée, sortie),
- Deux plaques tubulaires,
- Des tubes d'échanges en titane parcourus par l'eau de mer (d'appoint), allant arroser la cellule1
- Une virole .

III .4.5.Circuit eau de mer

a. Station de pompage

La station de pompage est principalement équipée de deux pompes centrifuges pompant, avec un débit maximal de 580 m³/h, dans un bassin. Au refoulement chaque pompe a un clapet non retour et une vanne d'isolement.

Les deux pompes refoulent dans un collecteur qui alimente l'unité de dessalement . Le collecteur est équipé d'une ligne d'évent muni d'une vanne pneumatique. Un circuit d'eau de service alimente la station. L'eau de service lubrifie les pompes eau de mer. Il peut faire fonctionner un hydro éjecteur qui assure l'amorçage et remplit, par aspiration en faisant le vide, la pompe qui doit être démarrée.

Lorsqu'une pompe est en service , une lampe verte s'allume.



Figure III.18:Pompe d'eau de mer au niveau de dessalement

b. Circuit d'unité :

Une tuyauterie munie d'une vanne d'isolement relie le collecteur eau de mer à l'entrée du condenseur distillateur. A la sortie de ce dernier , la ligne eau de mer se divise en deux :

- Une ligne rejet eau de mer équipée d'une vanne de contrôle pneumatique.
- Une ligne dite d'appoint eau de mer comprenant une vanne de contrôle de débit ,un

filtre ,des lignes d'appoint vers chaque cellule (la ligne qui alimente la cellule 1 refroidit les condenseurs d'éjecteur et de buées).Les lignes d'appoint alimentent des buses de pulvérisation qui arrosent les faisceaux de chaque cellule.

III 4.6.Circuit saumure

Le circuit d'extraction saumure comprend principalement une pompe centrifuge saumure de débit maximal 220 m³/h, et un débit nominal de 166,5 m³/h, un circuit aspiration avec une vanne d'isolement à l'aspiration de la cellule 4,une vanne d'isolement pour s'interconnecter à l'aspiration du bac acide, une vanne d'isolement pour s'interconnecter sur le réseau eau service rinçage et un circuit de refoulement avec un clapet non retour, une vanne de contrôle de niveau, une vanne d'isolement rejet et une vanne d'isolement pour s'interconnecter avec le circuit d'appoint.



Figure III.19:Pompe centrifuge d'eau saumure

III .4.7.Circuit eau distillée

Le circuit comprend principalement une pompe centrifuge eau distillée de débit maximal 105 m³/h , et un débit nominal de 94 m³/h ,une tuyauterie aspiration et une tuyauterie refoulement incluant une vanne de contrôle de niveau, un circuit rejet avec une vanne pneumatique de rejet, un circuit de production avec une vanne pneumatique de production, une vanne d'isolement de production, un piquage et vanne d'isolement d'interconnexion avec le circuit d'eau de service et un piquage et vanne d'isolement pour alimenter :

- Le bac antitartre ;
- Le bac antimousse ;
- La bâche alimentaire chaudière .



Figure III.20: Pompe centrifuge d'eau distillée

III .4.8.Circuit vapeur

Le circuit comprend principalement une chaudière caractérisée par:

- un rendement de 88% ;
- une pression de service de 18 bars ;
- production de vapeur saturée 11,6 m³/h ;
- une température de l'eau alimentaire 45°C.

Cette chaudière est équipée d'un brûleur à gaz naturel, deux pompes alimentaires, un tube foyer, un faisceau tubulaire, une boîte de retour du gaz, une cheminée (20m de hauteur et 900mm de diamètre), armoire électrique et une bêche alimentaire.

Venant de cette chaudière, une ligne vapeur alimente l'unité. Cette tuyauterie est équipée d'un purgeur automatique.

La chaudière alimente ainsi l'éjecteur de démarrage avec la vanne d'isolement, l'éjecteur d'entretien avec la vanne d'isolement pneumatique et l'éjectocompresseur avec la vanne pneumatique à commande à distance.

III .4.9. Prétraitement de l'eau d'appoint :

a. Filtration de l'eau d'appoint :

Pour la protection des orifices des buées d'arrosage une filtration simple à panier est prévue **(Figure III.21)**



Figure III.21:Filtre a panier d'eau de mer

b .Traitement antitartre :

Pour l'injection continue du produit antitartre, il est prévu un groupe de dosage comprenant :

- Un bac de dosage d'une capacité de 150 litres équipé de :
 - un trop plein;
 - une vanne de vidange;
 - un contacteur de niveau bas;
 - un agitateur.
- Une pompe doseuse d'un débit maximum de 8,3 l/h ;
- Deux filtres isolables à l'aspiration de la pompe ;
- Une ligne d'injection avec :
 - une soupape de sûreté et retour au bac en cas de surpression ;
 - une vanne d'isolement ;
 - un clapet taré.

c. Traitement antimousse :

Pour l'injection continue du produit antimousse , il est prévu un groupe de dosage comprenant :

- Un bac de dosage d'une capacité de 60 litres équipé de :
 - une vanne de vidange;
 - un contacteur de niveau bas;
 - un agitateur ;
- Une pompe doseuse d'un débit maximum de 2,8 l/h;
- Une ligne d'injection avec un clapet taré.

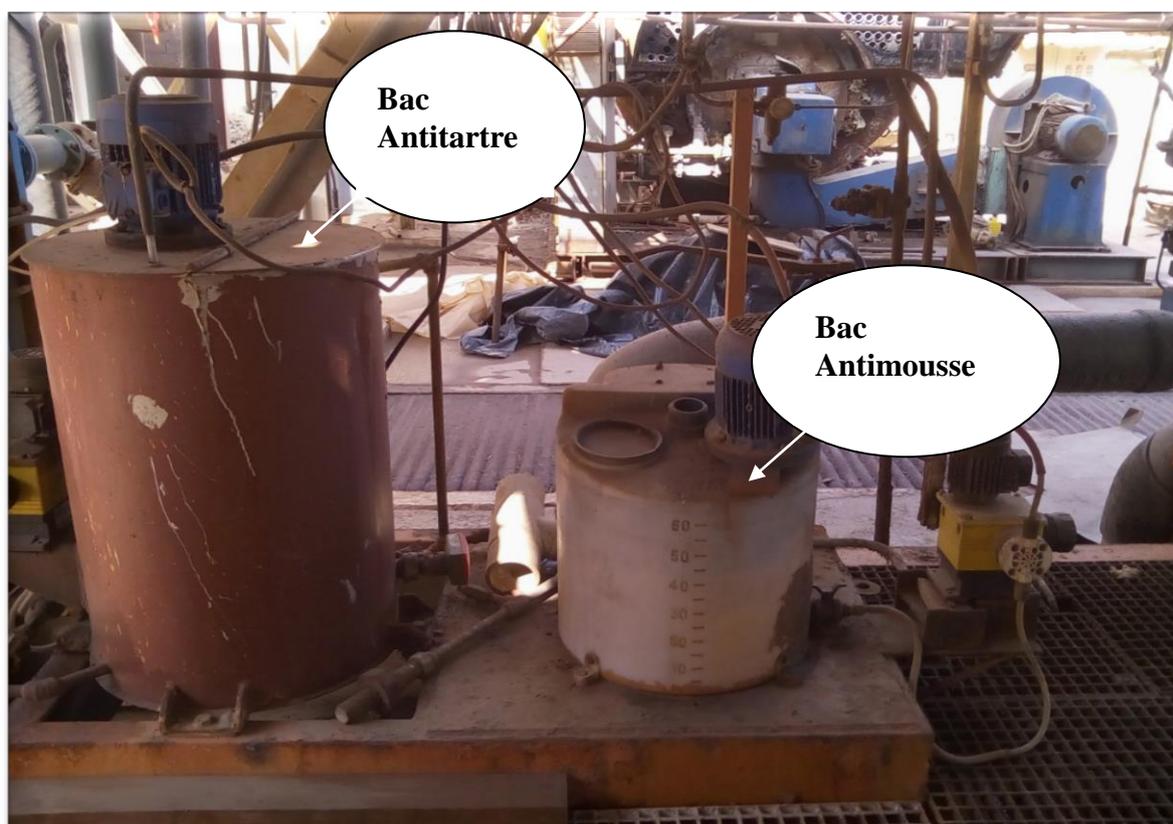


Figure III.22:Bacs de prétraitement de l'eau de mer (antitartre et antimousse)

III .4.10.Système de contrôle

La station de dessalement est commandée avec un système de contrôle comprenant :

- Des armoires électriques.
- Des commandes des pompes et des moteurs électriques.
- Une Vanne pneumatique.
- Un système d'alarme pour signaler les défauts de fonctionnement.

Une chaîne de régulation pour contrôler le niveau de saumure, le niveau d'eau distillée dans la cellule 4, le débit d'appoint et la température eau de mer sortie condenseur-distillateur.



Figure III.23: Armoire électrique + le système d'alarme pour signaler les défauts de fonctionnement.

III .5.Description du procès de dessalement

a. Schéma de principe

L'eau salée est introduite dans le condenseur distillateur (Figure III.24) chargé principalement de l'évacuation des calories apportées par la vapeur qui alimente l'unité (provenant de la chaudière (Figure III.25).

A la sortie du condenseur, une certaine quantité de cette eau est rejetée .L'autre partie dénommée "eau d'appoint" est alors pulvérisée dans les 4 cellules au-dessus des faisceaux de chauffe F 1 , F 2, F 3 et F4 (Figure III.28).

Dans chaque cellule une partie de l'eau de mer d'appoint est évaporée. Le reste que nous appellerons maintenant saumure (eau de mer concentrée) est recueilli au fond de chaque cellule puis transite de cellule en cellule grâce à des tubes en U jusqu'à la cellule 4. A ce niveau, la saumure est aspirée par une pompe et rejetée à l'égout.

Le mélange de vapeur qui sort de l'éjectocompresseur se condense à l'intérieur du faisceau tubulaire F1 de la cellule 1. L'eau distillée ainsi produite se rassemble dans la boîte à vapeur de ce faisceau, puis transite dans la boîte à vapeur de la cellule suivante par un tube en U. En se condensant à l'intérieur du faisceau la vapeur qui sort de l'éjectocompresseur réchauffe l'eau de mer qui arrose les tubes puis évapore une partie de cette eau, la vapeur ainsi produite à un débit à peu près égal au débit vapeur sortant de l'éjectocompresseur .

Cette vapeur produite dans la cellule 1 entre dans le faisceau F2 de la cellule 2 après avoir traversé des séparateurs qui filtrent les gouttelettes d'eau. Elle s'y condense pour :

- ✓ Se transformer en eau distillée qui se rassemble dans la boîte à vapeur du faisceau F2 et rejoindre par un tube en U la boîte à vapeur de la cellule

suivante.

- ✓ Evaporer à l'extérieur des tubes une partie de l'eau d'appoint qui les arrose. Le débit de cette vapeur est à peu près le même que le débit produit en cellule 1.

Et ainsi de suite la vapeur produite dans une cellule se condense dans le faisceau tubulaire de la suivante. L'eau distillée produite dans un faisceau rejoint la boîte à vapeur du faisceau de la cellule suivante par un tube en U. Jusqu'à ce que la cellule 4 soit atteinte, la vapeur produite dans cette cellule 4 est partagée en deux :

- ✓ Une partie est condensée par le condenseur distillateur. L'eau distillée ainsi produite se rassemble dans le compartiment distillat du fond de la cellule 4.
- ✓ L'autre partie est aspirée par l'éjectocompresseur .

Le compartiment distillat de la cellule 4 rassemble l'eau distillée condensée par le condenseur distillateur ainsi que l'eau distillée produite par les cellules grâce à un tube en U.

Cette eau est aspirée par une pompe et envoyée vers un bac de stockage (Figure III.26) et la bâche alimentaire de la chaudière.

L'éjectocompresseur est alimenté en vapeur basse pression par la chaudière. Il aspire une partie de la vapeur produite en cellule 4. Le mélange de ces deux vapeurs entre dans le faisceau F1 de la cellule 1.

Pendant la période de démarrage, un éjecteur de démarrage à vapeur aspire l'air qui est à l'intérieur de l'évaporateur pour le mettre sous vide. Ensuite, le vide est maintenu à l'aide d'un éjecteur d'entretien.

L'eau de mer d'appoint introduite dans chaque cellule contient des gaz incondensables qui vont se dégazer avec la vapeur d'eau. Ces gaz incondensables se regroupent au point froid de chaque faisceau.

A cet endroit, ils rejoignent la vapeur produite dans la cellule suivante (des orifices sont prévus à cet effet).

De suite en suite les gaz incondensables passent de cellule en cellule, puis sont aspirés par l'éjectocompresseur (mélangés à la vapeur) pour être regroupés au point froid du faisceau F1.

A cet endroit, un mélange gaz incondensables/vapeur d'eau est aspiré vers le condenseur de buées (Figure III.27) . Le condenseur de buées est refroidi par l'eau de mer d'appoint et condense la vapeur d'eau aspirée. Les gaz incondensables sont aspirés par l'éjecteur d'entretien. Cet éjecteur fonctionne avec de la vapeur. Au refoulement de l'éjecteur, le mélange gaz incondensable/vapeur est envoyé vers un condenseur d'éjecteur refroidi avec de l'eau de mer d'appoint. La vapeur s'y condense et les incondensables sont rejetés dans l'atmosphère. Les condensas du condenseur de buées et du condenseur d'éjecteur sont renvoyés vers l'eau distillée produite par le faisceau de la cellule 1(F1).

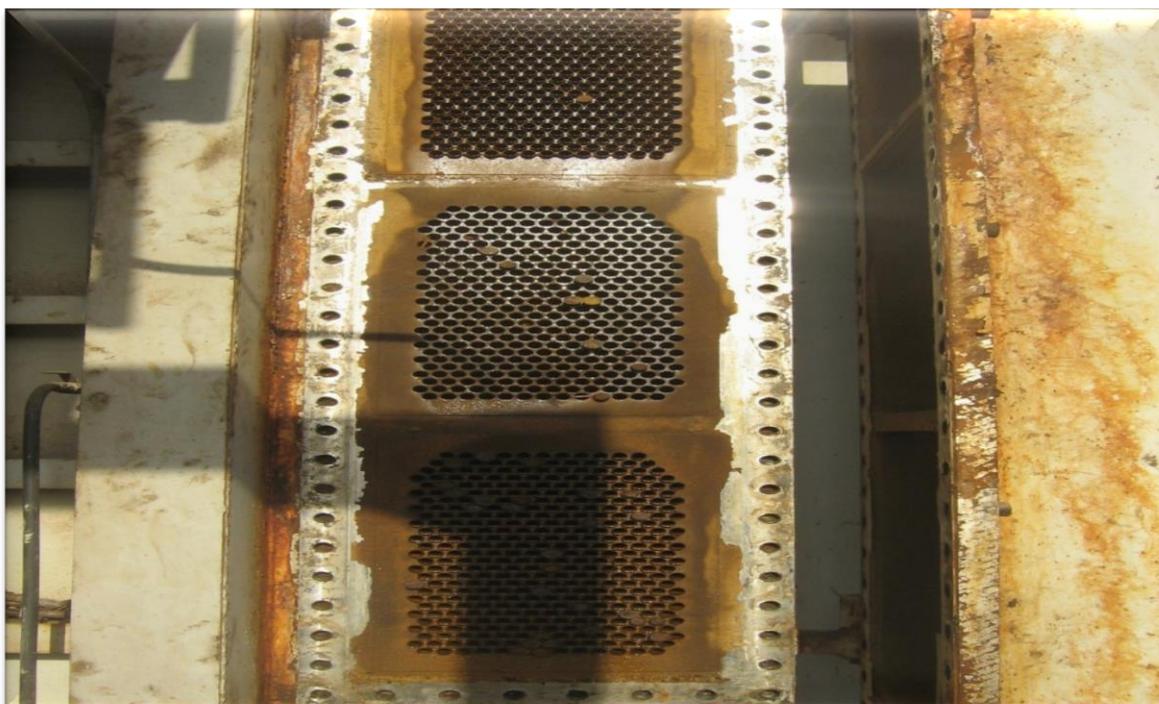


Figure III.24: Condenseur distillateur



Figure III.25: La chaudière



Figure III.26: Stockage de l'eau distillée



Figure III.27: condenseur de buée

b. Qualité de l'eau distillée produite :

L'injection d'un produit antimousse dans l'eau d'appoint empêche le développement de la mousse et garantit ainsi une salinité très faible de l'eau distillée produite. D'autre part, l'utilisation des séparateurs (matelas de treillis de fils métalliques) qui retiennent les gouttelettes d'eau de mer entraînées par la vapeur permet d'obtenir une eau très pure.

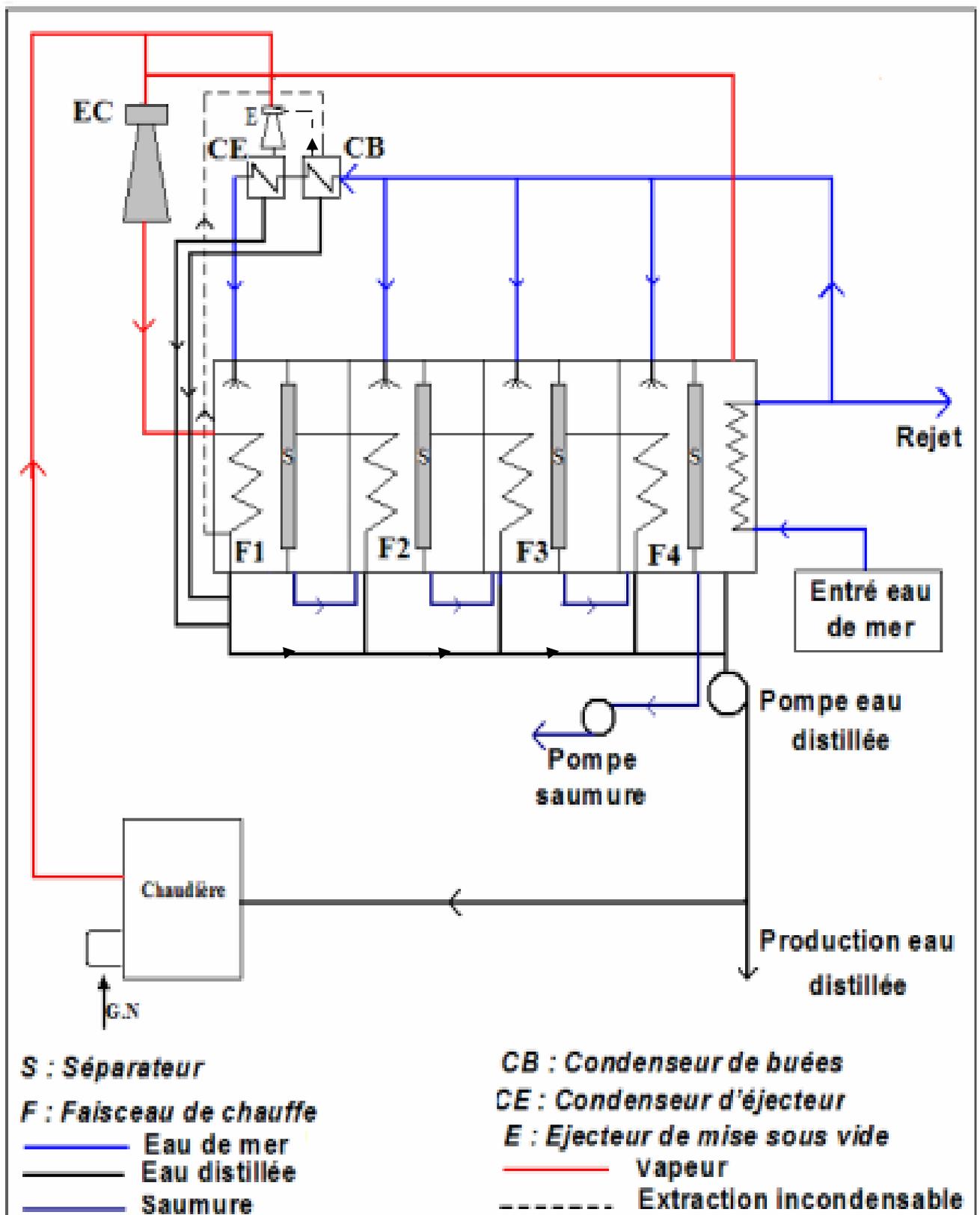


Figure III.28: Schéma du principe de l'installation de dessalement

III .6. Problèmes rencontrés par l'unité de dessalement

Les problèmes techniques rencontrés dans l'unité de distillation concernent essentiellement : les échanges thermiques, le moussage, la corrosion, la prolifération de végétaux et des animaux marins, l'extraction des incondensables et l'entartrage qui représente un problème majeur.

III .6.1. Echanges thermiques

Dans toute cellule de l'installation de dessalement, le flux de chaleur est transmis par l'intermédiaire d'un faisceau tubulaire. Il est essentiel que les coefficients d'échange thermique soient les meilleurs possibles et qu'ils ne diminuent pas sensiblement, au cours de fonctionnement, car ces échangeurs représentent une part très importante de coût de l'installation.

Les facteurs nuisibles à l'efficacité des échanges thermiques sont, principalement, la présence de gaz incondensables dans la vapeur à condenser et l'entartrage des faisceaux tubulaire .

