



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE 20 AOUT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Ingénierie et gestion de l'eau

Suivi de la qualité de l'eau d'alimentation de
chaudière au niveau GNL-Skikda

Soutenu le /07/2023

Réalisé par :

- LAKHCHINE Ahlem
- MECHATI Meriem

Encadré par

Dr. BOUGDAH Nabil
Dr. BELHOCINE

Année Universitaire 2022- 2023

Remerciements

Tout d'abord nous devenons remercier Dieu qui nous avons donné la santé et la volonté durant la réalisation de ce réalisé se mémoire



Nous tenons à remercier en premier lieu notre enseignant consultant **Nabil Bougdah** pour son aide et ses orientations, pour avoir accepté de nous encadrer et de nous diriger ainsi que pour les discussions enrichissantes. Nos remerciements également les membres de jury qui ont bien voulu examiner et discuter ce travail. Je remercie Monsieur boucherkha Aziz, A, et tous l'équipe de la GLIK d'avoir guidé mes pas au niveau de la zone industrielle de Skikda et de m'avoir facilité l'accès à GLIK et aux différents services. Nous avons aussi le plaisir de remercier Mme ferial krid chef département de pétrochimie et génie des procédés. Nous tenons également à remercier M. Nouar metatla et Mme Yasmina bouachari pour leur soutien et leur aide. Merci a nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements on a pu surmonter tous les obstacles.

Que toute personne ait participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail accepte nos grands et sincères remerciements.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :



À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, à la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, maman ZAINEB que j'adore. À l'homme de ma vie, mon exemple éternel mon soutien moral et source de joie et de bonheur, Celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde pour nous, à toi mon père AHMED . A mes chères sœurs, Asma, Salma, Khawla, Iman, youssra , mon soutien et ma force, je vous souhaite un bonheur durable. A mon seul frère Oussama, que j'aime, que Dieu te protège mon cher. A ma nièce mon ange et ma princesse Saja (que Dieu ait pitié d'elle).et les deux héros asoumi et islam À ma belle amie Chaima et ma compagne toujours solidaire, je t'aime. Amon Binôme : Meriam et mes chères amies khawla , chaima. A toutes ma famille (Lekhchine et metatla) Et toutes les personnes que j'aime et m'aiment .

Ahlem





DEDICACE

Je dédie ce travail :

*A celle qui m'a donné le goût de la vie et le sens de la
Responsabilité... merci MERE "zohra"*

*A celui qui a toujours été ma source d'inspiration
Et de courage... merci PERE "sadik"*

A mon MARIE Imad

A mes sœurs : Mounia - Faiza - imene

*A mon frère : Fayçal et Sa femme : Jawhar et ma
nièce : Yasmine.*

A mon beau-frère : ismail.

A mon cher pays "L'ALGERIE"

A tous mes amis et a tous ce qui m'ont soutenu de près ou de loin

Meriem



Table des matières

Liste des figures	I
Liste des tableaux.....	III
Liste des abréviations	IV
Résumé	VI
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur le dessalement de l'eau et les paramètres de l'eau de mer	2
I.1. Introduction	2
I.2. Définition du dessalement	2
I.3. Caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres	2
I.3.1. Les eaux de mer.....	2
I.3.2. Les eaux saumâtres	3
I.4. Le dessalement de l'eau dans le monde et en Algérie	3
I.4.1. Le dessalement dans le monde	3
I.4.2. Le dessalement de l'eau en Algérie	5
I.5. Impacts environnementaux du dessalement de l'eau	7
I.5.1. La pollution par les saumures.....	7
I.5.2. Impacts négatifs du dessalement	8
I.6. Structure générale d'une installation de dessalement	9
I.7. Techniques de dessalement d'eau	9
I.7.1. Les procédés à membranes	10
A. L'osmose inverse.....	10
I.7.2. Techniques de dessalement par distillation	12
I.8. Conclusion.....	16
Chapitre II :Les eaux de chaudière	17
II.1. Introduction	17
II.2. Généralités sur les chaudières	17

II.2.1. Définition d'une chaudière	17
II.2.2. Classification des chaudières	18
II.3. Présentation de l'unité 50.....	21
II.3.1. Rôle des utilités.....	21
II.3.2. Eau de mer.....	21
II.3.3. Eau distillée.....	21
II.3.4. La vapeur.....	21
II.3.5. L'azote.....	21
II.3.6. Air comprimé : (air instrument).....	22
II.4. Description d'une chaudière de l'unité 50	22
II.5. Principe de fonctionnement de la chaudière de l'unité 50	22
II.6. Eléments de la chaudière STEIN de l'unité 50	24
II.6.1. Ballon supérieur	24
II.6.2. Ballon inférieur	24
II.6.3. Ballon de séparation	24
II.6.4. Faisceau tubulaire	25
II.6.5. Tubes écrans.....	25
II.6.6. Faisceau de liaison.....	25
II.6.7. Economiseur.....	25
II.6.8. Surchauffeur.....	25
II.6.9. Désurchauffeur.....	26
II.6.10. Brûleur à gaz.....	26
II.6.11. Chambre de combustion.....	27
II.6.12. Cheminée.....	27
II.7. Auxiliaires des chaudières.....	27
II.7.1. Bâche alimentaire et dégazeur	27

II.7.2 Pompes alimentaires	27
II.7.3 Ventilateur de soufflage	27
II.8. Caractéristiques Principales des chaudières de l'unité 50	27
II.9. Généralité sur le traitement des eaux	28
II.10. Traitement de l'eau au sein du complexe GL1K.....	28
II.10.1. L'électrochloration	28
II.10.2. La filtration	28
II.10.3. Le dessalement.....	28
II.10.4. La déminéralisation	29
II.11. Conditionnement de l'eau au sein du complexe GL1K	29
II.11.1 Maintien du pH	29
II.11.2. Elimination de l'oxygène dissous dans l'eau.....	29
II.11.3. Conditionnement de l'eau qualité chaudière.....	29
Chapitre III : Présentation du méga train	31
III.1. Introduction.....	31
III.2. Présentation du complexe	31
III.2.1. Introduction.....	31
III.2.2. Historique	32
III.2.3. Description du complexe	33
III.3. Présentation du complexe méga train de SKIKDA.....	37
III.3.1. Situation géographique	37
III.3.2. Caractéristiques de production	38
III.3.3. Procédés de Liquéfaction.....	39
III.3.3.1. Section traitement du gaz.....	39
III.3.3.2. Section liquéfaction	39
III.3.3.3. Section de fractionnement.....	40
III.3.3.4. Traitement De Gaz.....	41

III.3.4. Procédé de décarbonatation	44
III.3.4.1. Description d'une colonne à garnissage	44
III.4. Les principaux problèmes rencontrés dans la colonne de décarbonatation	49
III.4.1. Le moussage	49
III.4.2. Différents promoteurs de moussage	49
Chapitre IV : Matériel et méthodes / Résultats d'analyses	50
IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Méthodes d'analyses	50
IV.2.1. Méthodes d'analyses électrochimiques	50
IV.2.2. Méthodes d'analyse volumétrique	52
IV.2.2.1. Détermination de l'alcalinité (TA et TAC)	52
IV.2.3. Méthodes d'analyses complexométrique.....	56
IV.3. Résultats et discussion.....	60
IV.3.1. Suivi de la qualité de l'eau d'alimentation chaudière	60
IV.4. Conclusion	65
Conclusion générale	66
Références bibliographiques.....	67

Liste des figures

Figure I.1: Capacités de dessalement dans le monde	4
Figure I.2: Répartition du dessalement dans le monde	5
Figure I.3: Situation géographique des stations de dessalement en Algérie	6
Figure I.4: Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer	9
Figure I.5: Procédés de dessalement utilisés dans l'industrie.	10
Figure I.6: Principe de l'osmose inverse.....	11
Figure I.7: Principe d'électrodialyse	11
Figure I.8: Distillateur solaire.....	12
Figure I.9: Distillation à simple effet.	13
Figure I.10: Distillation à simple effet par compression	14
Figure I.11: Distillation à multiples effet par compression.	14
Figure I.12: Distillation par thermocompression de vapeur.	16
Figure II.1: Chaudière à tube fumées	19
Figure II.2: Chaudière à tube d'eau.	20
Figure II.3 : Schéma de la circulation de l'eau /vapeur dans la chaudière (repère 51 H02).	23
Figure II.4: Chaudière STEIN 51H01/02/03.	24
Figure II.5 : Schéma simplifié du traitement des eaux au sein de l'unité 50	30
Figure III.1: Plan De Situation Du Complexe GL1K.	36
Figure III.2 : Situation du complexe GL1K dans la zone industrielle de Skikda	37
Figure III.3: Vue panoramique du complexe GL1K.....	37
Figure III.4: Processus de Traitement et Liquéfaction Du Gaz Naturel.....	38
Figure III.5: la section de décarbonatation.	44
Figure IV.1: pH mètre WT1971.	51
Figure IV.2: Conductivimètre Orion 3STAR	52
Figure IV.3: Titration par solution H ₂ SO ₄ (4)	55
Figure IV.4: Titration par solution AgNO ₃	58
Figure IV.5 : Variation du pH dans l'eau de chaudière en fonction de temps.	61
Figure IV.6: Variation du phosphate dans l'eau de chaudière en fonction de temps.	62



Figure IV.7: Variation du N_2H_4 de l'eau de chaudière en fonction du temps.63

Figure IV.8: Variation des ions chlorure dans l'eau de chaudière en fonction du temps.63

Figure IV.9: Variation du TAC et TA dans l'eau de chaudière en fonction du temps.64

Figure IV.10: Variation RES dans l'eau de chaudière en fonction du temps.65



Liste des tableaux

Tableau I.1: Salinité des mers fermées ou peu ouvertes	3
Tableau I.2: Les principales unités de dessalement en Algérie	6
Tableau I.3: Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure	8
Tableau III.1 : Evolution historique du complexe GL1K.	33
Tableau III.2 : Propriétés physiques de la MDEA.	42
Tableau IV.1: Relation entre TA et TAC.	54
Tableau IV.2 : Normes des eaux des chaudières	60
Tableau IV.3: Résultats d'analyse de l'eau de chaudière.....	61



Liste des abréviations

ADE:Algérienne des eaux.

AEC:Algérien energy company.

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

MSF:Multi-stage-flash distillation (distillation à détente étagées).

TDS:seles Dissout Totales.

SIDEM:station de dessalement d'eau de mer.

GPL:Gaz propane liquéfié.

GL1K:Complexe de liquéfaction de gaz.

GNL:Gaz naturel liquéfié de skikda.

PH:potentielle d'hydrogène. PO^4 :phosphate.

N^2H^4 :hydrazine. SiO^2 :la silice.

TA:Teneur alcalimétrique.

TAC:Teneur alcalimétrique totale.

Fe:fer.

$\text{Fe}(\text{OH})^2$:hydroxy de ferreux.

H^2SO^4 :acide sulfurique.

C:dioxyde de carbone.

$\text{Mg}((\text{HCO}^3)^2)$:bicarbonate de magnésium.

Na^2CO^3 :Carbonate de sodium.

$\text{Ca} (\text{HCO}^3)^2$:bicarbonate de calcium.

TH:Dureté totale.

CaCO^3 :carbonate de calcium.

EDTA:acide éthylène-diamine-tétracétique.

THca :hydrométrique calcique.

K^2CrO^4 :chromate de potassium.

NaCl: chlorure de sodium

NaOH: hydroxyde de sodium.

PDAB: par a diméthylamine Benzoldeid. %:pour sant.

PPm: partie par million. mm:Millimètre.

g:Gramme.

LM: lits melanges



Résumé

Le dessalement de l'eau de mer est considéré comme une solution pour augmenter une certaine quantité de ressources en eau douce disponibles pour apporter une solution à la sécheresse et faire face aux pénuries et aux crises. Dans ce travail, nous allons essayer de présenter le cas de certaines usines de dessalement du GLIK, où nous sommes parvenus, au cours de notre formation, à mieux étudier et analyser les caractéristiques de qualité de l'eau d'alimentation de la chaudière et à connaître le processus de dessalement. Les minéraux de l'eau sur résine sont régénérés. Le procédé le plus courant dans l'industrie pour obtenir de l'eau déminéralisée et l'autre, qui consiste à faire passer de l'eau sur des résines échangeuses d'ions, qui empêchent les ions et cations présents dans cette eau en les remplaçant par des ions OH^- et H^+ pour obtenir une eau de très haute pureté caractérisée par une très faible conductivité. Les résultats obtenus pour l'analyse de l'eau déminéralisée montrent que les valeurs sont dans les normes acceptées.

Mots clé : La déminéralisation ; les eaux de chaudières ; l'échange d'ion ; les résines ; station de dessalement.

Summary

Sea water desalination is considered a solution in increasing a certain amount of fresh water resources available to provide a solution to drought and dealing with shortages and crises. In this work, we will try to present the case of some desalination plants in GL1K, where we have reached, during our training, to study and analyze the quality characteristics of the boiler feed water better and to know the process of desalination Minerals from water on resin are regenerated. The most common process in the industry to obtain demineralized water and the other, which consists of passing water over ion exchange resins, which prevent the ions and cations present in this water by replacing them with OH and H ions to obtain water of very high chemical purity characterized by very low conductivity The results obtained for the analysis of demineralized water show that the values are within accepted standards.

Keywords: Demineralization; boiler water; ion exchange; resins; desalination plant.

ملخص

يعتبر تحلية مياه البحر حل في زيادة معتبرة لموارد المياه العذبة المتاحة لتوفير حل للجفاف والتعامل مع النقص و الأزمات. في هذا العمل سوف نحاول أن نقدم حالة بعض محطات التحلية في، GLIK حيث توصلنا خلال تربصنا الى دراسة وتحليل خصائص جودة مياه تغذية الغلاية بشكل أفضل ومعرفة عملية إزالة المعادن من المياه على الراتنج وتجديدها. العملية الأكثر شيوعا في الصناعة للحصول على المياه المنزوعة المعادن والأخرى و التي تتكون من تمرير الماء فوق راتنجات التبادل الأيوني والتي تمنع الأيونات والكاتيونات الموجودة في هذه المياه عن طريق استبدالها ب أيونات H^+ و OH^- للحصول على مياه ذات نقاوة كيميائية عالية جدا. تتميز بينها الناقلية المنخفضة للغاية، النتائج التي تم الحصول عليها لتحليل المياه تظهر أن القيم ضمن المعايير المقبولة .

كلمات مفتاحية : التنقية ؛ مياه الغلاية ؛ التبادل الأيوني؛ الراتنجات؛ محطة تحلية.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau couvre la majeure partie de la surface de la Terre, et le pourcentage moyen est d'environ 71 %. Pour cette raison, elle est appelée la planète bleue. Quant à l'eau douce, elle constitue 15 % de 71 %, car le monde a fait face à une crise majeure de l'eau due à Parmi les pays qui souffrent de pénuries d'eau figure notre pays, l'Algérie, où ce manque d'eau dû au gaspillage (estimé à 40%) est lié à l'état de vétusté des canalisations, au manque d'urbanisation des populations et le phénomène du réchauffement climatique, et afin de couvrir les besoins de la population de manière efficace et rapide, les chercheurs ont choisi une nouvelle technologie, qui est le dessalement de l'eau de mer ou eau salée c'est-à-dire C'est un procédé qui permet l'extraction des sels de l'eau pour la rendre potable ou pour être utilisée dans l'irrigation ou dans l'industrie pour alimenter les chaudières en production.

L'objectif de notre travail est d'étudier les performances opérationnelles de la station d'eau de mer GL1k de Skikda, ainsi que de connaître la chaudière, son principe de fonctionnement, ses usages, et les problèmes qu'elle rencontre afin de réduire les accidents et réduire les pertes économiques afin de atteindre une qualité conforme aux normes de fonctionnement de la chaudière.

Notre thèse s'articule autour des chapitres suivants :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'unité de dessalement d'eau de mer.
- ✓ Le chapitre 2 comprend des informations générales sur les chaudières ainsi qu'une description du procédé applicable au niveau du complexe GL1K.
- ✓ Le troisième chapitre concerne la présentation du complexe GL1K.

Quant au quatrième et dernier chapitre, il traite de la partie scientifique et comprend une explication de la méthode de travail au laboratoire, des moyens utilisés, ainsi que l'explication et l'interprétation des résultats obtenus. Notre étude se termine par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité sur le dessalement de l'eau et les paramètres de l'eau de mer

I.1. Introduction

Les besoins en eau présents et futurs dans le monde accusent une croissance effective. Les demandes en eau augmenteront pour les pays du sud et de l'est. Il va de soi que des besoins d'une telle ampleur ne peuvent être uniquement couverts et satisfaits que si l'on a recours à des ressources en eau non conventionnelles, comme le recyclage et le dessalement de l'eau.

Le dessalement de l'eau marine ou saumâtre est un processus qui permet d'extraire les sels de l'eau afin de la rendre potable, l'utiliser pour l'irrigation, ou dans l'industrie pour alimenter les chaudières dans la production de vapeur ou comme fluide frigorigène.

I.2. Définition du dessalement

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage) est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable après traitement. La déminéralisation c'est la technique qui consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer l'excès des ions en solution causant une minéralisation excessive. L'élimination peut être obtenue grâce à des procédés variées de traitement des éléments constituant la solution saline, dont les plus répandus sont les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes [1].

I.3. Caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres

I.3.1. Les eaux de mer

L'eau de mer est une solution complexe qui contient tous les éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des matières organiques (teneur comprise entre 0.5 et 2 mg) et, naturellement à l'état dissous, les gaz présents dans l'atmosphère. L'eau de mer est faiblement alcaline. Son pH étant compris entre 7.5 et 8.4 [2]. La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels dissous (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et des océans est de 35 g/l (27,2 g/l de Na Cl, 3,8 g/l de MgCl₂, 1,7 g/l de MgSO₄, 1,26 g/l de CaSO₄, 0,86 g/l de K₂SO₄). Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [3]

Tableau I.1: Salinité des mers fermées ou peu ouvertes [3].

Mer	Concentration (g/l)
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	~40
Mer Baltique	7
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe arabo-persique	40 à 70
Mer Noire	20

I.3.2. 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. Elles sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels, en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [4].

I.4. Le dessalement de l'eau dans le monde et en Algérie

I.4.1. Le dessalement dans le monde

La nécessité de recourir au dessalement de l'eau de mer est de plus en plus sollicitée dans le monde et l'adaptation de cette technique par de nombreux pays est en croissance continue. La production mondiale d'eau douce à partir d'eaux saumâtres ou salées dépasse 25 million m^3 /j. Les principaux pays qui ont adoptés cette technique pour la production de l'eau douce sont : l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %) [5].

La capacité installée de dessalement augmente chaque année en moyenne de plus de 10 %. Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m^3 /j, dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions, 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 m^3 /j [5]. La répartition des usines de dessalement dépend de trois facteurs : une forte pénurie d'eau liée à l'aridité climatique, la proximité de la mer et une altitude basse et enfin la possibilité d'assumer financièrement un fort coût énergétique ce qui exclut pratiquement les régions pauvres [6]. Notamment, en Méditerranée les besoins en eau à présent et dans le futur s'amplifient d'une manière alarmante. Le dessalement est depuis longtemps une source importante d'eau dans certaines parties de la Méditerranée. Les usines de dessalement se trouvent dans les régions ayant un climat chaud, une pluviométrie relativement faible et imprévisible et où les ressources en eau ne peuvent répondre aux demandes de pointe [7]. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème d'insuffisance. A ce jour, la Méditerranée représente environ le quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m^3 /j) [8].

La figure (I.1) ci-dessous représente la capacité du dessalement dans le monde.

