

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'Hamed Bougara Boumerdes
Faculté des sciences de l'ingénieur

Département Génie des procédés



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2

Option : Génie de l'environnement

Thème

*Etude des performances environnementales
(impacts) de la station de dessalement de
Cap-Djinet*

Soutenu le 11/07/2019

Réalisé par

- Bacha Amal*
- Messalit Meriem*

Jury de soutenance

Mr: M. Bouraghda Promoteur
Mr: H. Balloul Président
Mr: H. Axsas Examineur
Mr: Ait Yala Co-Encadreur

2018/2019

Résumé

L'objectif de cette étude est d'effectuer en premier lieu un bilan environnemental des rejets liquides de la centrale électrique de Cap Djinet, issues des procédés de traitement de l'eau de mer (procédés de dessalement et de déminéralisation) et des rejets atmosphériques provenant de la combustion, et d'analyser leurs impacts sur l'environnement en deuxièmes lieu.

Pour cela des analyses physico-chimiques ont été faites sur la saumure rejetée par l'unité de dessalement qui est très concentrée en sel (68.57g/l) estimée le double de la concentration de l'eau de mer (38.7 g/l).

Pour les rejets atmosphériques, il était essentiel d'analyser les résultats de la combustion en aval du réchauffeur d'air rotatif afin de pouvoir les qualifier. En utilisant des courbes de chaque gaz rejeté à part.

Les résultats obtenus, indiquent que le procédé de dessalement (MSF) et de déminéralisation sur lit mélangé de l'eau de mer sont très efficaces pour la purification et l'élimination complète des sels contenus dans l'eau de mer mais les impacts de la saumure rejetée en énormes quantités dans l'eau de mer sur l'écosystème marin sont considérablement néfastes.

Mots clés : bilan environnemental, l'eau de mer, dessalement, déminéralisation, rejets atmosphériques, la combustion, la saumure, impacts.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو إجراء تقييم بيئي للتصريفات السائلة لمحطة توليد الكهرباء كاب جينات، الناتجة عن عمليات معالجة مياه البحر (عمليات تحلية المياه وتنقية المعادن) كمرحلة أولى، ثم تحليل نتائج التصريفات الجوية الناتجة عن عملية الاحتراق و تقييم أثارها على البيئة كمرحلة ثانية.

لذلك ، تم إجراء تحليلات فيزيائية وكيميائية على المحلول الملحي الذي يتم تفريره بواسطة وحدة تحلية المياه ، والتي تتركز بدرجة عالية من الملح (68.57 غ / ل) ، والتي تقدر ضعف تركيز ماء البحر (38.7 غ / ل).

بالنسبة لانبعاثات الهواء ، كان من الضروري تحليل نتائج الاحتراق في اتجاه مجرى الهواء الدافئ من أجل التمكن من تأهيلها. وذلك بالاستعانة بمنحنيات كل غاز منبعث على حد.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها أن عملية تحلية مياه البحر بتقنية (MSF) تعتبر فعالة للغاية لتنقية الأملاح الموجودة في مياه البحر والقضاء التام عليها. لكن لا يجب إهمال تأثيرات المحلول الملحي المنبعثة بكميات هائلة في مياه البحر على النظام البيئي البحري (الحيوانات والنباتات تحت الماء).

الكلمات المفتاحية: التوازن البيئي ، مياه البحر ، تحلية المياه ، إزالة المعادن ، الانبعاثات في الغلاف الجوي ، الاحتراق ، محلول ملحي ، التأثيرات

Summary

The objective of this study is to first carry out an environmental assessment of liquid discharges from the Cap Djinet power center, resulting from seawater treatment processes (desalination and demineralization processes) and atmospheric discharges from combustion, and to analyze their environmental impacts in second place.

For this, physicochemical analyzes were carried out on the brine discharged by the desalination unit, which is highly concentrated in salt (68.57g / l), estimated twice the concentration of seawater (38.7 g / l). .

For air emissions, it was essential to analyze the combustion results downstream of the rotary air heater in order to be able to qualify them. Using curves of each gas rejected separately.

The results obtained indicate that the process of desalination (MSF) and mixed bed demineralization of seawater are very effective for the purification and complete elimination of salts contained in seawater but the impacts of the brine released in huge quantities into the seawater on the marine ecosystem are greatly harmful.

Key words: environmental balance, seawater, desalination, demineralization, atmospheric emissions, combustion, brine, impacts.

Remerciements

*Au terme de cette étude qui nous permet d'exprimer nos remerciements à tous ceux qui nous ont apporté
Leur aide.*

Nous tenons à remercier le Bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage la patience et la bonne volonté pour accomplir et amener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur M^r M. Bouraghda qui nous a encadré et nous a guidé de ses précieux conseils et suggestions, et la confiance qu'il nous a témoigné tout au long de ce travail.

Nous tenons en particulier à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à M^r Hadj Djilali chabane qui nous a accompagné durant notre étude et nous a donné toute l'aide qu'il fallait et nous a fait profiter de son expérience sur le terrain.

Nous tenons à exprimer notre grande attitude et notre grand remerciement pour tous ceux qui ont fournis beaucoup d'efforts et donner de leurs temps pour nous faciliter le travail aux seins de la station de Cap Djinet et à tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à la réalisation de ce travail.

~merci~

Dédicaces

*Du fond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont
chers,*

A la lumière qui illumine ma vie, ma chère maman

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel
et ma grande considération pour les sacrifices que vous avez consenti
pour mon instruction et mon bien être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez
depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne
toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le
fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le Haut, vous
accorder santé, bonheur et longue vie.*

A MON CHÈRE PAPA

*Qui a toujours été à mes cotés pour me soutenir et m'accompagner.
Que ce modeste travail traduit ma gratitude et mon affection.*

A la mémoire de ma belle mère

*Ma deuxième maman, qui nous a quitté trop tôt
J'espère que, du monde qui est sein maintenant, elle apprécie cet
humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille,
qui a toujours prié pour le salut de son âme, puisse Dieu, le tout
puissant, l'avoir en sa seine miséricorde.*

A mon mari Athmane

*aucun mot ne saurait t'exprimer mon profond attachement et ma
reconnaissance pour l'amour, la tendresse et la gentillesse et la
compréhension. Tu m'as toujours soutenu et reconforter sincère
gratitude*

A toute ma famille

A mon cher frère Anis que j'aime beaucoup

A ma sœur Samira et son mari Hssaiene

A mon petit chouchou Mohamed

A ma chère petite sœur camélia le bijou de notre famille

*Mon beau père, Belles sœurs et frères, ainsi que les deux petits Abd
Rahman et Mahmoud.*

*A toutes mes copines Farida, Karima, Hanane, Meriem et Sourour et
à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.*

Amal

Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail

À mes chers parents qui ont sacrifié leurs vies pour ma réussite et qui ont éclairé mon chemin par leurs conseils judicieux, que Dieu leur prête bonheur et bonne santé.

À ma grande mère que Dieu la protège et la garde pour nous

À mes frères Mohend Amezian et Younes et ma sœur Sabrina

À mes cousins et cousines

Tous les membres de La famille, petits et grands, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection

À mes très chers ami(e)s

À ma binôme Amal et sa famille ; je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur et de réussite

À tous ceux qui m'ont encouragé dans ma vie

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

À vous.

Meriem

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les eaux de mer et la pollution d'air

(N°) Tableau	Titres	pages
I-2	Concentration des éléments principaux pour une eau de mer	3
I-3	Concentration des différents éléments minéraux	4
I-4	Salinité des différentes mers fermées ou peu ouvertes	5
I-5	pH des eaux de mer	5
I-6	Composition de l'atmosphère	7
I-7	Crigines des différents polluants atmosphériques	9

Chapitre II : Généralités sur le dessalement et la déminéralisation de l'eau de mer

II-8	Avantages et inconvénients du procédé de dessalement de l'eau de mer	17
------	--	----

Chapitre III : Description des techniques de traitement de l'eau de mer dans la centrale de Cap Djinet

(N°) Tableau	Titres	Pages
III-9	Caractéristiques principales des pompes centrifuges de traitement	35
III-10	Caractéristiques techniques des pompes de transfert d'eau de mer	36
III-11	Caractéristiques techniques des pompes d'éjection	36
III-12	Caractéristiques techniques des pompes doseuses	36
III-13	Données techniques de l'unité MSF	38
III-14	Caractéristiques des vapeurs	48
III-15	Caractéristiques de l'économiseur	50
III-16	Caractéristiques du ballon chaudière	51
III-17	Caractéristiques des surchauffeurs	51
III-18	Caractéristiques des resurchauffeurs	52
III-19	Caractéristiques des désurchauffeurs	52
III-20	Caractéristiques du préchauffeur d'air à vapeur	53

Chapitre IV : Analyses et interprétation des résultats

(N°) Tableau	Titres	Pages
IV-21	Analyses effectuées au niveau de la centrale thermique de Cap Djinet	56
IV-22	Analyse physicochimique de l'eau de mer	57
IV-23	Analyse physico-chimique de l'eau traitée	57
IV-24	Analyse physico-chimique de la saumure et de l'eau de canal de rejet final	63
IV-25	caractéristiques des rejets de dessalement	64
IV-26	Analyse de la combustion en amont du réchauffeur d'air rotatif	65
IV-27	Analyse de la combustion en aval du réchauffeur d'air rotatif	68

**Chapitre V : Impacts des rejets de la centrale de Cap Djinet sur
l'environnement**

V-28	Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement	78
------	--	----

Liste des figures

Partie théorique

Figure II.1 : Différents procédés de dessalement	11
Figure II.2 : Schéma général d'une installation de dessalement.....	12
Figure II-3 : Distillation à simple effet	12
Figure II-4 : Principe de distillation à multiple effets	13
Figure II-5 : Distillation avec compresseur de vapeur	14
Figure II-6 : Schéma de la distillation par détente successive	14
Figure II-7 : Cellule élémentaire d'électrodialyse	15
Figure II-8 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....	16
Figure II-9 : Module spirale	17

Partie expérimentale

Figure III-10 : Plan de masse de la centrale de Cap Djinet	24
Figure III-11 : Les principales transformations de l'énergie.....	30
Figure III-12 : Installation de filtration d'eau de mer au niveau de la centrale.....	32
Figure III-13 : Schéma simplifié de la station de dessalement	34
Figure III-14 : Installation de dessalement de la centrale thermique de Cap Djinet.....	40
Figure III-15 : Remplissage de l'acide et la soude.....	42
Figure III-16 : Installation de déminéralisation de la centrale électrique de Cap Djinet.....	44
Figure III-17 : Triangle du feu.....	45
Figure III-18 : Schéma de la chaudière.....	47
Figure III-19 : Schéma d'un bruleur	49
Figure III-20 : Schéma du ballon chaudière.....	51
Figure IV-21 : Evolution du pH en fonction des eaux traitées.....	58
Figure IV-22 : Evaluation de la température durant les phases de traitement.....	58
Figure IV-23 : Evolution de la conductivité en fonction des eaux traitées.....	59
Figure IV-24 : Evolution de la salinité en fonction des eaux traitées.....	59
Figure IV-25 : Evolution du TH, TH _{Ca+2} et TH _{Mg+2} en fonction des eaux traitée.....	59

Figure IV-26: Evolution du TA et TAC en fonction des eaux traitées.....	61
Figure IV-27: Evolution des Cl ⁻ , potassium et du sodium en fonction des eaux traitées.....	61
Figure IV-28: Evolution du Fer, Cuivre et Silice en fonction des eaux traitées.....	62
Figure IV-29: Evaluation du taux des différents gaz intervenant dans la combustion.....	65
Figure IV-30: Evaluation du taux d'oxygène introduit en amont du réchauffeur d'air rotatif.....	66
Figure IV-31: Evolution du CO ₂ (%) et du CO (ppm) en amont du réchauffeur rotatif.....	66
Figure IV-32: Evolution du NO, NO ₂ et du NO _x en amont du réchauffeur d'air rotatif.....	67
Figure IV-33: Evolution du taux de perte de charge en amont du réchauffeur d'air rotatif.....	67
Figure IV-34: Evaluation des différents gaz sortant après la combustion en (%) et (ppm)....	68
Figure IV-35: Le taux d'oxygène en aval du réchauffeur d'air rotatif.....	69
Figure IV-36: Evolution du CO ₂ (%) et CO (ppm) en aval du réchauffeur d'air rotatif.....	69
Figure IV-37: Evolutions du NO, NO ₂ et NO _x en aval du réchauffeur d'air.....	70
Figure IV-38: Evolution du Q _A en aval du réchauffeur d'air rotatif.....	70