III .6 .2. La corrosion

La corrosion des matériaux utilisés dans l'installation dépend de la température, du pH de l'eau, de sa teneur en oxygène et en gaz carbonique.

L'agressivité marquée de l'eau de mer, rend délicat le choix des matériaux de l'installation de dessalement.

Des inhibiteurs de corrosion qui sont des substances ajoutées en faible quantité au milieu agressif, limitent la corrosion dans des proportions importantes.

Ces produits doivent être particulièrement actifs pour pouvoir être utilisés à des doses très faibles, et suffisamment neutres pour ne pas modifier de façon significative les propriétés physico-chimiques des effluents.

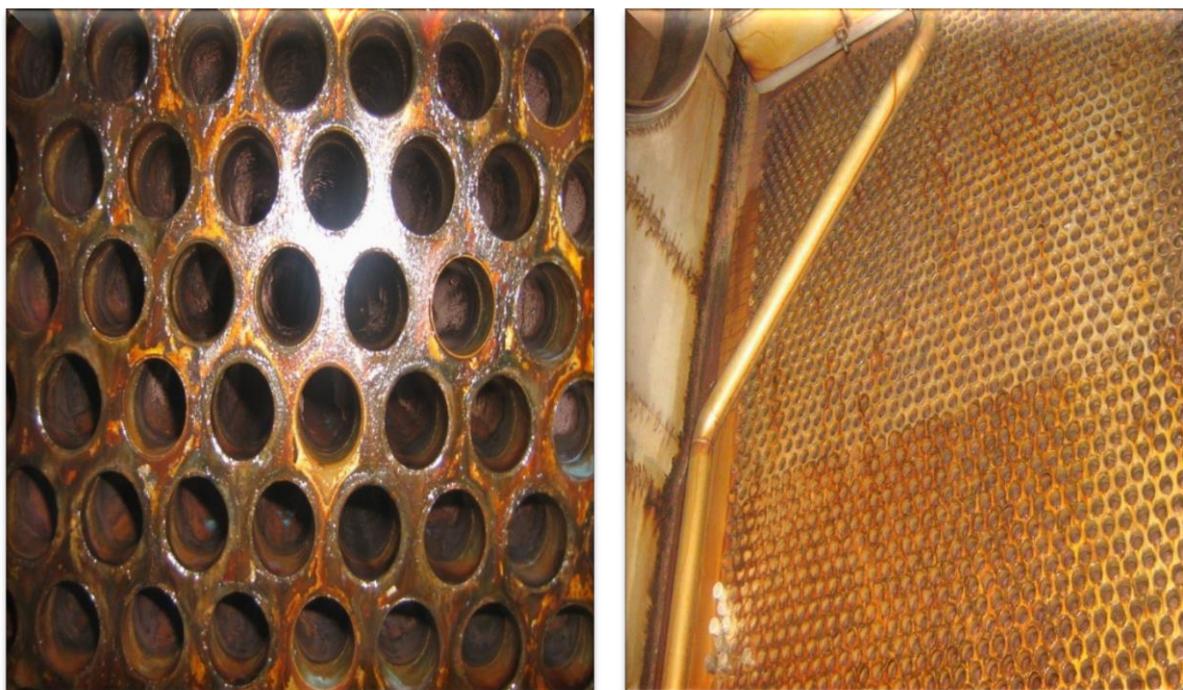


Figure III .29 :La corrosion des matériaux

III .6.3. Prolifération de végétaux et d'animaux marins

La prolifération de végétaux et des animaux marins qui peut être très rapide est un handicap sérieux pour toutes les installations parcourues par l'eau de mer. Elle conduit à de multiples ennuis : obstruction des circuits, corrosion, érosion, accroissement de la résistance thermique.

Une méthode de lutte contre cet envahissement consiste à injecter des produits chlorés à l'aspiration en mer, de façon à tuer les organismes tout au début de leur développement.

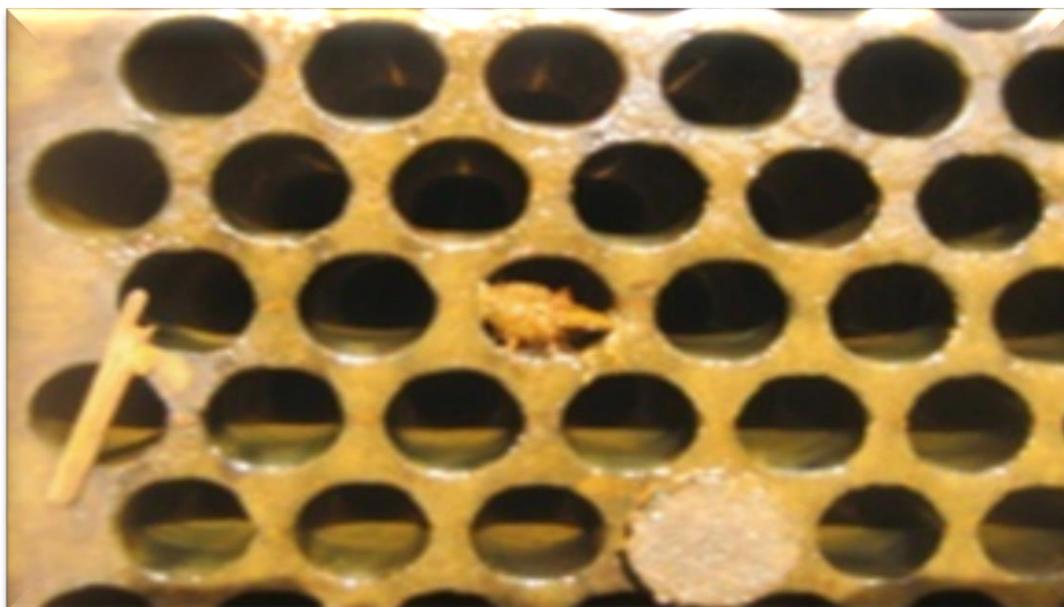


Figure III .30 :Prolifération de végétaux

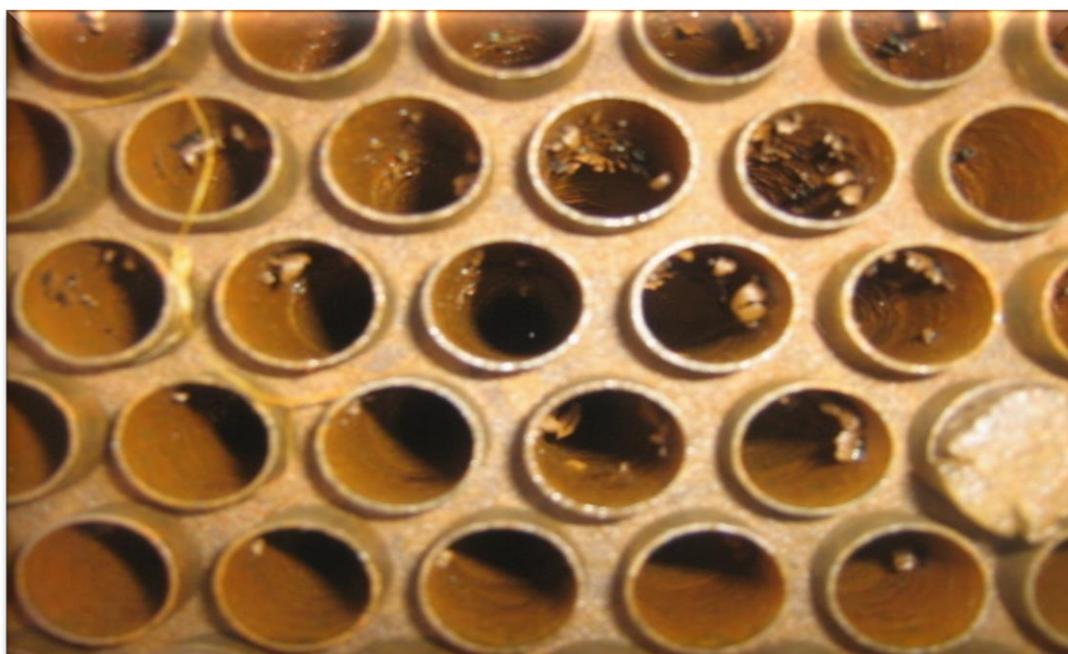


Figure III. 31: Prolifération d'animaux marins (Coquillage)

III .6.4. Présence d'incondensables

Une unité de distillation est traversée par un débit d'eau de mer important qui se trouve sous vide : l'eau de mer se dégage en libérant de l'air et du gaz carbonique.

D'autre part, le traitement chimique que l'on fait subir à l'eau de mer pour limiter l'entartrage a également pour conséquence le dégagement de gaz incondensables. La présence de ces gaz est très nuisible à l'efficacité des échangeurs : aussi, il est indispensable d'assurer une bonne ventilation des cellules, pour éviter une accumulation locale d'incondensable dans les faisceaux tubulaires.

III .6.5 .Entartrage des faisceaux tubulaires

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux dont la solubilité décroît lorsque la température et la concentration de l'eau augmentent. Ce dépôt est constitué principalement de carbonate de calcium qui apparaît à partir de 60°C suivant la réaction :



La formation du gaz carbonique dans les cellules chaudes provoque une augmentation du pH favorisant l'apparition d'hydroxyde de magnésium qui précipite également. D'autre part le sulfate du calcium dans la solubilité diminue si la température croît, peut précipiter dans certains cas : la température à laquelle commence la précipitation dépend de la concentration en sel de l'eau de mer.

Le dépôt d'une couche de tartre à l'intérieur des faisceaux tubulaires diminue les coefficients d'échange thermique dans des proportions considérables. Il est donc fondamental de traiter l'eau de mer que l'on veut dessaler de façon à limiter au mieux le dépôt de tartre .

Pour limiter l'entartrage il faut :

- Faire fonctionner l'unité a faible température < 62°C .
- Ne pas concentrer trop l'eau de mer .

Les produits antitartre recommander sont BELGARD EV et KEMAZUR qui sont ajoutée en continu, après condenseur distillateur C , à l'eau de mer [56] ,[57],[58].

III .7.Les caractéristiques techniques :

Tableau III.5 : Les caractéristiques techniques

Performance pour unité 4t 2000	Unités	Valeurs
Eau distillée		
-Production journalière nette	t/j	2000
-Production horaire nette	t/heure	83,3
-Température	°C	48
-Salinité maximale en TDS	Ppm	10
Eau de mer		
-Température maximale été/mini hiver	°C	35-19
-Débit total maxi requis en été	t/heure	580
-Pression minimale requise à l'entrée unité	bar	3
Vapeur		
-Pression	bar	18
-Température	°C	206
-Débit Ejectocompresseur+Ejecteur	t/heure	10,6+1
Pression relative de sorte de pompe		
-Eau distillée	bar	2,5
-Saumure	bar	0,5
Dimension préliminaire de l'évaporateur		
-Longueur	M	1
-Hauteur	M	7,2
-Largeur	M	7

III .8. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté une description détaillée de la station de dessalement de l'eau de mer de l'unité "ALZINC" ainsi que les principaux problèmes techniques qui gênent le bon fonctionnement de cette station.

Ces problèmes peuvent être limités par l'utilisation des produits chimiques comme l'anti mousse et l'antitartre. Ce dernier empêche le dépôt de tartres sur les faisceaux d'évaporation, mais l'entartrage reste toujours, malheureusement, le problème majeur de cette installation.

On a aussi présenté le principe de la technologie de dessalement par Distillation à Multiples Effets et Ejectocompresseur .

CHAPITRE IV

Matériel et méthode

IV.1. Introduction :

Dans toutes les industries technologiques le laboratoire a une importance cruciale. Sur les **58238 m²** de surface totale des locaux d'ALZINC, **818m²** sont dédié au laboratoire. Les analyses qui y sont effectuées sont des analyses physico-chimiques, relative à la quasi-totalité des éléments contenus dans le minerai de zinc. Le Laboratoire joue un rôle très important dans la chaine de production. Il est en relation avec tous les ateliers de l'usine.



Figure IV 32 :Le laboratoire

IV.1. Matériels et méthodes :

Les échantillons de l'eau à analyser (eau distillée, eau de mer) ont été prélevés soigneusement des différents sites de l'installation de dessalement et ont fait l'objet de microanalyse au laboratoire centrale de l'unité "ALZINC" en utilisant les méthodes volumétriques, spectrophotométriques à l'absorption atomique pour déterminer, les caractéristiques chimique et physicochimiques.

IV.1.1. Mode de prélèvement :

Le prélèvement des échantillons d'eau a été effectué avec le plus grand soin pour que ces échantillons soient représentatifs de l'eau à analyser et pour éviter toute erreur pouvant provenir de la contamination ou de la pollution par des produits étrangers.

L'eau a été prélevée dans une bouteille en polyéthylène de 1.5 litres préalablement rincées plusieurs fois avec l'eau à analyser. Cette bouteille est rempli jusqu'au débordement de telle manière qu'il n'y ait aucune bulle d'air qui peut pénétrer, puis ensuite bouchonnés et étiquetés, où sont notés l'origine de l'eau et la date du prélèvement .

L'eau d'appoint est l'eau de mer pompée sur une distance de **400m** puis stockée dans un bassin à l'entrée de l'installation de dessalement d'où nous avons prélevé les échantillons à analyser. La bouteille de prélèvement a été introduite au point de débordement du bassin et loin des bords (figure IV.33)

L'eau distillée produite a été prélevée à partir de la vanne d'alimentation de circuit de l'eau distillée après ouverture pendant quelques minutes afin d'assurer que le prélèvement ne présente aucune substance qui peut influencer les résultats.



Figure IV.33: point de prélèvement de l'eau de mer (bassin de stockage)

IV.1.2.Méthodes d'analyses :

Les analyses des solutions, en laboratoire, peuvent s'effectuer par dosage volumétrique, gravimétrique, colorimétrie et par absorption atomique.

On donnera une description succincte de ces méthodes et des équipements utilisés.

IV.1.2.1.Méthodes Volumétriques :

- **Principe :**

La concentration d'une solution aqueuse contenant un acide ou une base est déterminée par le dosage volumétrique. Pour y parvenir, on réalise une réaction acido-basique, que l'on choisit généralement rapide et la plus totale possible. A l'équilibre, les réactifs acides et basiques sont mélangés dans des proportions stœchiométriques déterminées par l'équation de la réaction utilisée.

Si N_a et N_b sont respectivement les normalités des solutions d'acide et de base réagissant et V_a et V_b les volumes d'acide et de base mélangés à l'équivalence, on a la relation :

$$N_a V_a = N_b V_b$$

Cette relation traduit l'équivalence acido-basique. Pour déterminer expérimentalement la fin du dosage, ils utilisent :

- Soit des graphes $\text{pH} = f(\text{Réactifs})$ à l'aide d'un pH-mètre.
- Soit le virage d'indicateurs colorés judicieusement et précisément choisis dont la variation du pH à l'équivalence soit brusque.

➤ **Dosage par la méthode complexométrique :**

L'agent complexant utilisé est l'Acide Ethylène Diamine Tétracétique (E.D.T.A). L'E.D.T.A, complexe quantitativement de nombreux métaux, en particulier Ca^{+2} et Mg^{+2} selon la réaction de complexation suivante :



M=Ca ou Mg

Complexe

(M^{+2} - L'E.D.T.A) .

La libération des protons H^+ montre que la position de cet équilibre est en fonction du pH. Celui-ci doit être fixé par addition d'une solution tampon.

IV.1.2.2. Analyse gravimétrique :

- **Principe :**

Les méthodes gravimétriques sont basées sur des mesures de masse effectuées à l'aide de la balance analytique, un instrument qui fournit des résultats très exacte et précis. Elles se classent en deux groupes principaux :

a. Des méthodes par précipitation : l'analyste est converti en un précipité très peu soluble qui ensuite filtré, lavé de ses impuretés et transformé en un produit de composition connue par un traitement thermique approprié. Ce produit est ensuite pesé.

b. Des méthodes par volatilisation : l'analyste ou ses produits de décomposition sont volatilisés à une température appropriée. Le produit volatil est recueilli puis pesé ou encore pesé la masse de l'échantillon.

- **Appareillage :**

Pour les analyses gravimétriques on a utilisé une balance analytique de type **KERNE 770**, avec une précision de 10^{-4} , cet appareil a été soigneusement étalonnée et nettoyé à l'aide d'un pinceau avant chaque mesure.



Figure IV.34: Balance analytique type KERN 770

IV.1.2.3. Spectrophotomètre UV / visible (Méthode colorimétrique) :

- Principe : Loi de Beer-Lambert :

Lorsqu'une lumière d'intensité I_0 passe à travers une solution, une partie de celle-ci est absorbée par le soluté de concentration C . L'intensité I de la lumière transmise est donc inférieure à I_0 .

Cette loi permet de définir deux grandeurs:

-Transmittance T : exprimée en % : $T = I / I_0 = e^{-\epsilon \cdot c \cdot l}$

-Absorbance A : $A = \log(I_0 / I) = \epsilon \cdot c \cdot l$

I_0 : Intensité de faisceau incident.

I : Intensité de la radiation après la traversée de la source thermique.

ϵ : Coefficient d'extinction molaire.

l : Longueur du chemin optique.

C: Concentration de la solution à analyser.

La relation de Beer-Lambert décrit que, à une longueur d'onde λ donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à la concentration des espèces de la solution, et à la longueur du trajet optique (distance sur laquelle la lumière traverse la solution).

Sous l'effet des radiations ultra-violet (**0 – 400 nm**), le visible (**400 – 800 nm**) ou infrarouge (**800- 5000 nm**) les électrons périphériques des atomes et des molécules sont portés d'un état stable (état fondamental) vers un état énergétique plus élevé (état excité). Le passage de l'électron de l'état fondamental à l'état excité se fait en absorbant de l'énergie électromagnétique.

Le spectrophotomètre mesure l'absorbance A de la solution a une longueur d'onde donnée. Un dispositif monochromateur permet de générer, à partir d'une source de lumière visible ou ultraviolette, une lumière monochromatique incidente I_0 , traverse une cuve contenant la solution étudiée, et l'appareil mesure l'intensité I de la lumière transmise [59].

- **Appareillage :**

L'appareil utilisé est un spectrophotomètre de **type Jasco V-500** qui couvre la gamme **UV/visible/ proche IR** à doubles faisceaux de **190- 2500 nm**. Il comporte un module comprenant le bain optique avec un compartiment cuve le tout est associé à un micro-ordinateur pilotant toutes les fonctions de l'appareil. Un logiciel Spectromanager permet de traiter les analyses quantitatives, les analyses spectrales, analyse graphique de la cinétique des réactions chimiques et enzymatiques.



Figure IV.35 : Spectrophotomètre type JASCO V-550

IV.1.2.4. Absorption atomique

L'absorption atomique est basée sur le fait que les états de l'atome sont définis par les niveaux d'énergies quantifiés dans lequel il se trouve. Tout corps chimique peut absorber les radiations qu'il émet lui-même dans des conditions déterminées. Les atomes, à la température ordinaire, sont au niveau d'énergie fondamentale.

Le passage à l'état excité se fait lorsque l'atome absorbe un photon de fréquence caractéristique de l'atome qui lui permet de passer à un niveau d'énergie quantifié supérieur.

Lorsqu'une solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau s'évapore; les sels et leurs produits de décomposition ont dissociés à l'état d'atomes ou radicaux. Ceux-ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme; leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'une radiation de fréquence caractéristique de l'élément mis en solution et dont l'intensité est fonction de sa concentration .

L'absorption atomique consiste donc à la mesure de l'absorption des radiations photoniques spécifiques par des atomes en phase vapeur. L'absorption est liée à la concentration de l'élément par la relation de **Beer-Lambert**.

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer-Lambert selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique a , au trajet optique b et à la concentration C [59].

$$A = a \cdot b \cdot C \text{ et } A = \log (I / I_0)$$

- **Appareillage**

C'est un spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme air/acétylène type Perkin Elmer, modèle Analyste 300, doté d'un micro-ordinateur. Il comporte :

- a. La lampe à cathode creuse
- b. Un générateur d'atomes constitué par un dispositif de nébulisation, brûleur et une flamme
- c. Un système de sélection de la longueur d'onde
- d. Un détecteur.

L'appareil est utilisé pour le dosage de potassium et des métaux lourds dans l'eau tel que : le cuivre, le zinc, le plomb, le cadmium,...



Figure IV.36 : spectrophotomètre d'absorption atomique type Perkin Elmer

IV.2.Essais de laboratoire :

Les caractéristiques physico-chimiques et chimiques de l'eau à analyser seront déterminées comme suit :

IV.2.1.Paramètres physico-chimiques :

L'évaluation globale des eaux à analyser sont fait après examen des résultats d'analyse d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques : **Température , pH, Conductivité.**

IV.2.1.1.Température :

La température est un facteur physique des eau, qui influe sur tous les processus chimiques tel que la conductivité, la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH.

Pratiquement la température est mesurée par l'utilisation d'une sonde thermométrique qui est plongée soigneusement dans la prise d'essai. La lecture est faite après stabilisation du thermomètre.[54]

IV.2.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le potentiel d'hydrogène, pH, est un indice qui indique la concentration de l'ion hydrogène dans une solution donnée. Il exprime le caractère acide ou alcalin de l'eau.