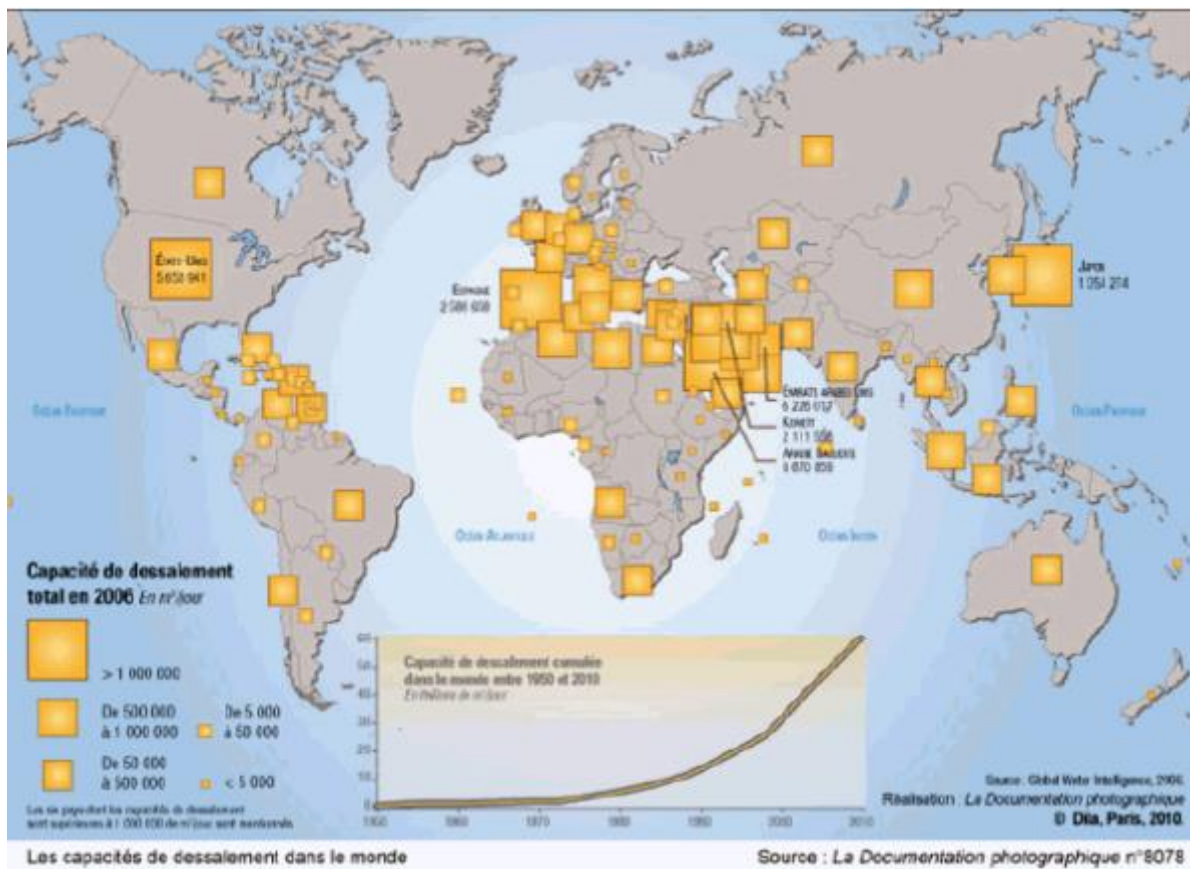


Figure I.1: Capacités de dessalement dans le monde [5].

La figure (I.2) ci-dessous représente la répartition du dessalement dans le monde.

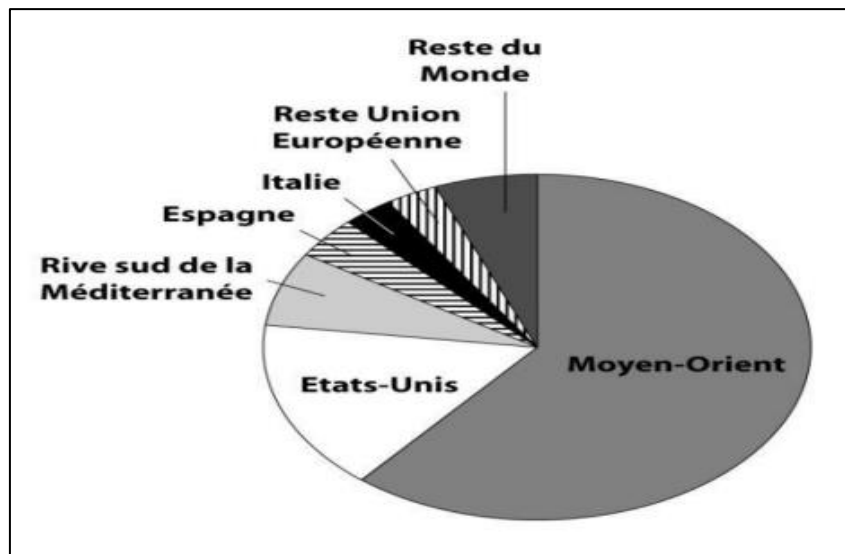


Figure I.2: Répartition du dessalement dans le monde. [6].

I.4.2. Le dessalement de l'eau en Algérie

À l'instar des autres pays méditerranéens, l'Algérie, est confrontée davantage à d'énormes problèmes en matière de politique de l'eau. La surcharge du littoral, les disparités entre zones rurales et urbaines, les périodes de sécheresse et l'accroissement de la pollution sont autant de facteurs qui déstabilisent l'équilibre déjà précaire de l'alimentation en eau [9]. La crise de ressources hydriques qui a menacé ces dernières années l'alimentation en eau potable la population dans diverses régions du pays a accentué l'intérêt de l'Algérie au dessalement. Le projet dessalement d'eau de mer fait partie d'un programme d'urgence décidé par le gouvernement pour pallier durablement au déficit en ces ressources [10].

En 1964, trois petits blocs de $8 \text{ m}^3/\text{h}$ chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). La distillation à multiple effet (MED) c'est le procédé utilisé. En 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de $4560 \text{ m}^3/\text{j}$. Le multi stage flash (MSF) c'est le procédé utilisé. D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au processus des complexes de production de l'électricité (Cap Djinet à l'Est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda) [11]. Le ministre des Ressources en eau de l'Algérie a fait une déclaration en février 2019, la proportion d'eau dessalée est estimée à 17 % de l'eau distribuée qui est l'équivalent de $1.36 \text{ million } \text{m}^3/\text{j}$ [12].

Tableau I.2: Les principales unités de dessalement en Algérie [13].

Nom	Wilaya	Année de mise en service	Capacité (m^3 /j)
Kahrama Arziew	Oran	2005	90 000
El-Hamma	Alger	2008	200 000
Skikda	Skikda	2009	100 000
Beni saf	Ain Temouchent	2009	200 000
Mostaganem	Mostaganem	2010	200 000
Honaine	Tlemcen	2010	200 000
Ouled Ben Ayad	Tlemcen	2010	200 000
Douaouda	Alger	2010	120 000
Cap Djenet	Boumerdes	2010	100 000
Mactaa	Oran	2010	500 000
Oued Sebt	Tipaza	2010	100 000
Tenès	Chlef	2010	200 000
Echatt	Taraf	2011	200 000
Total			2 260 000

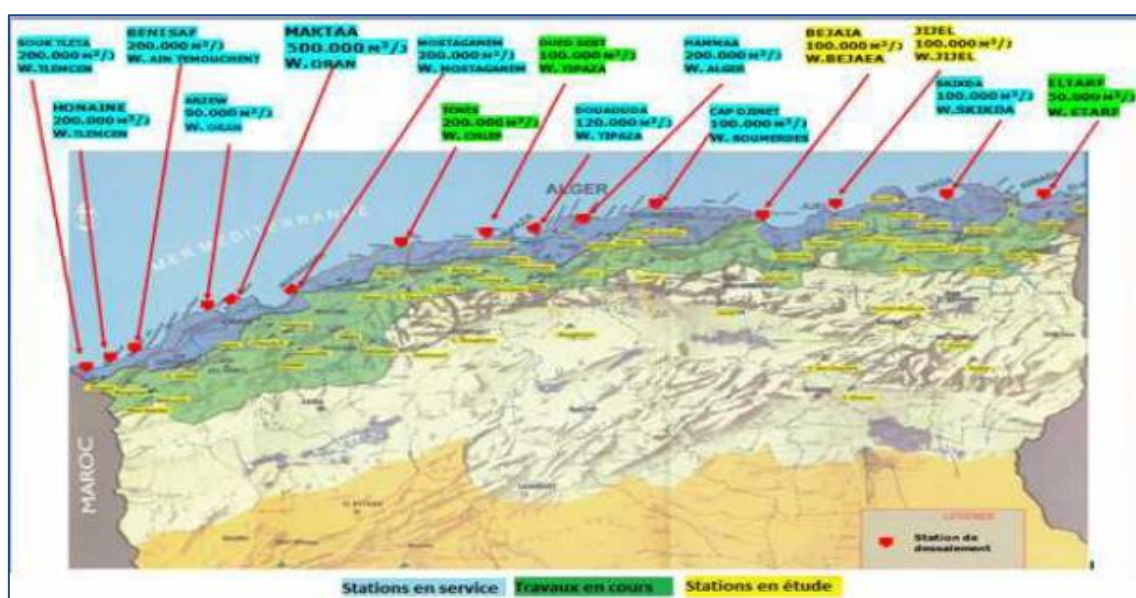


Figure I.3: Situation géographique des stations de dessalement en Algérie[14].

I.5. Impacts environnementaux du dessalement de l'eau

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

Les activités de construction et d'exploitation se traduisent par une série d'impacts sur les zones littorales, qui affectent notamment la qualité de l'air, de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants (dunes de sables et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et ainsi l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit. Le principal impact environnemental associé aux procédés de dessalement provient de la production de saumure : solution à forte teneur en sels qui résulte de la «concentration» de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre dessalée [15].

I.5.1. La pollution par les saumures

La saumure est un sous-produit du dessalement inévitable (contient les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements), qui est déchargée, généralement, dans l'environnement marin. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentrée (TDS) est autour de 70.000 ppm sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contre-versée pendant beaucoup d'années. Cependant, c'est maintenant qu'elle est reconnue comme une décharge étendue de saumure, comme elle constitue une couche hyper saline au fond de la mer dû à sa plus grande densité. Elle a un potentiel qui affecte fortement la faune et la flore marines [16]. Ci-dessous, le tableau 3 représente les caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer et de la saumure (rejet).

Tableau I.3: Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure [12].

Paramètres	Eau de mer	Rejet (saumure)
Conductivité (ms/cm)	47	73,5
Salinité (g/l)	37	60
Turbidité (NTU)	1,14	2,03
pH	7,61	7,31
T (°C)	20	20
[Ca ²⁺] (g/l)	0,449	0,841
[Mg ²⁺] (g/l)	0,998	2,013
Chlorure (g/l)	14,2	22,412
Sulfates (g/l)	3,7	2,573
TA (°F)	0	0
TAC (°F)	13	28

I.5.2. Impacts négatifs du dessalement

Les activités de dessalement d'eau de mer ont des impacts défavorables sur l'environnement. La plupart des impacts dérivent du positionnement des tubes d'alimentation et des canalisations de décharge de saumure. Les sources d'eau appropriées pour le dessalement peuvent avoir des origines de base fondamentale: eau de mer et eau souterraine. Le dessalement d'eau de mer ou de l'eau saumâtre des usines d'osmose inverse peuvent avoir plusieurs aspects négatifs directs ou indirects sur l'environnement [17].

- Impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer.
- Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés.
- Impacts marins éco toxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer.
- Impacts de salinité.

I.6. Structure générale d'une installation de dessalement

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

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- Un pré-traitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- Le procédé de dessalement lui-même, qui peut relever de deux principes généraux de la chimie. Certaines usines exploitent des procédés thermiques (congélation, distillation). Les autres ont recours aux procédés utilisant des membranes (osmose inverse, électrodialyse).
- Le post-traitement avec une éventuelle re-minéralisation de l'eau produite. A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement. Elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre [18].

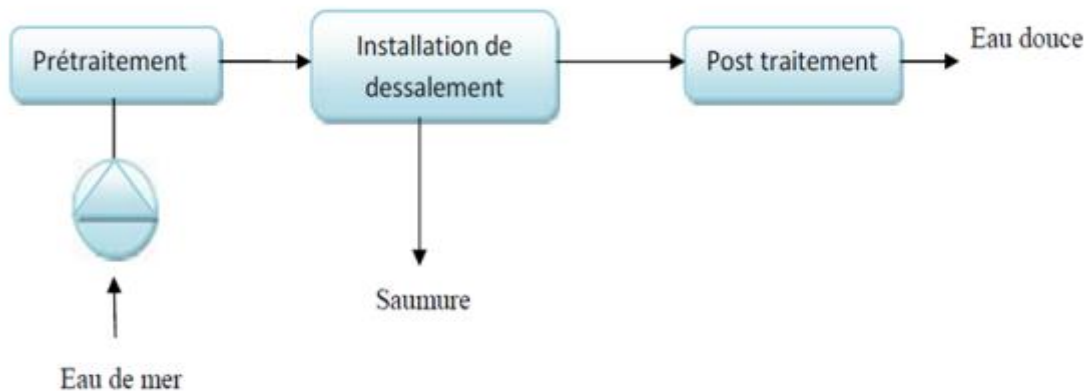


Figure I.4: Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer [3].

I.7. Techniques de dessalement d'eau [19]

Il existe essentiellement deux familles de technologies de dessalements utilisés dans le monde. Il s'agit notamment de technologies thermiques et de technologies à membranes.

Les différents procédés de dessalement sont résumés sur la figure suivante :

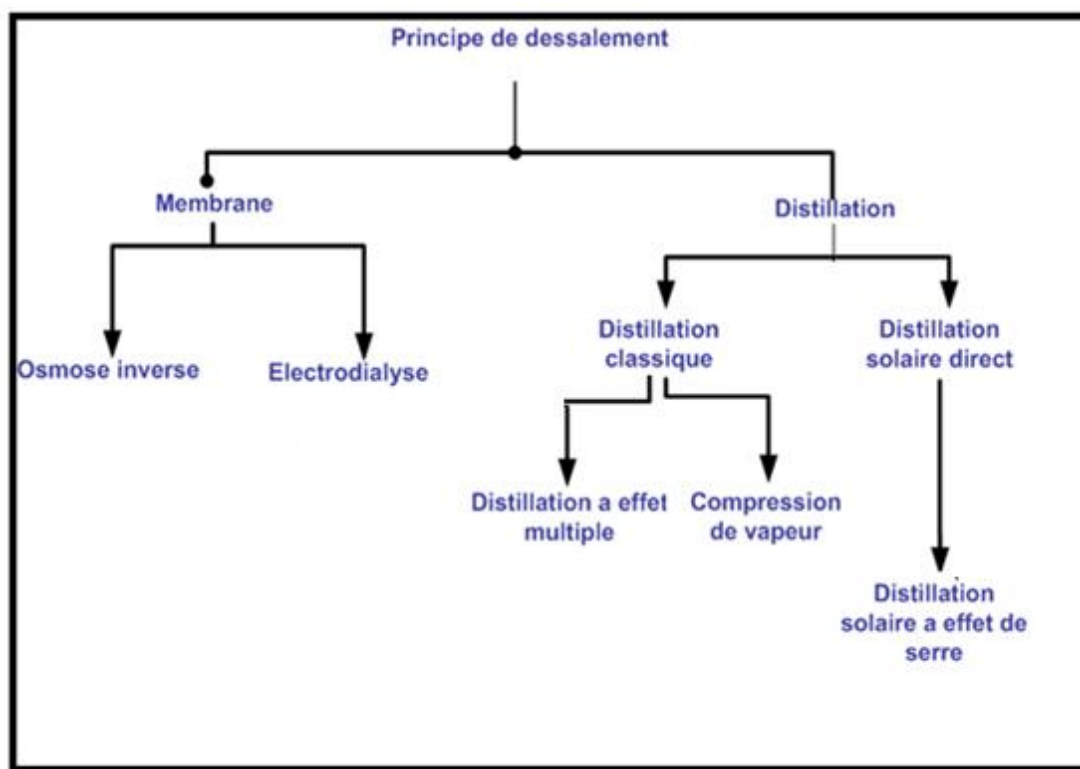


Figure I.5: Procédés de dessalement utilisés dans l'industrie.

I.7.1. Les procédés à membranes

Les principaux procédés à membrane utilisés dans le domaine du dessalement sont :L'osmose inverse et l'électrodialyse.

A. L'osmose inverse

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

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes à haute pression. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g/l.

❖ Principe

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

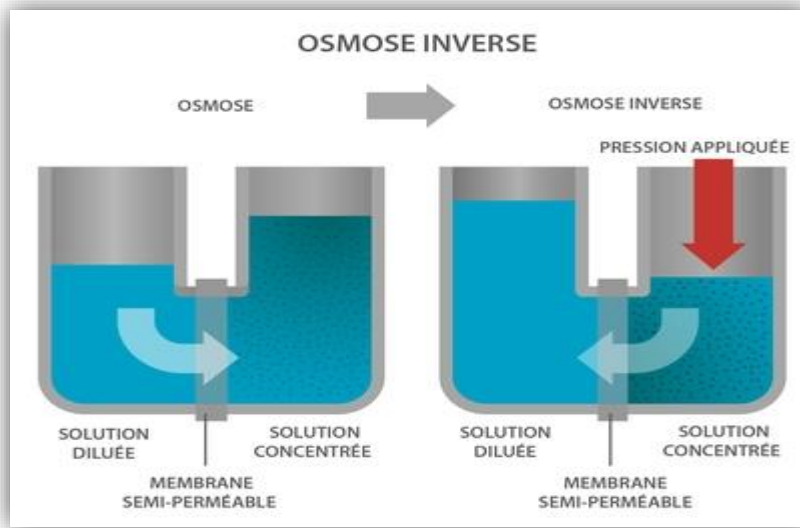


Figure I.6: Principe de l'osmose inverse.

B. L'électrodialyse

L'électrodialyse repose sur la mise au point et l'utilisation de membranes semi-perméables à l'eau sélectives pour les ions. Ainsi, seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique. Et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique.

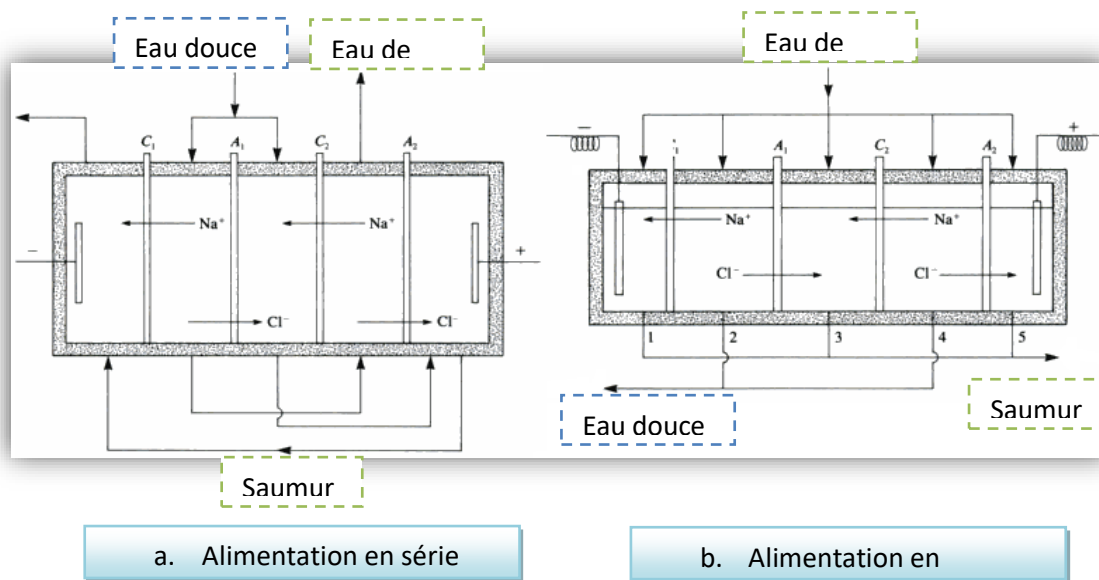


Figure I.7: Principe d'électrodialyse.