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

Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les eaux de mer et la pollution de l'air

I-1 Les eaux de mer	3
I-1-1 Introduction	3
I-1-2 Composition de l'eau de mer	3
I-1-2-1 Autres éléments minéraux	4
I-1-2-2 Salinité des eaux de mer	4
I-1-2-3 Conductivité des eaux de mer	5
I-1-2-4 pH des eaux de mer	5
I-1-2-5 La densité	6
I-1-2-6 La température	6
I-2 Généralités sur la pollution de l'air et identification des sources des polluants atmosphériques	7
I-2-1 Introduction	7
I-2-2 Définition et composants de l'atmosphère	7
I-2-3 La pollution atmosphérique	8
I-2-4 Les différents polluants gazeux	8
I-2-5 Les polluants particuliers	9
I-2-6 Origines des principales substances pollutant l'atmosphère	9

Chapitre II : Généralités sur le dessalement et déminéralisation d'eau de mer

II-1 Dessalement de l'eau de mer	10
II-1-1 Introduction	10
II-1-2 Les principales technologies du dessalement	10
II-1-2-1 Schéma général d'une installation de dessalement	11
II-1-2-2 Procédés de distillation	12
II-1-2-2-1 Distillation à simple effet	12
II-1-2-2-2 Distillation à multiples effets.....	13
II-1-2-2-3 Distillation avec compresseur de vapeur	13
II-1-2-2-4 Distillation par détente successive	14
II-1-2-3 Procédés membranaires	15
II-1-2-3-1 Electrodialyse	15
II-1-2-3-2 Osmose inverse	16
II-1-3 Les principaux avantages et inconvénients du dessalement	17
II-1-4 Autres procédés de dessalement	18
II-1-5 Problèmes techniques rencontrés en dessalement	18
II-1-5-1 Entartrage	18
II-1-5-2 Corrosion	19
II-1-5-3 Colmatage	19
II-2 Déminéralisation de l'eau de mer	20
II-2-1 Introduction	20
II-2-2 Différentes techniques de la déminéralisation	20
II-2-2-1 Les procédés chimiques	20
II-2-2-1-1 Les échanges d'ions	20
II-2-2-2 Les procédés thermiques	20

II-2-2-2-1 Distillation à simple effets	20
II-2-2-2-2 Distillation à multiples effets (MED)	21
II-2-2-2-3 Distillation par détente successive	21
II-2-2-2-4 Distillation avec compresseur de vapeur	21
II-2-2-3 Procédés à membranes	21
II-2-2-3-1 Electrodialyse	22
II-2-2-3-2 Osmose inverse	22
II-2-2-3-3 La pervaporation	22
II-2-2-3-4 La micro filtration	22
II-2-2-3-5 La dialyse	23

Partie expérimentale

Chapitre III : description des techniques de traitement de l'eau de mer

III-1 Présentation de la centrale	24
III-2 Caractéristiques techniques de la centrale	25
III-2-1 Combustibles	25
III-2-2 Générateur de vapeur	25
III-2-3 Turbine et poste d'eau	26
III-2-4 Eau de réfrigération principale	26
III-2-5 Eau de réfrigération secondaire	26
III-2-6 Constitution de la station de pompage	27
III-2-7 Système traitement des eaux	27
III-2-8 Le poste eau	28
III-2-9 Alternateurs	28
III-2-10 Evacuation de l'énergie	28
III-2-11 Commande et contrôle	29
III-2-12 Système de surveillance, d'alarme et d'analyse	29
III-3 Fonctionnement de la centrale	29
III-4 Description des techniques de traitement de l'eau de mer	31
III-4-1 Introduction	31
III-4-2 Procédés de traitement de l'eau de mer	31
III-4-2-1 Prétraitements	31
III-4-2-1-1 Station de pompage d'eau de mer.....	31
III-4-2-1-2 filtration	32
III-4-2-1-3 Chloration	32
III-4-3 Présentation de l'installation de dessalement « MSF ».....	34
III-4-3-1 Les différents organes de l'installation MSF ...	35
III-4-3-2 Injection des produits chimiques	37
III-4-3-3 Données techniques de l'unité MSF	38
III-4-3-4 Description du procédé de l'installation	39
III-5 L'unité de déminéralisation à lit mélangé	40
III-5-1 Introduction	40
III-5-2 Description de l'installation	41
III-5-2-1 Les filtres à lit mélangés	41
III-5-2-2 La régénération	41
III-5-2-2-1 Compartiment de l'acide chlorhydrique HCl	41
III-5-2-2-2 Compartiment de la soude caustique NaOH	42
III-5-2-3 Remplissage d'acide chlorhydrique et de la soude caustique	42
III-5-2-3 Remplissage d'acide chlorhydrique et de la soude caustique	42

III-5-2-4 Rinçage des résines	42
III-5-2-5 Abaissement du niveau d'eau	43
III-5-2-6 Reconstitution du mélange de résines.....	43
III-5-2-7 Remplissage de l'espace vide	43
III-5-2-8 Rodage du lit mélangé	43
III-5-2-9 La neutralisation	43
III-6 La combustion	45
III-6-1 Introduction	45
III-6-2 Définition de la combustion	45
III-6-2-1 Définition générale	45
III-6-2-2 Réaction chimique de combustion	45
III-6-2-3 Le combustible	46
III-6-2-4 Le comburant	46
III-6-2-5 Energie d'activation	46
III-7 La chaudière	47
III-7-1 Introduction	47
III-7-2 Description de la chaudière	47
III-7-2-1 Générateur de vapeur	47
III-7-2-2 Chambre de combustion	48
III-7-2-3 bruleurs	48
III-7-2-4 Economiseur	49
III-7-2-5 Ballon chaudière	50
III-7-2-6 Surchauffeurs	51
III-7-2-7 Resurchauffeurs	52
III-7-2-8 Désurchauffeurs	52
III-7-3 les organes auxiliaires de la chaudière	52
III-7-3-1 Ventilateurs de soufflage	52
III-7-3-2 Réchauffeur d'air rotatif	52
III-7-3-3 Préchauffeurs d'air à vapeur	53
III-7-3-4 Ventilateurs de recyclage	53
III-7-3-5 Cheminée	53
III-7-4 Fonctionnement de la chaudière	54
III-7-5 Les circuits thermiques de la chaudière	54

Chapitre VI : Analyse et interprétation des résultats

IV- 1 Analyse et interprétation des résultats des rejets liquides.....	56
IV-1-2 Prélèvement des échantillons.....	56
IV-1-3 Analyses effectuées au niveau de la centrale thermique de Cap Djinet.....	56
IV-1-4 Contrôle de l'efficacité du procédé de dessalement et de déminéralisation	57
IV-1-4-1- Résultats de l'analyse physicochimique de l'eau de mer	57
IV-1-4-2- Résultat de l'analyse physico-chimique de l'eau traitée.....	57
IV-1-4-2-1 pH et température	58
IV-1-4-2-2 La conductivité et la salinité	59
IV-1-4-2-3 La dureté totale TH	60
IV-1-4-2-4 Le titre alcalimétrique TA et TAC	61
IV-1-4-2-5 Chlorure, sodium et potassium.....	61
IV-1-4-2-6 Fer, Cuivre et Silice	62
IV-1-5 Analyses physico-chimiques des eaux du canal de rejets final	62

IV-1-5-1 Contrôle des rejets de chaque unité	64
IV-1-5-1-2 rejets de l'unité de dessalement	64
IV-1-5-1-2-1 Interprétation des résultats	64
IV- 2 : Analyses et interprétations des rejets atmosphériques.....	65
IV-2-1 Introduction	65
IV-2-2 Analyses effectuées.....	65
IV-2-2-1 Analyse en amont du réchauffeur d'air rotatif	65
IV-2-3-2 analyse en aval du réchauffeur d'air rotatif	68
IV-3 Conclusion	71

Chapitre V : Impacte des rejets de la centrale de Cap Djinet sur l'environnement

V-1 Introduction	72
V-2 Différentes émissions et rejets de la centrale	72
V-2-1 Les produits chimiques.....	72
V-2-2 Emissions atmosphériques	73
V-2-3 La saumure	73
V-3 Impacts du procédé de dessalement de l'eau de mer.....	74
V-3-1 Impacts sur l'environnement	74
V-3-1-1 Effets dus au prélèvement d'eau de mer	74
V-3-1-2 Effets d'émissions des gaz (CO, CO2)	75
V-3-1-3 Effets des produits chimiques	75
V-3-1-3-1 Effets dus à la présence des métaux lourds dans les rejets	75
V-3-1-3-2 Effets dus aux additifs chimiques	76
V-3-1-4 Rejets de saumure.....	77
V-3-1-5 Le bruit	77
V-4 Interprétation des impacts des rejets de la centrale de Cap Djinet	78
V-5 conclusion	80
Conclusion générale.....	81
Références bibliographiques	
Annexe	

Listes d'abréviations

HP : Haute Pression.

MP : Moyenne Pression.

BP : Basse Pression.

MSF: Multi Stage Flash.

MED : Distillation à multiple effets.

VC : Compresseur de vapeur.

RO : Osmose inverse.

ED : Electrodialyse.

E : Impact de degré élevé.

M : Impact de degré moyen.

F : Impact de degré faible.

TH : Titre Hydrotimétrique.

TH_{Ca}²⁺ : Dureté calcique.

TH_{Mg}²⁺ : Dureté magnésienne.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TA : Titre Alcalimétrique.

LM : Lits Mélangés (Mixed-bed).

COV : Composés organique volatils.

HAP : Hydrocarbures aromatique polycycliques.

Q_A : Perte de gaz de combustion.



Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est un élément de la vie quotidienne, et elle est si familière qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort, et aucune vie humaine, biologique, végétale ou animale n'existerait.

Devant les besoins croissants en eau douce qui est d'une fraction correspondant à **2,5 %** du stock d'eau de la planète et l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'humanité est conduite à étudier et à développer divers procédés permettant d'obtenir une eau douce à partir des eaux de mer et des eaux saumâtres dans des conditions admissibles techniquement et économiquement.

Le secteur de l'énergie est l'un des plus stratégiques pour l'économie. L'importance de son rôle dans le développement d'un pays est énorme. Pour cela, aucune nation ne saurait y prétendre sérieusement avant de se doter tout d'abord d'une source d'énergie aussi importante que celle de l'électricité. [3]

Les centrales thermiques sont des installations qui transforment la chaleur fournie par une source d'énergie en énergie électrique. Cette dernière est produite par divers moyens, c'est ce qui différencie les centrales (centrale hydraulique, diesel, à charbon, à gaz, à vapeur, etc.).

Dans notre pays le besoin en eau potable et en eau de la production industrielle est très important, et parmi les différentes industries qui ont besoin de grandes quantités d'eau, les centrales thermiques de production d'électricité.

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

L'eau de mer, de par sa nature, est très corrosive vis-à-vis des matériaux de construction. Elle est chargée de sels, de gaz dissous et de solides en suspension. Aussi, elle contient une variété très riche de flore et de faune. Par conséquent, si elle n'est pas traitée, son utilisation pose un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent l'efficacité des installations. [6]

L'eau de mer doit être traitée de façons très différentes pour qu'elle soit adaptée comme eau de refroidissement ou une eau d'alimentation des chaudières à hautes pressions, pour cela différents procédés de traitement ont été suivis et améliorés tel que le procédé de dessalement des eaux de mer.