L'eau est considérée comme agressive si son pH est d'une valeur au-dessous d'un seuil de **pH= 6.5**. Elle peut avoir un effet corrosif sur les canalisations et peut conduire à la dissolution de certains métaux tels que le plomb des conduites.

Les mesures de pH sont effectuées par un **pH-mètre type HANNA** reliés à une sonde avec capteur de température .



Figure IV.37: Appareil de mesure de pH et de température

IV.2.1.3. Mesures de conductivité :

- **La conductivité électrique** : traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Cette notion est inversement proportionnelle à celle de résistivité électrique. L'unité de mesure communément utilisée est le Siemens (S/cm) exprimé souvent en micro siemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) ou milli siemens (mS/cm).

La conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux) dissous dans l'eau. Ainsi, plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée [60].

La conductivité électrique dans les eaux à analyser a été effectuée par mesure directe en utilisant une sonde d'un **conductimètre** type **INOLAB Cond level 1**

Les mesures sont données après avoir plongé la sonde dans l'échantillon d'eau à analyser



Figure IV.38: appareil de Conductimètre de type INOLAB Condlevel 1.

IV.2.2. Paramètres chimiques

L'évaluation globale des eaux à analyser est complétée par des analyses d'un certain nombre de paramètres chimiques : concentration en sel dissous, caractéristiques de l'eau (dureté totale) , Alcalinité, Dosage chimique des chlorures, sulfates ,et quelques métaux lourds (Fer, cuivre, zinc ,Calcium , Magnésium ,Potassium, ,Sodium).

IV.2.2.1. Caractéristiques de l'eau

Les caractéristiques de l'eau : dureté, alcalinité et concentration en sel dissous ont été déterminées comme suit :

A. Dureté de l'eau :

La dureté est évaluée par la concentration des sels de Ca^{2+} , Mg^{2+} que contient l'eau. Elle est exprimée en degré hydrotimétrique (TH). Cette caractéristique a été évaluée pour

déterminer l'efficacité de la production d'eau par dessalement. La dureté totale de l'eau ou titre hydrotimétrique (TH total) est une mesure globale de la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium, sous forme de chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}) et hydrogénocarbonates (HCO_3^-).

Une eau est dite dure si elle a un titre hydrotimétrique élevé. Si la valeur TH total diminue, l'eau est non dure ou eau douce. La dureté de l'eau influe essentiellement sur l'état des évaporateurs. Une eau dure de plus de 600 mg/l en CaCO_3 donne des dépôts de tartre sur les évaporateurs. En revanche, une eau très douce moins de 150 mg/l en CaCO_3 est agressive. On distingue :

Dureté temporaire : Cette dureté dépend de la présence des bicarbonates: (CaCO_3), $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ et $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, qui sont éliminés à l'ébullition de la solution où les sels se précipitent sous forme des sels insolubles dans l'eau

Dureté permanente : La dureté permanente est caractérisée par la présence des sels solubles dans l'eau de sulfates de magnésium et de calcium principalement, et qui ne sont pas éliminée après ébullition.

La somme des duretés permanente et temporaire définit la dureté totale de l'eau

Dureté totale = dureté temporaire (ou carbonatée) + dureté permanente

Dureté carbonatée : C'est la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de Ca^{2+} et Mg^{2+} , elle est égale au TAC.

Dureté non carbonatée (dureté permanente): indique la teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+} correspondantes aux anions forts (principalement les sulfates), elle est égale à la différence entre la dureté totale et la dureté carbonatée.

➤ **Dosage de la dureté de l'eau :**

On a utilisé la méthode complexométrique pour le dosage de la dureté dont le principe est le suivant : Pour plus de précision et pour apprécier la reproductibilité de la méthode, le dosage a été réalisé trois fois.

- **Réactifs utilisés :**
 - Solution d'EDTA à N/25: on pèse **3.722g d'EDTA** qu'on les dissout dans un litre d'eau à analyser ;
 - Solution tampon de **pH = 10** : on pèse **5.4 g NH₄Cl** qu'on les dissout dans **20 ml d'eau** à analyser , après on ajoute **35 ml de NH₄OH** et on complète jusqu'à **100 ml avec de l'eau** à analyser.
- **Noir Erichrome T (NET).**



Figure IV. 39: Les réactifs utilisés

a.Modes opératoires :

A.1.Dureté totale :

Dans un bêcher de **250 ml**, on introduit **100 ml** d'eau à analyser, **2 ml** de solution tampon de **pH= 10** et on ajoute le noir d'érichrome **T** comme un indicateur coloré et un

barreau magnétique. Ensuite on titre à l'aide d'une micro burette par l'EDTA N/25 goutte à goutte, jusqu'au virage de solution de violacée au bleu franc.

Pour calculer La dureté totale on utilise l'expression suivante :

$$TH = V_{E.D.T.A} \times 2$$

(En°F)

TH: Dureté totale ;

$V_{E.D.T.A}$: Volume de l'E.D.T.A ;

La dureté totale est exprimée en degrés français (°F)



Figure IV.40: Ajoute de noir d'érichrome T



Figure IV.41: virage de solution de violacée au bleu franc

B. Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogencarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et ions hydroxydes (OH^-). On distingue le Titre alcalimétrique simple TA et le titre alcalimétrique complet TAC :

- Le titre alcalimétrique simple (TA) exprime la teneur en d'hydroxyde et la moitié de la teneur en carbonate. Le TA ne peut apparaître que si **pH** est supérieur à **8.3**.

$$\text{TA} = 5 \times [\text{OH}^-] + 1/2 \times [\text{CO}_3^{2-}]$$

- Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres (OH^-), en carbonates (CO_3^{2-}) et hydrogencarbonates (HCO_3^-). On appelle TAC la somme des concentrations en ions (OH^-), (CO_3^{2-}) et (HCO_3^-) exprimé en °F.

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

Le titre alcalimétrique complet **TAC** mesure la teneur de l'ensemble des ions basiques faibles tels que les hydrogénocarbonates.

- **Principe :**

L'alcalinité est mesurée à l'aide d'une solution titrée d'acide en présence soit de phénol phtaléine (**titre alcalimétrique simple TA**), soit de rouge de méthyle ou hélianthine (**titre alcali métrique complet TAC**).

Le virage de phénol phtaléine du rose à l'incolore se produit dès que le **pH** est égal à **8.3**. A ce moment les réactions sont complètes. L'apparition du **TA** dans la solution permet donc de déterminer la dose d'hydroxyle et la dose en ion carbonate.



Le virage du rouge de méthyle du jaune au rose se produit à un **pH** égale à **4.5**. À ce moment la réaction est complète. L'apparition du **TAC** dans la solution permet de déterminer la dose d'hydrogénocarbonates.



- **Réactifs :**

- Acide sulfurique **H₂SO₄** à **N/25**;
- Phénophtaléine: pour préparer cet indicateur; on dissout **0.05g** d'indicateur dans **50ml** de méthanol.
- Méthyle rouge: on dissout **0.05g** de l'indicateur Méthyle rouge dans **50ml** d'eau à analyser.



Figure IV.42: Les réactifs utilisés

a. Mode opératoire :

a. Titre alcalimétrique simple TA :

On prélève dans un bêcher **100 ml** d'eau à analyser, on ajoute quelques gouttes de solution alcoolique de phénophtaléine, titrer avec H_2SO_4 N/25 virage du rose à l'incolore.



Figure IV.43: Détermination de T.A

Calculs :

Pour calculer titre alcalimétrique simple on utilise l'expression suivante :

$$\text{T.A (°F)} = V_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} * 2$$

b. Titre alcalimétrique complet TAC :

On prélève **100 ml** d'eau à analyser, on y ajoute **3 gouttes de rouge de méthyle**. On titre ensuite avec l'acide sulfurique (**H₂SO₄ à N/25**) jusqu'au virage du jaune au rose



Figure IV.44: Détermination de T.A.C

La valeur du **TAC** est calculée par la formule suivante :

Pour calculer titre alcalimétrique complet on utilise l'expression suivante :

$$\text{TAC} = V_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} \times 2$$

(En °F)

TAC: Titre Alcalimétrique Complet

$V_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}$: Volume d'acide sulfurique

c. Concentration en sels dissous

La détermination du TA et du TAC permet d'évaluer les teneurs en bicarbonates et en hydroxydes alcalin et alcalino-terreux.

La teneur en milligrammes par litre des sels présents dans l'eau s'obtient en multipliant le chiffre de la deuxième colonne par la valeur de TA ou TAC correspondantes.

Tableau 6: Les expressions de la teneur en différents sels en fonction du TA et de TAC [55]

Sels dissous	mg/l par degree	Si TA = 0	Si TA < TAC/2	Si TA = TAC/2	Si TA > TAC/2	Si TA = TAC
OH ⁻	3.4	0	0	0	2TA-TAC	TA
CaO	5.6					
Ca(OH) ₂	7.4					
MgO	4.0					
Mg(OH) ₂	5.8					
Na(OH)	8.0					
CO ₃ ⁻²	6.0	0	2TA	TAC	2(TAC-TA)	0
CaCO ₃	10.0					
MgCO ₃	8.4					
NaCO ₃	10.6					
HCO ₃ ⁻	12.2	TAC	TAC-2TA	0	0	0
Ca(HCO ₃) ₂	16.2					
Mg(HCO ₃) ₂	14.6					
Na HCO ₃	16.8					

D. Dosages chimiques :

1. Chlorures :

- **Principe :**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique de chromate de potassium.

- **Produits utilisée :**

- Acide nitrique pur, $d=1,38$
- Solution de chromate de potassium **0,1N ; 9,7g/L**
- Solution de nitrate d'argent **0,1N**: dissoudre **17g/L**
- Alun ferrique ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), **100g/L**

a.Mode opératoire

Titre **100ml** d'eau à analyser avec **KSCN** en présence de **5 ml** de l'acide nitrique (HNO_3 avec une densité $d = 1.38$), **5ml** d'une solution de nitrate d'argent (AgNO_3 à **0.1N**) et **5 ml** d'alun ferrique ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ à **100g/l**) jusqu'à coloration rouge brique.

Soit V_a le volume de KSCN de titrage.

Faire en parallèle un Blanc de la manière suivante : Prendre 100ml d'eau à analyser ajoutée **5ml HNO_3** avec une densité $d=1,38$, **5ml AgNO_3**) et titrer avec par KSCN jusqu'à coloration rouge brique .

Soit V_t le volume de KSCN de titrage.

La teneur en chlorure s'exprime par la formule suivante:

V_t = Volume de titrage du blanc.

V_a = Volume de titrage de l'échantillon d'analyse.

$V_t - V_a = x$ ml

$\text{Cl}^- (\text{g / l}) = x \text{ ml} * 0.0355$



Figure IV.45: Dosage des chlorures (Cl^-) dans l'eau

2. Sulfates :

- **Principe :**

Les ions SO_4^{2-} sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués par la méthode gravimétrique.

- **Produits utilisée :**

- Solution d'acide chlorhydrique
- Chlorure de baryum
- Alcool éthylique pur

- a. **Mode opératoire :**

Introduire **100 ml** d'eau à analyser dans un bécher. Ajouter **5 ml** de **HCl**, porter le mélange à l'ébullition puis ajouter goutte à goutte **30 ml** **BaCl₂**. Continuer l'ébullition

pendant **10 minutes** pour faciliter la filtration. Filtrer à chaud et laver **5 fois** le filtre avec une eau chaude et deux fois avec l'alcool. Introduire le filtre avec le précipité dans un creuset en porcelaine préalablement taré puis calciner à **850°C**. Peser après refroidissement. La teneur en sulfate est calculée comme suite:

$$\text{SO}_4^{-2} \text{ (g/l)} = P \times 4,115.$$

Avec $P = A - B$.

A : le poids du creuset après calcination.

B : le poids du creuset vide



Figures IV.46 : le filtre avec le précipité, et le creuset



Figure IV.47 : Four type Gerhard $T_{\max}=1200^{\circ}\text{C}$

3 .Les métaux (Calcium, magnésium, sodium, cuivre, zinc et le fer) :

Ces métaux contenus dans les eaux à analyser ont été caractérisés par un dosage ionique à l'aide du spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme air/acétylène .

a. Méthode de travail :

- Choisir la lampe appropriée de l'élément à doser.
- Sélectionner la longueur d'onde.
- Régler le zéro du détecteur.
- Mesurer l'absorbance des étalons préparés à partir de l'élément pur à doser.
- Passer l'échantillon à doser et lire directement la concentration sur un micro-ordinateur piloté à cet appareil.

Conclusion

Depuis les analyses des paramètres physicochimiques réalisés au niveau de notre laboratoire, on peut évaluer l'efficacité du procédé de dessalement par distillation à multiple effets et Ejectocompression de vapeur et la qualité des eaux produites.

CHAPITRE V

Résultats et interprétations

V.1.Introduction

Pour évaluer la qualité des eaux traitées et contrôler leur efficacité, nous avons effectué un ensemble d'analyses physicochimique et chimiques qui ont été faites à la sortie de la station de dessalement au sein de la société "ALZINC " de Ghazaouet durant les années 2013, 2014, 2015 et 2016.

Les analyses qui ont été effectuées représentent toutes celles qui sont faites pour le diagnostic d'une station de dessalement, elles sont portées sur : le pH, les chlorures et la conductivité. Les résultats expérimentaux trouvés sont présentés comme suit:

V.2.Résultat d'analyse de l'eau distillée de l'année 2013

V.2.1. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Tableau V.7: résultat d'analyse de potentiel hydrogène

Mois	pH	Min	Max
Janvier	7,11	6,8	7,2
février	7,08	6,8	7,2
Mars	6,99	6,8	7,2
Avril	7	6,8	7,2
Mai	7,03	6,8	7,2
Juin	7,06	6,8	7,2
juillet	7,1	6,8	7,2
Août	7,08	6,8	7,2
septembre	6,962	6,8	7,2
octobre	6,95	6,8	7,2
novembre	6,89	6,8	7,2
Décembre	6,93	6,8	7,2

Figure (V.48) montre la variation moyenne du pH de l'eau distillée de la société "ALZINC" de Ghazaouet

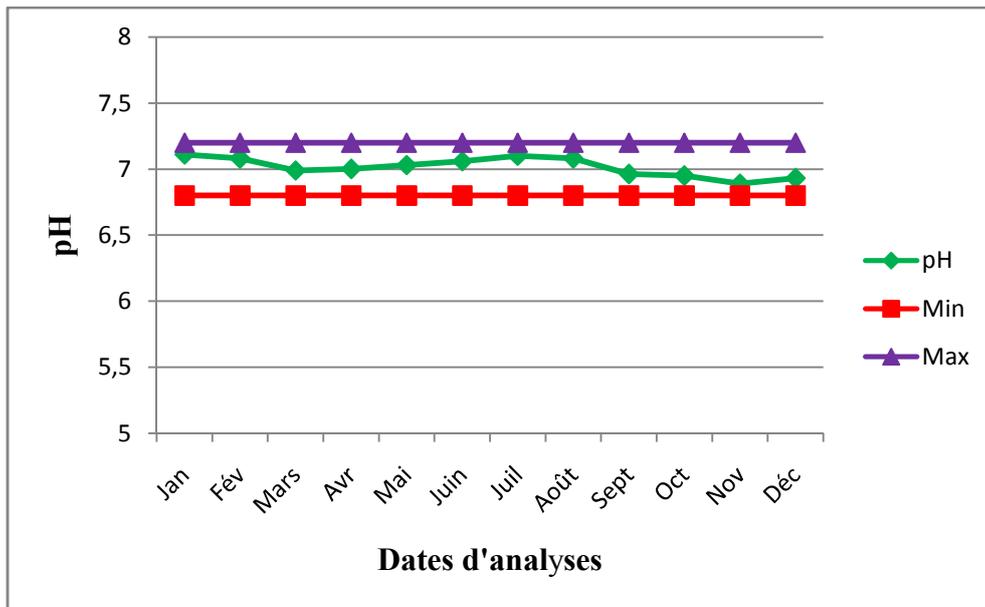


Figure V.48: Variation moyenne du pH de l'eau distillée (2013)

Le pH est un nombre qui nous indique l'acidité d'une solution. D'après les résultats enregistrés au cours de notre étude, on remarque que les valeurs des pH de l'eau distillée varient entre 6,69 et 7,11 avec une moyenne de 7,015. Ces valeurs sont très proches de la norme (6,8-7,2). Donc l'eau produite est pratiquement neutre.

V.2.2. La Conductivité :

Tableau V.8: résultat d'analyse de la conductivité

Mois	Cond (µs/cm)	La norme Sortie
Janvier	26,77	≤25
février	6,18	≤25
Mars	8,25	≤25
Avril	8,09	≤25
Mai	10,22	≤25
Juin	29,9	≤25
juillet	26,01	≤25
Août	6,8	≤25
septembre	25,45	≤25
octobre	7,44	≤25
novembre	4,23	≤25
décembre	7,71	≤25

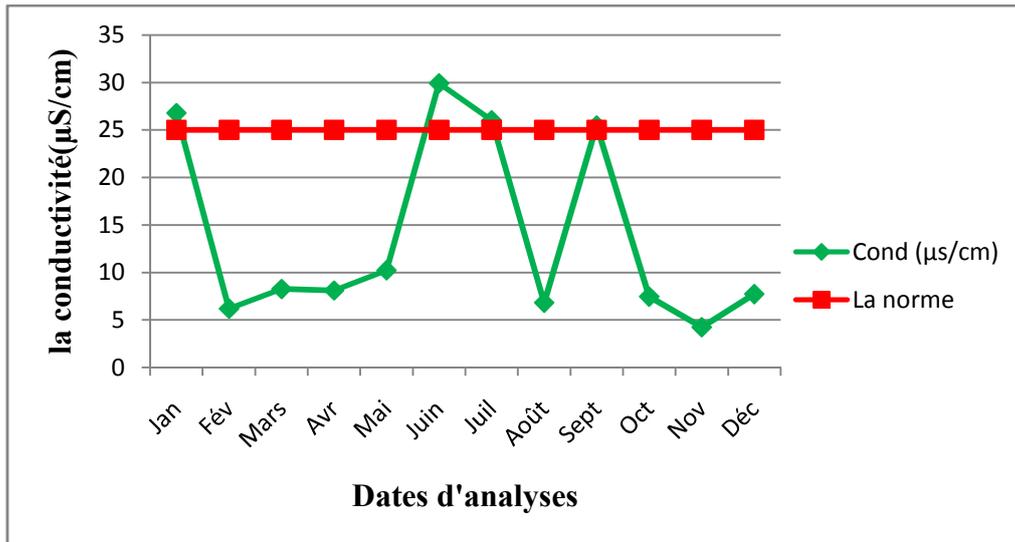


Figure V.49: Variation moyenne de la conductivité de l’eau distillée (2013)

D’après les résultats obtenus, on remarque que les valeurs de la conductivité de l’eau distillée de la société “ ALZINC “ sont variables pendant les mois de l’année, elles varient entre 4,23 µS/cm et 29,9 µS/cm avec une moyenne de 13,9 µS/cm. On marque des dépassements aux mois de Janvier, Juin, Juillet, et septembre, avec des valeurs de 26,77 µS/cm, 29,9 µS/cm, 26,01 µS/cm et 25,45 µS/cm ,ces derniers peuvent êtres traduisent par une augmentation de la concentration en solide dissout.

V.2.3. Chlorure (Cl⁻) :

Tableau V.9: la concentration de chlorure dans l’eau distillée

Mois	Cl ⁻ (mg/l)	La norme Sortie
Janvier	1,5	0
février	0	
Mars	0	
Avril	0	
Mai	0	
Juin	5,5	
juillet	3,2	
Août	0	
septembre	0,25	
octobre	0	
novembre	0	
décembre	0	

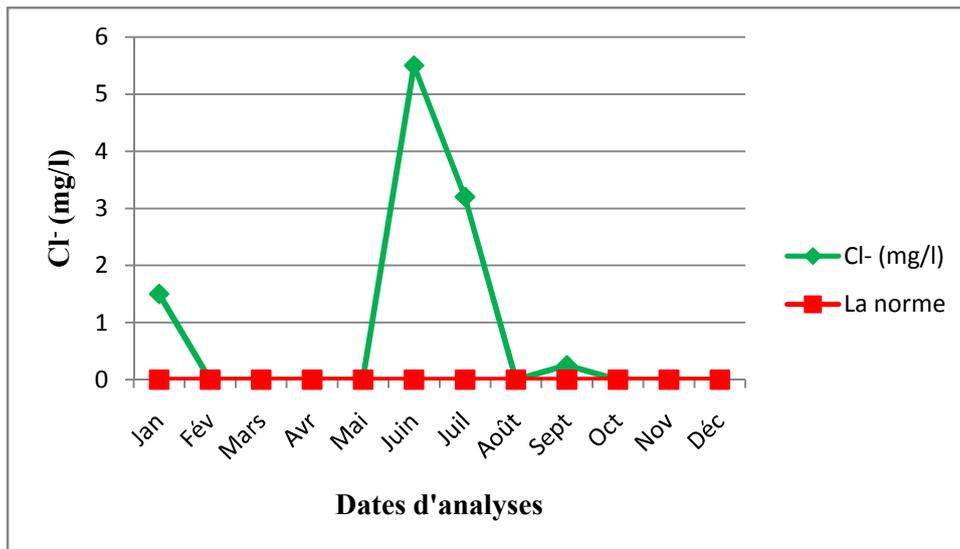


Figure V.50: Variation moyenne de Cl⁻ de l'eau distillée (2013)

Selon les résultats présentés sur la figure (V.50), on remarque que les valeurs du Chlorure de la station sont instables, elles varient entre 0 mg/l et 5,5mg/l avec une moyenne de 0,87mg/l.