I.7.2. Techniques de dessalement par distillation

La distillation est un procédé qui comporte une vaporisation, une condensation et une récupération de la chaleur libérée par la condensation. On procède à la vaporisation en fournissant de l'énergie sous forme de chaleur (procédés thermiques) ou sous forme de travail mécanique (procédés par thermocompression).

Dans les distillateurs modernes, la température de travail oscille entre 95 et 125°C. La salinité de l'eau douce obtenue par ce procédé est toujours nettement inférieure à 100 mg/l. On doit donc reminéraliser cette eau lorsqu'elle est destinée à la consommation.

A. Distillation solaire

La distillation solaire est utilisée pour produire de faibles quantités d'eau douce. Cette méthode, est utilisée principalement dans le sud de l'Espagne dans certaines îles grecques et en Polynésie. Elle permet d'approvisionner des familles, des villages et, exceptionnellement, de petites villes.

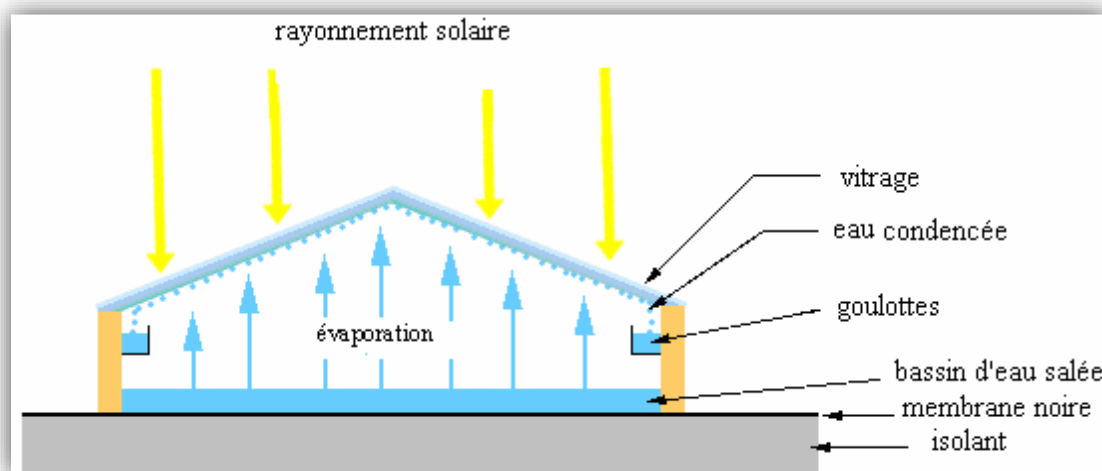


Figure I.8: Distillateur solaire.

L'énergie rayonnante de faible longueur d'onde traverse le toit de verre et est absorbée en grande partie par l'eau et par le fond noir du bac, pour être convertie en énergie thermique. Le rayonnement de grande longueur d'onde émis par l'eau et par le fond du bac ne peut plus traverser le toit de verre. L'eau ainsi réchauffée produit de la vapeur d'eau : le toit de verre, refroidi par l'air et par le vent joue le rôle de condenseur. Dans un tel distillateur, la température de l'eau dépasse rarement 70°C.

On utilise par ailleurs de plus en plus de distillateurs solaires de grande superficie. On doit alors soit juxtaposer plusieurs petits distillateurs, soit construire un gros distillateur, qu'on cloisonne pour en faciliter l'entretien. Des recherches ont montrés que le rendement d'un seul grand distillateur couvre la même superficie.

B. Dessalement par distillation et compression

❖ 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 serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un 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.

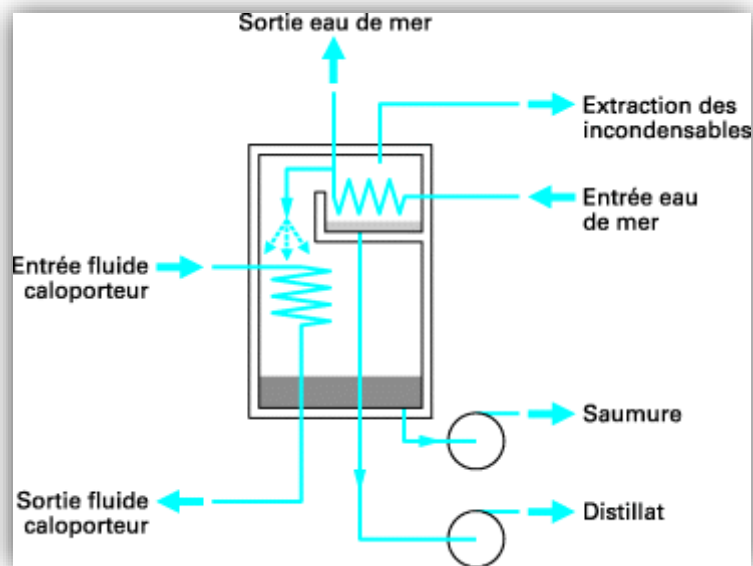


Figure I.9: Distillation à simple effet.

❖ Distillation à simple effet par compression

L'énergie est fournie par un compresseur, qui aspire la vapeur produite dans l'évaporateur et la comprime afin d'élever sa température à 105°C avant le refoulement dans un échangeur qui baigne dans l'eau de mer et récupérer la chaleur de condensation à un niveau de température supérieure à celle de la condensation normale (100°C).

Le distillât chaud formé dans l'échangeur passe dans un réchauffeur qui baigne dans

l'eau de mer afin d'être évaporé et réchauffé. De plus cette eau de mer avant d'aller à l'évaporateur est réchauffée par la saumure concentrée, en provenance de l'évaporateur avant son rejet à la mer.

L'économie de la consommation de la vapeur compense l'énergie électrique fournie au compresseur. Théoriquement cette méthode de distillation est la plus efficace que tous les autres procédés de distillation. Elle est avantageuse par une meilleure efficacité et la réduction d'encombrement, par contre ces inconvénients sont la quantité d'entartrage importante et l'entretien des machines tournantes qui sont nombreuses.

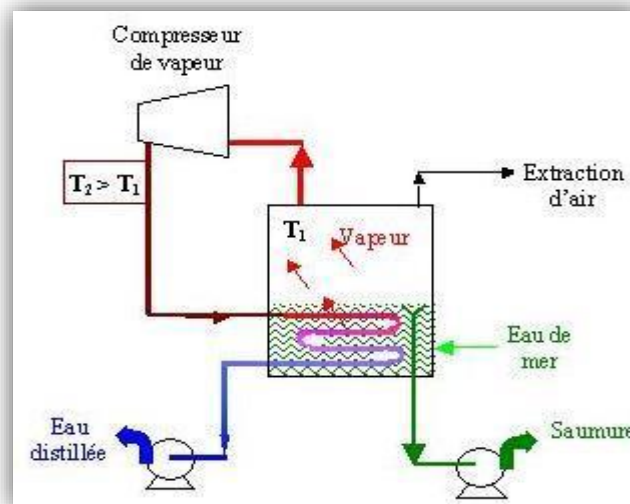


Figure I .10: Distillation à simple effet par compression .

❖ Distillation à multiples effet par compression

Plusieurs étages à simple effet peuvent être reliés entre eux en série et constituer ainsi un dessaleur multiples effets par compression. Dans ce cas, chaque évaporateur est équipé d'un compresseur.

La distillât chaud passe par plusieurs réchauffeurs avant d'arriver sur celui du 1^{er} effet. Il en est de même pour la saumure concentrée. L'eau de mer entre dans le dernier étage et passe par une succession de réchauffeurs évaporateurs avant d'arriver sur le premier étage.

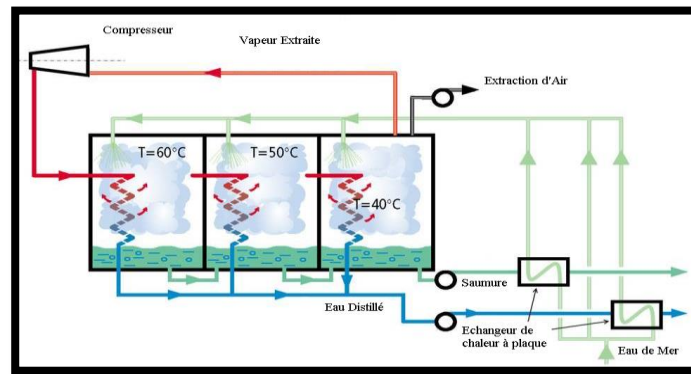


Figure I.11: Distillation à multiples effet par compression.

❖ Distillation par thermocompression de vapeur

La thermocompression consiste à recycler une partie de la vapeur secondaire en la réinjectant grâce au thermocompresseur avec la vapeur primaire. Le thermocompresseur est un éjecteur de vapeur qui fonctionne selon l'effet venturi. Un étranglement transforme la pression de la vapeur motrice (vapeur primaire) en énergie cinétique qui aspire une partie de la vapeur secondaire, le mélange obtenu en sortie du thermocompresseur possède une pression supérieure à la vapeur aspirée (donc une enthalpie ou une température supérieure).

Le thermocompresseur fonctionne selon un coefficient de reprise ; c'est à dire le rapport entre le débit de vapeur aspirée et le débit de vapeur motrice. Le coefficient de reprise est voisin de 1 dans les conditions classiques d'utilisation.

La thermocompression manque de souplesse. Son coefficient de reprise fluctue énormément et la pression de la vapeur motrice doit être supérieure à 6 bars (environ 10 bars dans les conditions habituelles). On combine souvent la thermocompression avec la concentration à multiples effets comme dans le schéma suivant :

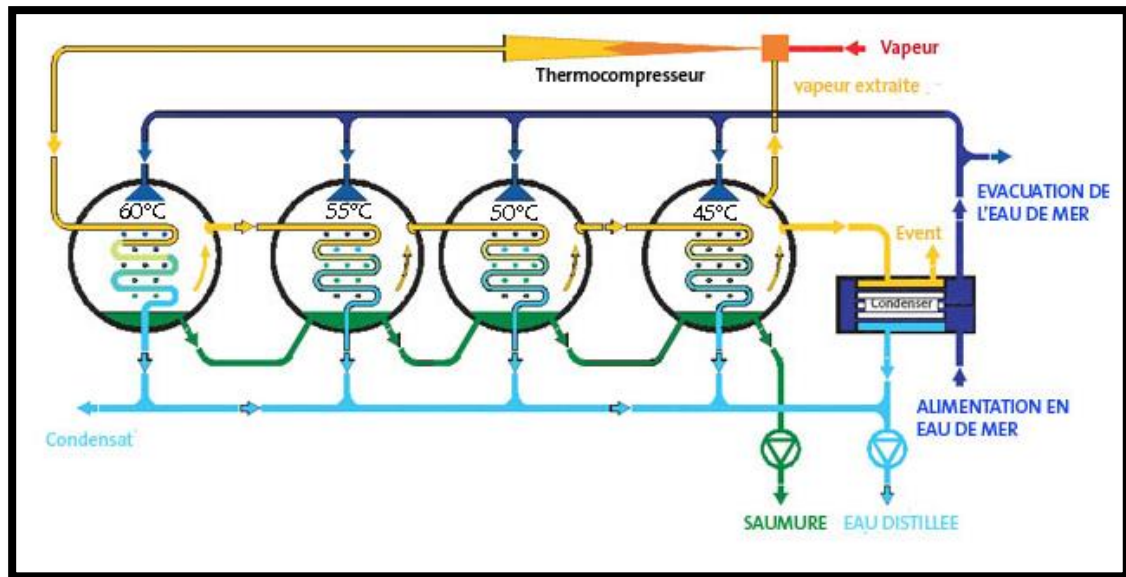


Figure I.12: Distillation par thermocompression de vapeur.

La combinaison des quatre étapes avec la thermocompression après le deuxième effet, permet d'évaporer environ cinq tonnes d'eau avec 1 tonne de vapeur motrice. Au lieu de recycler une partie de la vapeur secondaire, on peut recycler la totalité en augmentant son enthalpie grâce à un compresseur mécanique

I.8. Conclusion

Un certain nombre de technologies de dessalement de l'eau de mer ont été introduites avec succès au cours des dernières décennies pour augmenter l'approvisionnement en eau dans les régions arides. Le monde en raison des limites des coûts élevés du dessalement, Par conséquent, l'utilisation du dessalement de l'eau de mer est une solution urgente pour répondre à l'approvisionnement en eau des villes côtières densément peuplées, et elle doit être adoptée car elle est considérée comme la technologie du futur.

Chapitre II

Les eaux de chaudière

II.1. Introduction

Les productions de vapeur ou d'eau chaude occupent une place prépondérante dans la majeure partie des activités industrielles (alimentaires ou non). Ce dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique est la chaudière.

Une chaudière est un appareil dans lequel, par apport de chaleur, un fluide caloporteur subit un chauffage et éventuellement un changement d'état (la vaporisation). La chaudière est, en fait, un générateur de vapeur. La vapeur d'eau est obtenue à l'aide de l'eau et de la chaleur dégagée par la combustion des combustibles.

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut-être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique.

II.2. Généralités sur les chaudières

Une chaudière est un échangeur particulier, conçu pour transformer l'eau en vapeur et la délivrée à une pression et une température bien déterminée.

Les chaudières doivent leur existence aux propriétés physiques exceptionnelles de l'eau, combinées à son coût et à sa franche disponibilité, en ont fait le fluide thermodynamique industriel par excellence.

Dans la plupart des usines une chaudière est un équipement de production important, rarement mis en question, parce qu'il est plus en plus automatique et fiable. Cependant l'utilisation d'une eau de mauvaise qualité et le changement des paramètres de fonctionnements auront comme conséquences des déclenchements et parfois des arrêts des unités de productions. [20]

II.2.1. Définition d'une chaudière

Une chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur par transmission de l'énergie apparaissant sous forme de chaleur à de l'eau. De plus, les chaudières à vapeur de grande puissance sont en général associées à une turbine à vapeur pour produire de l'énergie électrique . [20]

II.2.2. Classification des chaudières [21]

Les chaudières peuvent être classées :

➤ Selon leur fonction

- ✓ **Chaudière de chauffage central:** permet de distribuer de la chaleur dans différents locaux. La restitution de chaleur s'effectue à l'aide de radiateurs ou de convecteurs. Le liquide employé est généralement de l'eau. Les fumées des chaudières classiques contiennent de l'eau à l'état vapeur produit lors de la réaction de combustion .
- ✓ **Les chaudières à condensation:** un peut plus onéreuses, sont équipées d'un échangeur supplémentaire au niveau du rejet des fumées ou circule l'eau de chauffage avant son introduction dans la chaudière.
- ✓ **Les chaudières pulsatoires:** reposent sur un principe de combustion différent des chaudières classiques.
- ✓ **Chaudière de locomotive à vapeur :** chauffe de l'eau jusqu'au stade de la vapeur en surpression, cette vapeur en se détendant dans des pistons délivre une force mécanique qui est utilisées pour déplacer la locomotive.
- ✓ **Chaudière à circuit non fermé:** produisant la vapeur d'eau.
- ✓ **Une centrale nucléaire:** utilise le principe de la chaudière. La réaction nucléaire chauffe un fluide, qui transporte l'énergie thermique jusqu'à une turbine entraînant un alternateur.
- ✓ **La chaudière à granulés :** entièrement écologique.

➤ Selon leur architecture interne

✓ Chaudière à tube fumées

Les chaudières à tubes de fumées sont le plus généralement des petites chaudières (production inférieure à 25t/h) générant de la vapeur saturée à une pression inférieure à une vingtaine de bars.

Le schéma ci-dessous présente la vue éclatée d'une chaudière à tube de fumées

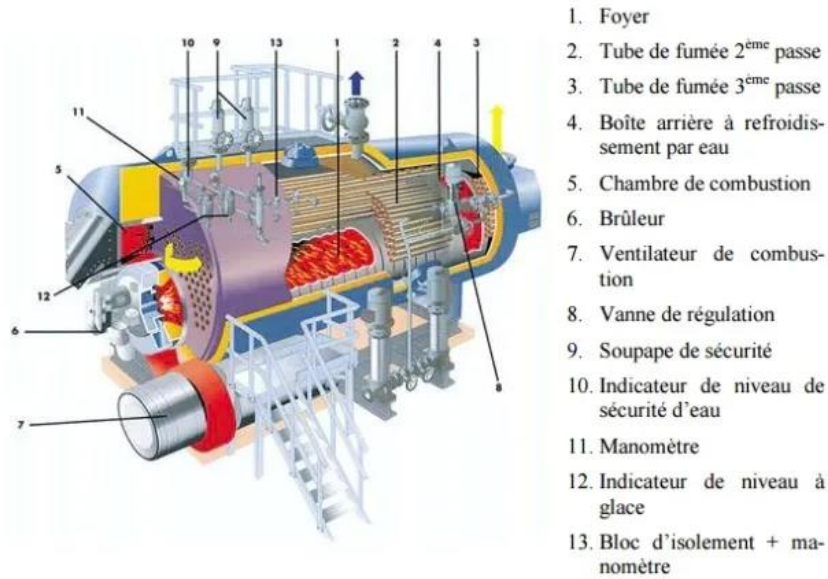


Figure II.13: Chaudière à tube fumées [22].

Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière. Sous le plan d'eau, collecte les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon vers un second caisson à l'avant de la chaudière,

Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée pour évacuation des fumées vers l'extérieur. Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des

✓ **Chaudière à circulation forcée**

Dans ce type de chaudières, la circulation de l'eau dans les tuyauteries est assurée à l'aide d'une pompe appelée aussi circulation dans le cas du chauffage central.

✓ **Chaudière à circulation naturelle**

La circulation de l'eau dans une chaudière à tube d'eau est très importante pour éviter la formation des zones sèches où le métal est susceptible de fondre sous l'effet de la chaleur (radiation). Dans les chaudières à circulation naturelle, l'eau d'appoint (eau froide) est introduite dans un ballon supérieur: vu que la densité de cette eau est plus grande que celle de l'eau plus chaude déjà existante, elle commence à prendre de la chaleur jusqu'à atteindre une zone où elle devient très chaude et sa densité beaucoup plus faible, dans ce cas elle monte et revient au ballon dans lequel elle a été introduite. Ce mouvement parcouru par l'eau n'était pas obtenu à l'aide d'une pompe : pour cela, il est appelé : à circulation naturelle .

✓ Chaudière à tube d'eau

Dans cette construction, c'est le caloporteur qui circule dans les gaz de combustion. L'avantage de cette formule est surtout la sécurité de ne pas avoir de grandes quantités d'eau dans la chaudière même, qui pourrait en cas de rupture mécanique, entraîner une création explosive de vapeur. Elles furent de plus souvent équipées de surchauffeur, qui laissait circuler la vapeur dans la partie haute des gaz, augmentant donc la température de celle-ci à pression constante. Les chaudières peuvent utiliser différents combustibles et/ou énergies: (bois, charbon, fioul, gaz, électricité...) pour les chaudières utilisant un combustible, la circulation des gaz de combustion peut être naturelle (par convection naturelle) ou forcée (ventilateur).