L'objectif de ces traitements, est de diminuer ou d'éliminer totalement ces particules en fonction de l'usage prévu pour l'eau.

L'expérience Algérienne dans le domaine de dessalement remonte aux années soixante, c'est à partir de l'an **2000** et suite aux nombreux cycles de sécheresses sévères, que l'Algérie a intégré dans sa nouvelle politique de l'eau

particulièrement la protection des ressources hydriques, le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres, comme moyen de mobilisation d'eau complémentaire, pour faire face aux différents plans de développement. [21]

Une étude critique avec possibilité d'amélioration du procédé de dessalement et les caractéristiques chimiques et physicochimiques de l'eau potable traitée, est faite dans la station de dessalement de l'eau de mer de cap Djinet.

Dans notre étude, on va définir les différents procédés de traitement des eaux de mer (le procédé de dessalement et de déminéralisation sur résines échangeuses d'ions) adaptés dans la centrale pour produire l'eau d'appoint qui sera destinée à l'alimentation des chaudières à haute pression. Cette étude sera soutenue par des analyses effectuées sur des échantillons prélevés dans différents endroits du circuit d'eau.

Le traitement de l'eau de mer utilisé dans la centrale pour la production de l'énergie électrique ne présente pas le seul rôle de la centrale thermique de Cap Djinet, mais le traitement des rejets résultant du traitement de cette eau (liquides et atmosphériques) consiste l'une des priorités des tâches de la centrale.

Les pollutions d'origine industrielle se pose au regard des conséquences sociales, écologiques et économiques du changement climatique, des impacts sanitaires de la dégradation de l'environnement (eau, air, alimentation.. etc.). La lutte contre la pollution de l'air ne s'occupe plus uniquement des produits de simple oxydation des combustibles classiques, parce que les effluents industriels déversés dans l'atmosphère sont de plus en plus abondants, variés et complexes.

L'objet de ce travail a pour objectif principal d'établir un bilan environnemental du processus de dessalement et de déminéralisation de l'eau de mer qui se décline en deux sous-objectifs qui définissent ces axes d'études :

- Définir les différents rejets liquides et atmosphériques résultant du processus de dessalement et de déminéralisation de l'eau de mer à la centrale électrique de cap Djinet, (différents rejets liquides et atmosphériques).
- L'étude d'impacts de tous les rejets des différentes unités de la centrale sur l'environnement.

Et de proposer des solutions efficaces afin de minimiser ces impacts en fonction des résultats obtenus.

Partie
bibliographique

Chapitre I :

Généralités sur les eaux de mer et la pollution de l'air

I-1 : les eaux de mer

I-1-1 Introduction :

L'eau est un composé très abondant dans la nature, son volume a été estimé à la surface du globe terrestre à une valeur supérieure à 1 milliard de km^3 et couvre **70 %** de la terre, tandis que la consommation mondiale ne dépasse pas **1500 km^3/an** . La quantité d'eau existant dans la nature se répartit comme suit :

- **97 %** représentent les océans et les mers, or leur eau est très salée (**35g/l** en moyenne), et ne peut en générale, être utilisée telle quelle est.
- **2%** se trouvent sous forme de glaciers, cette eau est douce, mais difficilement utilisable dans cet état.
- **0.8 %** seulement se présente sous forme d'eau douce utilisable dans les cours d'eau, les nappes souterraines et l'atmosphère.

La présence du sel dans l'eau de mer modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). [1][2]

I-1-2- Composition de l'eau de mer :

La masse totale des sels dissous peut varier, ainsi le rapport des concentrations des différents éléments est stable. Cette constance des proportions est souvent appelée loi de Marcet ou de Dittmar. La concentration moyenne des sels dans l'eau de mer est de **35 g/ kg**.

Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents. Le bore se trouvant sous forme d'acide borique (seulement 1% des atomes de bore se trouve sous forme ionisée), **10 ions** constituent les éléments principaux, leurs concentrations sont données dans le (tableau I-2). [2]

Tableau I-2: Concentration des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de **35 g/l**.

Anions	Concentration (mg/kg)	Cations	Concentration (mg/kg)
Chlorure (Cl^-)	19353	Sodium(Na^{2+})	10160
Sulfate (SO_4^{2-})	2712	Magnesium(Mg^{2+})	1249
Bicarbonate (HCO_3^-)	142	Calcium (Ca^{2+})	413
Bromure (Br^-)	67	Potassium(K^+)	387
Fluorure (F^-)	1	Strontium(Sr^{2+})	8
Bore	4		

I-1-2-1 Autres éléments minéraux:

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments qui ont des concentrations beaucoup plus faibles. Ces éléments, malgré leur faible concentration, ont une importance certaine dans des processus biologiques et organiques. Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension). [3]

Tableau I-3: Concentration des différents éléments

Eléments	Concentration (mg /l)	Eléments	Concentration (mg /l)	Eléments	Concentration (mg /l)
Li	170	Mn	2	Rb	120
Al	10	Fe	10	Mo	10
Si	3000	Ni	2	I	60
P	70	Cu	3	Ba	30
Ti	1	Zn	10	U	30
V	2	As	3		

➤ Matières organiques:

La basse concentration des matières organiques dans l'eau de mer rend leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler lorsqu'ils sont dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à plus fortes concentration. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de **0.5 um** les matières dissoutes des matières organiques particulières.

Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et caroténoïdes, de la vitamine B₁₂, des monosaccharides et des aminoacides. Les matières organiques sont principalement constituées d'animaux et des végétaux du zooplancton (ou leurs résidus).Elles peuvent représenter de **10 à 60 %** de la matière en suspension. [3]

I-1-2-2 Salinité des eaux de mer:

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe, résulte d'un équilibre entre l'évaporation, la pluie et les apports des fleuves (salinité faible) d'une part et les échanges d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part.

Elle est donc de l'ordre de **35g/l** et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes au de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques comme l'illustre le (tableau I-4). [4]

Tableau I-4: Salinité des différentes mers fermées ou peu ouvertes

Origine	Salinité (g /l)
Mer baltique	17
Mer noire	22 à 25
Océans atlantique et pacifique	32 à 38
Mer méditerranée	37 à 40
Mer rouge-golf Arabique	40 à 47

I-1-2-3 La conductivité :

Elle est de l'ordre de $40 \mu\text{s.cm}^{-1}$. La conductivité de l'eau de mer subit des variations importantes suivant la température et la salinité. [3]

I-1-2-4 pH des eaux de mer :

L'eau de mer est faiblement alcaline, son pH moyen est de **8** avec des variations (7 à 8,2).

Il varie très légèrement selon l'activité de la photosynthèse du plancton et des algues marins ainsi qu'avec la profondeur (tableau I-5).

- Une forte production d'oxygène accompagnée d'une diminution de la teneur en CO_2 et par conséquent d'une augmentation du pH.
- L'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO_2 et par conséquent abaisse le pH.

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température.

Pour une eau de chlorinité de **19.5 ‰** est de **pH=8**, une élévation de température de **1°C** entre **10°C** et **20°C**, diminue le pH de **0.0109**. De même, une augmentation de pression de **100 bars** produit une diminution de pH de l'ordre de **0.02** (pour un pH de **8.3**). [5]

Tableau I-5: pH des eaux de mer

Océan ou mer	pH
Atlantique	8.25
Indien	8.25
Baltique	8.15
Méditerranée	8.00
Rouge	8.2

I-1-2-5 La densité:

L'eau de mer est **800** fois plus dense que l'air. Cette densité varie avec la température, plus l'eau est froide, plus elle est dense.

Le maximum de densité est atteint aux environs de **4°C**. La densité des océans est en moyenne de l'ordre de **1.035 à 1.036**. [3]

I-1-2-6 la température :

La température varie en fonction de latitude de la profondeur, elle est au minimum de **4°C** (point de congélation), et atteint **35°C** dans certaines mers tropicales (Golfe persique).

I-2 : Généralités sur la pollution de l'air et identification des sources des polluants atmosphériques.

I-2-1 Introduction :

La pollution atmosphérique s'impose aujourd'hui comme un sujet qui préoccupe de plus en plus les citoyens, les journalistes, les politiciens, les chercheurs et les gouvernants. C'est un problème d'actualité qui est néfaste sur l'environnement constitué de l'ensemble (terre, eau, plantes, et d'air) qui est important pour notre bien et pour l'équilibre naturel.

Le problème des pollutions d'origine industrielle se pose au regard des conséquences sociales, écologiques et économiques du changement climatique, des impacts sanitaires de la dégradation de l'environnement (eau, air, alimentation.. etc.). La lutte contre la pollution de l'air ne s'occupe plus uniquement des produits de simple oxydation des combustibles classiques, parce que les effluents industriels déversés dans l'atmosphère sont de plus en plus abondants, variés et complexes.

Dans notre travail, on s'intéresse à étudier la gestion des rejets gazeux dans la centrale électrique de Ras Djinet, et leurs impacts sur l'environnement.

I-2-2 Définition et composants de l'atmosphère :

L'atmosphère est la couche la plus extérieure de la planète, de nature gazeuse, constituant donc la partie la plus extérieure de l'écosphère, et dont la présence constitue l'agent moteur du cycle de l'eau.

On appelle « atmosphère réduite » une atmosphère théorique dont la pression serait uniforme et égale à sa valeur normale au niveau du sol, dans une telle hypothèse, l'atmosphère toute entière aurait une épaisseur de 8Km, lors que l'épaisseur de l'atmosphère réelle excède **1000 Km**.

L'atmosphère est composé essentiellement d'azote (78.01% en volume) et d'oxygène (**20.95%**) elle reforme en outre un nombre élevé de gaz traces dont les plus important sont l'**argon** (0.93%) et le **CO₂ (360 ppm)** (voir tableau I.6).

[6]

Tableau I.6 : composition de l'atmosphère

constituants	pourcentage en volume	pourcentage en masse
Azote	78,01	75,53
Oxygène	20,95	23,14
Argon	0,93	1,28
Gaz carbonique (CO ₂)	0,036	0,051
Néon	1,8.10 ⁻³	1,25.10 ⁻³
Hélium	5,24. 10 ⁻⁴	5,24.10 ⁻⁴
Méthane	1,7.10 ⁻⁴	9,41.10 ⁻⁴
krypton	1,14. 10 ⁻⁴	3,3.10 ⁻⁴
Protoxyde d'Azote (N ₂ O)	5.10 ⁻⁵	7,6.10 ⁻⁵

I-2-4 la pollution atmosphérique :

On dit qu'il y a présence d'une pollution atmosphérique, lors de la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une nuisance ou une gêne. [7]

I-2-5 les différents polluants gazeux :

Quatre gaz sont les principaux responsables de la pollution :

➤ **L'ozone (O₃) :**

C'est un polluant issu des transformations chimiques dans l'air entre les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (solvants..). L'ozone a des effets sur la santé, les végétaux, les matériaux et le climat (c'est un gaz à effet de serre).

➤ **Le dioxyde d'azote (NO₂) :**

Est émis en grande partie sous forme de **NO**, qui sera oxydé en **NO₂**. Le **NO₂** est alors transformé en acide nitrique et en nitrate. Ces composés se déposent alors sous forme de pluies acides ou de dépôts secs.

➤ **Le dioxyde de soufre (SO₂) :**

Composé d'un atome de soufre et de deux atomes d'oxygène, le **SO₂** est un gaz incolore, d'odeur piquante très irritante, plus lourd que l'air. Il est hydrosoluble et donne par réaction avec la vapeur d'eau l'acide sulfurique. Il provient de la combustion des combustibles fossiles (charbons, fiouls) au cours de laquelle les impuretés soufrées sont oxydées par l'oxygène de l'air en **SO₂**.

➤ **Le monoxyde de carbone (CO) :**

C'est un gaz combustible, détonnant à faible concentration, particulièrement sournois, toxique et très dangereux par ses effets irréversibles (il détruit les cellules nerveuses de façon irrémédiable pouvant être mortel suivant la concentration et l'activité soutenue durant le temps d'inhalation).