On remarque des pics au mois de (Janvier, Juin, Juillet, et septembre), traduisent habituellement une contamination.

V.3.Résultat d'analyse de l'eau distillée de l'année 2014

V.3.1. Le potentiel hydrogène (pH) :

Tableau V.10: résultat d'analyse de potentiel hydrogène

Mois	pH	Min	Max
Janvier	6,968	6,8	7,2
février	7,01	6,8	7,2
Mars	7,05	6,8	7,2
Avril	6,95	6,8	7,2
Mai	6,939	6,8	7,2
Juin	6,89	6,8	7,2
juillet	6,95	6,8	7,2
Août	6,99	6,8	7,2
septembre	6,96	6,8	7,2
octobre	7,03	6,8	7,2
novembre	6,946	6,8	7,2
décembre	6,97	6,8	7,2

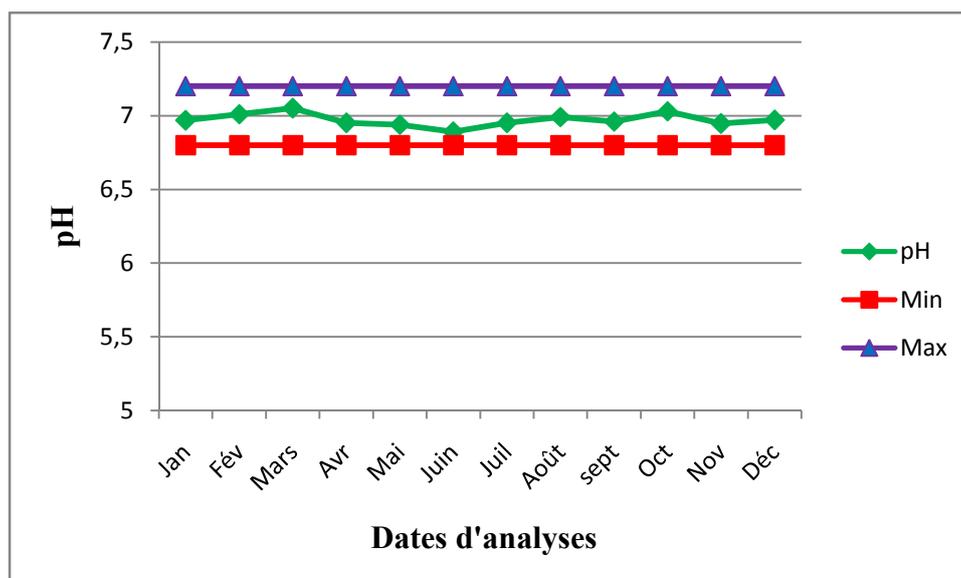


Figure V.51: Variation moyenne de pH de l'eau distillée (2014)

Selon les résultats indiqués, les valeurs du pH mesurées de l'eau distillée, varient entre 6,89 et 7,05 avec une moyenne de 6,97. Ces valeurs sont situées dans les normes (6,8-7,2).

V.3.2. La Conductivité :

Tableau V.11: résultat d'analyse de la conductivité

Mois	Cond (µs/cm)	La norme Sortie
Janvier	28,89	≤25
février	26,61	≤25
Mars	11,087	≤25
Avril	7,253	≤25
Mai	17,28	≤25
Juin	6,81	≤25
juillet	7,8	≤25
Août	14,65	≤25
septembre	15,37	≤25
octobre	14,67	≤25
novembre	25,81	≤25
décembre	25,27	≤25

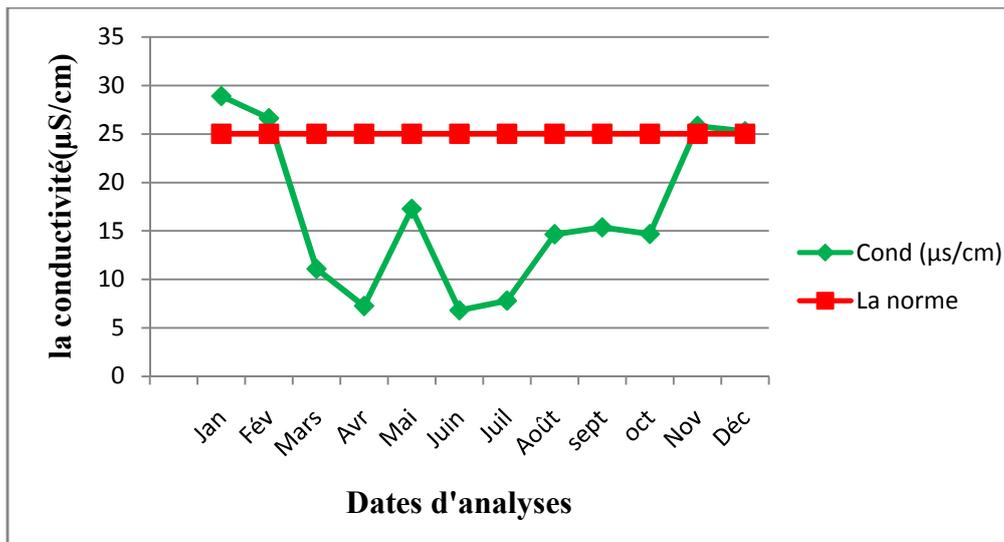


Figure V.52: Variation moyenne de la conductivité de l’eau distillée (2014)

D’après les résultats obtenus dans la figure (V.52), l’eau distillée présente des valeurs de la conductivité qui respectent la norme ($\leq 25 \mu\text{s/cm}$).Elles varient entre $6,81\mu\text{s/cm}$ et $28,89 \mu\text{s/cm}$ avec une moyenne de $16,79 (\mu\text{s/cm})$, On remarque des dépassements au mois (Janvier, Février, Novembre, Décembre), ce dépassement est due à l’augmentation de la concentration en sels dissous.

V.3.3. Chlorure (Cl⁻) :

Tableau V.12: la concentration de chlorure dans l’eau distillée

Mois	Cl ⁻ (mg/l)	La norme Sortie
Janvier	4,5	0
février	2,7	
Mars	0	
Avril	0	
Mai	0	
Juin	0	
juillet	0	
Août	0	
septembre	0	
octobre	0	
novembre	2,9	
décembre	0,4	

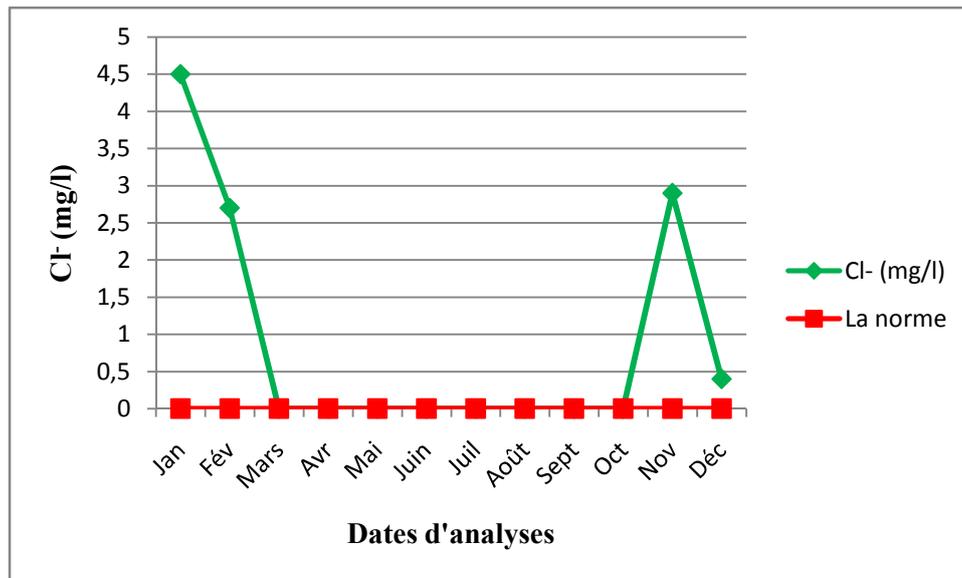


Figure V.53: Variation moyenne de Cl⁻ de l'eau distillée (2014)

Selon les résultats présentés sur la figure (V.53), on remarque que les valeurs de la concentration en chlorures de l'eau distillée oscillent entre 0 mg/l et 4,5mg/l, avec une moyenne de 0,875mg/l. On remarque des pics au mois (Janvier, Février, Novembre, Décembre), dépassant la norme (0 mg/l) souhaitées pour une eau destinée à usage industriel. Peuvent être traduire par une contamination.

V.4.Résultat d'analyse de l'eau distillée de l'année 2015

V.4.1. Le potentiel hydrogène (pH) :

Tableau V.13: résultats d'analyses de potentiel d'hydrogène

Mois	pH	Min	Max
Janvier	6,851	6,8	7,2
février	6,94	6,8	7,2
Mars	6,97	6,8	7,2
Avril	7,04	6,8	7,2
Mai	7,1	6,8	7,2
Juin	6,99	6,8	7,2
juillet	6,92	6,8	7,2
Août	6,88	6,8	7,2
septembre	6,86	6,8	7,2
octobre	6,85	6,8	7,2
novembre	7	6,8	7,2
décembre	6,9	6,8	7,2

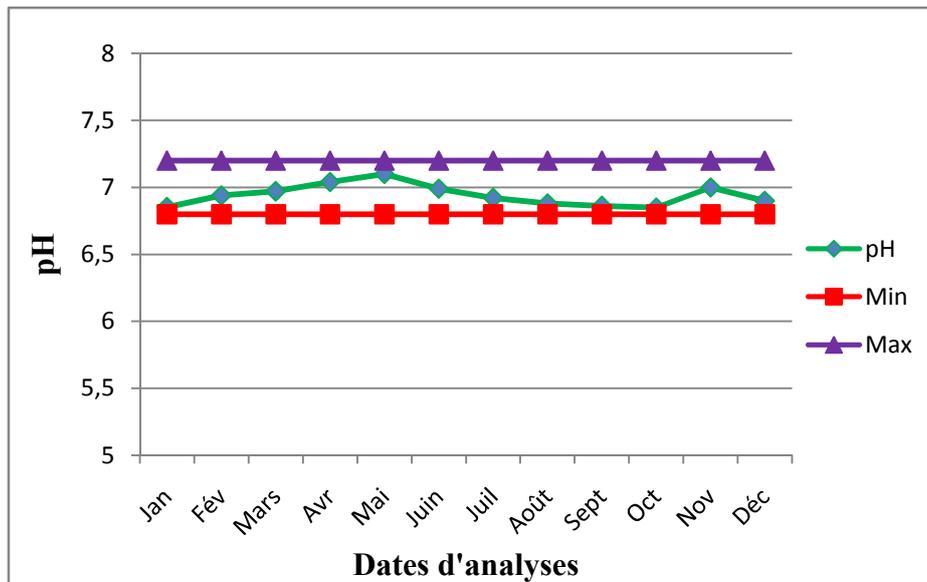


Figure V.54: Variation moyenne de pH de l'eau distillée (2015)

En examinant les résultats obtenus dans la figure (V.54), les valeurs de pH de l'eau distillée sont comprises entre 6,85 et 7,1 avec une moyenne de 6,94, en comparant ces résultats par rapport aux normes (6,8-7,2) on constate qu'ils sont dans la plage des normes et ne présentent aucune anomalie.

V.4.2. La Conductivité :

Tableau V.14: résultat d'analyse de la conductivité

Mois	Cond (µs/cm)	La norme Sortie
Janvier	25,57	≤25
février	10,35	≤25
Mars	13,25	≤25
Avril	25,63	≤25
Mai	26,41	≤25
Juin	26,94	≤25
juillet	7,4	≤25
Août	6,9	≤25
septembre	6,6	≤25
octobre	5,7	≤25
novembre	8,8	≤25
décembre	10,1	≤25

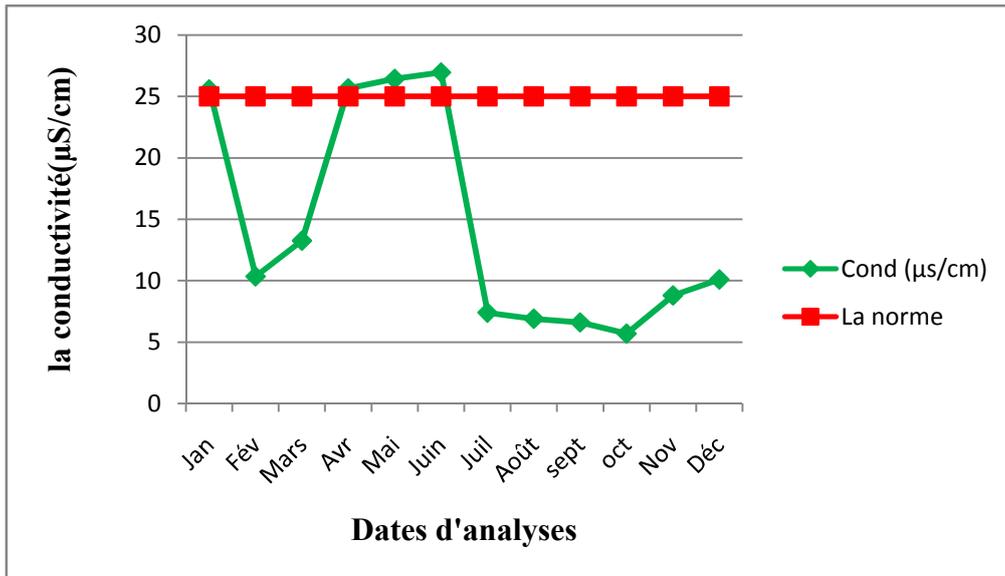


Figure V.55: Variation moyenne de la conductivité de l’eau distillée (2015)

D’après les résultats obtenus, les valeurs de la conductivité des différents échantillons de l’eau distillée situent dans un intervalle qui va d’un minimum de 5,7 µs/cm à un maximum de 26,94µs/cm (une moyenne de14,47 µs/cm). On remarque des pics au mois (Janvier, Avril, Mai, Juin), dépassant la norme (≤ 25). Traduisent par la concentration importante en solide dissout pendant ces mois

V.4.3. Chlorure (Cl⁻) :

Tableau V.15: la concentration de chlorure dans l’eau distillée

Mois	Cl ⁻ (mg/l)	La norme Sortie
Janvier	2,2	0
février	0	
Mars	0	
Avril	2,35	
Mai	3,3	
Juin	3	
juillet	0	
Août	0	
septembre	0	
octobre	0	
novembre	0	
décembre	0	

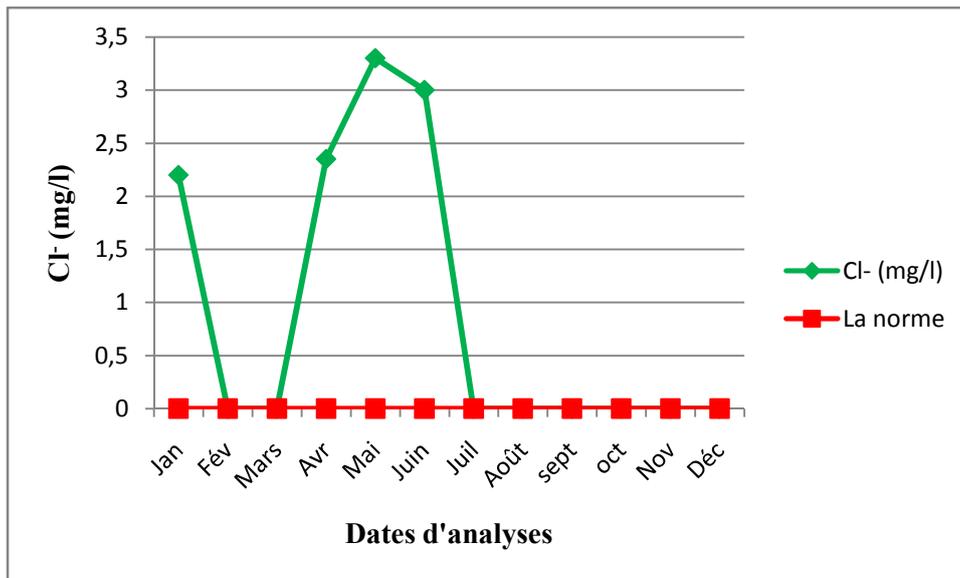


Figure V.56: Variation moyenne de Cl⁻ de l'eau distillée (2015)

Selon les résultats présentés sur la figure (V.56), on remarque que les valeurs du Chlorure de la société sont instables, elles varient entre 0 mg/l et 3,3mg/l avec une moyenne de 0,9mg/l. On remarque que des pics au mois (Janvier, Avril, Mai, Juin). Peuvent être traduite par une fuite dans les tubes des condenseurs.

V.5.Résultat d'analyse de l'eau distillée de l'année 2016

V.5.1. Le potentiel hydrogène (pH) :

Tableau V.16: résultat d'analyse de potentiel hydrogène

Mois	pH	Min	Max
Janvier	6,88	6,8	7,2
février	6,86	6,8	7,2
Mars	7,02	6,8	7,2
Avril	6,97	6,8	7,2
Mai	7,01	6,8	7,2
Juin	6,89	6,8	7,2
juillet	6,97	6,8	7,2
Août	6,88	6,8	7,2
septembre	6,85	6,8	7,2
octobre	6,9	6,8	7,2
novembre	7	6,8	7,2
décembre	7,08	6,8	7,2

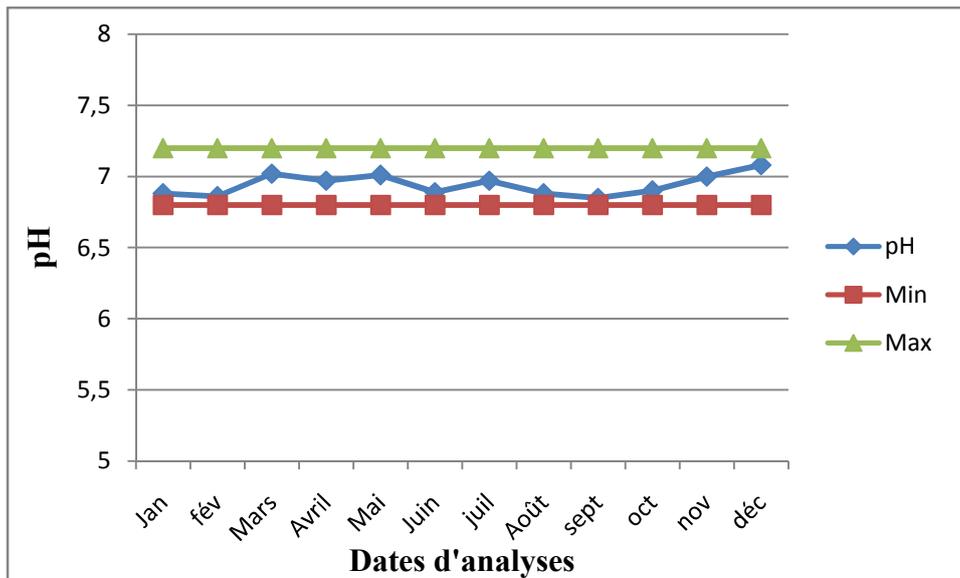


Figure V.57: Variation moyenne de pH de l'eau distillée (2016)

D'après les résultats obtenus, on remarque que les valeurs de pH de l'eau distillée de la station sont variables pendant les mois de l'année, elles varient entre 6,85 μ S/cm et 7,08 μ S/cm avec une moyenne de 6,94 μ S/cm .Ces valeur obéissent aux normes (6,8-7,2).

V.5.2. La Conductivité :

Tableau V.17: résultat d'analyse de la conductivité

Mois	Cond (μ s/cm)	La norme Sortie
Janvier	14,7	≤ 25
février	17,9	≤ 25
Mars	12,9	≤ 25
Avril	25,18	≤ 25
Mai	17,5	≤ 25
Juin	16,9	≤ 25
juillet	25,23	≤ 25
Août	25,18	≤ 25
septembre	27,25	≤ 25
octobre	17,1	≤ 25
novembre	25,28	≤ 25
décembre	25,09	≤ 25

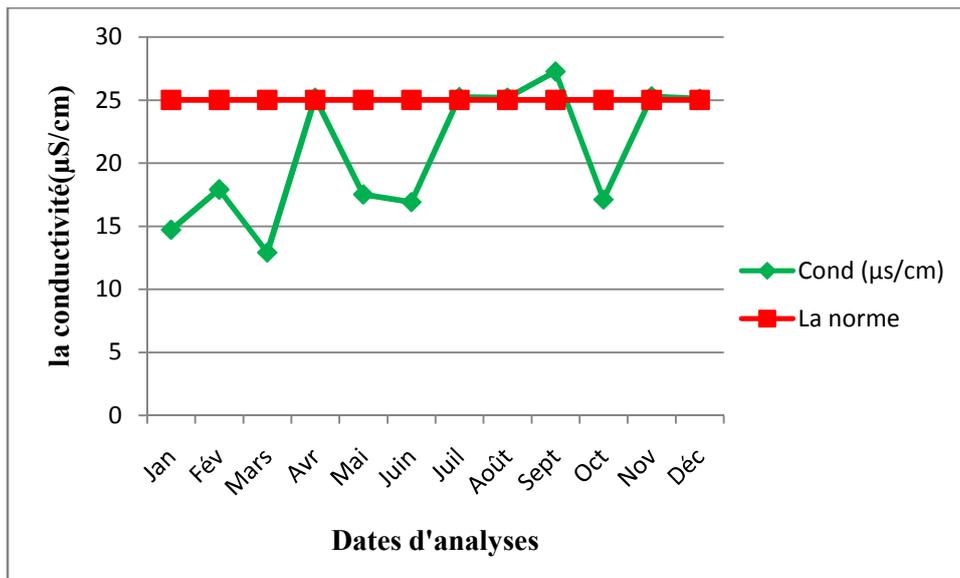


Figure V.58: Variation moyenne de la conductivité de l’eau distillée(2016)

D’après les résultats présentés dans la figure (V.58), on remarque que les valeurs de la conductivité varient de 12,9 µS/cm à 27,25 µS/cm (soit une moyenne de 20,85 µS/cm). On remarque des pics au mois (Avril, Juillet, Aout, Septembre, Novembre et Décembre) dépassant la norme, traduisent par la concentration importante en solide dissout pendant ces mois.