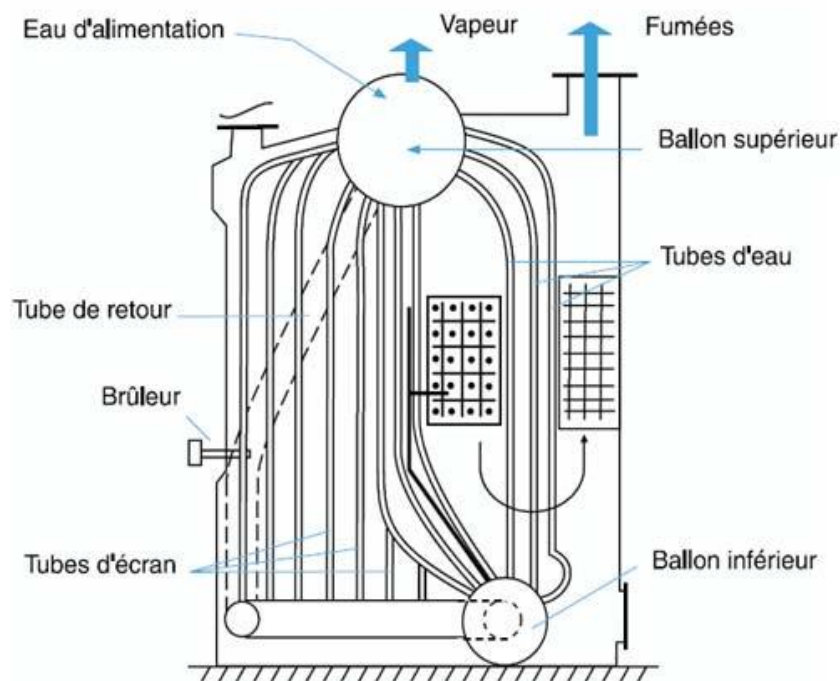


Figure II.14: Chaudière à tube d'eau . [22]

Ce type de chaudière possède deux réservoirs appelés ballon distributeur (en partie inférieure) et ballon collecteur (ou encore ballon de vaporisation, en partie supérieure), reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs, dans cet ensemble circule l'eau qui se transforme en vapeur.

Les gaz chauds produits par le brûleur sont directement en contact avec les tubes vaporisateurs, à l'intérieur de ceux-ci se produit la vaporisation. La vapeur ainsi générée est collectée dans le ballon supérieur, l'eau excédentaire est ramenée vers le ballon inférieur par

des tubes de chute non soumis à la chaleur. Dans le domaine des hautes pressions, une pompe peut être installée pour faciliter cette circulation du haut vers le bas.

Il y a donc circulation de l'eau dans des tubes placés à l'intérieur d'une enceinte contenant les gaz chauds.

II.3. Présentation de l'unité 50

L'unité 50 a un rôle très important dans le bon déroulement de la production au sein de notre complexe, et sa mission consiste à la fourniture des utilités (l'eau de mer, l'azote, eau distillée, la vapeur, air comprimé). [23]

II.3.1. Rôle des utilités

Elles ont pour rôle la fourniture des utilités nécessaires pour le démarrage et le maintien en service des unités de productions. [23]

II.3.2. Eau de mer

Elle est pompée à partir du canal d'amenée, filtré par des grilles fixes et des filtres rotatifs puis subit un traitement anti-moules et micro-organismes. Cette eau est utilisée comme eau de refroidissement. [23]

II.3.3. Eau distillée

Elle est produite par dessalement d'eau de mer dans des évaporateurs « SIDEM » d'une capacité de 1700m³/jour. Elle est principalement utilisée pour l'alimentation des chaudières (après passage dans une chaîne de déminéralisation). [23]

II.3.4. La vapeur [23]

Produite par trois chaudières de 45t/h, elle sert principalement à alimenter :

- Les unités de liquéfactions.
- Les postes de dessalement.
- Les postes d'utilités (chauffage, nettoyage....etc.).
- L'unité GPL.

II.3.5. L'azote

Produit par liquéfaction de l'air ambiant, il sert essentiellement à inertiser la tuyauterie et les capacités à gaz pour pouvoir effectuer en toute sécurité les travaux à chaud (soudage, découpe ...etc.). [23]

II.3.6. Air comprimé : (air instrument)

L'air instrument est comprimé à partir de l'air ambiant puis séché. Il est utilisé principalement comme air moteur pour actionner les vannes automatiques...etc. [23]

II.4. Description d'une chaudière de l'unité 50 [23]

- ✓ Constructeur STEIN
- ✓ Capacité 45t/h à haute pression (67 bars ,480c°).

II.5. Principe de fonctionnement de la chaudière de l'unité 50 [23]

- La pompe aspire l'eau de la bache alimentaire qui sera préchauffée à l'économiseur et la refoule à une pression de 78 bars vers le ballon supérieur des chaudières à travers un collecteur commun pour les trois chaudières et les vannes régulatrices.
- Le ballon supérieur alimente le ballon inférieur en eau à travers les tubes de descentes.
- Le ballon inférieur alimenté d'eau les faisceaux tubulaires et les écrans a tubes.
- L'eau est chauffée dans les tubes par les chaleurs dégagées de la combustion.
- La circulation de l'eau entre les deux ballons (supérieur et inférieur) est naturelle.

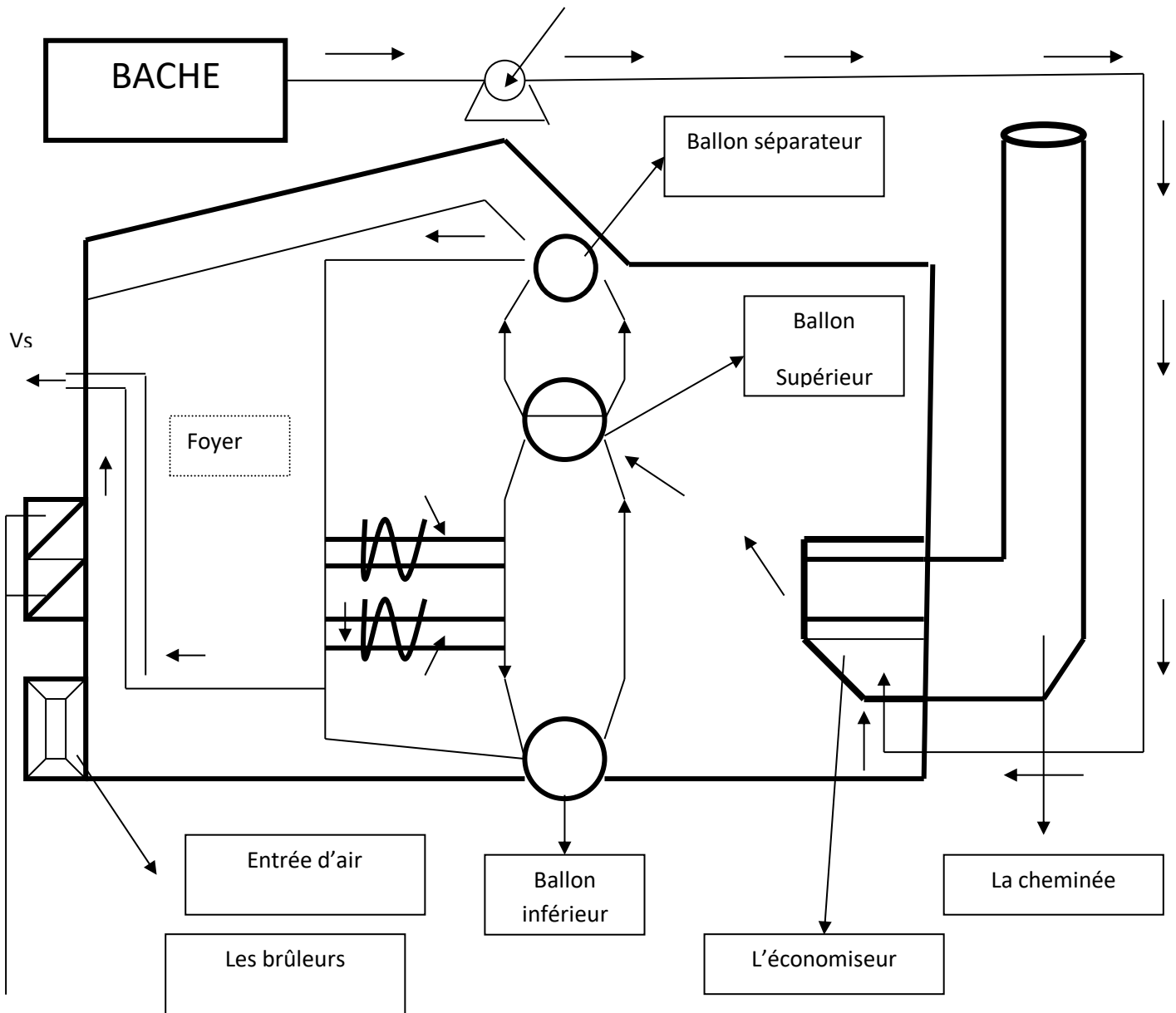


Figure II.15 : Schéma de la circulation de l'eau /vapeur dans la chaudière (repère 51 H02).

II.6. Eléments de la chaudière STEIN de l'unité 50 [23]

Les principaux éléments de la chaudière STEIN de l'unité 50 sont :



Figure II.16: Chaudière STEIN 51H01/02/03.

II.6.1. Ballon supérieur

Il est alimenté en eau par des motos- pompes alimentaires via l'économiseur. Ce ballon alimente le ballon inférieur à travers les tubes de descentes et il doit assurer la plus grande pureté possible à la vapeur qui va pénétrer dans la surchauffeur. [23]

II.6.2. Ballon inférieur

Il représente le point de départ de l'eau en circulation à travers le faisceau tubulaire et les tubes écrans. [23]

II.6.3. Ballon de séparation [23]

- Il est alimenté en vapeur saturée, venant du ballon supérieur à travers les tubes de liaison.
- Il est équipé de deux soupapes de sûretés 51 PVS 04-05 A/B tarées à une pression de 82 bars.

II.6.4. Faisceau tubulaire [23]

A pour but d'assurer un échange de chaleur entre deux fluides :

- Le fluide chaud est constitué par les gaz produits par la combustion et le fluide froid est constitué par l'eau chaude qui se transforme en émulsion eau + vapeur.
- L'échange de chaleur se fait par convection et rayonnement.

II.6.5. Tubes écrans [23]

Ce sont les tubes qui tapissent les murs de la chambre de combustion. On s'efforce de profiter de plus en plus des possibilités de transmission de chaleur, par rayonnement.

Les chaudières de l'unité 50 sont composées de cinq écrans :

- Ecran latéral gauche.
- Ecran oblique arrière.
- Ecran arrière.
- Ecran intermédiaire.
- Ecran latéral droit.
- Tubes de descente.

II.6.6. Faisceau de liaison

Il assure le passage de la vapeur saturée, produite dans le ballon supérieur, vers le ballon de séparation et le retour des condensats dans le sens inverse. Ce faisceau est composé de 30 tubes. [23]

II.6.7. Economiseur

Avant d'être introduite dans le réservoir du générateur de vapeur, l'eau d'alimentation traverse un échangeur de chaleur situé sur le parcours des gaz de combustion qui est «l'économiseur ». Cet échangeur a pour but de récupérer une partie des calories restantes dans les gaz de combustion pour élever la température d'eau d'alimentation. L'économiseur est constitué de sept éléments identiques soudés entre le collecteur d'entrée et le collecteur de sortie. [23]

II.6.8. Surchauffeur [23]

A pour rôle d'élever la température de la vapeur produite à pression constante en utilisant les calories des gaz de combustion.

Il est composé de :

- Un Collecteur d'entrée :

Ext = 273.1 mm

Epaisseur = 20 mm

Longueur totale = 1922 mm

Epaisseur du fond = 55 mm

Matière = Acier A42

- Un Collecteur de sortie :

Ext = 273.1 mm

Epaisseur = 32 mm

Longueur totale = 2833.5 mm

Epaisseur du fond = 70 mm

Matière = Chromesco III

- 15 Eléments, comprenant chacun des tubes de :

Ext = 44.5 mm

Epaisseur = 5 mm

Longueur moy du tube = 42488 mm

Et

Ext = 42.4 mm

Epaisseur = 7.1 mm

Longueur moy du tube = 34214mm

Ces tubes sont en acier Chromesco I et Chromesco III

II.6.9. Désurchauffeur

La régulation de la température, de la vapeur surchauffée, se fait par injection de l'eau alimentaire prise au refoulement de la pompe alimentaire, et la vapeur motrice qui vient du ballon séparateur. Il est installée dans la tuyauterie de départ de la vapeur sèche à la sortie du collecteur de sortie du surchauffeur. Le corps du désurchauffeur est constitué par un tube de diamètre extérieur 273.1 mm, épaisseur 21.41 mm en acier Cri (chromesco), longueur 3 m. [23]

II.6.10. Brûleur à gaz [23]

La chaudière est équipée d'un brûleur mixte gaz, comprenant :

- 3 cannes à naphta.
- 3 injecteurs à gaz
- 1 allumeur à gaz

Le brûleur a pour but d'engendrer et d'entretenir la combustion du combustible, où il assure le mélange intime et homogène avec l'air comburant.

NB : Le circuit naphta n'est pas utilisé dans les chaudières de la centrale.

II.6.11. Chambre de combustion

Le foyer est la partie principale du générateur de vapeur qui renferme la flamme de combustion et là où se développent les principaux échanges de chaleur par rayonnement. [23]

II.6.12. Cheminée

La cheminée du générateur de vapeur est élevée afin d'augmenter la circulation des gaz de combustion et obtenir leur plus grande dispersion dans l'atmosphère. Elle est constituée par des viroles cylindriques. [23]

II.7. Auxiliaires des chaudières

II.7.1. Bâche alimentaire et dégazeur

L'eau alimentaire est préparée au niveau du dégazeur de type vertical et de la bâche alimentaire sur laquelle il est monté directement. Il n'y a qu'un dégazeur et une bâche alimentaire pour l'ensemble de la centrale auxiliaire. Le dégazeur a pour rôle d'extraire les gaz dissous qui peuvent provoquer les corrosions dans les tubes de la chaudière. [24]

II.7.2 Pompes alimentaires

Leur rôle est d'alimentation, en eau de qualité chaudière, la chaudière via l'économiseur et le ballon supérieur. [24]

II.7.3 Ventilateur de soufflage

La fourniture de l'air nécessaire à la combustion, est assurée par un ventilateur d'air à tirage forcé entraîné par un moteur électrique. Ce ventilateur aspire de l'air à la température ambiante et le refoule au caisson du brûleur. [24]

II.8. Caractéristiques Principales des chaudières de l'unité 50 [24]

- Timbre	82 bars. Abs
- Pression vapeur sortie surchauffeur	73 bars. Abs
- Vaporisation en marche max. continue	45 T/h
- Vaporisation en marche unie horaire	50 T/
- Température vapeur surchauffée	490 °C
- Température entrée économiseur	135 °C
- Débit min. en marche automatique	15 T/h
- Débit pour atteindre 485 °C à la sortie surchauffeur	22.5 T/h
- Température fumée sortie économiseur à 45 T/h	255 °C

II.9. Généralité sur le traitement des eaux

Dans l'industrie l'eau peut être la matière première diversement traitée, une matière première incorporée aux produits chimiques, alimentairesetc.

Et l'eau est utilisée comme :

- Agent de production de vapeurs.
- Agent de refroidissement.
- Agent de lavage.
- Agent de force motrice (commande hydraulique, machine à vapeur).

Chaque usine prélève dans le site où elle est installée différents débits d'eau brute qu'elle traite pour l'amener aux qualités désirées pour les différents usages. En effet le traitement des eaux, pour produire de la vapeur ou le refroidissement est devenu la préoccupation quotidienne des exploitants d'usines particulièrement celles d'installations d'hydrocarbures et pétrochimique. [24]

II.10. Traitement de l'eau au sein du complexe GL1K

Dans le complexe GL1K le traitement d'eau s'effectue dans l'unité 50 (la centrale) consiste à enlever les éléments indésirables et ajouter ce qui manque. [25]

II.10.1. L'électrochloration

Elle consiste à ajouter à l'eau l'hypochlorite de sodium (eau de javel) dans le but de diminuer la prolifération des algues et les micro-organismes et éviter par cela les bouchages et la corrosion. [25]

II.10.2. La filtration [25]

L'eau subit deux types de filtrations :

- Une grosse filtration au niveau des grilles fixe par piégeage des gros déchets,
- Une filtration poussée au niveau des plateaux des filtres rotatifs dont les mailles ne laissent passer que les particules inférieures à 1.5 mm.

II.10.3. Le dessalement [25]

Évaporation de l'eau de mer dans les SIDEM, suivie d'une condensation sous vide alors on aura de l'eau distillée que l'on peut stocker.

Tout ça par l'injection des produits :

- Un antitartre pour protéger les SIDEM

- Un anti-mousse comme (NALCO, KEMABIO).

II.10.4. La déminéralisation

La déminéralisation s'effectue comme suit :

L'eau est exploitée directement des bacs de stockage de l'eau distillée passe Aux L M (lit mélange), le traitement se fait sur un lit constitué d'un mélange de résines cationiques et anioniques qui se comporte comme une infinité d'échangeurs de cations et d'anions en série ce qui permet d'obtenir une eau de très grande pureté. [25]

II.11. Conditionnement de l'eau au sein du complexe GL1K

Le conditionnement des condensât qui a pour but de minimiser les corrosions des métaux ferreux et cuivreux en maintenant le pH dans la fourchette de 8.8 à 9.2 [25]

II.11.1 Maintien du pH [25]

Cette valeur est maintenue soit :

- Naturellement par la présence d'ammoniaque ou d'amines entraînés par la vapeur.
- Ou par injection contrôlée de la (morpholine ou cyclohexylamine) dans l'eau d'appoint dans le retour condensât.

II.11.2. Elimination de l'oxygène dissous dans l'eau [25]

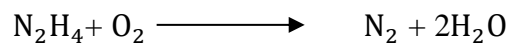
L'élimination de l'oxygène dissous dans l'eau ; présent en faible teneur (0.010 ppm) Par dégazage physique dans le dégazeur. Suivi par un dégazage chimique :

Cette réaction est obtenue par l'injection d'un réducteur d'oxygène dans l'eau d'alimentation (dans la bache alimentaire où a l'aspiration des pompes alimentaires). Le réducteur d'oxygène utilisé dans le complexe est :

L'hydrazine sous forme d'hydrate d'hydrazine.

Hydrazine : N_2H_4

Hydrate d'hydrazine : N_2H_4, H_2O



Seul l'azote gaz inerte subsiste

II.11.3. Conditionnement de l'eau qualité chaudière [25]

Le conditionnement de l'eau d'alimentation chaudière proprement dit :

A pour but de maintenir en chaudière une résistivité qui ne descend pas au-dessous de 10 (KOH). Et un pH alcalin pour limiter la corrosion $9.7 < \text{pH} < 10.2$.

Ce résultat est obtenu par :

- L'utilisation d'une purge de déconcentration continue.
- L'injection de phosphate trisodique.