➤ **L'oxyde d'azote (NO_x) :**

Les **oxydes d'azote (NO_x)** ou vapeurs nitreuses sont des composés chimiques formés d'oxygène et d'azote. Ils sont toxiques, et constituent une source croissante de la pollution de l'air. Les **NO_x** regroupent les monoxydes d'azote **NO** et **NO₂** (polluants atmosphériques réglementés). Les **NO_x** sont aussi

des précurseurs intervenant dans la formation des nitrates atmosphériques (rapidement solubilisés dans les eaux météoritiques qui sont alors rendues à la fois acidifiantes et eutrophisantes). [8]

I-2-6 les polluants particuliers :

C'est des polluants chimiques comme les métaux lourds et les composés organiques volatils (COV) qui comprennent des produits nocifs tel que le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

➤ Les composés organiques volatils :

Les COV sont des produits chimiques organiques qui se vaporisent facilement à la température ambiante.

Ils s'appellent organiques parce qu'ils contiennent l'élément carbone dans leurs structures moléculaires. Les COV n'ont aucune couleur, odeur, ou gout. Ils incluent un éventail très large de différentes substances, tel que les hydrocarbures.

Ils sont émis lors de la combustion de combustibles (notamment dans les gaz d'échappement), ou par évaporation lors de leur fabrication, de leur stockage ou de leur utilisation. Ils ont un impact direct sur la santé (certains sont toxiques ou cancérigènes).

I-2-7 Nature et origine des principales substances pollutant l'atmosphère :

Tableau I.7: origines des différents polluants atmosphériques.

Types de polluants atmosphériques	Nature du polluant	Sources d'émissions
Gazeux	CO ₂	combustibles fossiles, feux de végétation, déforestation
	CO (oxyde de carbone)	combustion incomplètes, océan, bactéries.
	Hydrocarbures	moteurs à explosion, foyers au fuel ou au charbon, industries chimiques.
	composés organiques	incinération d'ordures, combustions diverses.
	SO ₂	combustions, volcanisme.
	NO _x	moteurs à explosion, combustions.
Particulaires	Métaux, composés minéraux	métallurgie et diverses industries.
	carbonées (particules)	incendie de végétation, combustion de charbon et fuel, moteurs diesel.
	composés organiques naturels et de synthèse	industrie chimique, moteur diesel, solvants, pesticides.

Chapitre II

***Généralités sur le dessalement
et la déminéralisation de l'eau
de mer***

II-1 Dessalement de l'eau de mer

II-1-1- Introduction:

Le dessalement d'eau de mer est un moyen moderne pour avoir de l'eau pure, c'est l'une des techniques les plus utilisées pour la production de l'eau non conventionnelle afin de pouvoir pallier les déficits constatés par rapport à la disponibilité de l'eau conventionnelle.

Comme il est connu de tous, l'eau de mer est une source intarissable (plus de **75 %** du globe est sous forme d'eau) et facilement accessible. Ces deux caractéristiques ont permis de penser à l'utilisation de cette source non conventionnelle moyennant des techniques appelées « dessalement d'eau de mer » et qui permettent de produire de l'eau consommable par la population sous forme d'eau potable ou par l'industrie sous forme d'eau industrielle. [9]

II-1-2- Les principales technologies du dessalement :

La crise de l'eau potable annoncée pour les années **2000-2020** relance fortement l'intérêt de développer rapidement des techniques de dessalement moins chers, plus simples, plus robustes, plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement, [10].

Les différents procédés de dessalement peuvent être classés en trois grandes familles :

➤ **Les procédés faisant intervenir un changement de phase :**

- Evaporation.
- Congélation.

➤ **Les procédés de perméation sélective à travers une membrane :**

- Transfert d'ions sous l'action d'un champ électrique (électrodialyse) ou d'un gradient de pression (piezo-dialyse).
- Transfert d'ions sous l'action d'un gradient de pression (osmose inverse) ou sous l'action d'un gradient de température (thermo-osmose).

➤ **Les procédés chimiques :**

- Echanges d'ions.
- Extraction par solvant

En fait, la totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés :(figure II-1) [11]

- les procédés de distillation.
- les procédés de séparation par membranes.

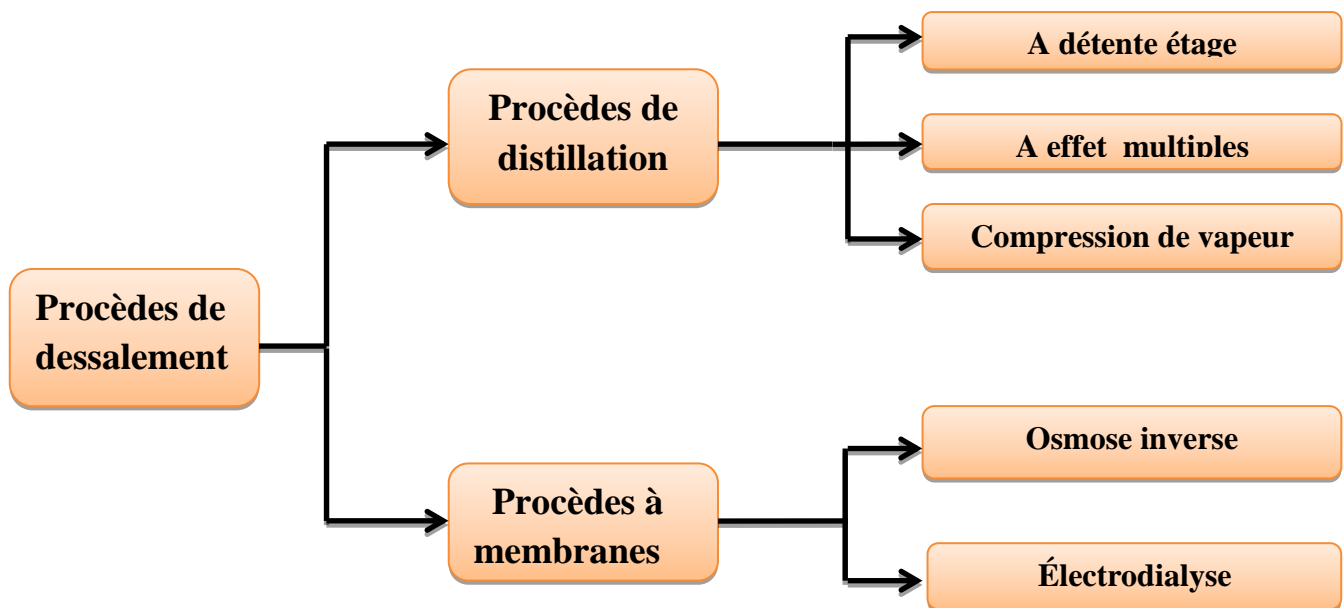


Figure II-1 : différents procédés de dessalement

Tous ces procédés utilisent la technique de distillation sauf le procédé compression de vapeur (VC), il utilise l'énergie thermique. Les procédés utilisant les membranes, ainsi que VC, font appel à l'énergie électrique ou mécanique. [5]

II-1-2-1 Schéma général d'une installation de dessalement :

Quel que soit le procédé de séparation de sel et de l'eau envisageant toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes (figure II.2), [6]

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière.
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte.
- Le procédé de dessalement lui-même.
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisations 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. [11]

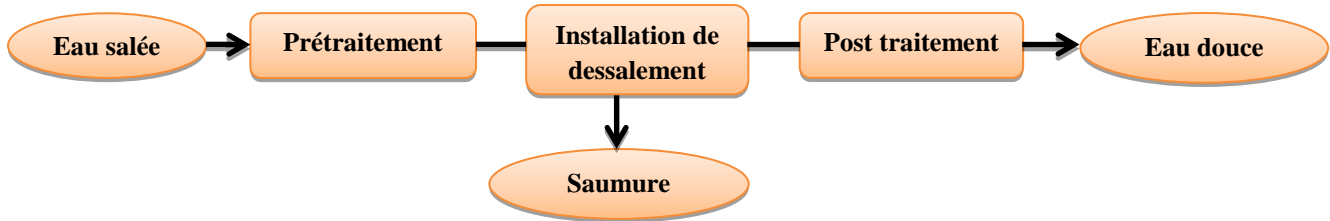


Figure II.2 : Schéma général d'une installation de dessalement

II-1-2-2 Procédés de distillation :

L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis longtemps. On distingue essentiellement plusieurs techniques de distillation dont on cite :

II-1-2-2-1 Distillation à simple effet :

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (Figure II-3). 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, l'eau de mer concentrée ou saumure [1]

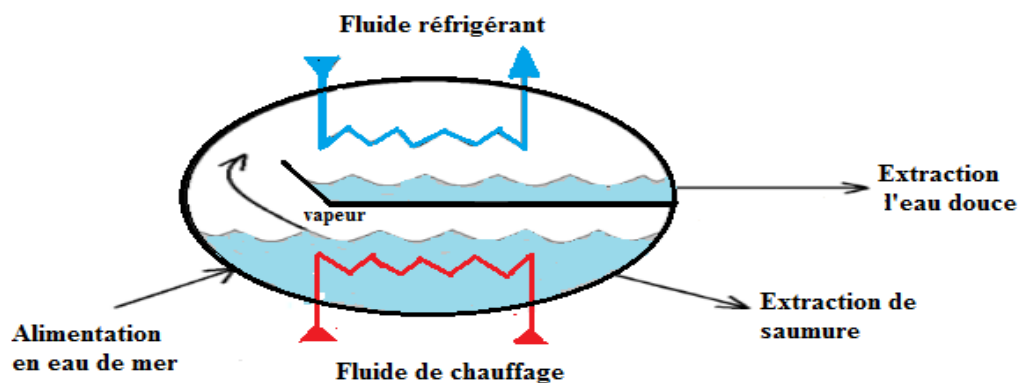


Figure II-3: Distillation à simple effet

II-1-2-2-2 Distillation à multiple effets :

La distillation à effet multiple est effectuée à l'aide de faisceaux tubulaires. Un faisceau alimenté est plongé dans l'eau de mer à partie basse d'une enceinte étanche et sous vide. C'est un fluide chauffant l'alimentation qui provoque une évaporation de l'eau de mer. La vapeur formée se condense dans un autre faisceau tubulaire situé dans la partie haute de l'enceinte est dans lequel de l'eau de mer froide circule. La vapeur d'eau se condense et l'eau distillée est recueillie dans une cuve.

Pour une utilisation de la distillation à effet multiple de manière industrielle, il suffit de multiplier les effets. Ce procédé très efficace produit de l'eau presque pure à partir de l'eau de mer. [1]

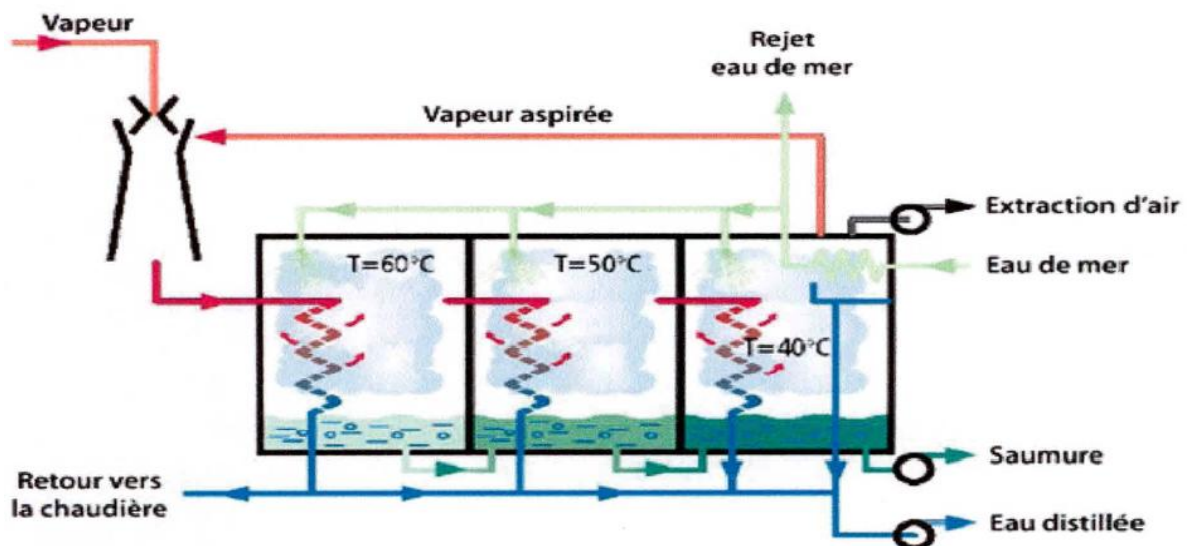


Figure II-4: distillation à multiple effets

II-1-2-2-3 Distillation avec compresseur de vapeur :

L'eau salée arrive dans un évaporateur, où elle se vaporise aux environs de 100°C grâce à un serpentin auxiliaire de vapeur qui est ensuite mis hors circuit (Figure II-5). La vapeur d'eau à la pression atmosphérique et à 100°C est alors aspirée par un compresseur qui la porte à une pression relative de l'ordre de $0,2 \text{ bar}$, avec une surchauffe de l'ordre de seulement 6°C , la vapeur surchauffée passe ensuite dans le serpentin principal de l'évaporateur où elle se condense.