V.5.3. Chlorure (Cl):

Tableau V.18: la concentration de chlorure dans l’eau distillée

Mois	Cl ⁻ (mg/l)	La norme Sortie
Janvier	0	0
février	0	
Mars	0	
Avril	1,2	
Mai	0	
Juin	0	
juillet	0,33	
Août	0,19	
septembre	3,2	
octobre	0	
novembre	0,52	
décembre	0,18	

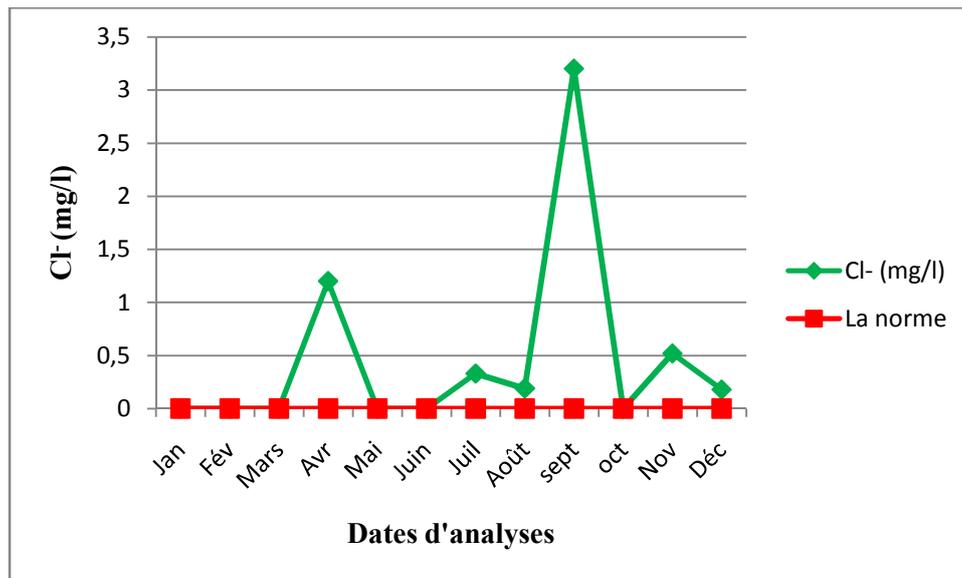


Figure V.59: Variation moyenne de Cl⁻ dans l'eau distillée (2016)

Selon les résultats présentés sur la figure (V.59), on remarque que les valeurs du chlorure sont instables, elles varient entre 0 mg/l et 3,2 mg/l avec une moyenne de 0,468 mg/l. On remarque des pics au mois (Avril, Juillet, Aout, Septembre, Novembre et Décembre). peuvent être traduite par la qualité d'eau d'appoint entrée car certaines eau favorisent des phénomènes de moussage qui peuvent provoquer des entrainements d'eau salée.

V.6. Résultat d'analyse de quinze jours :

L'étude a porté principalement sur les caractéristiques des eaux de mer et des eaux produites qui affectent les installations et engendrent l'encrassement et la corrosion aux matériaux.

Pour cet objectif, j'ai effectuée des analyses chimiques et physico-chimiques au sein laboratoire de la société "ALZINC" de Ghazaouet pendant quinze jours. Les résultats expérimentaux trouvés sont présentés comme suit :

V.6.1. Titre alcalimétrique (T.A) :

Tableau V.19: résultat d'analyse de titre alcalimétrique

	Entrée	Sortie	La norme sortie
14/02/2017	0,2	0	0
19/02/2017	0,15	0	
22/02/2017	0,1	0	
26/02/2017	0,23	0	
02/03/2017	0,57	0	
05/03/2017	0,27	0	
08/03/2017	0,22	0	
12/03/2017	0,19	0	
15/03/2017	0,12	0	
20/03/2017	0,18	0	
23/03/2017	0,23	0	
27/03/2017	0,53	0	
30/03/2017	0,32	0	
01/04/2017	0,24	0	
03/04/2017	0,15	0	

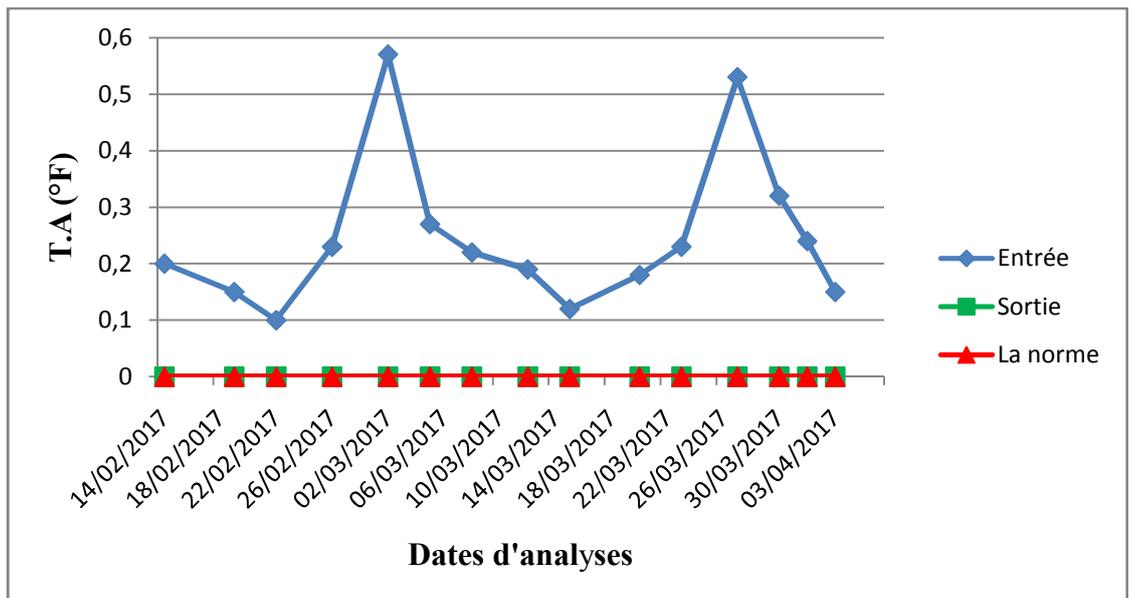


Figure V.60: variation de TA à l'entrée et à la sortie de la station

D'après les résultats obtenus, on remarque que les valeurs du Titre Alcalimétrique à l'entrée de la station sont variables pendant les mois de l'année, elles varient entre 0,1 °F et 0,57 °F avec une moyenne de 0,24 °F. Concernant la sortie de la station, les valeurs enregistrées sont nul pendant tous les jours. Ces valeurs obéissent aux normes (0°F).

V.6. 2. Titre alcalimétrique complet (T.A.C) :

Tableau V.20: résultat d'analyse de titre alcalimétrique complet

	T.A.C (°F)		
	Entrée	Sortie	La norme sortie
14/02/2017	12,45	0,32	5
19/02/2017	10,32	0,21	
22/02/2017	10,17	0,2	
26/02/2017	13,38	0,35	
02/03/2017	13,98	0,43	
05/03/2017	11,35	0,23	
08/03/2017	10,98	0,22	
12/03/2017	8,79	0,11	
15/03/2017	11,56	0,3	
20/03/2017	10,63	0,23	
23/03/2017	11,71	0,3	
27/03/2017	13,94	0,44	
30/03/2017	11,34	0,39	
01/04/2017	10,78	0,34	
03/04/2017	7,65	0,19	

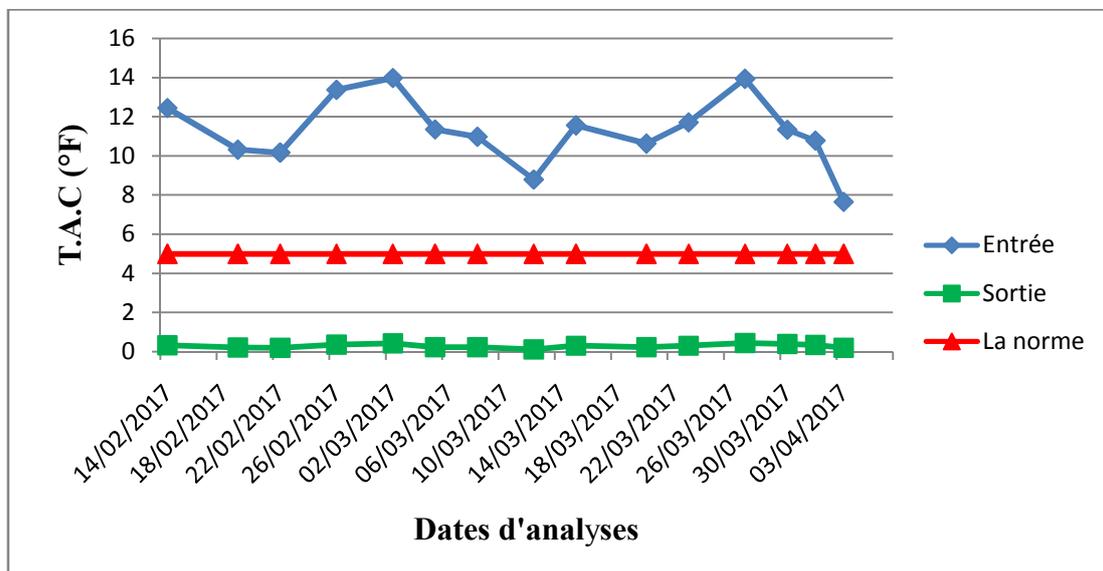


Figure V.61: variation de TAC à l'entrée et à la sortie de la station

D'après les résultats obtenus, on remarque que les valeurs du Titre Alcalimétrique Complet à l'entrée de la station sont très variables pendant les quinze, elles varient entre 7,65 °F et 13,98 °F avec une moyenne de 11,26 °F. Concernant la sortie de la station, les valeurs enregistrées

sont inférieures à celles de l'entrée, elles varient entre 0,11 °F et 0,43 °F avec une moyenne de 0,28°F. Ces valeurs obéissent aux normes (5°F)

V.6.3. Les sels dissous

Tableau V.21: Résultats d'analyses des sels dissous de l'eau distillée

	Sels dissous (mg/L)
14/02/2017	19,12
19/02/2017	12,54
22/02/2017	11,96
26/02/2017	20,93
02/03/2017	25,65
05/03/2017	13,73
08/03/2017	13,14
12/03/2017	6,56
15/03/2017	17,9
20/03/2017	14,05
23/03/2017	17,9
27/03/2017	26,29
30/03/2017	23,3
01/04/2017	20,32
03/04/2017	11,35

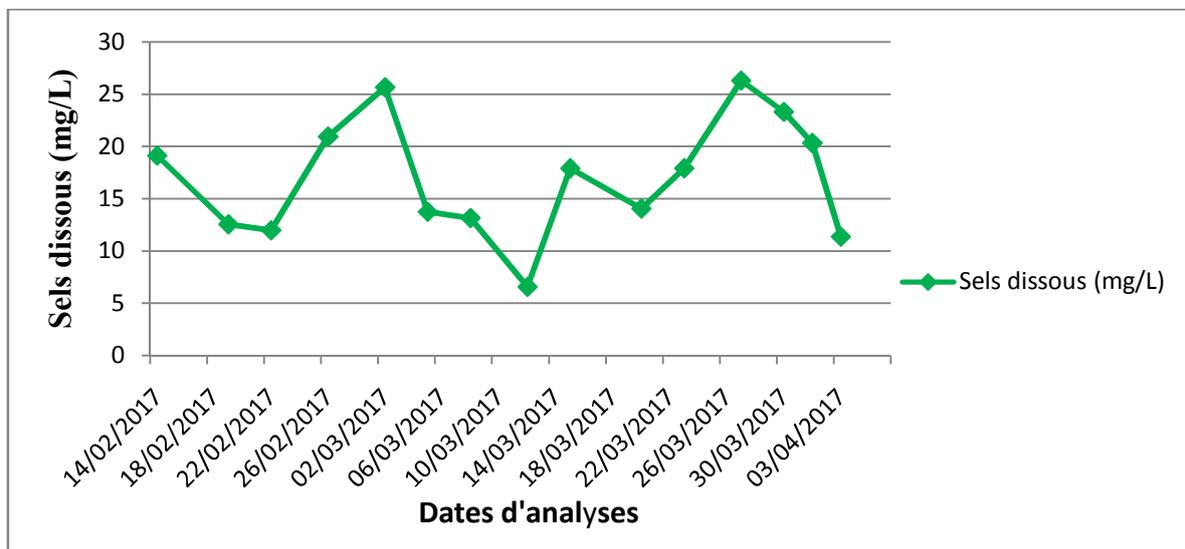


Figure V61: variation des sels dissous à la sortie de la station

D'après les résultats obtenus dans la figure (V61), les valeurs de la concentration en sels dissous de l'eau distillée sont comprises entre 6,56 mg/L et 26,29 mg/L avec une moyenne de

(16,98mg/L), mais on remarque des pics aux (2 et le 27 Mars), ces valeurs peuvent être traduite par la qualité d'eau d'appoint entrée car certaines eau favorisent des phénomènes de moussage qui peuvent provoquer des entrainements d'eau salée.

V.6.4..La dureté totale (T.H) :

Tableau V.22: résultat d'analyse de la dureté total

	T.H(°F)		
	Entrée	Sortie	La norme Sortie
14/02/2017	234	0,64	18
19/02/2017	118,5	0,493	
22/02/2017	96,9	0,409	
26/02/2017	265,7	0,67	
02/03/2017	293,6	0,69	
05/03/2017	145,8	0,34	
08/03/2017	97,9	0,34	
12/03/2017	87,8	0,23	
15/03/2017	134,7	0,56	
20/03/2017	123,5	0,25	
23/03/2017	130,7	0,35	
27/03/2017	249,8	0,58	
30/03/2017	148,1	0,47	
01/04/2017	126,6	0,49	
03/04/2017	93,9	0,35	

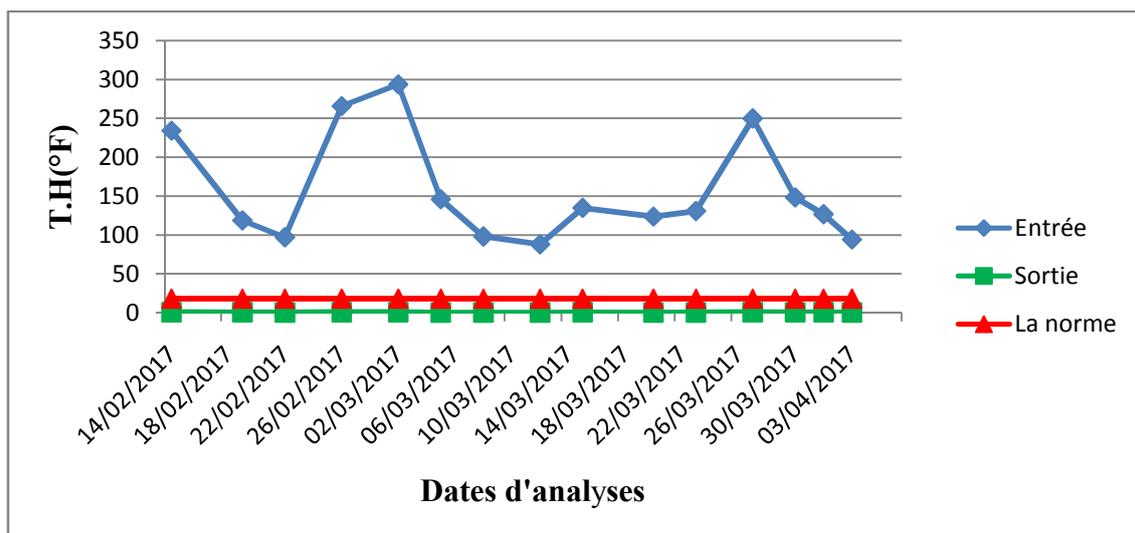


Figure V.62: variation de TH à l'entrée et à la sortie de la station

Selon les résultats indiqués, les valeurs de la dureté totale mesurée à l'entrée de la station, varient entre 87,8 °F et 293,6 °F avec une moyenne de 156,5 °F. Concernant les eaux à la sortie de la station, les valeurs enregistrées sont largement inférieure à celle de l'entrée, elles varient entre 0,23 °F et 0,69 °F avec une moyenne de 0,45 °F, ces valeurs sont très inférieure à la norme (18°F).

V.6.5. La dureté permanente:

Tableau V.23: résultat d'analyse de la dureté permanente

	La dureté permanente (°F)		
	Entrée	Sortie	La norme Sortie
14/02/2017	221,55	0,32	13
19/02/2017	108,18	0,28	
22/02/2017	86,73	0,29	
26/02/2017	252,32	0,32	
02/03/2017	279,8	0,26	
05/03/2017	134,45	0,11	
08/03/2017	86,92	0,12	
12/03/2017	79,01	0,02	
15/03/2017	123,14	0,26	
20/03/2017	112,87	0,02	
23/03/2017	118,99	0,05	
27/03/2017	235,86	0,14	
30/03/2017	136,7	0,08	
01/04/2017	115,82	0,15	
03/04/2017	86,25	0,19	

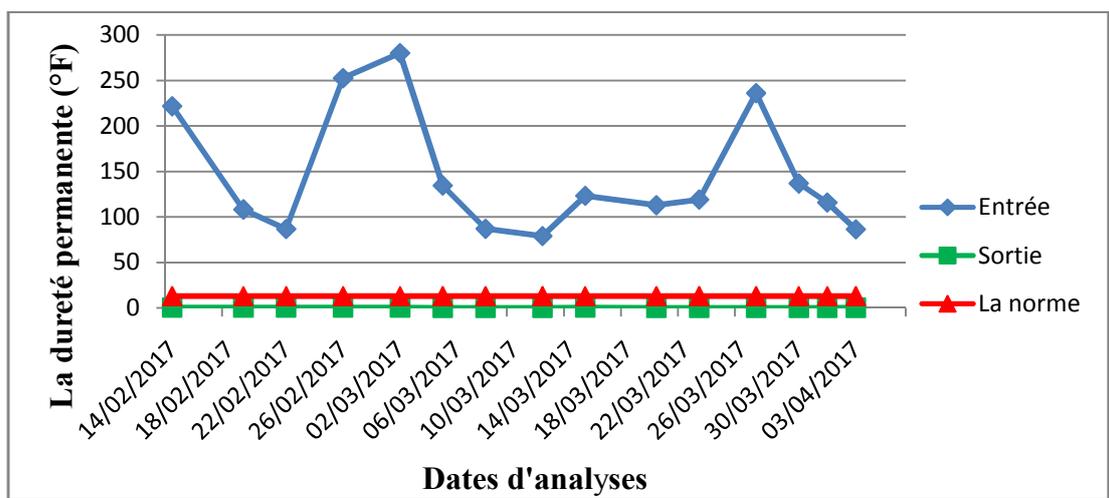


Figure V.63: variation de La dureté permanente à l'entrée et à la sortie de la station

En examinant les résultats présentés dans la figure (V.63), on remarque que les valeurs enregistrées révèlent une grande différence entre l'entrée et la sortie de la station, elles oscillent entre 79,01°F et 279 °F avec une moyenne de 145,23 mg/l au niveau de l'entrée de la station. En ce qui concerne les eaux distillées à la sortie de la station, les valeurs de la dureté permanente varient entre 0,02°F et 0,32 °F avec une moyenne de 0,17 °F, ces valeurs sont largement inférieures à celle de la norme (13 °F).