Phosphate trisodique : Na_3PO_4

Le niveau du pH est obtenu par la réaction :

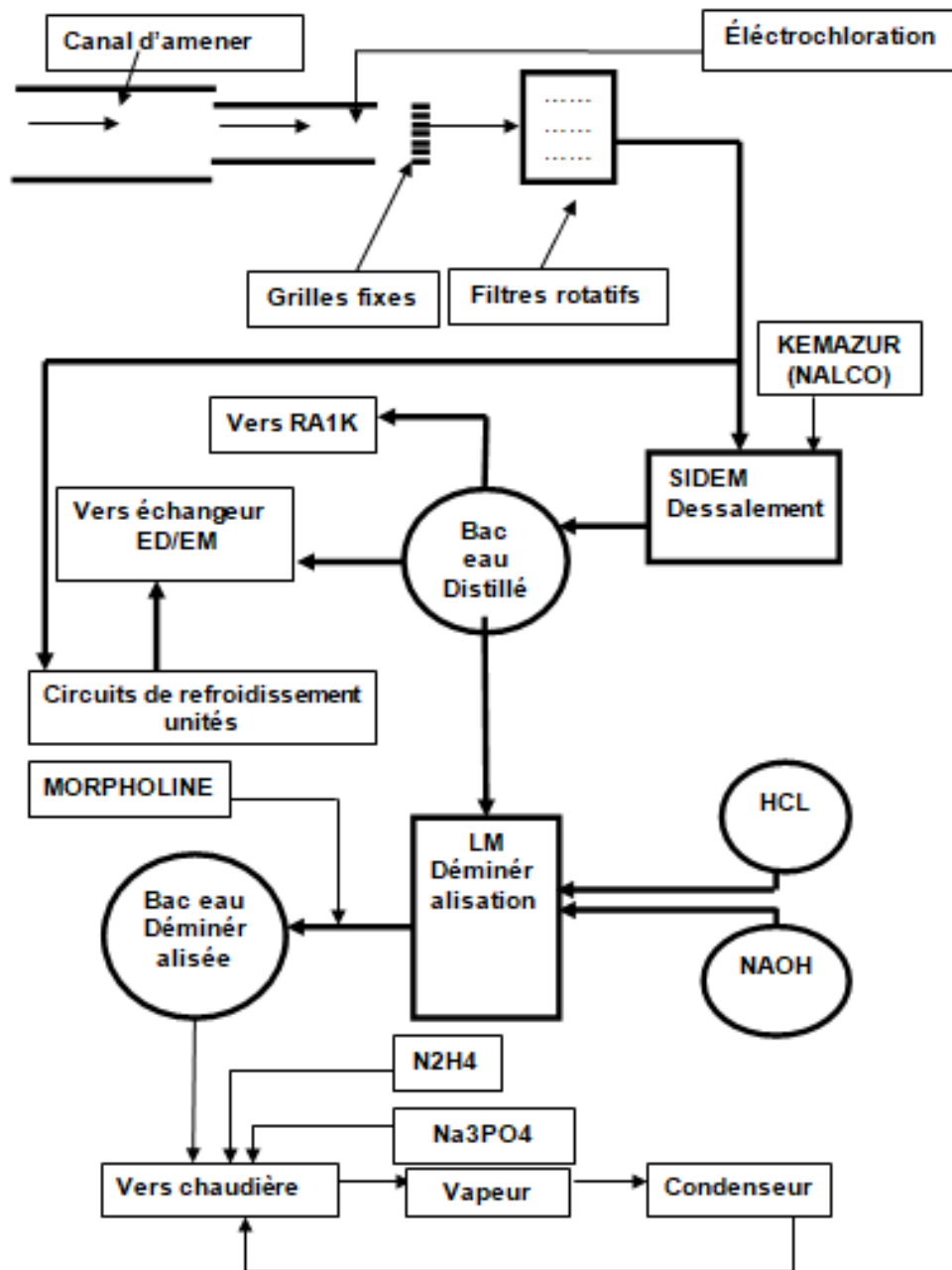
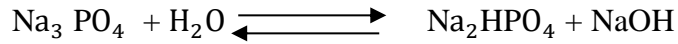


Figure II.17 : Schéma simplifié du traitement des eaux au sein de l'unité 50

Chapitre III

Présentation du méga train

III.1. Introduction

Le nouveau train de GNL (MEGA TRAIN) est conçu pour produire 4.5 million de tonnes de GNL par an et peut fonctionner avec ou sans extraction des sous-produits (éthane, propane, butane, gazoline).

Le gaz naturel d'alimentation contient une quantité considérable de gaz carbonique, le passage des températures ambiantes à la température cryogénique (-162 °C) pour sa liquéfaction impose la nécessité d'éliminer ce gaz de la composition initiale afin d'éviter le bouchage des conduites dans les sections froides du procès par sa congélation (CO₂)

L'élimination du gaz carbonique s'effectue dans la section décarbonatation par absorption chimique, en utilisant une solution de 60 % massique eau et 40 % massique de l'MDEA (Méthyle-Di éthanol Amine activée) dans une colonne d'absorption à garnissage en vrac (random packing).

Cette unité est conçue pour traiter un gaz naturel allant jusqu'à 2 % molaire de CO₂, teneur prévisible à l'horizon 2017. Suite à cette augmentation, toute la chaine gazière va être influencée.

III.2. Présentation du complexe [26]

III.2.1. Introduction

Le gaz naturel liquéfié, ou GNL, est tout simplement du gaz naturel à l'état liquide. Lorsque le gaz naturel est refroidi à une température d'environ -160 °C à la pression atmosphérique, il se transforme en un liquide clair, transparent et inodore. Le GNL est non corrosif et non toxique.

Le procédé de liquéfaction retire le dioxyde de carbone, les composés sulfurés (sulfure d'hydrogène, sulfure de carbonyle) et l'eau contenus dans le gaz naturel, le transformant ainsi en un mélange composé principalement de méthane et contenant de petites quantités d'autres hydrocarbures et d'azote.

La liquéfaction du gaz permet de concentrer un maximum d'énergie dans un volume donné (600 m³ de gaz sont concentrés dans 1 m³ de liquide). Après liquéfaction, le GNL est chargé sur des méthaniers pour être acheminé vers les terminaux de réception où il sera revaporisé pour être distribué aux consommateurs.

Aujourd'hui, il existe 17 sites de production de GNL dans le monde, répartis sur 13 pays.

Il existe également 57 terminaux méthaniers dont 26 sont concentrés au JAPON qui absorbe à lui seul plus de 40 % de la production de GNL.

Le gaz naturel, à l'origine à l'état gazeux est rendu liquide (liquéfié) à une température de 160 °C et à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique.

Cette transformation, qui réduit le volume du gaz naturel de 600 fois environ, permet de transporter de grandes quantités d'énergie dans des volumes réduits.

Le GNL est transporté par navires (méthaniers) et est déchargé sur des sites de regazéification, nommés terminaux méthaniers. Sur ces terminaux, situés généralement près des zones de consommation, le GNL est regazéifié (par réchauffage dans des serpentins à l'eau de mer ou à l'eau chaude) et injecté dans le réseau de transport de gaz naturel.

II.2.2. Historique

Le Gaz naturel a été découvert à la fin du 18ème siècle par Philippe Lebon et William Murdoch. Dans la période 1940 / 1942 les Américains envisagèrent sa liquéfaction pour pouvoir le stocker et le transporter sur de longues distances mais cette tentative s'est soldée par un échec. Le 20 Février 1959, les Américains et les Anglais réussirent la première cargaison de Gaz Naturel Liquéfié, depuis Lake Charles (USA) à Convery Island (Angleterre).

Pour l'Algérie, la première découverte du Gaz Naturel a eu lieu en Novembre 1956 à Hassi-R'Mel, la Compagnie Algérienne du Méthane Liquide (CAMEL) a été créée et installée à Arzew par Air Liquide et SN REPAL de France et Conth International d'Angleterre.

Le Complexe GL1K de Skikda a été construit par la Société mixte Algérienne du Gaz (SOMALGAZ), avec 51 % des parts appartenant à Sonatrach et 49 % à ERAP (Entreprise Française du Raffinage de Pétrole). [26]

L'étude du projet du Complexe GL1K de Skikda a duré de 1965 à 1967 et le démarrage des travaux a débuté en Mai 1969. Les dates de la mise en service des unités de liquéfaction sont représentées dans le Tableau III.1

Tableau III 1. : Evolution historique du complexe GL1K. [26]

Unités	Mise en service	Etat actuel
10	06/11/1972	Arrêt en 2011
20 et 30	17/07/1973	Endommagée (incident du 19/01/2004)
40	19/09/1978	Endommagée (incident du 19/01/2004)
5P	05/09/1980	En service
6P	20/06/1981	En service
GPL	17/09/1973	En service
15 Méga train	03/2013	En service depuis mars 2013

III.2.3. Description du complexe

Le complexe s'étend sur une superficie de 92 hectares et reçoit par pipes de 40 pouces et 580 km du GN du gisement de HASSI R'MEL, sa capacité annuelle de production est de 6 millions de m³ de GNL et celle de stockage est de 346 000 m³. Il emploie 1200 travailleurs permanents. [26]

Le complexe comprend principalement :

- (03) train de liquéfaction de GN
- Zonne1: unité 10(arrête) actuellement.
- Zonne2: les unités 5P et 6P.
- 01 unité GPL pour le traitement et le stockage du propane et du butane.
- 01 parc de stockage comprenant:
- 04 bacs de Stockage de GNL d'une capacité totale de 346000 m³.
- une pomperie de GNL pole 1.
- 04 pompes MJ01-A/B/C/D immergées dans le bac 71-MF01.
- 02 postes de chargement de GNL.
- Un bac de stockage de propane et un bac de stockage de butane.
- Un poste de chargement de GPL.
- Une unité centrale pour la production des utilités

- Vapeur.
- Air instrument et service.
- Azote.
- Eau déminéralisée et distillée.

a) Train de liquéfaction [26]

Chaque train de liquéfaction comprend :

- Une section de traitement de gaz (décarbonatation, déshydratation et démercurisation).
- Une section chaudière, sauf pour le méga train.
- Une section de compression.
- Une section de liquéfaction.
- Une section de fractionnement.

b) Section utilités [26]

Cette section se compose de :

- Trois chaudières de 45 t/h.
- Deux stations de pompage d'eau de mer (une par zone) composées de

Zone 1 : une pompe d'eau de mer d'une capacité de 21000 m³/h pour les réfrigérations et trois pompes d'eau de mer de capacité unitaire de 1400 m³/h pour les besoins de la lutte anti-incendie.

Zone 2 : deux pompes d'eau de mer d'une capacité unitaire de 25000 m³/h et deux pompes de capacité totale de 6300 m³/h pour la lutte anti-incendie.

- Six unités de dessalement d'eau de mer d'une capacité de 63 m³/h chacune.
- L'alimentation en énergie électrique est totalement assurée par le complexe via des turbine à gaz.
- Une section de production d'air, d'azote et d'Hypochlorite de soude (eau de javel).
- Une zone d'off site comprenant : une torche, une fosse (le bruleau) et une unité de traitement des eaux usées.

c) Zone de stockage et de chargement du GNL [26]

Le complexe a une capacité de stockage de :

- Quatre bacs de stockage de GNL .un de capacité de 56000 m³ et deux ayant une capacité de 70000m³ /bac GNL.et un bac de capacité de 150000m³

- Un bac de stockage de Propane de 40000 tonnes/bac.
- Un bac de stockage de Butane de 40000 tonnes/bac.
- Un bac de stockage de Gazoline de 3000 m³ tonnes/bac.

Le chargement du GNL est assuré au niveau de deux quais de chargement pouvant recevoir des méthaniers d'une capacité de 25000 à 90000 m³ de GNL. Chaque quai est doté de trois bras pour le chargement de GNL et un bras pour le retour des vapeurs de GNL (Boil-off).

d) Installation de contrôle de sécurité

Le complexe est doté de :

- Une salle de contrôle DCS au niveau de la zone 1 pour le train 10, les utilités, le stockage et le chargement.
- Une salle de contrôle DCS au niveau de la zone 2 pour le train 5p, 6p et l'unité GPL.
- Une salle de contrôle DCS au niveau de la zone 3 pour l'unité Méga train.

e) Production de la vapeur

Le complexe est doté d'une chaudière d'une capacité de 320 t/h pour le train 10 et deux chaudières de 375 t/h chacune les unités 5p et 6p pour les besoins des trains de liquéfaction en vapeur à haute, moyenne et basse pression.

f) Unité GPL

Le mélange Bu pro (Butane et Propane) provenant du train 10 afin de le séparer en Butane et Propane. Elle assure aussi le stockage du Propane et du butane produits au niveau du complexe ainsi que le Butane et le Propane provenant de la raffinerie de Skikda.

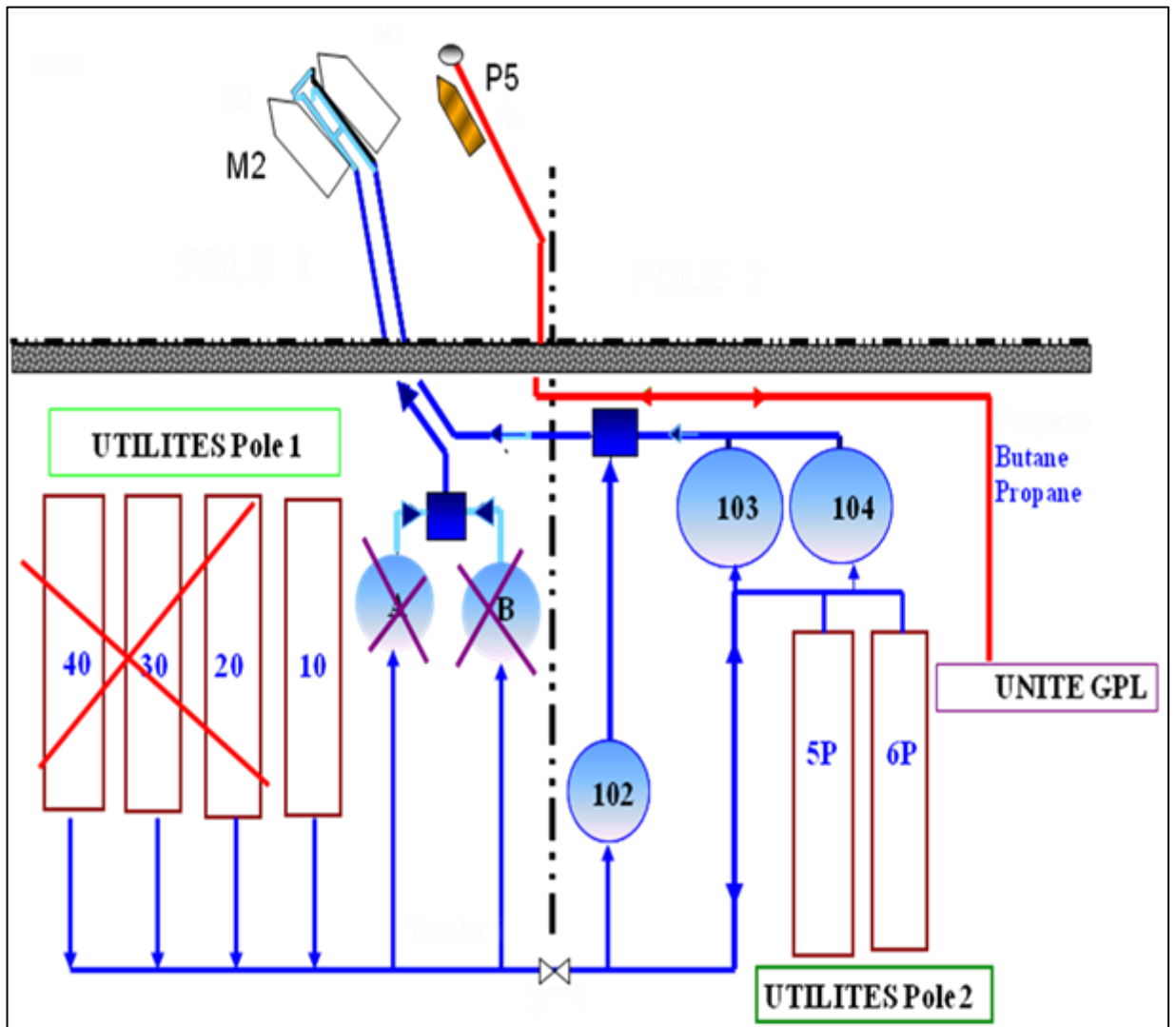


Figure III.18: Plan De Situation Du Complexe GL1K.

✗ Trains GNL 20/30/40 : détruits suite à l'incident du 19/01/2004

✗ Bacs GNL T01A/T01B : désaffectés dans le cadre de la construction du MEGA TRAIN. (Construction d'un bac de 150 000 m³). Les Bacs GNL 102/103/104 : désaffectés dans le cadre de la construction de l'unité 5p /6p. (Construction d'un bac (102) 56000 m³ et 103/104 de capacité 70000 m³ pour chaque Bac) L'unité 10 actuellement en arrêt. et les unités 5p /6p et méga train en service à ce jour.

III.3. Présentation du complexe méga train de SKIKDA [26]

III.3.1. Situation géographique

Le nouveau train de GNL (MEGA TRAIN) est situé à l'intérieur de l'enceinte du complexe GL1/K, au Nord-Ouest des trains de liquéfaction existants. Le complexe GL2/K est alimenté en gaz naturel (GN) à partir du gisement de HASSI R'MEL par gazoduc d'une longueur de 580 Km et de 40'' de diamètre.

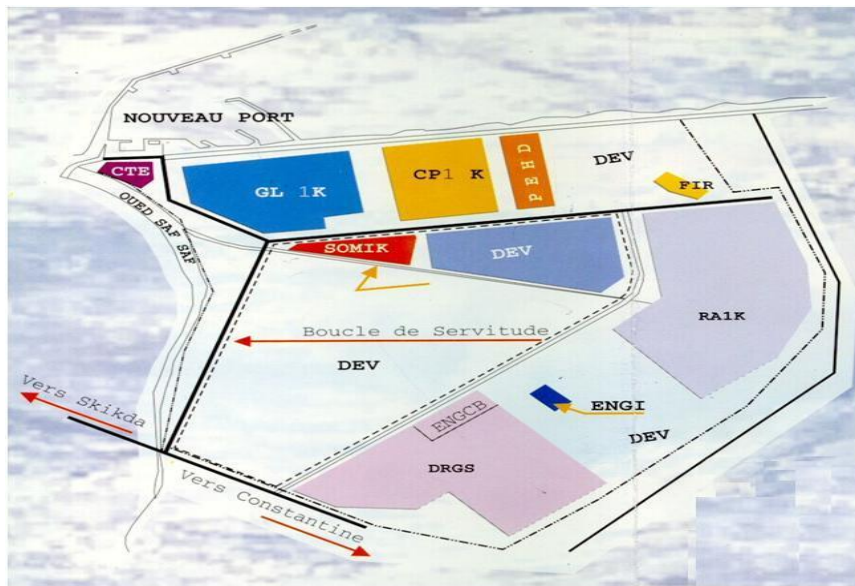


Figure III.19 : Situation du complexe GL1K dans la zone industrielle de Skikda .



Figure III.20: Vue panoramique du complexe GL1K.

III.3.2. Caractéristiques de production

Le nouveau train de GNL a été conçu pour une capacité de production de 4,5 millions de tonnes de GNL par an, et peut fonctionner avec ou sans extraction des sous-produits (Ethane, Propane, Butane, Gazoline).

Une charge de gaz enrichi en Hélium est également produite pour alimenter l'usine de production d'Hélium (HELISON). En retour, Helison renvoie de l'azote gazeux et du fuel gaz (48 % azote et 52 % méthane).

Etant donné que l'usine d'Hélium est aussi alimentée en gaz enrichi en hélium par les unités existantes de GL1/K, l'azote et le fuel gaz retournés est aussi utilisé par ces unités

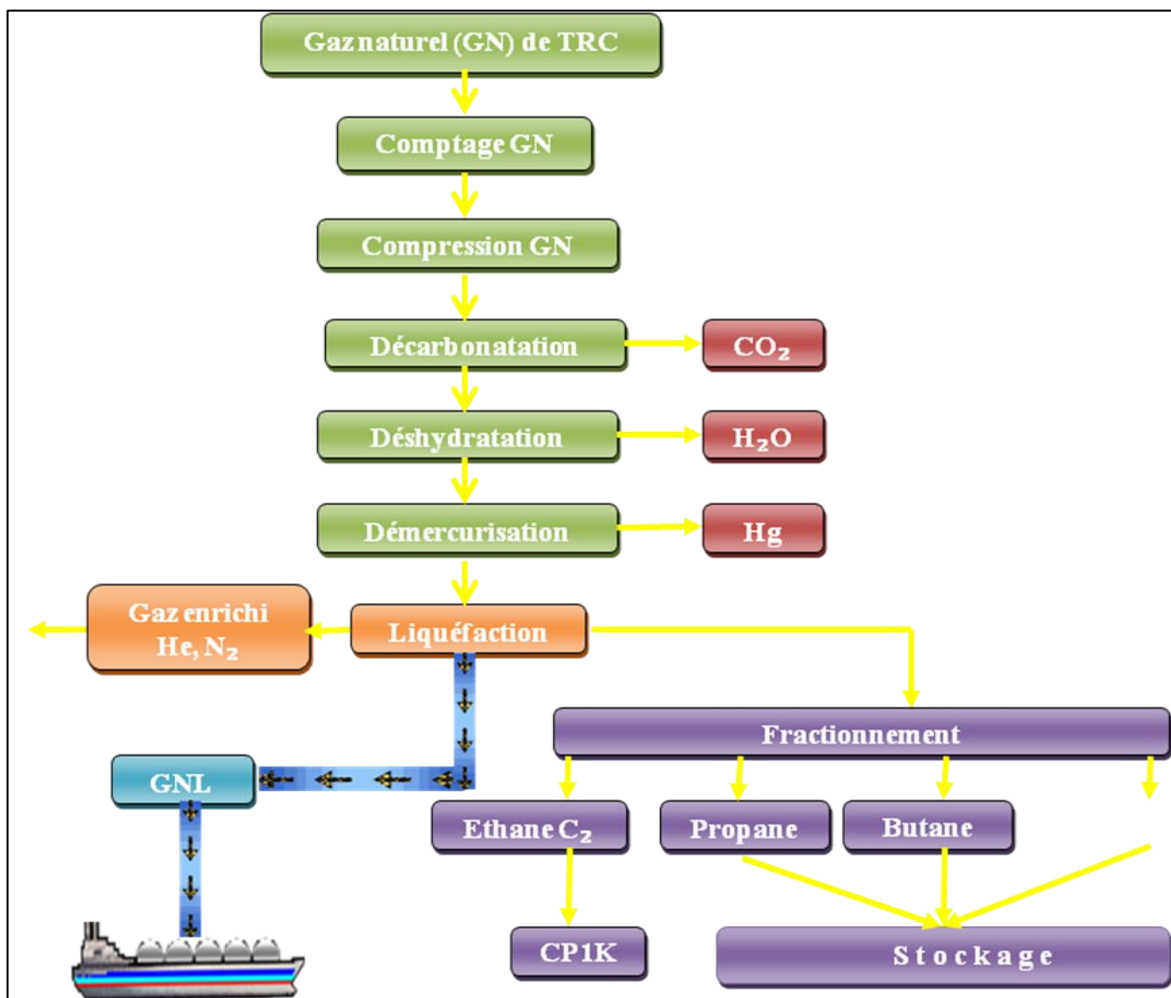


Figure III.21: Processus de Traitement et Liquéfaction Du Gaz Naturel.