Le haut rendement est parmi les avantages de la thermo compression, on peut retirer environ $0,8 \text{ m}^3$ d'eau douce de 1 m^3 d'eau brute [1].

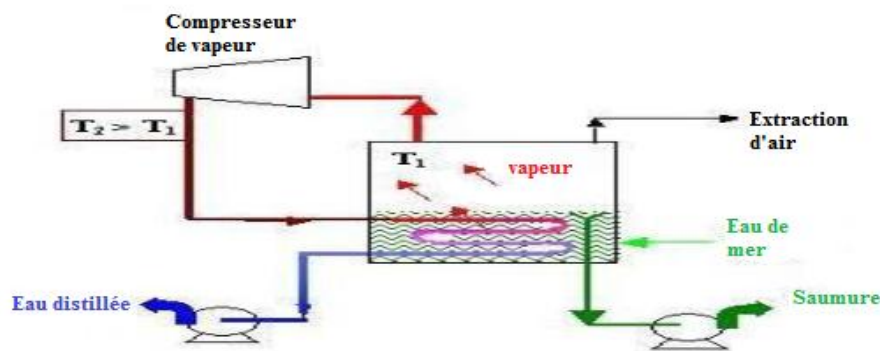


Figure II-5: Distillation avec compresseur de vapeur.

II-1-2-2-4 Distillation par détente successive ou procédé 'Flash' :

Consiste à mettre une enceinte sous vide, isolée et ne contenant que de l'eau de mer. On la maintient en équilibre avec sa vapeur à une température « T » et une pression « P » (Figure II-6). Lorsque l'eau chaude est introduite dans l'enceinte, et que P est inférieure à la pression de saturation, on observe une vaporisation instantanée par détente. La chaleur de la vapeur est transférée à l'eau froide circulant dans les tubes du condenseur. Elle est alors condensée sur un faisceau tubulaire situé dans la partie supérieure de l'enceinte. [12]

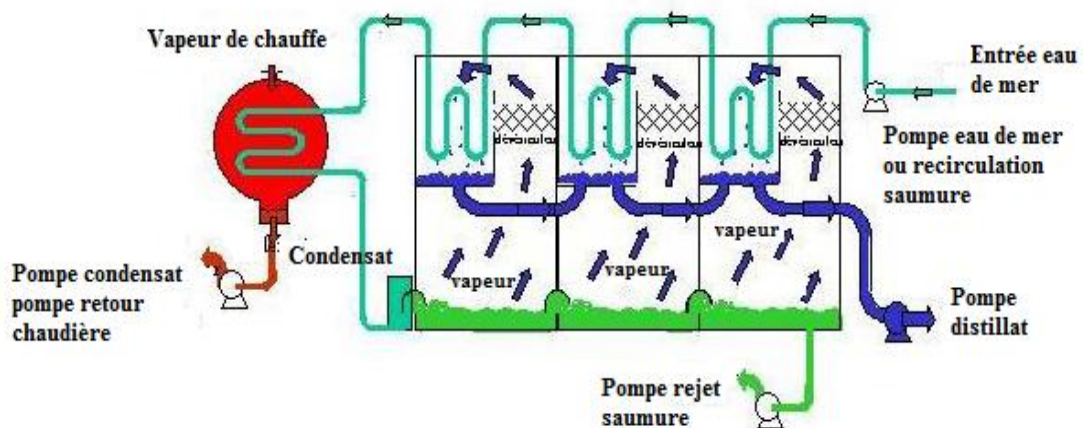


Figure II-6 : schéma de la distillation par détente successive.

II-1-2-3 Procédés membranaires :

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse. [13]

II-1-2-3-1 Electrodialyse :

Dans un système d'ED illustré dans la (Figure II-7), les membranes sont disposées l'une à côté de l'autre, en formant des compartiments où un ou plusieurs liquides vont circuler.

Du point de vue électrique, un électro dialyseur est composé de plusieurs compartiments alimentés en série, alors que du point de vue hydraulique, l'alimentation est faite en parallèle.

On distingue trois types d'électrodialyse :

- L'électrodialyse dite conventionnelle (ED)
- L'électrodialyse à membrane bipolaire (EDMB)
- L'électrolyse à membranes (EM)

Le point commun de ces techniques est la mise en œuvre de membranes échangeuses d'ions permettant de transférer des ions de façon sélective sous l'effet d'un champ électrique. [14]

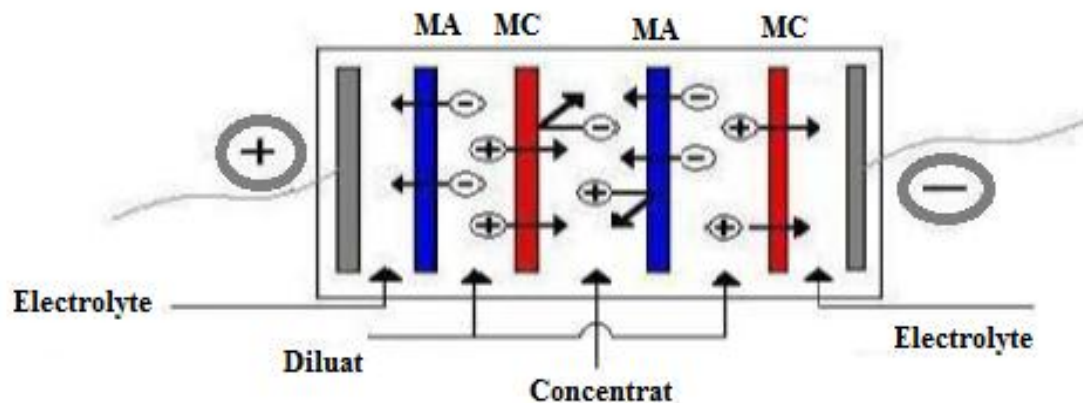


Figure II-7: Cellule élémentaire d'électrodialyse.

II-1-2-3-2 Osmose Inverse :

L'osmose inverse est un procédé par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression. Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose qui tend à transférer le solvant d'une solution diluée vers une solution concentrée mises en contact par une membrane sélective sous l'action du gradient de concentration (Figure II-8).

Lorsqu'une pression est appliquée sur le compartiment le plus concentré, le flux du solvant diminue jusqu'à s'annuler pour une pression égale à la pression osmotique de la solution.

Lorsque la pression appliquée est supérieure à cette pression osmotique, le flux s'inverse c'est le phénomène d'osmose inverse. La pression efficace correspond donc à la pression de part et d'autre de la membrane (pression transmembranaire) diminuée de la différence de pression osmotique ($\Delta\Pi$) de part et d'autre de la membrane. [15]

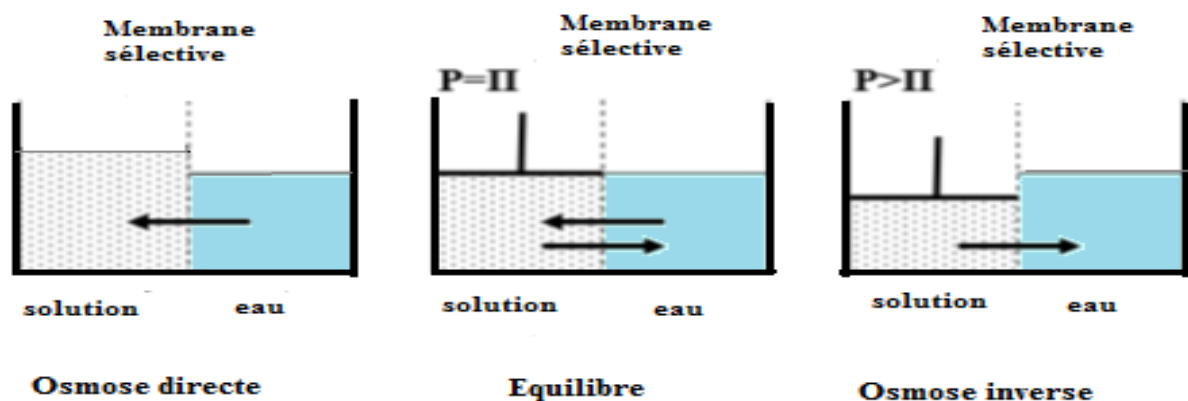


Figure II-8 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.

Pour les solutions diluées, considérées thermodynamiquement idéales, la pression osmotique est calculée à partir de l'équation de Van't Hoff:

$$\Pi = C R T$$

Π : pression osmotique de la solution (Pa).

C : concentration de la solution (mol.m^{-3}).

R : constante des gaz parfait, ($8.31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

T : température (K)

Les membranes d'osmose inverse se présentent sous forme de modules spiralés qui sont des cylindres multicouches constitués d'une superposition de feuillets

de membranes enroulés autour d'un tube percé qui collecte le perméat (Figure II-9). Ce dernier s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube central tandis que le retenta circule le long de l'axe dans les canaux formés par les feuillets de membranes.

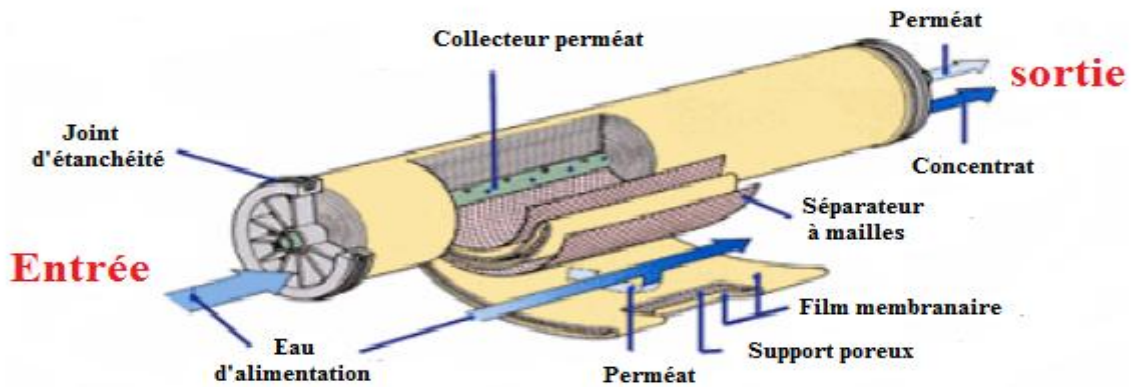


Figure II-9: Module spirale.

II-1-3 Les principaux avantages et inconvénients des procédés de dessalement d'eau de mer :

Tableau II.8 : Avantages et inconvénients des procédés de dessalement d'eau de mer.