V.6.6. Le potentiel hydrogène (pH) :

Tableau V.24: résultat d'analyse de potentiel d'hydrogène

	pH			
	Entrée	Sortie	Min Sortie	Max Sortie
14/02/2017	8,05	6,83	6,8	7,2
19/02/2017	7,9	6,94		
22/02/2017	7,8	7,08		
26/02/2017	7,68	6,93		
02/03/2017	8,1	6,85		
05/03/2017	7,79	7,03		
08/03/2017	7,91	6,94		
12/03/2017	8,05	6,92		
15/03/2017	7,99	6,85		
20/03/2017	8,2	6,91		
23/03/2017	8,3	6,88		
27/03/2017	8,23	6,91		
30/03/2017	8,21	6,82		
01/04/2017	8,16	6,89		
03/04/2017	7,97	6,95		

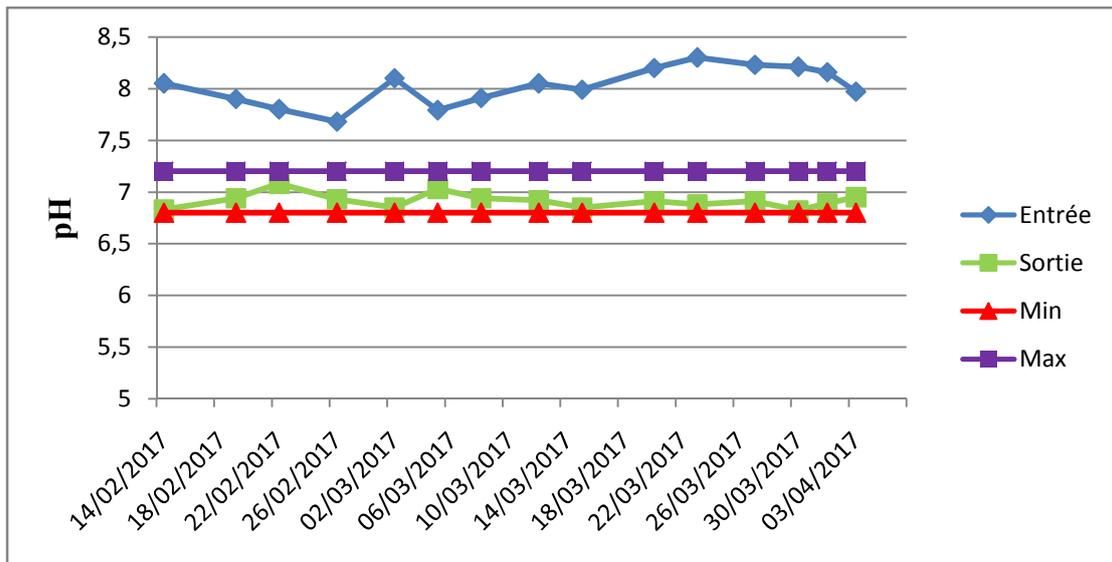


Figure V.64: variation de pH à l'entrée et à la sortie de la station

Selon les résultats indiqués, les valeurs du pH mesurées à l'entrée de la station, varient entre 7,68 et 8,3 avec une moyenne de 8,02. Concernant les eaux à la sortie de la station, les valeurs enregistrées varient entre 6,82 et 7,08 avec une moyenne de 6,91, ces valeurs sont situées dans la bonne gamme, elles sont dans les normes (6,8-7,2).

V.6.7.la température

Tableau V.25: résultat d'analyse de la température

	T(°C)			
	Entrée	Sortie	Min Sortie	Max Sortie
14/02/2017	24,95	33,7	25	37
19/02/2017	25,6	31,2		
22/02/2017	25,84	28,29		
26/02/2017	27,78	32,8		
02/03/2017	24,46	33,7		
05/03/2017	27,43	30,1		
08/03/2017	29,76	29,2		
12/03/2017	26,5	28,4		
15/03/2017	28,07	31,4		
20/03/2017	25,86	28,1		
23/03/2017	25,04	29,4		
27/03/2017	24,88	33,3		
30/03/2017	29,8	31,2		
01/04/2017	27,2	33,4		
03/04/2017	29,35	29,3		

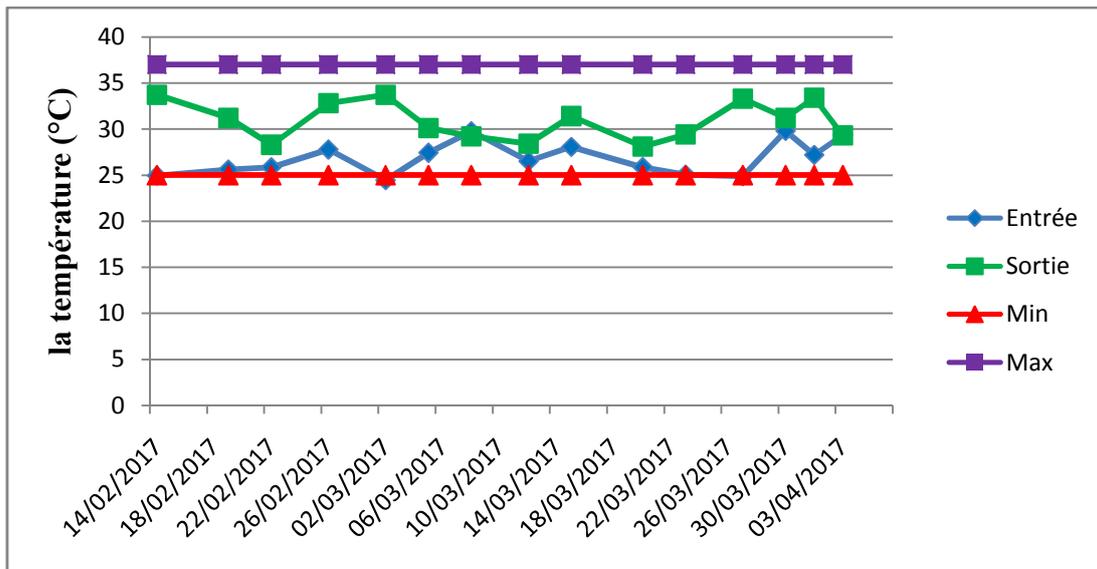


Figure V.65: variation de la température à l'entrée et à la sortie de la station

D’après les résultats obtenus, les valeurs de la température des différents échantillons à l’entrée de la station de dessalement de la société ALZINC se situent dans un intervalle qui va d’un minimum de 24,46°C à un maximum de 29,8°C (une moyenne de 26,83°C), ces valeurs varient entre 28,1 °C et 33,7 °C avec une moyenne de 30,89 °C à la sortie. Les valeurs de la température relevées de la station sont donc conformes à la norme (25°C -37°C).

V.6.8.La Conductivité :

Tableau V.26: résultat d’analyse de la conductivité

	Cond (µs/cm)	La norme Sortie
14/02/2017	19,6	≤25
19/02/2017	12,7	≤25
22/02/2017	9,6	≤25
26/02/2017	21,3	≤25
02/03/2017	26,1	≤25
05/03/2017	16,6	≤25
08/03/2017	13,7	≤25
12/03/2017	12,1	≤25
15/03/2017	19,8	≤25
20/03/2017	16,7	≤25
23/03/2017	13,3	≤25
27/03/2017	26,8	≤25
30/03/2017	23,1	≤25
01/04/2017	15,3	≤25
03/04/2017	14,3	≤25

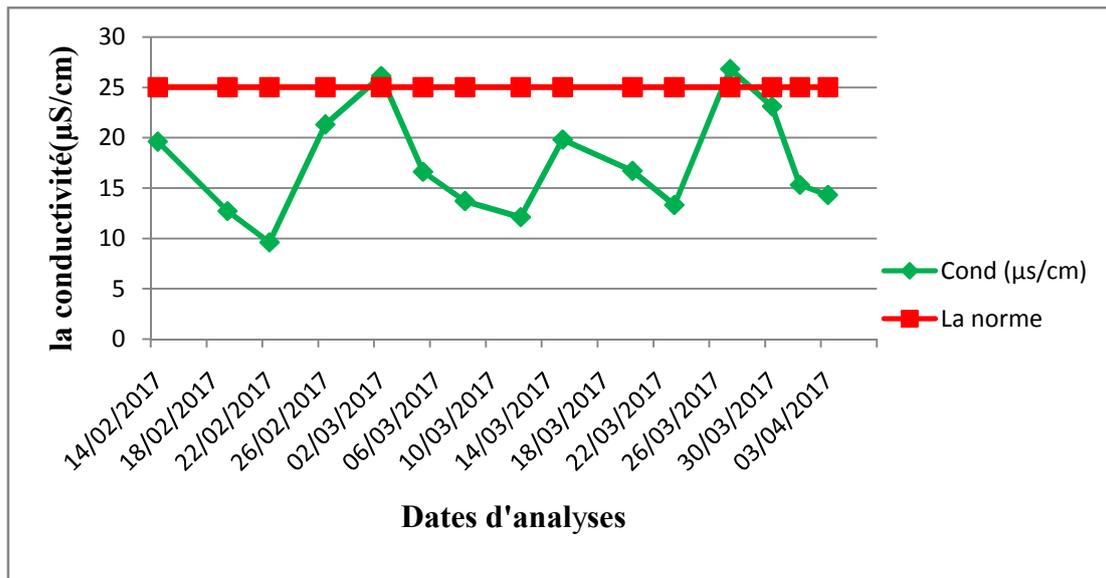


Figure V.66: variation de la conductivité à la sortie de la station

En examinant les résultats obtenus dans la figure (V.66), les valeurs de la Conductivité de l'eau distillée sont comprises entre 9,6 µS/cm et 26,8 µS/cm avec une moyenne 17,4 µS/cm, nous constatant en comparant ces résultat par apport aux normes (≤ 25 µS/cm) qu'ils sont dans la plage des normes , mais on remarque des pics aux (02 et le 27Mars). Ces variation peuvent êtres traduisent par la concentration importante en solide dissout pendant ces jours.

V.6.9.Chlorure (Cl⁻) :

Tableau V.27: la concentration de chlorure dans l'eau distillée

	Cl ⁻ (mg/L)	La norme Sortie
14/02/2017	2,3	0
19/02/2017	0,8	
22/02/2017	0,2	
26/02/2017	7,1	
02/03/2017	6,8	
05/03/2017	7	
08/03/2017	2,6	
12/03/2017	0,4	
15/03/2017	2,4	
20/03/2017	3,2	
23/03/2017	1,3	
27/03/2017	2,5	
30/03/2017	2,4	
01/04/2017	4,9	
03/04/2017	0,6	

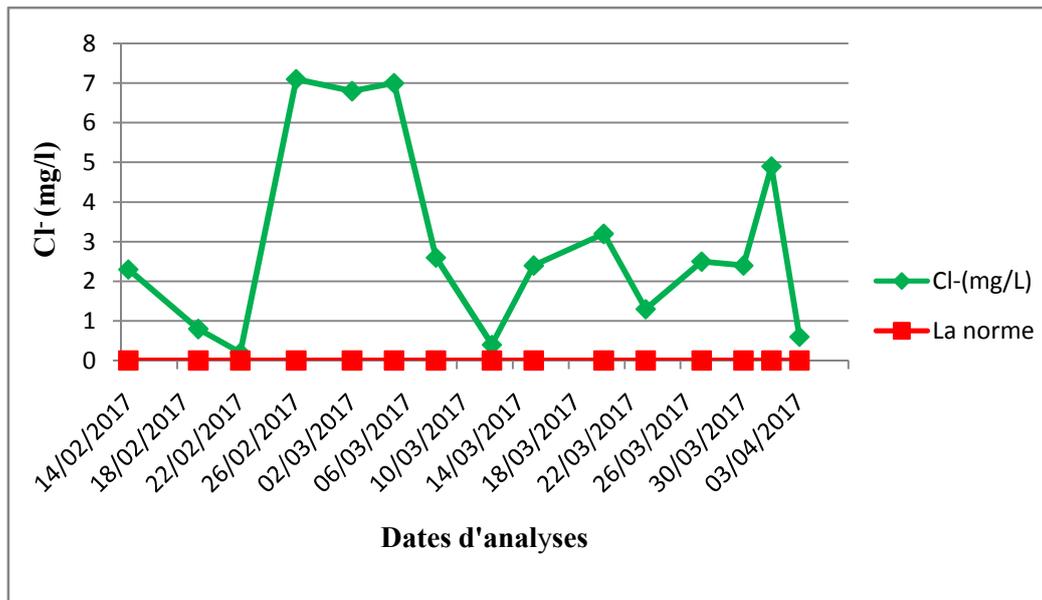


Figure V.67: variation de chlorure à la sortie de la station

En général la teneur en chlorures d’une eau dépend de l’origine de cette eau et de la nature de terrain qu’elle traverse, elle participe à la conductivité électrique des cours d’eau. Les ions Cl⁻ participent dans la formulation moléculaire de KCl et NaCl. Il est important pour le laboratoire de connaître la quantité de chlorure dans une eau distillée, afin d’empêcher le bouchage des tuyères. Les résultats d’analyse de notre tableau indique que la teneur en chlorure varie de 0,2 mg/L à 7,1 mg/L et une moyenne de 2,9 mg/L. Ces variations peuvent être traduites par des fuites des tubes de condenseurs distillateurs. La teneur en chlorure doit être nulle pour éviter la corrosion des matériaux. Quant aux eaux industrielles, leur teneur élevée en chlorures rend l’eau corrosive, ces ions attaquent les métaux par piquage.

V.6.10.Sulfate SO₄⁻² (g/l) :

Tableau V.28 : résultat d’analyse de Sulfate

	SO ₄ ⁻² (mg/l)	La norme Sortie
14/02/2017	52	200
19/02/2017	56	
22/02/2017	37	
26/02/2017	61	
02/03/2017	73	
05/03/2017	24	
08/03/2017	26	
12/03/2017	21	
15/03/2017	43	
20/03/2017	27	
23/03/2017	19	
27/03/2017	39	
30/03/2017	39	
01/04/2017	52	
03/04/2017	18	

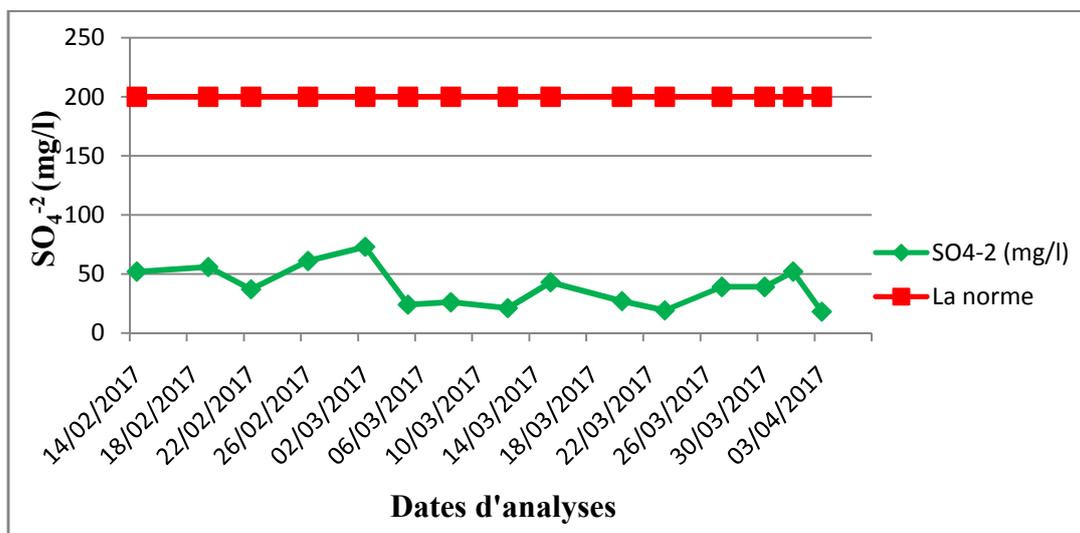


Figure V.68: variation de Sulfate à la sortie de la station

Selon les résultats présentés sur la figure(V.68), on remarque que les valeurs du sulfate sont instables, elles varient entre 18 mg/l et 73mg/l avec une moyenne de 39 mg/l. On constate que ces résultats sont très inférieur à la norme (200 mg/L) , et ne présente aucune anomalie.

V.6.11.Métaux lourd

Les résultats des métaux lourds obtenus sont représentés en mg/L

a. Le sodium (Na) :

Tableau V.29: la concentration de sodium dans l'eau distillée

	Na (mg/l)
14/02/2017	0,21
19/02/2017	0,16
22/02/2017	0,09
26/02/2017	0,17
02/03/2017	0,2
05/03/2017	0,13
08/03/2017	0,16
12/03/2017	0,11
15/03/2017	0,18
20/03/2017	0,15
23/03/2017	0,1
27/03/2017	0,15
30/03/2017	0,15
01/04/2017	0,21
03/04/2017	0,11

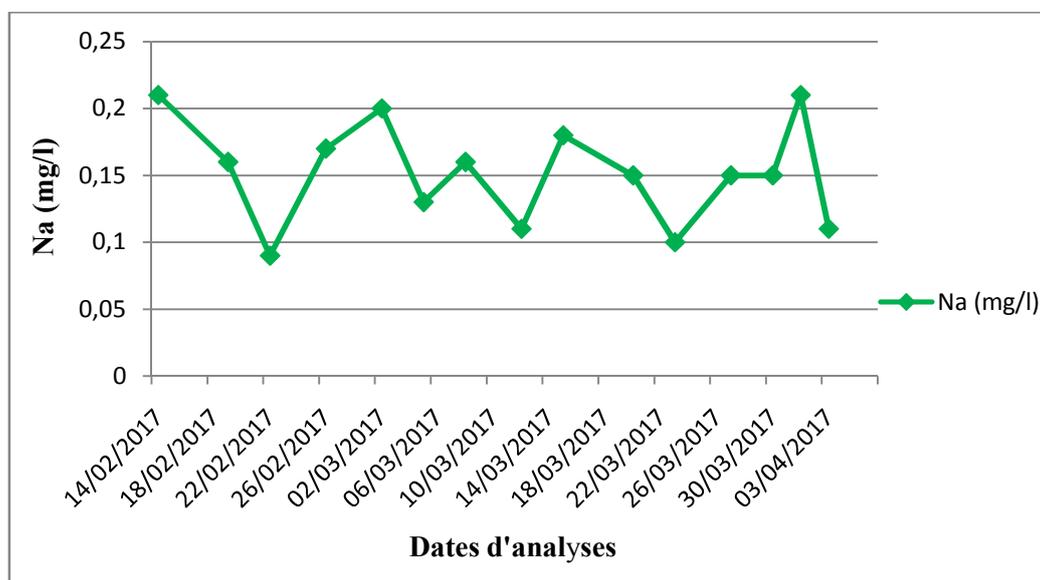


Figure V.69: résultat d'analyse de sodium

Le tableau suivant regroupe les résultats d'analyses pour quinze échantillons de l'eau distillée pour quinze dates différentes, les valeurs de sodium varient entre 0,09

mg/L à 0.21mg/L avec une valeur moyenne 0.15 mg/L, ce qui implique que ces variations restent dans les valeurs souhaitées pour une eau destinée à usage industriel.

b. Le Zinc (Zn):

Tableau V.30: la concentration du Zinc dans l'eau distillée

	Zn (mg/l)
14/02/2017	0,19
19/02/2017	0,14
22/02/2017	0,08
26/02/2017	0,22
02/03/2017	0,16
05/03/2017	0,15
08/03/2017	0,14
12/03/2017	0,12
15/03/2017	0,17
20/03/2017	0,18
23/03/2017	0,11
27/03/2017	0,11
30/03/2017	0,17
01/04/2017	0,19
03/04/2017	0,12

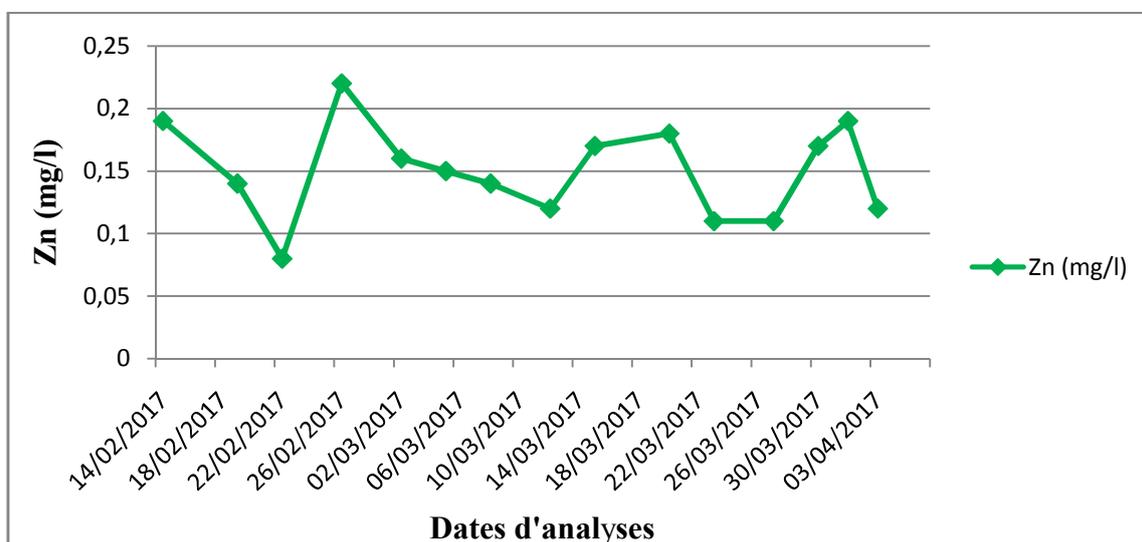


Figure V.70: résultat d'analyse de zinc

Concernant le zinc, les analyses de quinze échantillons prélevés pendant toute l'année, montrent que cette eau a des teneurs faibles de ce métal qui varie entre 0,08 mg/l et 0,22 mg/l

avec une moyenne de 0,12 mg/l. Ces variations restent dans les valeurs souhaitées pour une eau destinée à usage industriel.