III.3.3. Procédés de Liquéfaction

Le procédé de liquéfaction consiste à refroidir le gaz jusqu'à la température de liquéfaction du mélange (- 164 °C) qui est la température d'ébullition du gaz majoritaire.

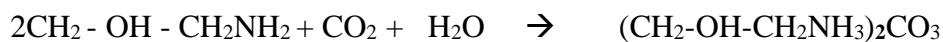
En plus des hydrocarbures, le gaz naturel renferme une petite quantité d'eau (60 à 80 ppm). La présence de l'eau et du CO₂ rend le procédé de liquéfaction impossible engendrant des bouchages. Il est impératif de faire subir au gaz naturel un traitement.

III.3.3.1. Section traitement du gaz

Le traitement du gaz naturel consiste en l'élimination de l'eau, du CO₂ et le mercure. Le traitement se déroule donc en 03 étapes, dans 03 sous-section :

A. Décarbonatation

C'est l'élimination du CO₂ en faisant barboter le gaz naturel dans une solution de diéthanolamine (MDEA) à une concentration de 40%. La réaction chimique de la décarbonatation est la suivante :



B. Déshydratation

C'est l'élimination de l'eau en faisant passer le gaz sur un sécheur contenant de l'alumine activée (tamis moléculaire) ou l'eau et totalement retenu teneur en eau < 1 ppm.

C. Démercurisation

Après déshydratation le gaz traverse, de haut en bas, un réacteur de démercurisation dans lequel s'effectue la réaction entre le mercure et soufre déposé sur du charbon actif.

III.3.3.2. Section liquéfaction

La liquéfaction met en œuvre le principe élémentaire du réfrigérateur, basé sur la compression, et le refroidissement, puis la détente d'un fluide pur.

Dans une unité de GNL, la section liquéfaction est constituée d'échangeurs cryogéniques (à plaques ou bobinés) et d'une section de compression.

Le fluide frigorigène est comprimé puis refroidi à l'eau de mer (batterie EDM) puis détendu à travers des vannes à effet JOULE-THOMSON, cette détente provoque un abaissement de température et les frigories sont récupérées par le produit à refroidir dans les échangeurs cryogéniques. Dans le complexe GNL de Skikda 03 procédés de liquéfaction sont utilisés :

- Le procédé « TEAL » pour l'unité 10
- Le procédé « PRICO » pour les unités : 5p et 6p.
- Le procédé « APCI » méga train.

III.3.3.3. Section de fractionnement

Le rôle de cette section est d'extraire les hydrocarbures lourds du gaz traité et d'y produire, par distillation, de l'éthane qui est exporté au (CPIK), du bupro à partir de l'unité 10, qui est fractionné dans l'unité GPL. Du propane et du butane produits à partir des unités 5P et 6P puis stockés dans l'unité GPL. De la gazoline qui est transférée à la raffinerie de Skikda.

Les colonnes de fractionnement dans les unités sont :

- **Déméthaniseur**

Son rôle est la récupération du méthane entraîné en fond de la colonne de lavage. Cette opération permettra l'obtention d'une bonne qualité d'éthane au dééthaniseur. Le méthane récupéré est renvoyé à l'entrée de la liquéfaction par le biais d'un compresseur.

- **Dééthaniseur**

Son rôle est la Séparation et récupération en tête l'éthane contenu dans la charge venant du fond du déméthaniseur.

- **Dépropaniseur**

Son rôle est de séparer et récupérer en tête le propane contenu dans la charge venant du fond du dééthaniseur. Un rébouillage est effectué en fond de colonne afin de limiter la concentration de propane dans la production de fond du dépropaniseur et respecter les spécifications.

- **Débuthaniseur**

Son rôle est de séparer et récupérer en tête le butane contenu dans la charge venant du fond du dépropaniseur. Un rebouillage est effectué en fond de colonne afin de limiter la concentration de propane dans la production de fond du débutaniseur et respecter les spécifications.

- **Colonne de séparateur C3 / C4.**

III.3.3.4. Traitement De Gaz

Avant la liquéfaction, le gaz naturel doit subir plusieurs traitements pour être débarrassé des éléments nuisibles au fonctionnement de l'installation :

- Le gaz carbonique (CO₂)
- L'eau (H₂O)
- Le mercure (Hg)

La nécessité d'extraire le CO₂ du GN

- Risque de corrosion des pipes et des installations (surtout en présence d'eau libre).
- Risque de solidification dans les procédés cryogéniques.
- Diminution du pouvoir calorifique du gaz.

But de l'élimination du CO₂ du gaz naturel

Le dioxyde de carbone ou anhydride carbonique est présent dans certains gaz naturels. Il est non toxique et non combustible. Un excès de CO₂ se traduit donc par une diminution du pouvoir calorifique du gaz et, pour une même énergie transportée, un supplément de 1 % de CO₂ coûte 2 % en plus de gaz carburant. En milieu humide, la présence de CO₂ provoque une corrosion lente des canalisations. Pour un gaz à 3 % de CO₂, la diminution moyenne théorique d'épaisseur d'une canalisation est de l'ordre de 3 μ par an. Dans les unités de production du GNL, le CO₂ est éliminé (décarbonatation) avant liquéfaction pour prévenir le bouchage et la corrosion des équipements process.

✚ Conséquences du bouchage

Durant la liquéfaction, le CO₂ contenu dans le gaz naturel se solidifie et provoque le bouchage de l'échangeur principal. Si le passage de CO₂ est momentanée, cela pourra se traduire par une baisse de rendement de l'installation, étant donné la diminution des échanges thermiques au niveau de l'échangeur principal de la liquéfaction, du fait de la fixation du CO₂ à l'intérieur des tubes.

✚ Absorption du CO₂ par la MDEA

Le procédé utilisé est celui de BASF, basé sur une absorption chimique, Ce type d'absorption implique une réaction chimique exothermique entre le composant gazeux (CO₂) et celui liquide aMDEA (Méthyl Di éthanol Amine activée).

Tableau III.2 : Propriétés physiques de la MDEA.

Propriétés	aMDEA
Formule brute	DIMETHYLAMINO-3 PROPANOL-1 (CH ₃) ₂ N-(CH) ₂ , CH ₂ , OH
Activateur	Piperizine
Masse moléculaire	129 84
Densité (g/cm ³)	0.904
Intervalle d'ébullition (à 1 alm)	100-159 °C
Pression de vapeur (KPa)	
à 20°C	0.5
à 50 °C	2.0
Point de congélation	< -50°C
Solubilité dans l'eau	Complete
Viscosité cinématique à 23 °C (mm ² /s)	7

Point d'éclair (°C)	66
Point d'inflammabilité (°C)	235

Propriétés chimiques

Vapeur et augmenter la solubilité dans l'eau et un groupe aminé qui donne au Composé les caractéristiques d'élimination du CO₂ .

La MDEA présente les réactions caractéristiques des amines et des alcools et peut réagir vivement avec les produits oxydants. Avec les acides, il se produit une réaction très exothermique. La MDEA est un solvant qui n'est pas très corrosif

Absorption aux amines

Les processus d'absorption chimique en utilisant les solutions aqueuses d'alkanolamine sont utilisées pour traiter les flux gazeux contenant le sulfure d'hydrogène et l'anhydride carbonique. Cependant, selon la composition et les conditions de fonctionnement de gaz d'alimentation, différentes amines peut être choisi pour répondre aux spécifications des produit. Les amines sont classées par catégorie en tant que primaires, secondaires, et tertiaires selon le degré de substitution de l'azote central. Les amines primaires réagissent directement avec H₂S, CO₂, et sulfure de carbonyle (COS). Les exemples des amines primaires incluent la diéthanolamine (MDEA) et la diglycolamine (DGA). Les amines Secondaires réagissent directement avec H₂S et CO₂ et réagissent directement avec un certain COS. L'amine secondaire la plus répandue est la diéthanolamine (DEA), alors que la diisopropanolamine (DIPA) est un autre exemple d'une amine secondaire, qui n'est plus répandue en tant que la DEA dans les procédés de traitement par l'amine. Amines tertiaires réagir directement avec H₂S , réagir indirectement avec du CO₂ , et réagir indirectement avec peu de COS. Les exemples les plus fréquents des amines tertiaires sont la methyldiethanolamine (MDEA) et la methyldiethanolamine activée.

III.3.4. Procédé de décarbonatation

L'unité de décarbonatation est conçue pour traiter jusqu'à 2 % mole de CO₂ dans le GN. Contrairement aux autres unités déjà existantes en Algérie, le nouveau train GNL de Skikda utilise des colonnes à garnissages à anneaux Raschig en inox déposés en vrac.

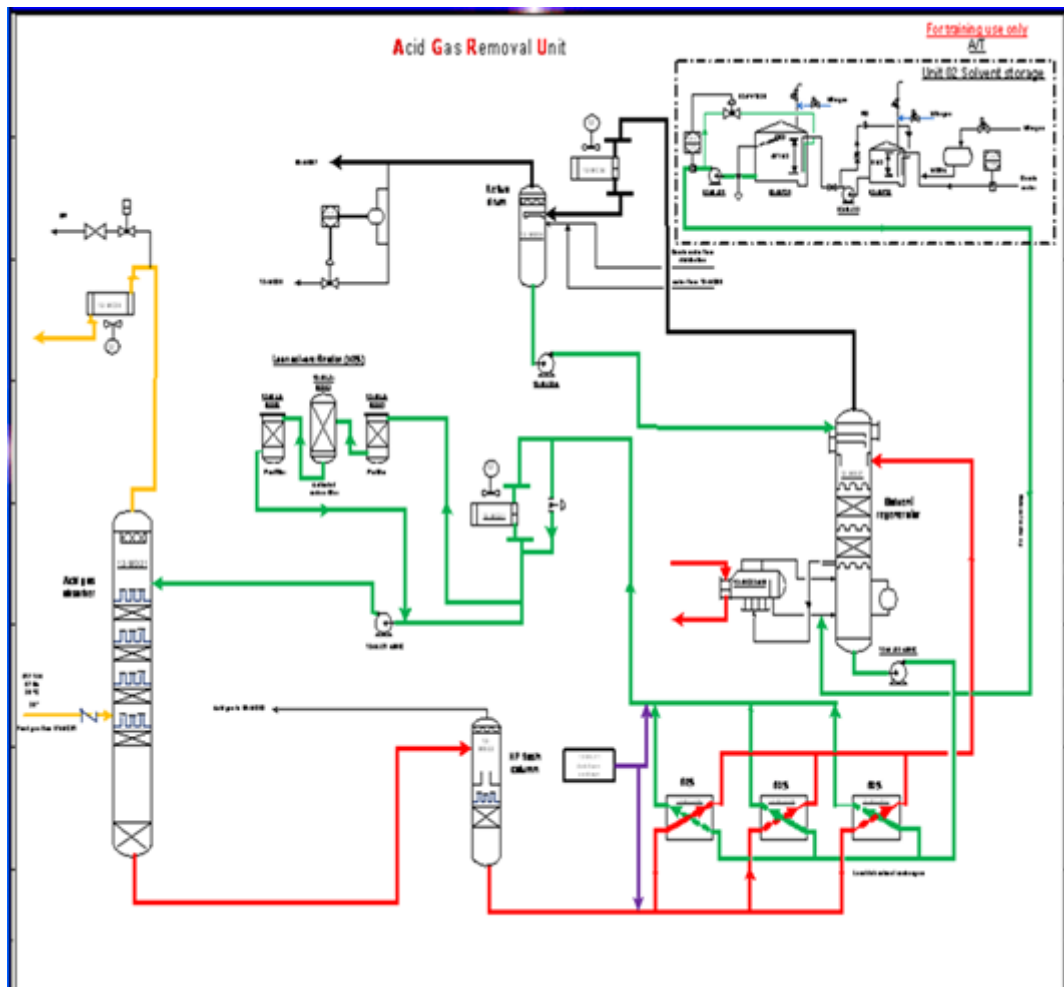


Figure III.22: la section de décarbonatation.

III.3.4.1. Description d'une colonne à garnissage

Une colonne à garnissage est une colonne qui est remplie d'éléments permettant d'augmenter la surface de contact entre la phase gazeuse et la phase liquide. La colonne contient également :

- ✓ Dans sa partie inférieure, une grille pour supporter le garnissage et un injecteur de gaz ;

- ✓ Dans sa partie supérieure, un distributeur de liquide et parfois un dévésiculeur ;
- ✓ Parfois un redistribuer ;

Types de garnissages

Ils sont classés en deux catégories : les garnissages en vrac et les garnissages structurés. Les garnissages en vrac sont des éléments plus ou moins tortueux, de taille allant de 10 à 100 mm, dont on remplit la colonne de manière aléatoire ou en les empilant pour créer une structure enchevêtrée. Ils sont les plus anciens et les mieux connus car les plus étudiés. Les garnissages structurés sont plus récents ; ils se présentent sous la forme de tissus métalliques enroulés ou d'un assemblage de plaques corrigées et perforées. Les fournisseurs proposent tous ces garnissages dans différents matériaux qui s'adaptent aux diverses applications de l'industrie (céramiques, plastiques, carbone, acier et autres alliages).

Base de conception de la section décarbonation (méga train)

Cette section sert à réduire la teneur en CO₂ jusqu'à 50 ppm pour éviter la solidification dans la section liquéfaction, et de limiter l'émission du VOC à une valeur inférieure à 150 mg/N.m³. Le procédé utilisé est celui de BASF utilisant (aMDEA) Méthyle Di éthanol Amine activée d'une concentration de 40 % massique et garnissage en vrac (random packing).

VOC (Volatil Organic Compounds):

Les Composés Organiques Volatils sont composés de carbone et d'hydrogène pouvant se trouver sous forme gazeuse dans l'atmosphère.

Colonne de décarbonation

La colonne de décarbonation est conçue pour éliminer le CO₂ contenu dans le gaz naturel par absorption chimique par une solution d'aMDEA pauvre (40% d'aMDEA massique). La réaction est exothermique. Cette solution aqueuse d'aMDEA alimente l'absorbeur en haut par les pompes 12-MJ21A/B/C. La solution circule ensuite vers le bas à travers des lits de garnissages en vrac (disposés selon 4 lits de 6 m comprenant des distributeurs de liquides intermédiaires). De ce fait, la solution d'aMDEA est mise en contact avec le Gaz Naturel circulant à contre-courant de bas en haut traversant les lits de garnissages. Le gaz débarrassé du CO₂ quitte la tête de l'absorbeur pour être dirigé vers l'unité de déshydratation.

Aero refrigerant12-MC35

Le rôle de cet équipement est de refroidir le gaz sortant en tête de l'absorbeur. Il est composé de 3 caissons et comprend 9 moteurs. Il est conçu pour le cas de marche de traitement de 2 % de CO₂ dans la charge GN, qui requiert un refroidissement supplémentaire étant donné la chaleur d'absorption importante, et dans le cas d'une teneur de 0,21 % en CO₂ le tirage naturel assure le refroidissement. L'eau condensée et l'amine éventuellement entraînées sont récupérées à l'unité de déshydratation et retournées vers le ballon de reflux du régénérateur, ceci à travers le ballon de flash d'eau.

Colonne de flash

Cette colonne contient un lit de garnissages en haut duquel l'amine riche est introduite pour subir une détente de 67 b à 4.5 bars eff libérant ainsi une partie de CO₂ et d'hydrocarbures. L'amine riche en CO₂ non éliminé lors de la détente traverse le lit de garnissages de haut en bas. Les vapeurs de tête du ballon de flash, constituées principalement d'hydrocarbures, sont envoyées vers le ballon séparateur pour être ensuite utilisées comme fuel gaz dans le four réchauffeur d'huile.

Colonne de régénération du solvant

Le régénérateur contient deux lits de garnissages. Il est conçu pour extraire le CO₂ contenu dans la solution d'amine, ce qui produira une solution pauvre qui sera refroidie et qui alimentera en circuit fermé l'absorbeur. La solution riche alimente le régénérateur par le haut et circule à travers les lits de garnissage à contre-courant de la solution vaporisée (essentiellement vapeur d'eau) qui circule de bas en haut. Les garnissages augmentent la surface de contact entre l'amine et la vapeur, ce qui augmente le rendement de l'extraction du CO₂.

Echangeurs amine riche/amine pauvre

Le rôle de ces échangeurs est de récupérer de la chaleur pour :

- Réchauffer la charge d'amDEA riche entrant au régénérateur (124 °C).
- Refroidir la charge d'amDEA pauvre qui sera dirigée vers l'absorbeur (48 °C).

Les 3 échangeurs 12-MC22-A/B/C sont du type à plaques et sont conçus pour traiter chacun 50 % du débit total. En marche normale, (02) échangeurs sont utilisés, le 3ème étant en position de secours (stand by).

Stockage du solvant MDEA

Il y a deux bacs pour le stockage de la solution, ils sont utilisés pour faire

l'appoint de solvant pour le procès. Le bac d'une capacité de 8 m³ est utilisé pour le stockage de l'amine concentrée. Selon le procédé fourni par BASF, le solvant est de la MDEA activée. Il est livré en solution qui se compose de MDEA, d'inhibiteur, et d'une quantité d'eau (approx 9 % d'eau).

La solution de pré mélange est livrée dans des iso-conteneurs et elle est pressurisée avec de l'azote dans le bac de mélange de solvants. Le 02-MF21 a une capacité de 400m³. Il est utilisé pour stocker l'amine diluée qui servira d'appoint au process par une pompe. L'eau déminéralisée est utilisée pour diluer la solution pour avoir une concentration de 40 % d'amine.

Rebouilleurs

L'énergie est fournie à la colonne de régénération par les rebouilleurs qui utilisent de l'huile chaude en provenance de l'unité 18 comme élément de chauffage. Ces rebouilleurs traitent chacun 50 % de la charge dans le cas où la teneur en CO₂ dans le GN atteint 2 %, pour celle de 0,21 % un seul rebouilleur est en marche. Ils sont de type Kettle, à faisceaux et calandre.