	Avantages	Inconvénients
Distillation	<ul style="list-style-type: none"> -Indépendance à la variation de la qualité d'eau brute. -Utilisation pour des grandes capacités de production d'eau. -Exploitation relativement aisée. -Une eau produite présentant un TDS faible requis particulièrement pour les besoins industriels. 	<ul style="list-style-type: none"> -Un taux de conversion bas (inférieur à 35%) -Une consommation spécifique d'énergie relativement élevée (8 à 25 KWh/m³ selon le procédé) - Une non flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau -Un coût d'investissement élevé.
Osmose inverse	<ul style="list-style-type: none"> -Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ; -Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5 KWh/m³) ; -Un coût d'investissement relativement bas ; -Une durée de mise en œuvre réduite. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions ; -Nécessité d'un personnel qualifié ; -Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement ; -Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent.

II-1-4 Autres procédés de dessalement :

➤ Echange ionique :

Le phénomène d'échange d'ions se produit quand on met en contact une eau saumâtre avec certaines substances insolubles ayant la propriété d'échanger certains de leurs ions avec les sels de l'eau.

➤ Dessalement par congélation :

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce. [1]

➤ Distillation solaire :

La distillation solaire est un procédé simple et pouvant être appliqué de façon rustique mais elle ne convient évidemment qu'aux régions où l'ensoleillement est suffisant. L'eau salée dans un bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Eventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. [1]

II-1-5 Problèmes techniques rencontrés en dessalement :

Les 3 principaux problèmes que l'on rencontre dans le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres sont :

II-1-5-1 Entartrage :

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. A cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonate et sulfates).

Ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium (Mg(OH)_2) et de sulfate de calcium (CaSO_4). Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tarte ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement :

- Réduction de la section de passage.
- Dégradation des états de surface.
- Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit.
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant.

- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre

II-1-5-2 Corrosion :

La corrosion est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux.

Les principales conséquences de la corrosion sont :

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

II-1-5-3 Colmatage (Fouling) :

Les eaux naturelles (eaux de mer ou eaux saumâtres) contiennent la plupart du temps des matières organiques en suspension qui vont avoir tendance à se déposer sur les surfaces d'échange et à les colmater. Il va en résulter une augmentation de la résistance de transfert et une diminution de la capacité de production de l'installation. . [13] [4]

II-2 Déminéralisation de l'eau de mer

II-2-1 Introduction

La déminéralisation de l'eau est un processus qui permet de supprimer les sels de l'eau salée ou saumâtre. Plusieurs procédés de déminéralisation ont été mis au point sur le marché mondial.

Le choix d'utilisation de chacun d'eux est relatif à la disponibilité de la source d'énergie qui fait fonctionner l'appareillage de déminéralisation.

II-2-2 Les différentes techniques de la déminéralisation de l'eau :

II-2-2-1 Les procédés chimiques :

II-2-2-1-1 Les échange d'ions :

Le terme échange d'ions regroupe un ensemble de technologies assez diverses, qui ont pour point commun d'utiliser des résines qui ont la propriété d'avoir des adhésions préférentielles connues : un ion adhère plus ou moins à la résine : cette propriété permet de construire des systèmes où l'on échange des ions contre d'autres de manière ciblée afin de changer la propriété de l'eau. [16]

❖ Exemple d'utilisation des échanges d'ions :

- Eau destinée aux chaudières à haute pression dans les centrales électriques thermiques et nucléaires et dans de nombreuses industries.
- Eau de rinçage nécessaire à la production de semi-conducteurs et autres composants électroniques.
- Eau de procès de diverses industries : chimie, papier, textile et autres.
- Eau pour batteries.
- Eau déminéralisée pour laboratoires. [17]

II-2-2-2 Les procédés thermiques :

II-2-2-2-1 Distillation à simple effets :

Les premières unités industrielles de distillation d'eau de mer sont d'abord apparues à bord des navires. C'était, dans la plupart des cas, des brouilleurs simples effets à faisceau noyé, l'eau de mer était chauffée dans un récipient étanche par la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire plongé dans l'eau de mer. La vapeur formée était condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute de l'enceinte et parcouru par de l'eau de mer froide. Son principe est simple :

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

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

Ce procédé n'est utilisé que dans les navires disposant d'une source d'énergie thermique. [18]

II-2-2-2-2 Distillation à multiples effets (MED) :

La distillation à effet multiple est effectuée à l'aide de faisceaux tubulaires. Un faisceau alimenté est plongé dans l'eau de mer à la partie basse d'une enceinte étanche et sous vide. C'est un fluide chauffant l'alimentant qui provoque une évaporation de l'eau de mer.

La vapeur formée se condense dans un autre faisceau tubulaire situé dans la partie haute de l'enceinte et dans lequel de l'eau de mer froide circule. La vapeur d'eau se condense et l'eau distillée est recueillie dans une cuve. [19]

II-2-2-2-3 La distillation par détente successive (Multi Stage Flash, MSF) :

Ce procédé est très intéressant lors que dans le milieu souhaité, la chaleur sous forme de vapeur à basses température est facilement disponible.

La distillation par MSF consiste à mettre une enceinte sous vide, isolée et ne contenant que de l'eau de mer. On le maintient en équilibre avec sa vapeur à une température T et une pression P . Lorsque de l'eau chaude est introduite dans l'enceinte, et que P inférieure à la pression de saturation, on observe une vaporisation instantanée par détente. La chaleur de la vapeur est transférée à l'eau froide circulant dans les tubes de condenseur. Elle est alors condensée sur un faisceau tubulaire situé dans la partie supérieure de l'enceinte. On peut alors récupérer l'eau distillée pure. [19]

II-2-2-2-4 Distillation avec compression de vapeur :

Si l'on ne dispose pas de chaleur à basse température, on utilise la décompression de vapeur, on installant un appareil qui aspire la vapeur produite dans le dernier effet d'un évaporateur à effets multiples et qui la décomprime pour alimenter le faisceau de chauffe de l'effet le plus chaud. [17]

II-2-2-3 Procédés à membranes :

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. De tels procédés sont a priori séduisants puisqu'ils doivent pouvoir fonctionner à la température ambiante et qu'ils n'impliquent pas un changement de phase. [17]

II-2-2-3-1 Electro dialyse :

L'électrodialyse est une technique séparative dans laquelle des espèces ionisées minérales ou organiques dissoutes, telles que sels, acides ou bases, sont transportées à travers des membranes ioniques et sous l'action d'un champ électrique. Lorsqu'une solution ionisée est envoyée dans les compartiments séparés par ces membranes, les cations migrent vers la cathode (-) et les anions vers l'anode (+), en traversant respectivement les membranes cationique (C) et anionique (A). Grâce à une disposition alternée des membranes, les ions capables de traverser les membranes ioniques, et réciproquement, il en résulte une augmentation de la concentration dans les compartiments de même partie (concentrât) et une diminution dans les compartiments adjacents (diluât).

II-2-2-3-2 Osmose inverse :

Rappelons d'abord le principe de l'osmose : soit un récipient divisé en deux compartiments par une membrane sélective, l'un contient de l'eau pure, l'autre de l'eau salée. Il s'établit entre les deux parois de la membrane une différence de pression : l'eau pure diffuse alors vers l'eau salée et la dénivellation qui s'établit mesure la pression osmotique qui existe entre les deux parois de la membrane.

Si l'on maintient au-dessus de l'eau salée une pression supérieure à la pression osmotique, la diffusion a lieu en sens inverse, ce qui a pour effet d'extraire de l'eau pure de la solution salée, c'est le principe de l'osmose inverse. La pression osmotique est proportionnelle à la teneur en sels dissous, de l'ordre de **0.7bar** par gramme de salinité par litre. Ainsi, pour l'eau de mer, elle est de l'ordre de **25 bars**. Si l'on veut avoir des débits suffisants, la pression appliquée devra être nettement supérieure à cette valeur théorique. Dans le cas de l'eau de mer elle est actuellement comprise entre **60 et 90 bar**. [17]

II-2-2-3-3 La pervaporation :

Il s'agit donc d'un procédé dans lequel les espèces transférées subissent un changement d'état (vaporisation). Mais, à la différence de la simple évaporation qui se produit en distillation, l'interposition de la membrane modifie la composition de la charge à travers l'intervention de deux processus complémentaires. Tout d'abord, il se produit une inégale sorption des espèces à la face amont en contact avec le liquide, ce qui revient à modifier la composition du mélange qui franchit l'interface membranaire amont. [30]

II-2-2-3-4 La microfiltration :

La micro filtration est un procédé de purification qui élimine les polluants à partir d'un fluide (liquide et gaz) par le passage à travers une

membrane micro poreuse. Elle élimine efficacement les principaux agents pathogènes et des polluants et les bactéries importantes. [17]

II-2-2-3-5 La dialyse :

La dialyse est un principe d'épuration sanguine. C'est une méthode d'échanges entre deux solutions, le sang et un liquide appelé « dialysat », à travers une membrane semi-perméable.

Cette membrane possède de multiples trous ou pores permettant le passage des molécules d'eau et de solutés de petit poids moléculaire (les solutés qui ont des poids moléculaire élevés comme les protéines plasmatiques, ne peuvent pas traverser cette membrane). [17]

*Partie
expérimentale*

Chapitre III

**Description des techniques de
traitement de l'eau de mer dans
la centrale électrique de Cap
Djinet**

III-1 Présentation de la centrale thermoélectrique de Cap Djinet:

La centrale thermoélectrique de Cap Djinet dont la construction à été décidée en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays, est située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de Boumerdes. Elle occupe une superficie de **35** hectares.

Ce site a été choisi sur le fait de plusieurs critères, tel que, la possibilité d'extension, les conditions du sous-sol favorables qui ne nécessitent pas de fondations profondes et la proximité de consommateurs importants qui sont situés notamment dans la zone industrielle Rouiba-Reghaia.

Cette centrale se compose de 4 tranches d'une puissance unitaire de 176 MW aux bornes de l'alternateur, totalisant une capacité installée de 704 MW. Elle alimente le réseau par l'intermédiaire des postes (**225 KV**) de Boudouaou située à **40** kilomètres environ de la centrale.

Les quatre groupes alternateurs sont alimentés par quatre chaudières à haute pression d'environ **160 Bars** et de **530 m³/h** de débit. En ce qui concerne l'investissement global de la centrale, celui-ci s'élève à deux mille cinq millions de dinars (**2 500 000 000 DA**).