c. Le cuivre (Cu) :

Tableau V.31 : la concentration de cuivre dans l'eau distillée

	Cu (mg/l)
14/02/2017	0,031
19/02/2017	0,029
22/02/2017	0,021
26/02/2017	0,034
02/03/2017	0,037
05/03/2017	0,023
08/03/2017	0,024
12/03/2017	0,018
15/03/2017	0,021
20/03/2017	0,031
23/03/2017	0,019
27/03/2017	0,023
30/03/2017	0,027
01/04/2017	0,036
03/04/2017	0,021

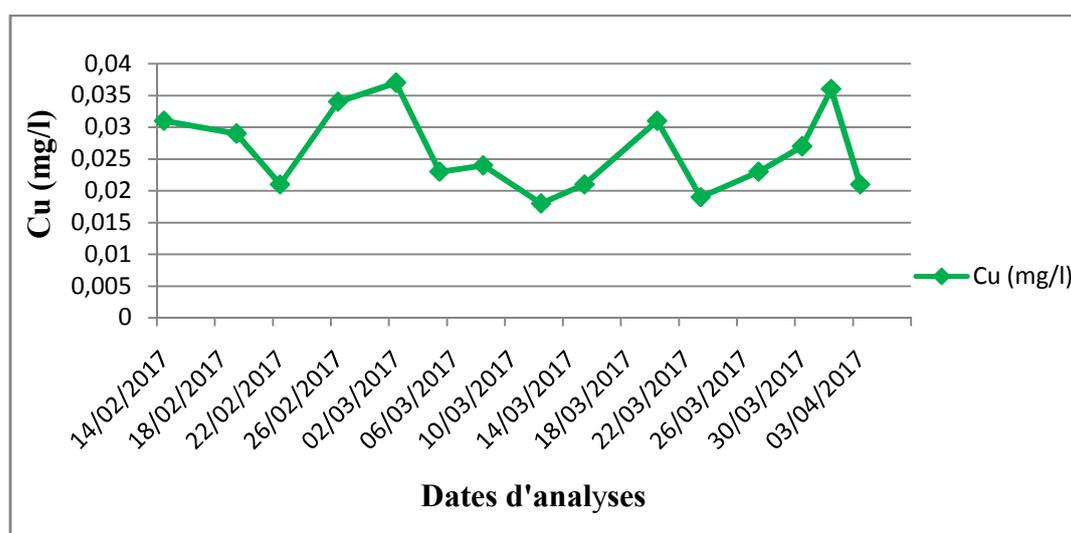


Figure V.71: Résultat d'analyse de cuivre

D'après les analyses effectuées, les résultats montrent que les valeurs des analyses du cuivre sont très faibles, qui oscillent d'un minimum de 0,018 mg/L à un maximum de 0,037 mg/L (une moyenne de 0,026 mg/L). Ces variations restent dans la gamme des valeurs souhaitées pour une eau destinée à usage industriel.

d. Le Fer (Fe) :

Tableau V.32 : la concentration de fer dans l'eau distillée

	Fe (mg/l)
14/02/2017	0,2
19/02/2017	0,17
22/02/2017	0,09
26/02/2017	0,21
02/03/2017	0,2
05/03/2017	0,11
08/03/2017	0,13
12/03/2017	0,12
15/03/2017	0,14
20/03/2017	0,17
23/03/2017	0,11
27/03/2017	0,13
30/03/2017	0,16
01/04/2017	0,22
03/04/2017	0,13

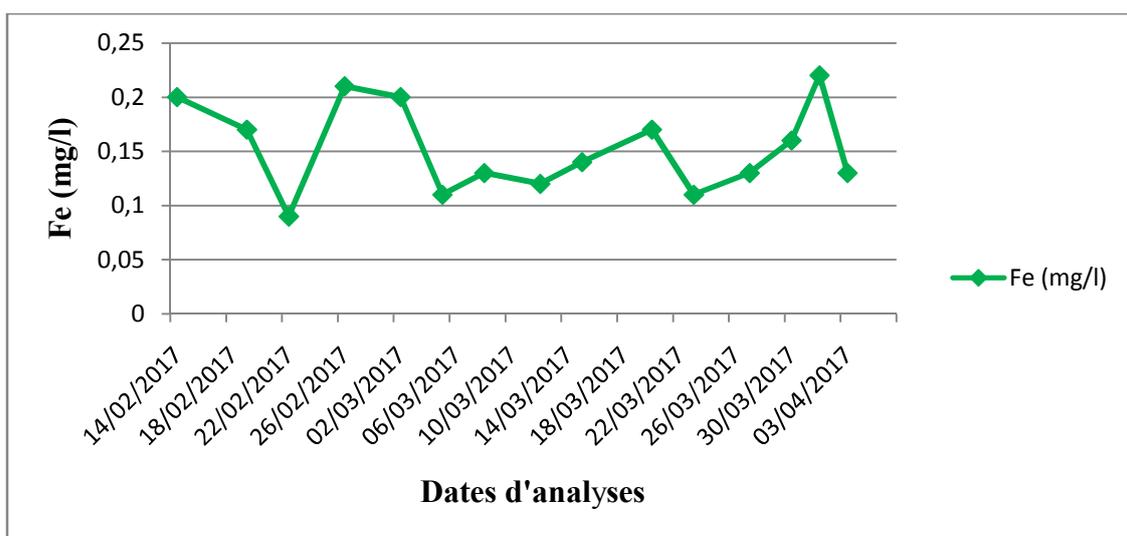


Figure V.72: résultat d'analyse de Fer

Selon les résultats présentés sur la figure (V.72), on remarque que les valeurs du fer varient entre 0,09 mg/l et 0,22 mg/l avec une moyenne de 0,15 mg/L. Ces variations restent dans la gamme des valeurs souhaitées pour une eau destinée à usage industriel.

e. Le Calcium (Ca) :

Tableau V.33 : la concentration de calcium dans l'eau distillée

	Ca (mg/l)
14/02/2017	0,31
19/02/2017	0,33
22/02/2017	0,21
26/02/2017	0,38
02/03/2017	0,43
05/03/2017	0,21
08/03/2017	0,25
12/03/2017	0,18
15/03/2017	0,23
20/03/2017	0,26
23/03/2017	0,21
27/03/2017	0,28
30/03/2017	0,24
01/04/2017	0,36
03/04/2017	0,23

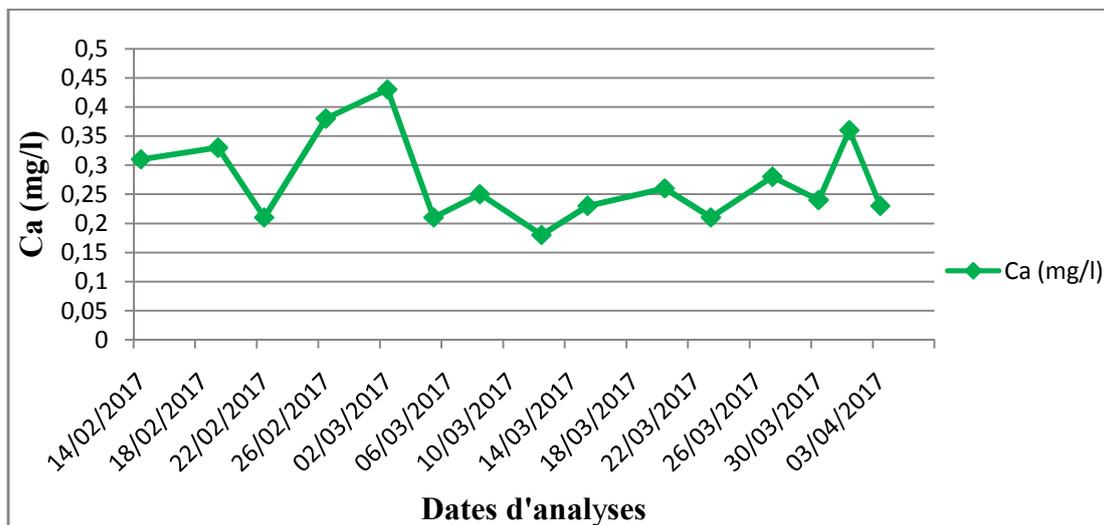


Figure V.73: résultat d'analyse de calcium

D'après les analyses effectuées, les résultats montrent que les valeurs des analyses du calcium sont très faibles, ils vont d'un minimum de 0,18 mg/L à un maximum de 0,43mg/L

(une moyenne de 0,27mg/L). Ces variations restent dans la gamme des valeurs souhaitées pour une eau destinée à usage industriel.

Les eaux chargées en calcium, provoquent des désagréments matériels : entartrage des canalisations et des chauffe-eau

f. Le Magnésium (Mg) :

Tableau V.34: la concentration de magnésium dans l'eau distillée

	Mg (mg/l)
14/02/2017	0,32
19/02/2017	0,34
22/02/2017	0,2
26/02/2017	0,37
02/03/2017	0,41
05/03/2017	0,22
08/03/2017	0,21
12/03/2017	0,2
15/03/2017	0,28
20/03/2017	0,27
23/03/2017	0,2
27/03/2017	0,27
30/03/2017	0,26
01/04/2017	0,32
03/04/2017	0,21

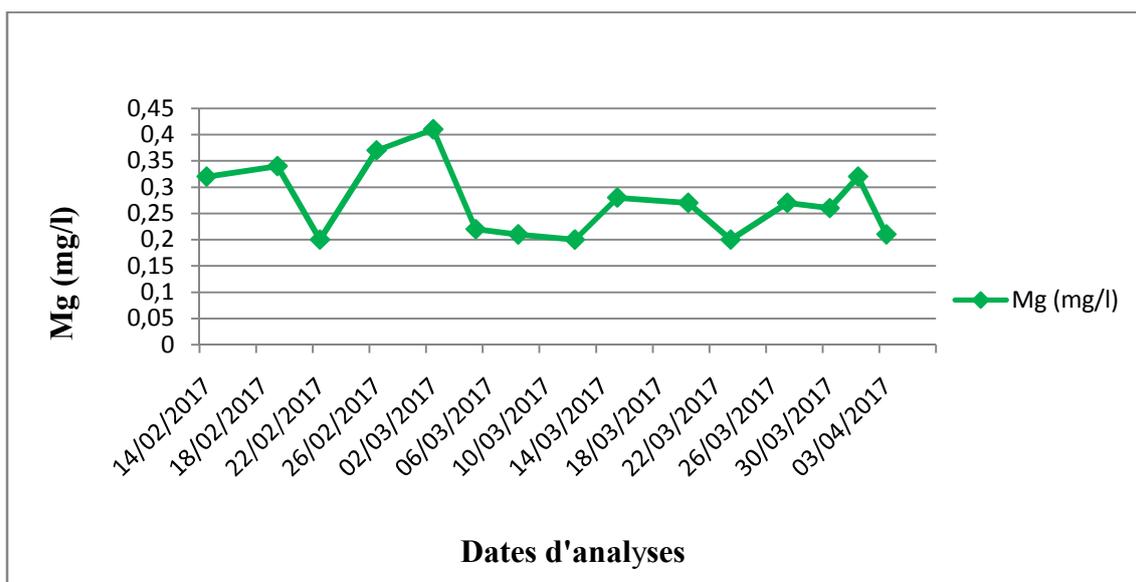


Figure V.74: résultat d'analyse de Magnésium

D'après les analyses effectuées, les résultats montrent que les valeurs des analyses du magnésium sont basses, qui vont d'un minimum de 0,2 à un maximum de 0,41 (une moyenne de 0,27). Ces variations restent dans la gamme des valeurs souhaitées pour une eau destinée à usage industriel

g. Le Potassium (K) :

Tableau N°35: la concentration de potassium dans l'eau distillée

	K (mg/l)
14/02/2017	0,1
19/02/2017	0,05
22/02/2017	0,08
26/02/2017	0,12
02/03/2017	0,13
05/03/2017	0,08
08/03/2017	0,05
12/03/2017	0,06
15/03/2017	0,09
20/03/2017	0,08
23/03/2017	0,06
27/03/2017	0,1
30/03/2017	0,1
01/04/2017	0,09
03/04/2017	0,05

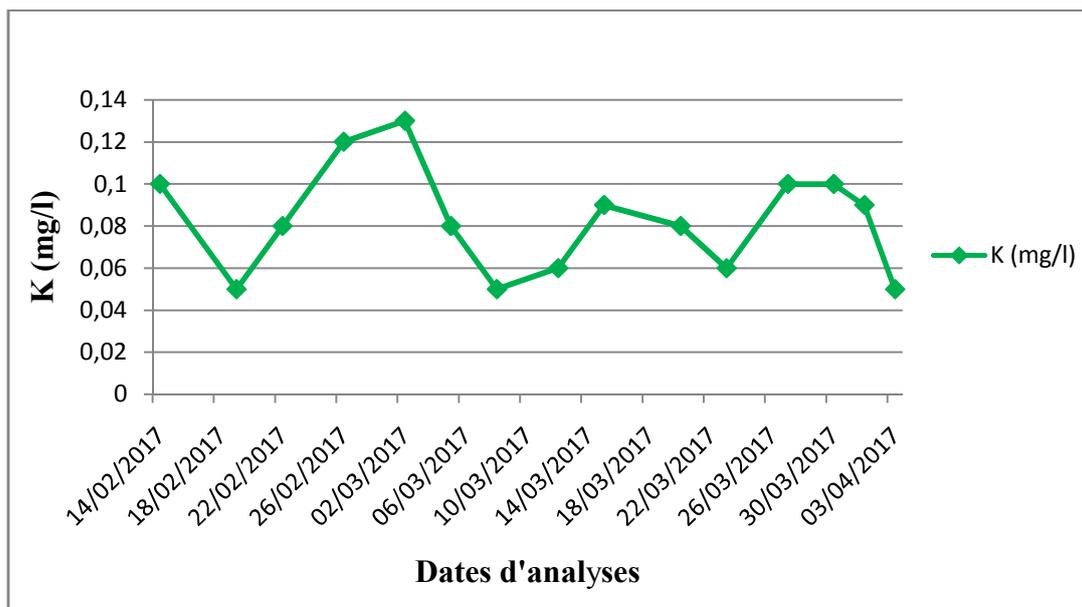


Figure V.75: résultat d'analyse de potassium

Selon les résultats présentés sur la figure (V.75), on remarque que les valeurs de potassium varient entre 0,05mg/l et 0,13 mg/l avec une moyenne de 0,082 mg/L. Ces variations restent dans la gamme des valeurs souhaitées pour une eau destinée à usage industriel.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le dessalement de l'eau de mer constitue une solution compétitive pour pallier à la rareté de cette ressource. Les techniques de dessalement ont connus une amélioration continue permettant pour atteindre des coûts raisonnables et des débits plus importants.

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

Ce mémoire à fait l'objet d'une étude sur le dessalement d'eau de mer par distillation à multiple effets (MED) et ejectocompression de vapeur au niveau de l'entreprise ALZINC

Après avoir analysé quinze échantillons de l'eau à l'entrée et à la sortie de la station de dessalement de l'eau de mer par distillation à multiple effets (MED) et ejectocompression de vapeur au niveau de l'entreprise ALZINC Ghazaouet on a conclu que :

- Les valeurs de pH des eaux à la sortie sont très proches de la norme (6,8-7,2). Donc l'eau produite est pratiquement neutre.
- La conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux) dissous dans l'eau. Ainsi, plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée. Cette notion est inversement proportionnelle à celle de résistivité électrique.
- Les valeurs de la concentration en chlorures dans l'eau traitée dans l'ensemble respectent la norme (0 mg/l) , a l'exception de certains légers dépassements qui peuvent être traduire par une contamination ou bien par une fuite des tubes des condenseurs.
- Les valeurs de TA de notre eau est nul puisque la coloration rose n'a pas apparu après l'ajout du phénophtaléine à notre échantillon (**TA = 0**), donc on ne peut pas mesurer les ions OH^- et les ions CO_3^{2-} .
- Les valeurs du Titre Alcalimétrique Complet à la sortie de la station sont largement inférieurs à celle de la norme (5°F).
- les valeurs enregistrées de la dureté totale et de la dureté permanente sont très inférieur aux normes.
- Les teneurs élevées en métaux dans l'eau distillée peuvent favoriser la corrosion des canalisations et des raccords de plomberie, toutefois, une eau corrosive peut provoquer

Conclusion générale

la dissolution des métaux comme, le zinc et le cuivre présents dans les tuyaux des canalisations.

- Les analyses effectuées sur l'eau de mer qui alimente la station, nous ont permis de déterminer son caractère entartrant et corrosif et par conséquent définir les méthodes préventives et correctives de l'eau d'appoint pour diminuer l'encrassement et la corrosion des faisceaux tubulaires qui gênent l'échange thermique et qui influent négativement sur la production et la qualité de l'eau distillée produite.

- Les analyses effectuées sur l'eau distillée qui alimente les différentes installations et le procès d'ALZINC notamment la chaudière de dessalement nous ont permis de déterminer son caractère qui doit avoir un aspect clair, sans matière en suspension et sans matière organique, et par conséquent définir les méthodes préventives et correctives pour éviter l'encrassement et la corrosion des faisceaux tubulaires qui gênent l'échange thermique et qui influent négativement sur la production de la vapeur et la qualité de l'eau distillée produite.

Enfin, nous avons conclu que l'eau dessalée à la station de dessalement de la société "ALZINC" à Ghazaouet est de bonne qualité elle respecte les normes.

Bibliographie

- [1] MAUREL A (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2^{ème} édition, TEC &doc
- [2] PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE Réunion des coordonnateurs nationaux pour le MED POL Venise, Italie, 28-31 mai 2001
- [3] BENGOUMI M , BELGHITI M.L, CHAHLAOUI A .BENGOUMI D,EL MOUSTAINE R (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680.
- [4] CHENAOUI BAKHTA. Impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement cas de la station de MAINIS.WILAYA DE CHLEF. Département d'hydraulique. Université de CHLEF.
- [5] FARID TATA-DUCRU (Janvier 2009) .Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes (INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT DE L'ENVIRONNEMENT PARIS INSTITUT OF TECHNOLOGY FOR LIFE , FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCE)
- [6] CLEMENT 1979 « Larousse agricole » édition Larousse
- [7] YACINE BARHOUMI-ANDREANI, JULIEN GAUDREMEAU, BENOIT GERBE, FREDERIC KHAMSSING ET YOANN RABATEL (2004) :« Eau ressources et menaces ». Chutes d'Iguaçu.
- [8] MOLL (1990) circulations in the western méditerranéens se oceanologica acta
- [9] MICHELLE ET DOMINIQUE (1994) « dictionnaire es constantes physique et biologique »édition maloine
- [10] MARINS (1993) « les grandes encyclopédies »
- [11] MAYA T (1998) « la pratique e l'eau édition moniteur France»
- [12] DEGEMENT SUER (2005). Mémento technique de l'eau. 2^{ème} Ed.
- [13] SALGHIL.R : Professeur Habilité à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir

- [14] DUSSART B (1966) .Limnologie : Etude des eaux continentales. GauthierVillars,Ed., Paris. BERMOND R., VUICHAARD R (1973) Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris
- [15] HCEFLCD (2007) .Etude diagnostique de la zone humide AL Massira-Faija, cercle d'EL Brouj et Cercle de Settat Haute Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification .
- [16] HIMMI N.FEKHAOUI M., FOUTLANE A., BOURCHIC H., EL MMAROUFY M., BENAZZOUT T.HASNAOUI M (2003) .Relazione planktonparametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. Rivista Di Idrobiologia. Universitadegli studi di perugia, Departemento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi”
- [17] BENGUEGA SARA (01/06/2016). Etat de fonctionnement de la station d'epuration des eaux usees de la base 24 fevrier sonatrach, et proposition d'amelioration , universite KASDI MERBAH OUARGLA Faculté des sciences appliquées Département Génie Civil et Hydraulique .
- [18] BAUMONT S, CAMARD J P, LEFRANC A, FRANCONI A (2004) .Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS,
- [19] BERNE F. et CORDONNIER J (1991) .Traitement des eaux. Edition : Tec
- [20] RODIER J (2009). L'analyse de l'eau .9eme édition© Dunod, Paris. ISBN 978-2-10-054179-9.
- [21] RONALAD V (2003) . Eau, Environnement et Santé Publique, 2^{ème} édition, Ed TEC&DOC ,PARIS.
- [22] BEAUDRY JEAN-PAUL (1984) Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d' argile INC ,Canada.
- [23] SAMAKE H (2002) .Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako.
- [24] RODIER J (2005) .L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition, Dunod, paris

- [25] TARIK A (2005) .Qualité physico-chimique de l'eau de boisson et la solubilité de certains médicaments utilisés chez la volaille dans certaines. Région du Maroc. Thèse pour l'obtention du doctorat vétérinaire IAV Hassan II. Rabat. Maroc,
- [26] SAVARY P (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Territorial Voiron.
- [27] KEMMER F (1984) .Manuel de l'eau .Edition : Lavoisier technique et documentation.
- [28] HCEFLCD (2006) .Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CRdar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat
- [29] REJSEK (2002) .Analyse des eaux ,aspect réglementaire et techniques, édition scréréen CPDP A quitaine ,Bordeaux.
- [30] SPELLMAN., & FRANK R (2008). The Science of water: concepts and applications. 2ndEd. CRC Press Taylor & Francis Group.USA.
- [31] LEBLEU N (2007) . Désinfection des eaux par procédés membranaires, étude des mécanismes de transfert des bactéries ,thèse de doctorat ,spécialité génie des procédés et de l'environnement. Université de Toulouse
- [32] BAUMONT S, CAMARD J P, LEFRANC A, FRANCONI A (2004) .Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS.
- [33] RAHOU KADA BOUBAKEUR (2013/2014). Evaluation des performances des aérateurs de surface de la STEP d'EL-kerma ORAN.FACULTE DE CHIMIE DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIE.
- [34] DEVILLERS. J, SQUILBIN .M, YOURASSOWSKY. C (2005) .Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, observation des données de l'environnement L'IBGE : "l'eau à bruxelles.Fiche 2.
- [35] ETUDE ÉCONOMIQUE ET IMPACT ECOLOGIQUE DE LA STATION DEDESSALEMENT DE HONAÏNE (W.TLEMCEN)ALLAM Hadil⁽¹⁾ et MELLAH Abdelkarim⁽²⁾
- [36] BOUGIS J (2013) .Revue des aspects maritimes du dessalement d'eau de mer. Revue Paralia.