Le régénérateur est muni d'un plateau de soutirage liquide en dessous du lit inférieur qui dirige ce liquide en alimentation des rebouilleurs. Les rebouilleurs sont installés symétriquement par rapport au régénérateur. Une plaque de séparation est montée à l'intérieur de la calandre de façon à ce que les tubes soient submergés par le liquide, et en même temps pour laisser un espace suffisant pour que les vapeurs se débarrasse du goutte de liquide entrainer avant d'aller vers le régénérateur. Les vapeurs entrent dans la colonne en dessous du plateau de soutirage liquide, passent par des cheminées puis traversent les lits de garnissages.

Le liquide débordant de la plaque de séparation dans les rebouilleurs retourne au régénérateur par gravité.

Aéro réfrigérant

Cet aéro-réfrigérant comprend 2 caissons, 4 faisceaux et 6 motoventilateurs. Les vapeurs sortant en tête du régénérateur sont condensées dans l'aéro réfrigérant, le condensat est récupéré dans le ballon de reflux où liquide et vapeur sont séparés.

Ballon de reflux

Les vapeurs incondensables sont envoyées sous une régulation depression, vers l'incinérateur dont le but est de réduire la teneur en composés organiques volatils (VOC)

rejetés vers l'atmosphère à 150 mg/N.m^3 . Le liquide condensé, essentiellement de l'eau, est pompé comme reflux vers le régénérateur par les pompes de reflux.

Aero réfrigérant

Cet aéro-réfrigérant comprend 2 caissons, 4 faisceaux et 6 moto ventilateurs. Le rôle de cet équipement est de refroidir la solution aMDEA pauvre jusqu'à une température de 40°C . L'amine pauvre est ensuite envoyée en alimentation de l'absorbeur par l'intermédiaire des pompes.

Filtration de la MDEA

Les impuretés autres que les hydrocarbures peuvent aussi causer des moussages sur le circuit d'amine. Dans le but de minimiser l'accumulation de ces impuretés, environ 10 % du débit d'amine en circulation sont traités dans le système de filtration suivant : pré-filtre, filtre à charbon actif et post- filtre L'amine filtrée est ensuite réinjectée soit à l'aspiration des pompes soit vers le réservoir de stockage.

Système d'injection d'anti mousse

Des équipements supplémentaires pour éviter la formation de la mousse sont fournis par l'ensemble d'injection anti mousse. Cet ensemble peut être utilisé pour doser, en continu ou selon la nécessité, de petites quantités d'agent anti mousse présentes dans le circuit d'amine, l'anti mousse peut être injecté en amont du refroidisseur de l'amine pauvre ou bien dans l'amine riche en amont de l'échangeur amine riche/pauvre.

Ballon de récupération des purges

Le ballon de récupération des purges de solution est situé dans une cuvette de vidange qui sert à collecter les purges des solutions des équipements de l'unité de décarbonatation grâce à un système fermé de purge. Ces purges peuvent provenir de n'importe quel équipement nécessitant une maintenance, par exemple, une pompe, un filtre, un bac de stockage, un ballon, etc. Le ballon de récupération des purges de solution est un faisceau horizontal, disposé de façon à ce que les purges lui soient envoyées en alimentation dans la section centrale de décantation. Dans l'une des extrémités, une chicane de séparation est disposée de manière à ce que l'huile soit collectée à la surface de la solution et récupérée après débordement dans le compartiment de collecte d'huile. A l'autre extrémité, une autre chicane de séparation permet de récupérer la solution débarrassée des hydrocarbures dans le 2ème compartiment.

Il y a une pompe à l'extrémité de chaque compartiment. Le compartiment d'huile

contient la pompe d'écumage d'huile, qui pompe l'huile écumée vers le ballon de torche chaude, pour être éliminée.

Le compartiment solvant contient la pompe de drainage de solvant, qui, à travers le filtre de charge de solution, envoie la solution soit vers le circuit amine soit vers le bac de stockage de solution situé dans les installations communes. Le Ballon de drainage de solution est conservé sous atmosphère d'azote afin de protéger la solution de tout contact avec l'air, ce qui peut l'altérer.

III.4. Les principaux problèmes rencontrés dans la colonne de décarbonatation [26]

Les principaux problèmes rencontrés dans la colonne de décarbonatation :

- Le moussage
- L'entraînement d'amine
- L'engorgement de la colonne
- La corrosion

III.4.1. Le moussage

Ce problème est rencontré au cours de la mise en route de la colonne d'absorption proviennent de la formation de la mousses imprévues, la présence de mousses entraîne un engorgement précoce des plateaux et des trop-pleins et pendant l'exploitation il pourrait avoir formation de mousses et entraîne une augmentation soudaine de la différentielle ou il aura un mauvais contact entre la gaz et l'amine, le phénomène de moussage résulte de la présence d'impuretés ou du comportement de certains mélanges qui empêche la coalescence des bulles les unes avec les phase gazeuse environnante.

III.4.2. Différents promoteurs de moussage

Les contaminants générant le phénomène de moussage proviennent de plusieurs sources :

- Les produits de dégradation de la MDEA.
- Les produits de corrosion.
- Les matières solides finement divisées.
- Fines particules de charbon actif.
- Les hydrocarbures lourds dissous.
- Les huiles de garnissage.
- L'eau d'appoint de préparation de la solution de MDEA.
- Non efficacité des plateaux.
- Mauvais lavage en tête de la colonne d'absorption.

Chapitre IV

Matériel et méthodes / Résultats d'analyses

IV.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer les performances opérationnelles de l'usine d'eau de mer GL1k Skikda sur la base de mesures d'une série de paramètres effectuées au niveau de l'usine. Les performances opérationnelles du système de chaudière sont analysées. En se référant aux résultats des analyses et en comparaison avec les propriétés chimiques.

IV.2. Méthodes d'analyses

IV.2.1. Méthodes d'analyses électrochimiques

a- Détermination du Ph [27]

➤ Définition

Le pH est lié à la concentration d'ions H^+ I présents dans l'eau. Il exprime si l'eau est acide (de 0 à 7), neutre (voisine de 7) ou alcaline (de 7 à 14).

Le pH de l'eau des échantillons d'eau de la chaudière de l'unité 50 a été mesuré a laboratoire à 25°C. Le cas échéant, Les échantillons doivent être refroidis (ou réchauffés) pour les amener à cette température.

➤ Principe

Le pH est une relation étroite avec la concentration des ions hydrogène (H^+ présentes dans l'eau. L'électrode de verre est universellement employée pour la mesure du PH des eaux, car elle ne modifie pas l'équilibre ou la concentration gazeuse et d'autres part, elle est insensible aux groupes oxydo-réducteur.

➤ Matériel

- ✓ Bêcher
- ✓ Appareil : pH mètre WT1971

➤ Mode Opérateur

- ✓ Apres rinçage de l'appareille avec de l'eau distillée, on procède la mesure de PH de l'eau a traiter.
- ✓ Lorsque quel ne sont pas en service les Electrode de verre doivent être conservé dans l'eau distillée.



Figure IV.23: pH mètre WT1971.

b- La conductivité [27]

➤ Définition de la conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux Electrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparés l'une autre de 1cm.

➤ Principe

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité en fonction de la température.

➤ Matériel

- ✓ Bécher
- ✓ Appareil : Conductivimètre Orion 3STAR .

➤ Mode opératoire

- ✓ On rince plusieurs fois la cellule a conductivité d'abord avec l'eau distillée puis on plonge dans un récipient d'eau à examiner.
- ✓ La température du liquide ne devra en aucun cas varier pendant la mesure (RODIER)



Figure IV.24: Conductivimètre Orion 3STAR .

IV.2.2. Méthodes d'analyse volumétrique

IV.2.2.1. Détermination de l'alcalinité (TA et TAC) [27]

➤ Définition

L'alcalinité d'une eau est due à la présence des ions bicarbonates, carbonate et hydroxydes (on ne peut avoir simultanément des ions bicarbonates, carbonates et hydroxydes), D'autres composés alcalins, tels que les phosphates et les amines apportant également de l'alcalinité. Elle est donnée par le TA (titre alcalimétrique) et le TAC (titre alcalimétrique complet). L'unité de mesure est le degré français (°F).

➤ Principe

Les valeurs relatives du TA et TAC permettent de connaître les quantités d'hydroxydes et de carbonates, ou de bicarbonates alcalins ou alcalino-terreux dans l'eau. L'alcalinité se mesure à l'aide d'une solution titrée de H_2SO_4 , en présence soit de phénol phtaleine (TA ou titre alcalimétrique simple) ou de méthyle orange (TAC ou titre alcalimétrique complet).

Le virage de la phénolphaléine (rose-incolore) se produit dès que le pH est égal à 8,6. A ce moment, les réactions (1) et (2) sont complètes et la réaction (3) commence à ce pH avec apparition de CO_2 dans la solution.

Tableau IV.1: Relation entre TA et TAC.

Sels dissous	mg/l par degré	Si TA =0	Si TA <TAC/2	Si TA=TAC/2	Si TA> TAC/2	Si TA = TAC
(OH ⁻)	3,4					
CaO	5,6					
Ca(OH) ₂	7,4					
MgO	4,00	0	0	0	2 TA -TAC	TAC
Mg(OH) ₂	5,8					
NaOH	8					
(CO ₃ ²⁻)	6,0					
CaCO ₃	10,0					
MgCO ₃	8,4	0	2 TA	TAC	2(TAC-TA)	0
Na ₂ CO ₃	10,6					
(HCO ₃ ⁻)	12,2					
Ca(HCO ₃) ₂	16,2	TAC	TAC-2TA	0	0	0
Mg(HCO ₃) ₂	14,6					
NaHCO ₃	16,8					

➤ **Matériel et réactif**

- becher
- Burette
- Agitateur et bar magnétique
- Phenolphtaleine 5g/l
- Hélianthine 5g/l

- L'eau de chaudière

➤ **Mode opératoire**

Prendre une prise d'échantillon de 200 ml, ajouter quelques gouttes de phénolphtaleine à 5g/l, deux cas se présenter:

✚ **Premier cas**

La solution reste incolore: TA = 0

- ✓ Ajouter quelques gouttes d'hélianthine à 5g / l la solution se colore en jaune.
- ✓ Doser avec une solution d'acide sulfurique à 0,04 N jusqu'à la coloration rose,
- ✓ Noter le volume V.

✚ **Deuxième cas**

Si la solution devient rose, procéder au dosage jusqu'à la décoloration avec H_2SO_4 et noter le volume d'acide versé.



Figure IV.25: Titrage par solution H_2SO_4 .

IV.2.3. Méthodes d'analyses complexométrique

a- Détermination de TH [28]

➤ Définition

Mesure en °f, le TH représente la somme des cations alcalino-teneux soit essentiellement les ions Ca^{++} et Mg^{2+}

➤ Principe

Le titre hydrométrique total (TH) indique globalement la teneur en sels de Calcium (Ca) et de magnésium (Mg).

➤ Matériel et Réactifs

- Noir eriochrome T
- EDTA est l'acide éthylène-diamine-tetra-acétique ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}, \text{N}_2, \text{Na}_2, \text{O}_8, 2\text{H}_2\text{O}$)
- Carbonate de calcium (CaCO_3)
- Solution tampon (pH = 10)
- Erlenmeyer
- burette
- agitateur
- bar magnétique

➤ Mode opératoire

- ✓ Prendre une prise d'échantillon de 50 ml.
- ✓ Ajouter quelques gouttes de solution tampon.
- ✓ Ajouter une pincée de noir eriochrome T
- ✓ La solution doit devenir rouge, titrer avec EDTA jusqu'au virage bleu vert.

b- Détermination de la Dureté calcique (TH_{Ca}) [27]

➤ Principe

Le titre hydrométrique calcique (TH) indique la teneur en sel de calcium (Ca).

➤ Matériel et Réactifs

- Solution tampon (pH = 12).
- EDTA est l'acide éthylène
- diamine
- tetra-acétique
- -Solution de murexide.

- Erlenmeyer
- burette
- agitateur
- bar magnétique

➤ **Mode opératoire**

- ✓ Prendre une prise d'échantillon de 50 ml.
- ✓ Ajouter 10 ml de la solution tampon (pH = 12)
- ✓ Ajouter 2 gouttes de la solution de murexide.
- ✓ Titrer avec EDTA jusqu'au virage du rose au violet.

c- Détermination des chlorures [27]

➤ **Définition**

La détermination des ions chlorures a été réalisée par la méthode de volumétrie (voir annexe pour mode opératoire).

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

Cette méthode est applicable pour les eaux industrielles qui ont une concentration en chlorure de 5 ppm et plus, ou des eaux qui ont une grande concentration des métaux lourds qui rendent la méthode mercurimétrique impraticable.

➤ **Principe**

Le pH de l'échantillon doit être ajusté à 8,3, le titrage sera fait à l'aide d'une solution de nitrate d'argent en présence de l'indicateur chromate de potassium jusqu'au virage rouge brique.

➤ **Réactifs**

- Chromate de potassium (K_2CrO_4)
- Nitrate d'argent ($AgNO_3$)
- Chlorure de sodium ($NaCl$)

➤ **Mode opératoire**

Prendre une PE de 50 ml ajuster le pH à 8,3 avec une solution de H_2SO_4 (1+19) et une solution de NaOH à (10g / l) ajouter quelques gouttes de l'indicateur K_2CrO_4 et titrer jusqu'au virage rouge brique.

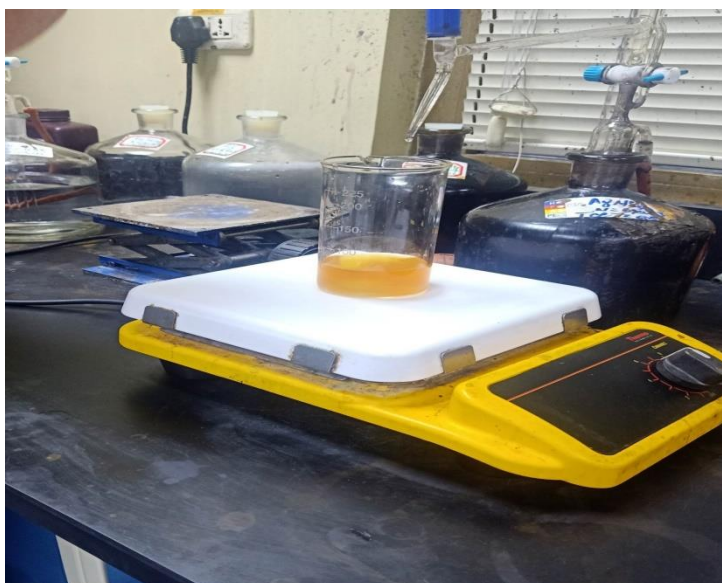


Figure IV.26: Titrage par solution AgNO_3 .

d- Détermination de l'hydrazine [27]

➤ **Définition**

L'hydrazine est un puissant réducteur de l'oxygène qui agit en provoquant une réaction telle que:



Dans les installations importantes, le moyen le plus sûr d'éliminer l'oxygène est de dégager l'eau par voie thermique: entrainement de l'oxygène et autres gaz par un balayage à la vapeur (0.03mg d' O_2 / kg de vapeur après dégazage).

➤ **Principe**

Le paradiméthyl-4-amino-benzaldehyde (PDAB) de formule($\text{C}_9\text{H}_{11}\text{NO}$) a la propriété de former un complexe jaune avec l'hydrazine, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration de cette dernière.

➤ **Matériel et Réactifs**

Solution standard A d'hydrazine $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ à 0.4g/l

Dissoudre 0,406875g de $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ Dans 1000 ml d'eau (1ml = 0,1mg N_2H_4).

-Solution standard B d'hydrazine

Prélever 10 ml de la solution A et diluer à 1000 ml d'eau (1 ml = 0,001 mg N_2H_4).

-Solution d'acide chlorhydrique à 1/9 A 900 ml d'eau

ajouter 100 ml d'acide chlorhydrique concentré.

-Solution de paradiméthyl-amino-benzaldehyde (PDAB)

Peser 20 g de PDAB et ajouter un litre de méthanol plus 100 ml d'acide chlorhydrique concentré et agiter jusqu'à la dissolution complète. Conserver dans un flacon ambré.

Blanc: Prendre 50 ml d'eau distillée et ajouter les réactifs cités ci-dessus. Laisser reposer 15mn et effectuer les mesures à une longueur d'onde de 458 nm.

Tracer la courbe d'étalonnage.

➤ **Mode opératoire**

✓ Verser 50 ml d'échantillon dans un bêcher, ajouter 5 ml de HCl à 1/9 et 10 ml de PDAB. Laisser reposer 15 mn et effectuer la mesure à 458 nm.

e- Détermination des phosphates [27]

➤ **Définition**

Utilise pour l'alcalinisation des milieux et la passivation des surfaces, les ortho phosphates forment avec le molybdate d'ammonium, en milieu sulfurique, un complexe phosphomolybdique qui est réduit par le chlorure stanneux sur avec développement d'une coloration bleue. d'autant plus intense que le teneur en PO_4 (ou P_2O_5) est plus élevée. La solution colorée ainsi obtenue est alors comparée à une gamme d'étalons artificiels

➤ **Principe**

Cette méthode est basée sur la formation du complexe phosphovanadomolybdate avec la formule empirique $H_4(PVMO_{11}O_{40})$ de coloration jaune. Pour la fixation quantitative des ions PO_4 , dans cette méthode, il est indispensable de créer un milieu acide. L'acidité optimale de la solution à doser doit être égale à 0,5-1,5 N pour HNO_3 ou 0,2- 0,4 N. Pour H_2SO_4 . Lorsque l'acidité est plus élevée, la vitesse de formation du complexe diminue. Ce dosage dépend de la concentration de $MO(VI)$.

La coloration du complexe obtenu est stable. Le maximum d'absorption de la lumière par la solution d'acide phosphovanadomolybdate se trouve dans le domaine UV ($\lambda=315$ nm) mais on peut faire le dosage dans le domaine visible ($\lambda = 400-470$ nm)

➤ **Mode opératoire**

Verser 50 ml d'un échantillon clair dans un erlen meyer et ajouter 25 ml de la solution molybdate- vanadate et mélangez bien. Attendre 5 mn pour le développement de la couleur. Mesurer la densité optique(ou A) à 400 nm avec un spectrophotomètre en utilisant l'eau comme référence.

IV.3. Résultats et discussion

IV.3.1. Suivi de la qualité de l'eau d'alimentation chaudière

Pour notre étude on a choisi la chaudière 51 H 02 :

Les prises d'échantillons ont été effectuées aux niveaux de la bêche de cette chaudière.

L'eau d'alimentation qui a fait l'objet d'un suivi sur une période d'un mois Mai est celle de la chaudière N°02 de l'unité 50 qui a pour repère 51H02.

Pour rappel, une eau de qualité chaudière doit avoir les caractéristiques suivantes :

Tableau IV.2: Normes des eaux des chaudières .

Paramètres	Les normes
pH	9.7 à 10.2
PO ₄	5 à15 ppm
N ₂ H ₄	0.01 à 0.03 ppm
Chlorures (Cl ⁻)	Max 8 ppm
Silices (SiO ₂ ⁻)	Max 10 ppm
TA et TAC	TA<TAC/2
Fer	Max 0.05 ppm

Les résultats d'analyses de l'eau de chaudière durant la période de stage dans le tableau suivant :

Tableau IV.3: Résultats d'analyse de l'eau de chaudière.