➤ **Plan de masse : (1)**

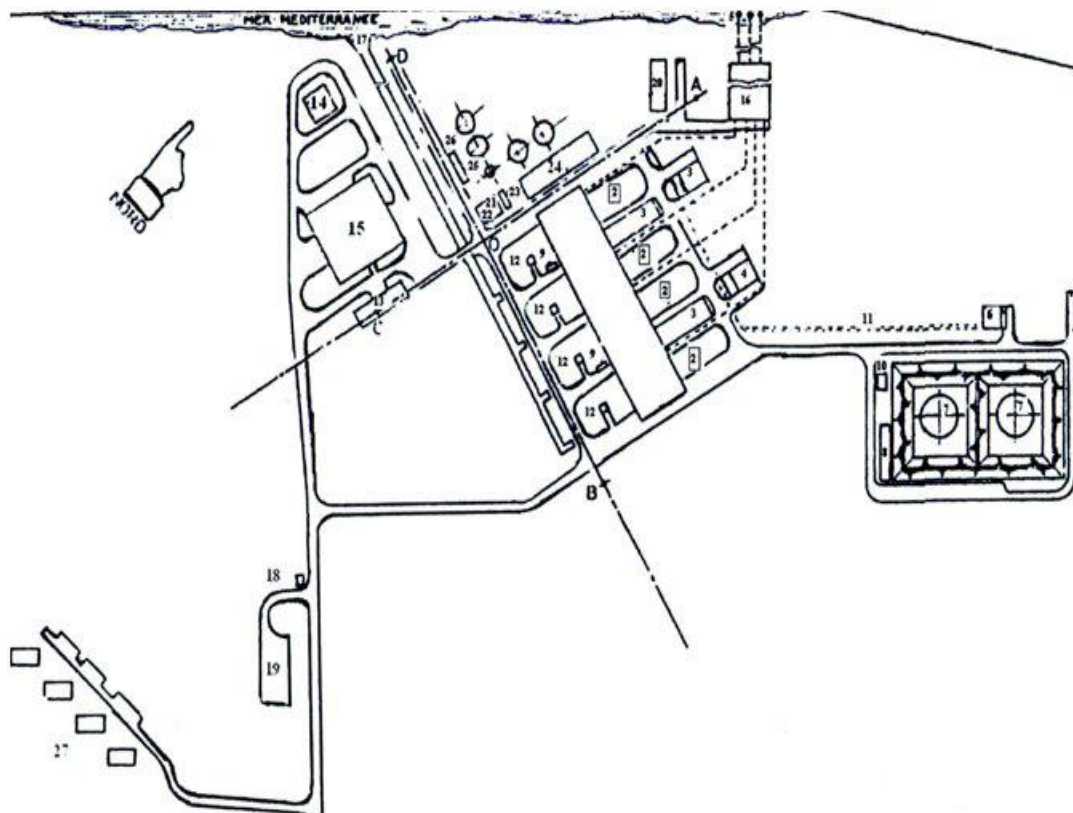


Figure III-10: plan de masse de la centrale de CaP Djinet

➤ **Légende :**

1-Salle des machines.	14-Cantine.
2-Chaudières	16- Station de pompage.
Locaux des auxiliaires électriques.	17- Canal de rejet d'eau potable.
-Locaux des auxiliaires mécaniques.	18- Poste de garde.
5-Tour de prise d'eau de mer.	19- Parking.
6-Station détente gaz.	20- Station de chloration.
7-Réservoir stockage fuel.	21- Préparation d'eau potable.
8-Station pompage et dépotage fuel.	22- Déminéralisation.
9-Poste d'alimentation hydrogène.	23- Fosse de neutralisation.
10-Poste d'incendie à mousse.	24- Dessalement d'eau de mer.
11- Rack à tuyauteries.	25- Station des pompes d'incendie.
12- Aire des transformateurs.	26- Pompe d'eau déminéralisée.
13-Bâtiment administratif.	27-Logements d'exploitation.

III-2 Caractéristiques techniques de la centrale :

III-2-1 Combustibles :

La centrale utilise deux combustibles :

- **Gaz naturel** comme combustible principal, acheminé par gazoduc de Hassi-R'mel avec un débit de **160000 Nm³/h** pour assurer la pleine charge des 4 groupes.
- **Le Fuel** léger utilisé en cas de secours (indisponibilité du poste gaz). L'approvisionnement est assuré par la société NAFTAL et est stocké dans deux réservoirs de **10000 m³** chacun.

III-2-2 Générateurs de vapeur :

Les générateurs de vapeur sont de type à circulation naturelle avec chambre de combustion pressurisée et avec resurchauffe.

L'alimentation en combustible se fait par 8 brûleurs répartis en 4 niveaux sur la façade avant de chaque générateur de vapeur, comprend notamment :

- des tubes porteurs
- 1 surchauffeur primaire
- 1 surchauffeur secondaire
- 1 surchauffeur tertiaire
- 1 ballon et 1 économiseur
- 3 désurchauffeurs par eau
- 2 ventilateurs de recyclage assurant la température de la resurchauffe.
- 2 ventilateurs de soufflage assurant le débit d'air nécessaire à la combustion.

III-2-3 Turbine et poste d'eau :

Les turbines sont à condensation et à soutirage, elles sont composées de **3 corps** : haute pression (HP), moyenne pression (MP), et basse pression (BP). Des soutirages au nombre de **6 alimentant** : **3** réchauffeurs **BP**, **2** réchauffeurs **HP** et le dégazeur bâche alimentaire. Après détente dans la turbine, la vapeur saturée humide vient se refroidir dans le condenseur à simple parcours, les réchauffeurs BP sont de type horizontal et les réchauffeurs HP sont de type vertical. Le débit d'eau de mer nécessaire à la réfrigération de chaque condenseur est de **25000 m³/h**.

Deux pompes d'extraction plein débit et 3 pompes alimentaires à demi- débit véhiculent l'eau à travers les réchauffeurs puis vers la chaudière.

III-2-4 Eau de réfrigération principale (eau de mer) :

Pour condenser la vapeur, il faut refroidir et abaisser sa pression, ces deux opérations s'effectuent dans le condenseur. Le refroidissement est assuré par l'eau froide (eau de mer) circulant dans un circuit indépendant du circuit eau-vapeur. La prise d'eau se situe en mer à **900m** de la station de pompage et de filtration, après traversée du condenseur, l'eau arrive par trois (03) conduites d'amenée d'eau de mer, en béton de diamètre intérieur/extérieur de **(2.70m/3.00m)**.

III-2-5 Eau de réfrigération secondaire :

C'est l'eau déminéralisée stockée dans une bâche de **5m³** circulant en circuit fermé. Elle sert au refroidissement de certains organes tel que (huile de graissage pompe alimentaire, huile de graissage turbine, huile de graissage d'air, huile de graissage réchauffeur rotatif... etc.

III-2-6 Constitution de la station de pompage :

- Une grille à grappin, pour éliminer les gros déchets.
- Un tambour filtrant, à mailles fines pour éliminer les petits déchets.
- Deux pompes de circulation d'eau de mer de **12 000m³/h** chacune, qui refoulent l'eau de mer jusqu'au condenseur.

Après le travers du condenseur, l'eau de réfrigération est rejetée vers le canal de rejet qui aboutit à la mer.

III-2-7 Système traitement des eaux :

➤ Station d'électro-chloration :

La chloration de l'eau de mer permet de protéger le circuit d'eau de mer (condenseur, conduite d'amenée d'eau de mer ...) contre tout encrassement pouvant être causé par les microorganismes marins. Elle se fait par injection d'hypochlorite de sodium. L'installation est prévue pour produire ($2 \times 150 \text{ Kg/h}$) de chlore avec deux unités. En condition de chloration continue, $104000 \text{ m}^3/\text{h}$ d'eau de circulation sont continuellement chlorés.

➤ Station de dessalement de l'eau de mer :

Elle a pour rôle la production de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer pour alimenter la chaudière. La centrale a quatre unités de dessalement de débits de $500 \text{ m}^3/\text{h}$ chacune, assurent la production d'eau pour les appoints au cycle thermique. Ces unités sont de type multi stage flash (MSF). L'eau dessalée est stockée dans deux réservoirs de 2700 m^3 chacun avant d'être déminéralisée (conductivité $< 30 \mu\text{s/cm}$).

➤ Station de déminéralisation :

L'installation de déminéralisation sert au traitement de l'eau d'appoint d'alimentation pour les quatre chaudières. Deux chaînes de déminéralisation à lits mélangés de $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

Chacune, parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le cycle eau vapeur. Le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux réservoirs de 1900 m^3 chacun. (Conductivité $< 0.1 \mu\text{s/cm}$).

➤ Station de production d'hydrogène :

La production d'hydrogène est basée sur le principe de l'électrolyse de l'eau déminéralisée dans un bloc de cellules (anodes/cathodes) appelé électrolyseur. L'hydrogène est récupéré à la cathode, l'oxygène à l'anode. L'hydrogène produit sert au refroidissement de quatre alternateurs de la centrale, sous une pression de **3 bars** en circuit fermé d'hydrogène, étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction.

III-2-8 Le poste d'eau :

Le poste d'eau est l'ensemble des équipements qui préchauffe l'eau et le transfert du condenseur jusqu'à la chaudière en passant par la bache alimentaire (dégazeur). Il est constitué de :

- **Le condenseur :**

Le condenseur est un échangeur thermique qui assure la condensation de la vapeur évacuée du corps BP de la turbine par la circulation de l'eau de mer de refroidissement (débit de $2 \times 12000 \text{ m}^3/\text{h}$), dans les **14850** tubes en titane contenu dans le condenseur.

- **Deux(2) pompes d'extraction :**

Assurent le transfert de l'eau du puits du condenseur jusqu'à la bache alimentaire en passant par les trois (03) réchauffeurs **BP** (le débit nominal d'une pompe d'extraction est $414 \text{ m}^3/\text{h}$).

- **Dégazeur et bache alimentaire :**

Le dégazage a pour but d'éliminer l'oxygène dissous dans l'eau pour protéger l'installation et la chaudière contre la corrosion. L'eau réchauffée est directement en contact avec la vapeur de soutirage venant du corps MP de la turbine, elle est pulvérisée dans la vapeur.

- **Trois pompes alimentaires :**

Servent à alimenter la chaudière à partir de la bache alimentaire (le débit nominal des pompes est de $3 \times 261.6 \text{ m}^3/\text{h}$).

III-2-9 Alternateurs :

Les alternateurs sont refroidis par l'hydrogène en circuit fermé qui est refroidi par l'eau déminéralisé du cycle précité.

III-2-10 Evacuation de l'énergie :

Chaque groupe évacue par l'intermédiaire d'un transformateur principal d'énergie une tension de 220KV vers le poste haute tension de BOUDOUAU. Chaque alternateur est raccordé par des gaines à barres, à un transformateur élévateur (**15.5KV /220KV**) d'une puissance de **220MVA** à travers un

disjoncteur coupleur. Les transformateurs élévateurs et leurs réfrigérations sont assurés par une circulation forcée d'huile refroidie par l'air.

III-2-11 Commande et contrôle :

La centrale se caractérise par un degré élevé d'automatisme et de centralisation des commandes. En effet les équipements sont pilotés par divers systèmes dont les plus caractérisés sont :

- **Poste d'eau turbine :** commandé par système à commande électronique.
- **Chaudière :** commandée électroniquement.
- **Turbine :** commandée par un système de régulation électronique et électro-hydraulique.
- **Alternateur :** soumis à surveillance électronique.

III-2-12 Système de surveillance, d'alarme et d'analyse :

Pour permettre une bonne conduite du groupe de production, des paramètres d'exploitation (Température, pression, niveau d'eau, vibrations, etc.), différents équipement du groupe, sont indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalés en cas de dépassement de seuil.

Pour une meilleure analyse en cas d'incendie un consigneur d'état est installé. Il permet d'enregistrer les alarmes dans un ordre chronologique.

III-3- fonctionnement de la centrale :

Le principe de fonctionnement de la centrale est basé sur une série de transformation d'énergie qui se suivent l'une après l'autre (figure III-11), la transformation de l'énergie chimique contenue dans un combustible en énergie électrique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique et mécanique. Ces transformations s'opèrent dans divers appareils par l'application de différents procédés de traitement de l'eau de mer en utilisant les propriétés physiques de cette dernière sous ses diverses formes liquide et vapeur.

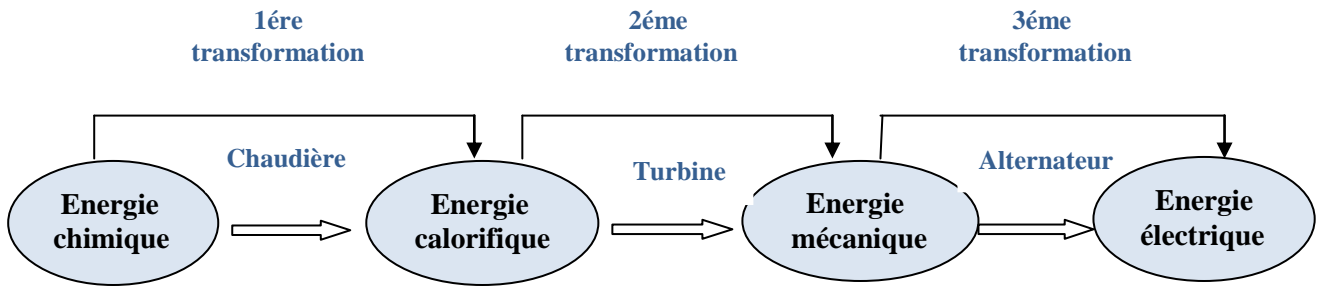


Figure III-11: les principales transformations de l'énergie.