- [37] AZZI ELIAS (Juillet - Août 2014). LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EN ESPAGNE : UN SECTEUR EN REORIENTATION .Service pour la science et la technologie.
- [38] BOYE H (2008). Eau énergie dessalement et changement climatique en méditerranée. Plan bleu centre d'activité régional, conseil général de l'environnement et du développement durable.
- [39] SADI A (2000) .Le Dessalement Solaire - Considérations Techniques. Rev. Energ Ren. Chemss
- [40] VOUTCHKOV.N (2010).Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system. Elsevier.Desalination.
- [41] VOILLEAU V-J. « Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant».
- [42] J.BRUN (1989). Procédés de séparation par membranes, Masson
- [43] BECHKI D (2011) .Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes. Doctorat en sciences en génie mécanique. Université Hadj lakhdar Batna.
- [44] NOUREDDINNE NORA (06 Janvier 2008) .Etude d'impact des rejets des eaux de la station de déminéralisation de Brédéah sur l'environnement .
- [45] HAMEL HANNANE (2005-2006) .CONDENSATION ET PRECIPITATION DES VAPEURS HUMIDES DANS LE PROCEDE DE DISTILLATION MED. DU DESSALEMENT A AL ZINC , UNIVERSITE Abou Bakr Belkaid – Tlemcen Faculté des sciences ,Département de Chimie .
- [46] KHAWAJIA, KUTUBKHANAH.IK. WIE.J (2008). Advances in sea waters desalination technologies , desalination 221.
- [47] GALUS .C. « les technique de dessalement de l'eau de mer prennent de l'essor » extrait du Monde
- [48] DANIS P (2003) .Dessalement de l'eau de mer. Technique de l'ingénieur. J 2700.
- [49] RENAUDIN V.CHAMPION G (2003) .Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Site de ressource scientifique pour les enseignants de chimie. Novembre.

- [50] MORSLI MEBARKA SOUMIA (23 /06/2013) .Université d’Oran , Faculté des sciences économiques ,des sciences de gestion et des sciences commerciales, Ecole Doctorat d’Economie et de Management, Mémoire de Magister en Management
- [51] YVES LEFEBVRE (1993). Circuits eau de mer, Traitements et Matériaux. Édition Technip,
- [52] HADRI MED, DAHEL MED (1997). Installation de dessalement d'eau de mer par Ejecto-compression de l'unité de Ghazaouet - Etude énergétique, Mémoire d'ingénieur en Génie mécanique, Université de Tlemcen.
- [53] Plan d’action pour la méditerranée , Réunion des Coordonnateurs Nationaux pour le MED POL , Sangemini ,Italie , 27-30 Mai 2003 ,PNUE , Athènes 2003
- [54] BENAYACHE NAILA YASMINE (2014).Evaluation de niveau de la pollution organique des eaux des barrages Hammam Grouz et Beni Harroune.Mémoire d'ingénieur Ecologie et Environnement. Université constantine1.
- [55] DUFFAU .C, GRILLOT. J, NAVARRO .J (1991), VIDIL .R, L’encrassement dans les échangeurs, description, prévention et remèdes. Édition Tec&Doc.
- [56] SIDEM,Guide de conduite- ALZINC-, Ghazaouet, 1993.
- [57] SIDEM, Production d'eau douce par dessalement, Imp. de la bourse Paris 1985
- [58] SIDEM, Procédé à Ejectocompression de vapeur : MSEC Type T, 1989
- [59] SKOOG .A, JAMES HOLLER .F, NIEMAN .A (2003). Principe d’Analyse Instrumentale.De Boeck Université,
- [60] IVANOFF .A(2000). Introduction à l'océanographie. Propriétés physiques et chimiques des eaux de mer. Édition Vuibert.

Sites internet

- [a1] <http://dessalement.wordpress.com>.
- [a2] www.4nancy-metz.fr > store >Sciences
- [a3] http://environnement.ecoles.free.fr/pollution_eau.htm
- [a4] www.sante.gouv.fr/dossiers/cshpf/re_1095

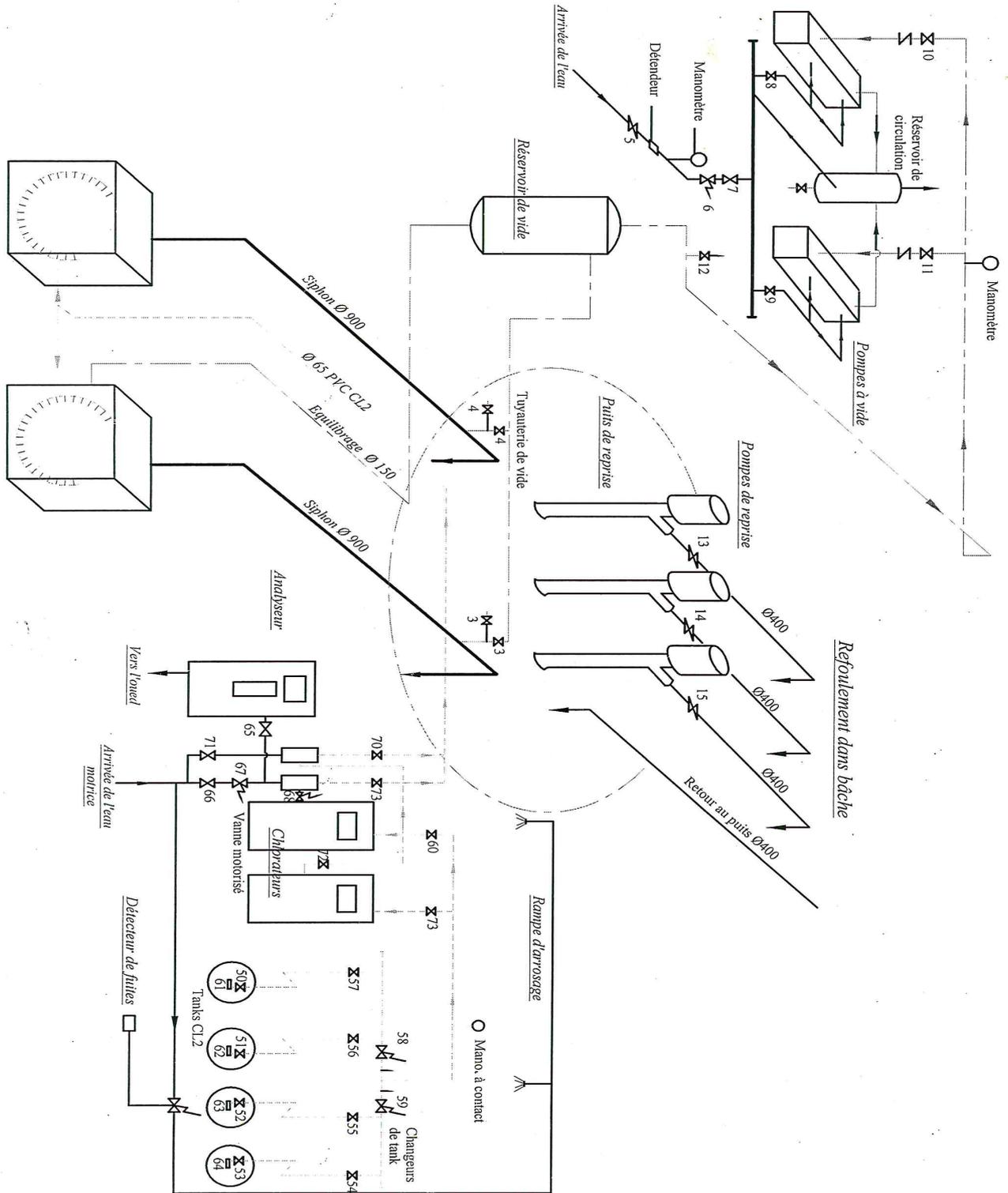
[a5] <http://perso.wanadoo.fr/jonathantarantolatPE// Index.htm>

[a6] <http://www.industcards.com/cc-uae.htm>

ANNEXES

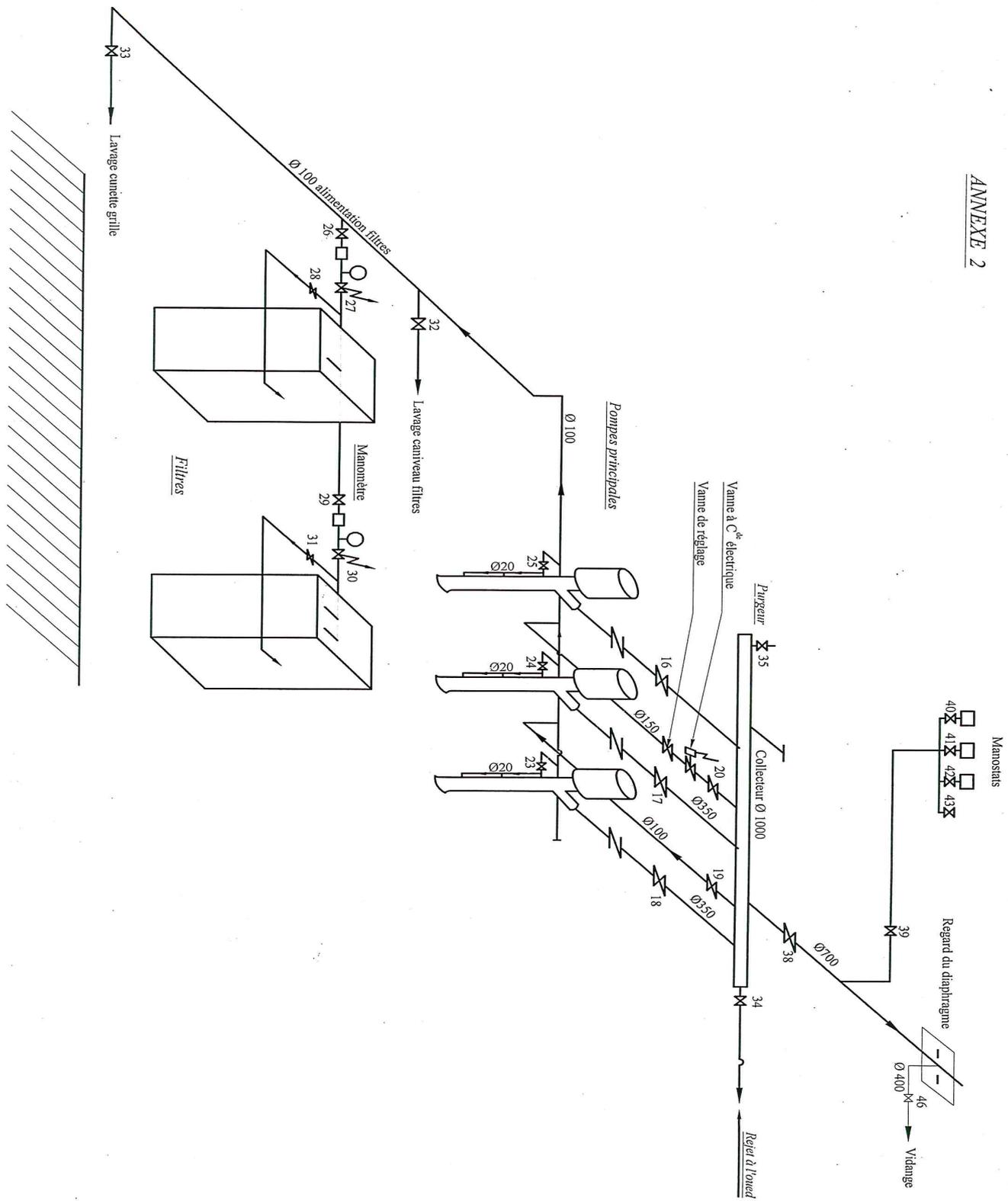
ANNEXE

Annexe 1

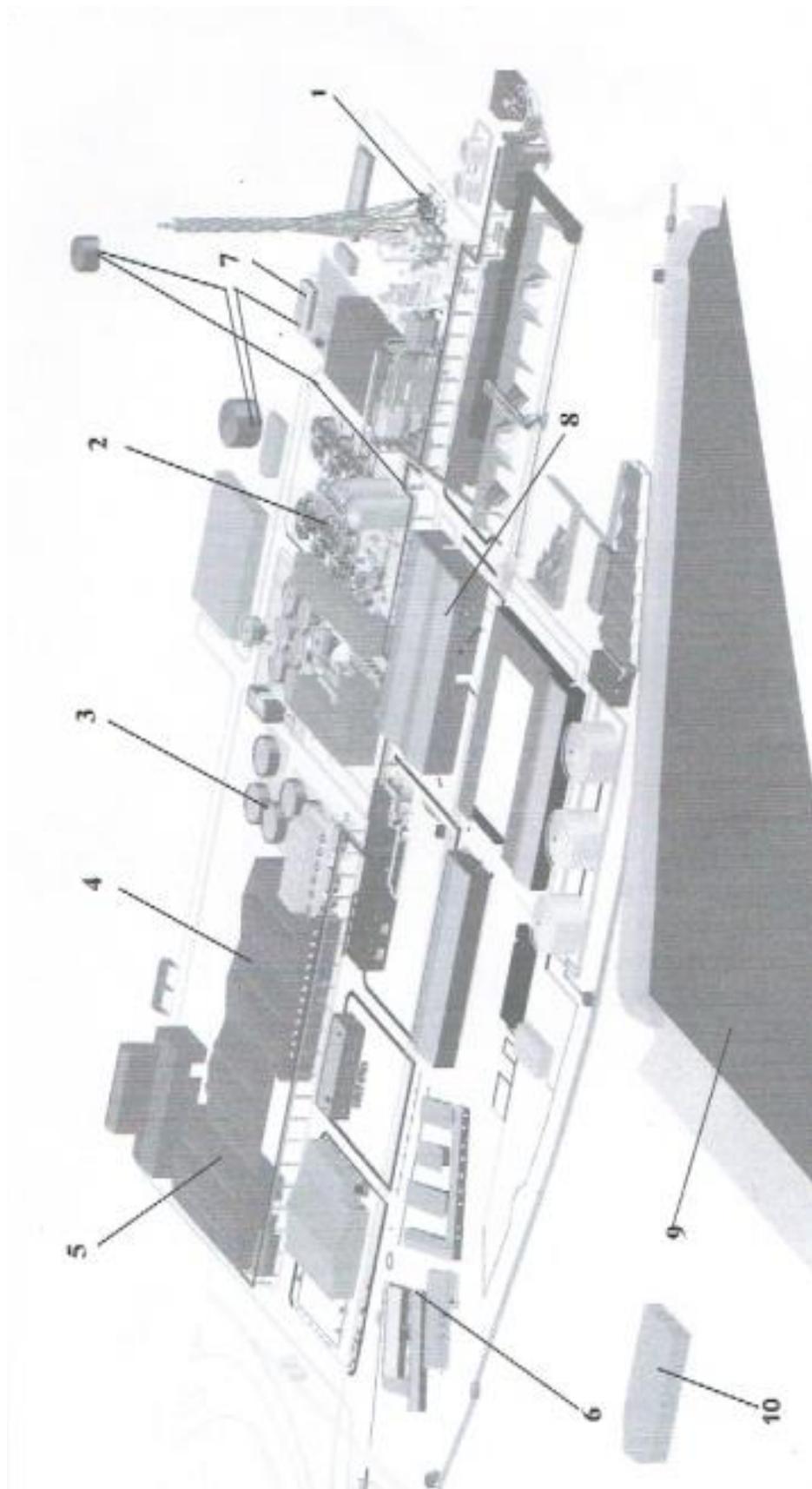


Annexe 2

ANNEXE 2



ANNEXE 3



Vue générale de la société "ALZINC "

- 1.Grillage Acide
- 2.Lixiviation
- 3 .Purification
- 4 Electrolyse
- 5.Refonte

- 6.Direction de la société "ALZINC "
- 7.Station de dessalement
- 8.Atelier de maintenance
- 9.Eau de mer
- 10 .Station de pompage

ANNEXE 4

Liste des matériaux

Unité de dessalement et à Ejectocompression Type 4T 2000

Production 2000 m³/J=23 L/s

Evaporateur

1. Corps de l'évaporation

- Paroi en contact avec l'eau brute Acier inoxydable
- Paroi en contact avec la vapeur Acier inoxydable
- Renforts Acier carbone
- Porte de visite et brides Tole inox

2. Faisceaux de chauffe

- Tube d'impact Titane e = 0,5 mm
Les trois premiers rangées
- Autres tubes Acier inoxydable
- Plaques tubulaires Acier inoxydable
- Plaques intermédiaires Acier inoxydable
- Boite vapeur/eau distillée Acier inoxydable
- Pore de visite vapeur/eau distillée et brides Tole inox

3. Séparateurs

Acier inoxydable

4. Buses de pulvérisation

Acier inoxydable

5. Ejectocompresseur

- Arrivée de vapeur motrice Acier carbone
- Tuyère à vapeur Acier inoxydable
- Convergent – divergent Acier inoxydable

6. Condenseur distillateur

- Enveloppe Acier carbone
- Tubes Corpo Nikel
- Plaque Tubulaires Acier inoxydable
- Plaques intermédiaires Acier inoxydable
- Boite à eau Acier inoxydable
- Pore de visite et brides Tole inox

Résumé

Le recours à un procédé de dessalement de l'eau de mer constitue une solution compétitive pour pallier à l'insuffisance en alimentation en eau industrielle perturbée pendant ces dernières années par les précipitations irrégulières et la demande croissante en eau pour la consommation, l'agriculture et l'industrie.

L'objectif de ce travail est d'étudier la station de dessalement de l'eau de mer la société algérienne METANOF « ALZINC» qui consiste à une évaporation de l'eau de mer et une condensation pour produire de l'eau douce d'une grande pureté et l'utilisée pour la production de zinc (électrolyse) et pour le refroidissement des machines tournantes. On a pour but dans cette mémoire de montrer les différentes matériaux et méthodes suivie pour gérer ces stations .

Il s'agit aussi suivie la qualité physico-chimique de l'eau obtenue par le dessalement de l'eau de mer par la technique distillation à multiple effet MED de la station de la société ALZINC de Ghazaouet .

Notre étude montre le bon fonctionnement de cette installation.

Mot clés : ALZINC, Dessalement, Encrassement ,Corrosion, eau de mer.

Abstract

The recourse to a process of desalination of sea water constitutes a competitive solution to palliate the insufficiency in industrial water disturbed during these last years by the irregular precipitations and the increasing request in water for consumption, agriculture and industry.

The objective of this work is to study the seawater desalination plant of the Algerian company METANOF "ALZINC" which consists of an evaporation of sea water and a condensation to produce fresh water of high purity and used for the production of zinc (electrolysis) and for cooling and rotating machines. The purpose of this memory is to show the deferent materials and methods used to manage these stations.

It is also followed by the physicochemical quality of the water obtained by the desalination of seawater by the distillation technique with multiple effect MED of the station of the company ALZINC of Ghazaouet.

Our study shows the good functioning of this installation.

Word Keys: ALZINC ,Desalination, Clogging,Corrosion, sea water.

المخلص

استخدام عملية تحلية مياه البحر هو الحل التنافسي للتغلب على نقص إمدادات المياه الصناعية بالانزعاج في السنوات الأخيرة من عدم انتظام هطول الأمطار وتزايد الطلب على المياه للشرب والزراعة والصناعة.

الهدف من هذا العمل هو دراسة محطة تحلية مياه البحر في ميتانوف المجتمع الجزائري "الزنك" الذي ينطوي على تبخر مياه البحر وتكثيفها لإنتاج المياه العذبة عالية النقاء واستخدامها لإنتاج الزنك (التحليل الكهربائي) ولتبريد الآلات الدوارة.

الغرض من هذه المذكرة إظهار المواد والأساليب المستخدمة لإدارة هذه المحطات . وأيضاً مراقبة الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه المحصل عليها عن طريق تحلية مياه البحر بواسطة تقنية التقطير من محطة شركة "الزنك" بالغزوات.

نتائج هذا البحث أظهرت السير الحسن لهذه المحطة .

الكلمات المفتاحية : الزنك، تحلية المياه ، انسداد، التآكل، مياه البحر.