Date	pH (UTE)	PO ₄ ⁻³ (ppm)	Cl ⁻ (mg/l)	TA (°F)	TAC (°F)	RES (Kohm)	N ₂ H ₄ ppm
14/05/2023	10,50	17,30	3,50	1,10	3	13,00	0,01
15/05/2023	10,10	8,50	2,70	0,50	1,50	18,00	0,003
16/05/2023	9,80	7,10	1,00	0,60	1,60	26,00	0,01
17/05/2023	10,20	10,90	3,00	0,70	1,70	19,00	0,005
18/05/2023	10	14,00	4,00	0,50	1,50	14,00	0,003
19/05/2023	9,80	9,80	1,90	0,30	1,30	13,00	0,01
20/05/2023	10,00	10,00	2,30	0,40	1,50	20,00	0,007

a- Variation du pH de l'eau de chaudière

Les résultats de la variation du pH sont présentés sur la figure ci-dessous:

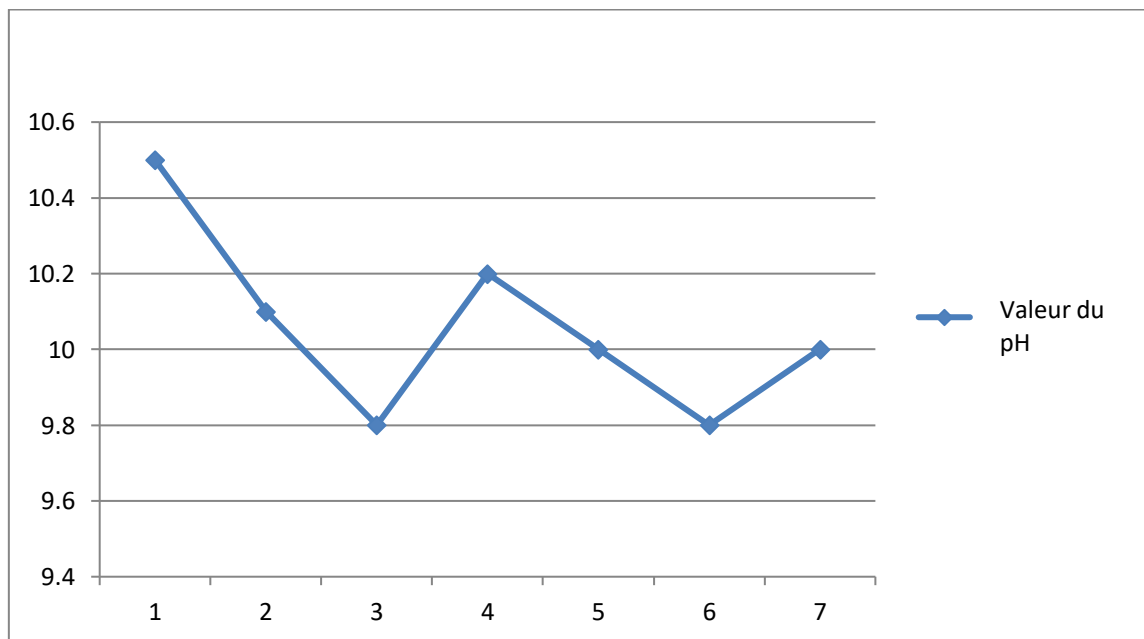


Figure IV.27 : Variation du pH dans l'eau de chaudière en fonction de temps.

La courbe de pH de l'eau de chaudière montre une valeur maximale de 10,5 et une valeur minimale de 9.8 Les valeurs de pH sont légèrement supérieures à la limite autorisée en quelques heures, en raison de la suffisance des injections de morpholine.

b- Variation du phosphate de l'eau de chaudière

Les résultats de la variation du phosphate sont présentés sur la figure ci-dessous :

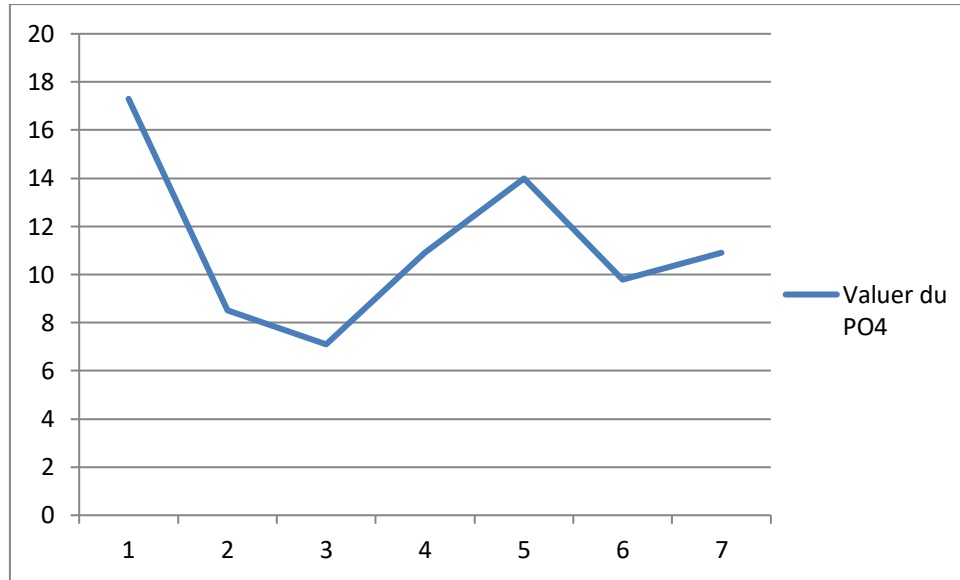


Figure IV.28: Variation du phosphate dans l'eau de chaudière en fonction de temps.

Nous nous entrevoyons que la courbe de phosphate en fonction du temps, présente une légère perturbation Nous avons enregistré une valeur maximale de 17,5 ppm supérieure à la limite admise 15 ppm, et une valeur minimale de 1ppm. Les résultats du phosphate distancent la norme, cela est dû à l'injection d'un excès de phosphate tri-sodique, et par conséquent ceci minimise le risque d'entartrage et de primage dans les chaudières.

c-Variation du N₂H₄ de l'eau de chaudière

Les résultats de la variation du hydrazine sont présentés sur la figure ci-dessous :

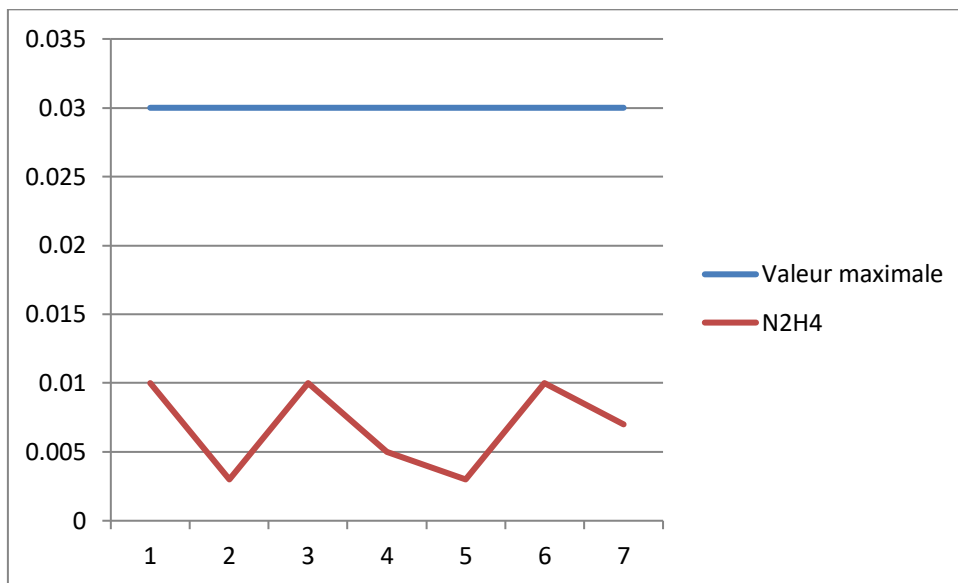


Figure IV.29: Variation du N₂H₄ de l'eau de chaudière en fonction du temps.

L'hydrazine est injectée dans l'eau de chaudière pour éliminer l'oxygène dissous, mais elle ne doit pas dépasser la limite exigée par le constructeur (0.03 ppm). C'est ce qui est illustré dans la figure

d- Variation des ions chlorure dans de l'eau de chaudière

Les résultats de variation les chlorures sont présentés sur les figures ci-dessous :

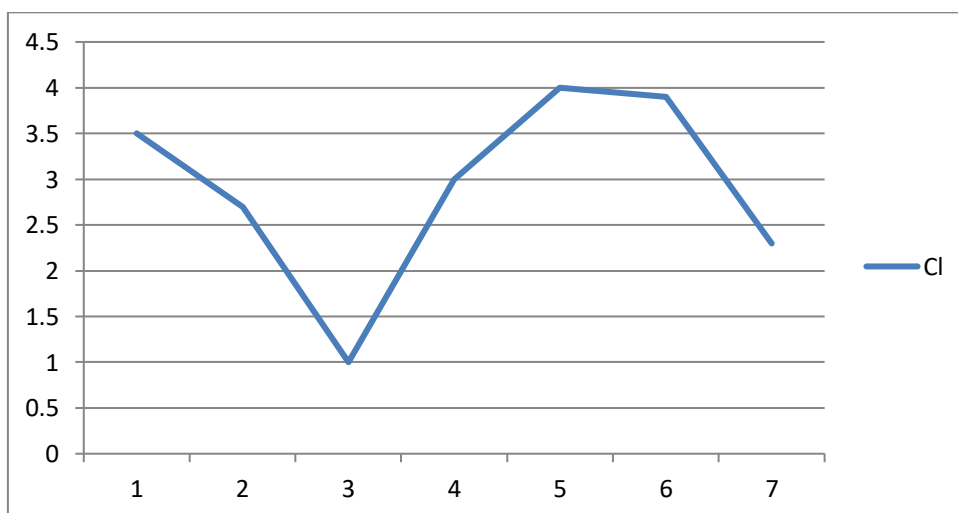


Figure IV.30: Variation des ions chlorure dans l'eau de chaudière en fonction du temps.

Après analyse, les résultats obtenus sont inférieurs à la valeur maximale.

e- Variation du TA et TAC de l'eau de chaudière

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'ions hydroxydes, carbonates et hydrogéné carbonates. Elle se détermine par acidimétrie et se caractérise par deux paramètres: Le Titre Alcalimétrique (TA) qui correspond à la première neutralisation des ions carbonates (CO_3^{2-}), et le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) qui correspond à la neutralisation de la totalité des espèces carboniques dissociées.

Les résultats de la variation de TA et TAC sont présentés sur la figure ci-dessous :

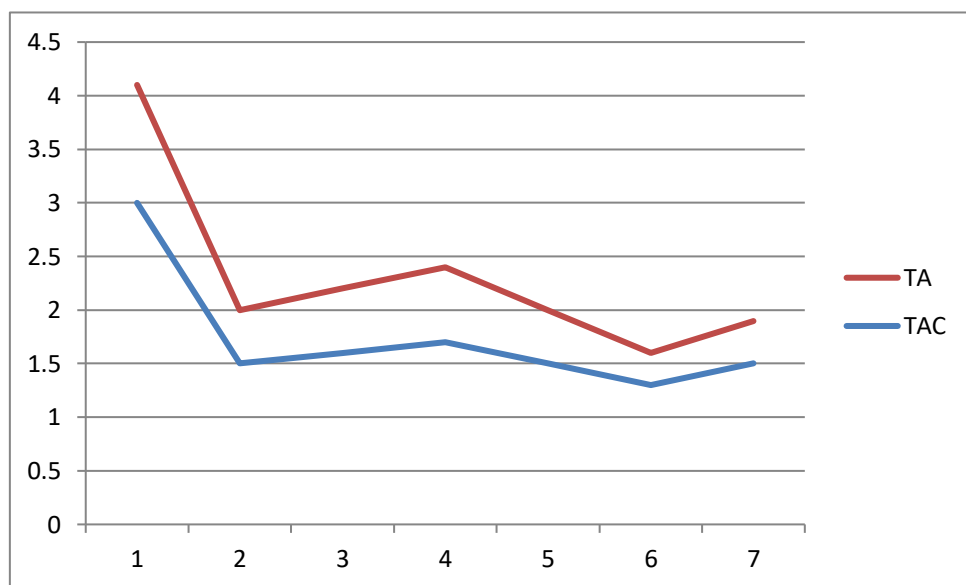


Figure IV.31: Variation du TAC et TA dans l'eau de chaudière en fonction du temps.

En observant la figure IV.9, on remarque un changement des valeurs de TA et TAC dans les deux sens, l'abaissement et l'augmentation des valeurs pendant toute la durée du prélèvement.

On note que toutes les valeurs de TAC sont inférieures à TA. Ces valeurs de TA et TAC sont conformes avec les normes .

f- Variation du RES de l'eau de chaudière

Les résultats de la variation du RES sont présentés sur la figure ci-dessous :

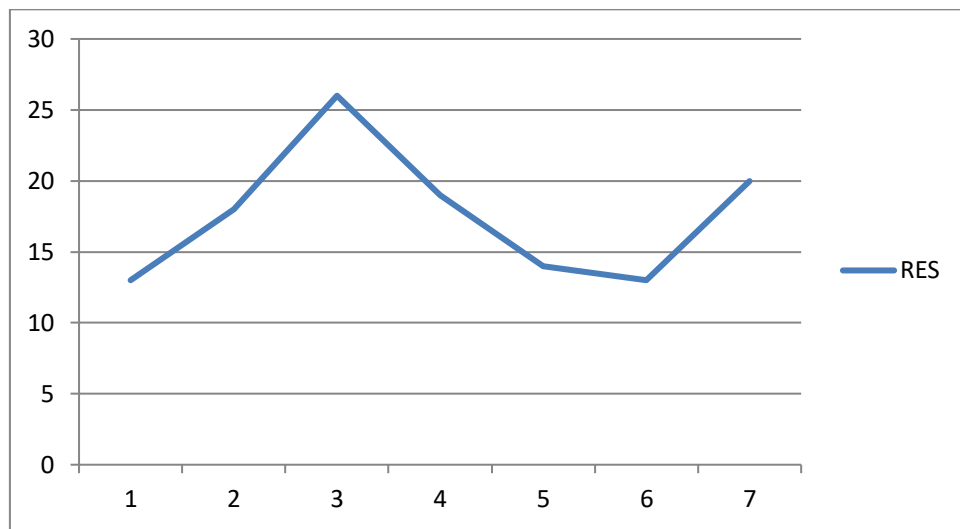


Figure IV.10: Variation RES dans l'eau de chaudière en fonction du temps.

La résistivité est l'inverse de la conductivité électrique. Ces eaux de chaudière marquent une conductivité assez importante, ce qui est expliqué par une minéralisation élevée. Les eaux des unités industrielles sont généralement caractérisées par une conductivité électrique (CE) élevée favorisant la corrosion des matériaux, et une modification de sa saveur.

IV.4. Conclusion

Les analyses physiques et chimiques menées sur l'eau traitée par les chaudières ont montré que l'on peut conclure que les valeurs de pH varient entre 10,50 et 9,80, les valeurs de phosphate varient entre 7 ppm et 17 ppm, et les valeurs d'hydrazine varient entre 0,01 ppm et 0,003 ppm. Quant aux la valeur maximum des ions en chlore est de 4 ppm, les valeurs pour TA et TAC sont 2 / $TA < TAC$.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de la période de formation, nous avons effectué une visite générale de toutes les installations de l'usine et une visite privée des bâtiments d'exploitation. Une étude théorique des étapes de dessalement de l'eau a été bien détaillée de la première étape (captage de l'eau de mer) à la dernière étape (stockage dans le réservoir), où le dessalement ou le dessalement de l'eau est une série de processus industriels visant à éliminer chaque partie de l'excès de sels et de minéraux de l'eau, et l'eau de mer peut être dessalée afin qu'elle puisse être utilisée dans la vie pratique comme l'agriculture, de la boisson et de l'industrie. Ses utilisations pour le chauffage de l'eau et la production de vapeur nécessaire au fonctionnement des machines en cours de production.

La chaudière est exposée à des problèmes de corrosion et de dépôts de calcaire au niveau de ses composants, tels que les conduits de fumée, pour éliminer les causes de ces problèmes, réduire les risques d'accidents, et réduire les pertes économiques. Grâce à ses résultats, nous avons atteint la garantie d'un traitement de l'eau. L'eau utilisée pour produire de la vapeur est Afin d'atteindre une qualité conforme aux normes de fonctionnement de la chaudière, et de contrôler la qualité de cette eau grâce aux analyses que nous avons effectuées dans le laboratoire de physiochimie, qui à son tour apporte un soutien technique et efficace dans la protection maximale de cet appareil.

Enfin, nous espérons que le contenu de ce modeste ouvrage servira de guide aux techniciens qui opéreront des chaudières à vapeur et de référence aux étudiants

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] RAPINAT M. (1982). «L'eau. Presse universitaire de France». 1^{re} édition : 1982 ISBN 2130375626. 127 p.
- [2] HUOT A. (2010). « Eau et santé. La revue Biocontact », n°200.
- [3] MAUREL A. (2006), «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Ed. Tec et Doc», 2^{ème} éd, Lavoisier, Paris.
- [4] MORVAN G. (2006). « Les techniques de potabilisation de l'eau, dessalination, dessalement, traitement de l'eau saumâtre ».
- [5] PATRICK D. (2003). « Dessalement de l'eau de mer. Revue Techniques de l'ingénieur
- [6] PATIER X. & BLANCHON D. (2010). « Documentation photographiques ». 8078. L'Eau, une ressource menacée La documentation Française. Paris. 63p.
- [7] SAL J., (2012) « Le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir ? », Revista de Geografia e Ordenamento do Território, N°1 (Junho). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. P 237 à P 262.
- [8] ATHENES. (2001) ; « Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens, évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure. Programme des nations unies pour l'environnement.
- [9] 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 ».
- [10] BEN BELKACEM M, BELAID M A (2013) ; « Contribution à l'étude de régénération des membranes et des filtres à laine d'une station de dessalement de l'eau de mer » ; Mémoire de Master, Université de TIZI-OUZOU, Département Chimie.
- [11] AMITOUICHE M., (2016) : « Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur », Thèse de Doctorat en sciences en Hydraulique, université de BISKRA

- [12] AYAD A, BENSAOULA M, (2019) ; « Etude des performances de fonctionnement d'une station de dessalement d'eau : cas de la SDEM de Honaine » ; Mémoire de Master, Université de Tlemcen, Département Hydraulique.
- [13] BENSALÉM M, (2012) ; « Impact des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la station Souk Thlata » ; Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et environnement, Université Abou Bekr Belkaid , Tlemcen.
- [14] KAMECHE H, MADANI Kh(2017) ; «Gestion de la saumure de dessalement- cas de la station de Cap-Djinet-(W)- Boumerdes» Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara, Boumerdes Département de Génie des Procédés .
- [15] N. NOUREDDINE (2008); «Etude d'impact des rejets des eaux de la station de dessalement de Brédéah sur l'environnement» ; Mémoire de Magister .Université d'Oran essénia Algérie.
- [16] M.SEBKI et I. AISSAOUI (2016) ; « Etude paramétrique pour le dimensionnement du diffuseur de saumure de la méga station de dessalement de Magtâa » ; mémoire fin d'étude Ecole Nationale Polytechnique.
- [17] J.JAIME SADHWANI, JOSE M.VEZA, S.CARMELO;(2005); « Case studies on environmental impact of seawater Desalination » ; Desalination Vol.185
- [18] Royaume du Maroc Conseil Régional de Tourisme Région Guelmim Es Smara .Réf : 3_tata_15_6Titre : le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres .
- [19] Danis P, Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J 2700, 15p. Juin 2003
- [20] Jean PARISOT, Chaudière: principes de conception et de calcul - Généralités, Technique
- [21] J.J.Baron-chaudières-Techniques de l'ingénieur. EDISTA, 1948.
- [22] ENSPM 2005 Formation Industrie-IFP Training, Risques et Précautions liés au Matériels.
- [23]Rapport de stage sur les chaudière au niveau de l'unité énergie au complexeGLIK,04-04-
- [24] Sebbar Djamel: Rapport de stage sur les chaudières au niveau de l'unité énergie au complexe GLIK,

[25] Manuel opératoire, utilités, Vol 1, Tome III, GL.IK Skikda, 1994, p.40-65

[26] Documentation du complexe de GLIK..

[27] Manuel opératoire, ASTM D 1125-77, GLIK Skikda, 15 Avril 2015.,

[28] J.Rodier-l'analyse Chimique et physico-chimique de l'eau (dunod).