- **1ère transformation :** transformation de l'énergie chimique issue du combustible en énergie calorifique (dans un générateur de vapeur), c'est la chaleur nécessaire à la vaporisation et à l'augmentation de la chaleur d'eau.
- **2ème transformation :** l'énergie calorifique obtenue est transformée en énergie mécanique dans la turbine à vapeur, elle est transmise principalement à l'eau sous forme liquide et vapeur (saturée et surchauffée).
- **3ème transformation :** l'énergie mécanique est transmise directement à l'alternateur à travers un accouplement pour produire à la fin une énergie électrique.

III-4 description des techniques de traitement de l'eau de mer

III-4-1 Introduction :

Afin d'effectuer nos analyses physico-chimiques, et après avoir passé par la présentation et la description des différentes étapes de fonctionnement de traitement de l'eau de mer suivis dans la centrale thermique de **Cap Djinet** pour l'alimentation des l'auxiliaires électriques, on a retenu trois points essentiels de prélèvement:

- Le 1er est celui de l'eau brute, il a été effectué sur l'eau de mer au niveau d'une vanne placée sur la conduite de pompage.
- Le 2eme prélèvement est effectué à la sortie de l'unité de dessalement (donc il concerne l'eau dessalée et la saumure rejeter).
- Le dernier prélèvement est celui effectué à la sortie de l'unité de déminéralisation.

Les résultats obtenus expriment le taux d'élimination des sels et l'efficacité des deux méthodes utilisées (dessalement et déminéralisation).

Après le traitement, on obtient une saumure qui est produite par quatre unités de dessalement qui sera retournée à la mer mais cette dernière a une concentration très élevée qui s'avère double ou près du double de l'eau de mer et contient divers produits chimiques résultant de l'étape de prétraitement et du dessalement.

III-4-2 Procédés de traitement de l'eau de mer :

III-4-2-1 prétraitements :

Le prétraitement de l'eau de mer est effectué avant que cette dernière ne soit introduite dans l'unité de dessalement pour assurer son bon fonctionnement et éviter tout colmatage.

- la prise d'eau de mer : se fait en plein mer par trois conduites en béton d'un diamètre de **2.7m** et se situe à **900m** de l'arrivée de l'eau à la station de pompage, l'eau est tirée directement à une profondeur de **7m**. [30]

III-4-2-1-1 station de pompage d'eau de mer:

C'est un ouvrage en béton armé étanche avec un bord supérieur à **7m** en dessus du niveau de la mer ; elle comprend quatre voies de filtration, un bassin d'alimentation et des chambres d'aspiration pour les pompes d'installation de dessalement de la chloration et pour la pompe d'incendie.

Chacune des voies de filtration est équipée d'une grille à dégrilleur. Les matrices retenues par le tambour filtrant et la grille sont amenées par un canal de rejet jusqu'à panier de récupération de débris.

Les chambres d'aspiration sont disposées entre les voies, les deux chambres extérieures servent à l'alimentation de l'installation de dessalement d'eau de mer par les pompes de transfert et comprennent chacune une pompe pour la chloration. [30]

III-4-2-1-2 filtration:

Elle connaît les étapes suivantes :

➤ Dégrillage :

Cette étape est très importante pour la protection de l'installation contre les gros débris (40mm), l'eau arrive aux grilles de grappin à grosse mailles avec un dégrilleur entraîné électriquement. Les matières retenues par la grille qui sont accumulées sont soulevées jusqu'au niveau d'évacuation de débris.

➤ Tamisage:

Afin de retenir les débris fins qui pourraient provoquer un colmatage, une filtration dite secondaire et finale se fait par des tambours filtrants à mailles fines, elle consiste à une structure à rotation lente dans laquelle l'eau entre de chaque côté. [30]

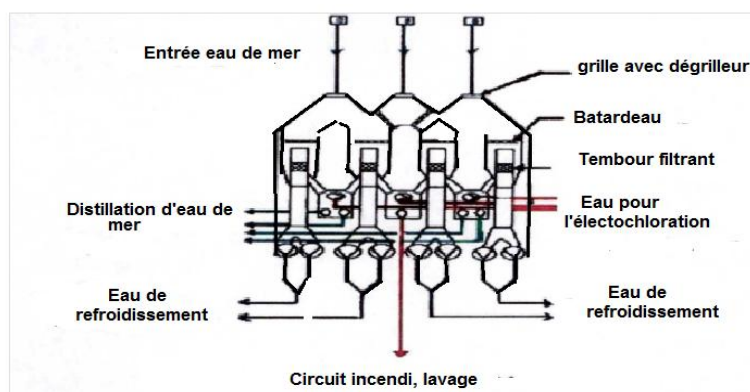


Figure III.12: installation de filtration d'eau de mer au niveau de la centrale

III-4-2-1-3 Chloration:

Pour éviter le développement d'organismes végétaux et animaux, l'injection d'eau de javel est indispensable. L'hypochlorite de sodium réagit

rapidement dans l'eau pour former de l'acide hypochloreux selon la réaction suivante :



Le chlore actif est produit sous forme d'hypochlorite de sodium qui se fait par l'électrolyse de l'eau de mer à l'aide d'une installation d'électro chloration, ce dernier est prévu pour produire **2×150 Kg/h** de chlore actif avec deux unités, la production de chaque unité est obtenue avec quatre électrolyseur connectés hydrauliquement et électriquement en série sous une intensité de **3400A**.

L'eau de mer est envoyée au moyen des pompes d'alimentation à travers un filtre d'eau de mer de type autonettoyant actionné par mesure de la perte de charge dans le filtre et une alarme de haute pression, la filtration limite à **0.5mm** les dimensions des matières en suspension dans l'eau de mer.

Les électrolyseurs se composent de cellules à construction modulaire, connectées électriquement et hydrauliquement de façon à former un ensemble électrodique. [30]

➤ Réaction chimiques et électrochimiques :

Le procédé consiste en une électrolyse partielle de chlorure de sodium dissous dans l'eau de mer qui est forcée à travers des couples d'électrodes (anodes et cathodes) assemblées en un électrolyseur connecté à une source de courant continu.

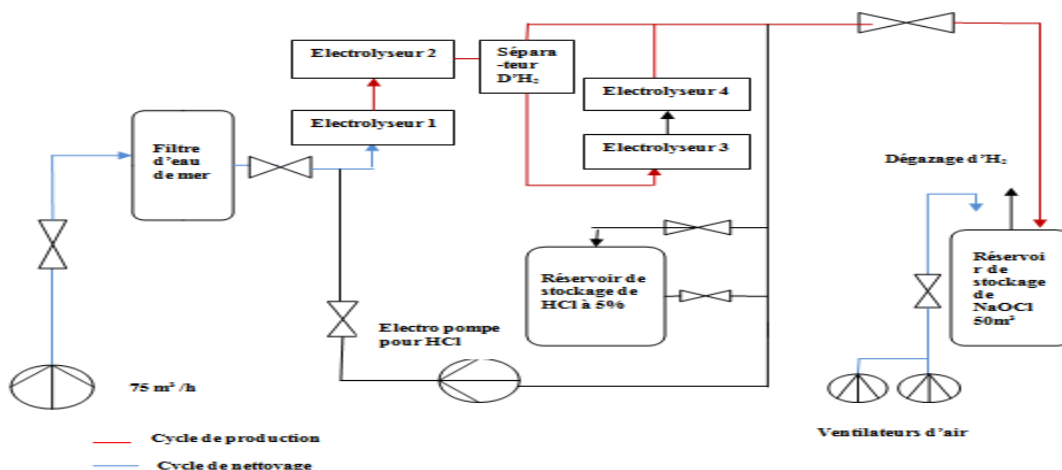
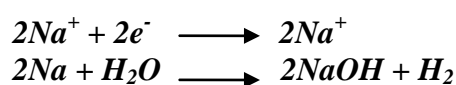


Figure III.14: schéma simplifié de l'installation d'électro chloration

➤ Réactions cathodiques :



➤ Réaction anodiques :



Le cycle de nettoyage dure à peu près une heure et la solution d'acide récupérée de nouveau dans le réservoir de **HCl** peut être employée pour plusieurs cycles de nettoyage. La concentration faible de **HCl 2.5 à 3%** est remontée à **5 %** en ajoutant une quantité suffisante d'acide chlorhydrique à **30%**.

➤ les points d'injection du chlore :

▪ Chloration en continu :

La chloration continue à lieu sur les tuyaux d'eau de circulation à environ **1.5g/m³**, trois diffuseurs sont placés à la prise d'eau et trois à la station de pompage.

▪ La chloration de choc :

Pendant **15** minutes, et toutes les trois heures la concentration totale de chlore actif dans l'eau de circulation est portée à **5g/m³** cette chloration «**choc**» à lieu à la prise d'eau de mer ou à l'entrée des condenseurs.

III-4-3 Présentation de l'installation de dessalement « MSF » :

Les besoins journaliers en eau dessalée de la centrale thermique sont de l'ordre de **1100m³**. L'installation comprend quatre unités indépendantes les unes des autres (trois unités sont en service et la quatrième est désinstallée), fonctionnant selon le principe de la distillation par détentes successives à **18** étages. Chaque unité produit **500m³** d'eau dessalée par jour. [3]

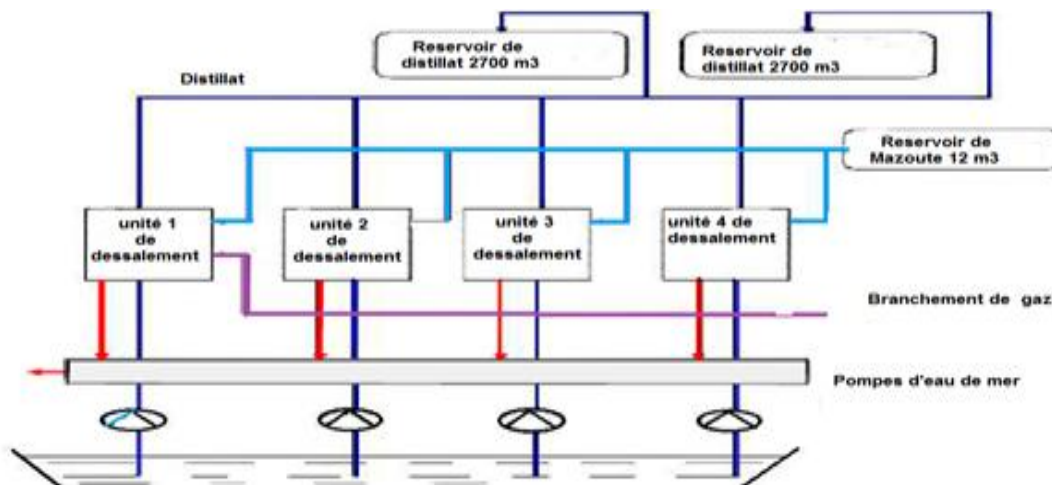


Figure III-13: schéma simplifié de la station de dessalement.

III-4-3-1 Les différents organes de l'installation MSF:

➤ L'évaporateur :

Il est constitué de 18 étages :

- Trois étages pour la dissipation de chaleur
- Quinze étages pour la récupération de chaleur

Le faisceau des tubes de condenseur se trouve dans la partie supérieure de chaque chambre. Le dernier étage est muni d'un indicateur de niveau pour le distillat et la saumure. Tous les dispositifs sont prévus pour vider et aérer totalement tous les étages.

➤ Le réchauffeur final :

Le réchauffeur final est un échangeur thermique à faisceaux de tube droit. L'eau de mer traverse les tubes, alors que l'eau chaude circule sur les côtés enveloppe. Il consiste à chauffer la saumure sortant des zones de récupération de chaleur à une température de **83°C** avec un débit de **280m³ /h** (coté enveloppe). Il est caractérisé par :

- Une température d'entrée de **95 °C**.
- Une température de sortie de **88 °C**.

➤ La chaudière « d'eau chaude » :

C'est une chaudière à eau chaude, l'eau est réchauffée en deux étapes :

- La première surface de chauffe comprend les parois de la chambre de combustion
- La deuxième comprend l'extérieur des tubes de fumée. Cette conception permet une bonne circulation de l'eau et un transfert optimal de chaleur de services de **95°C** et d'un débit de **180m³ /h**.

➤ Les pompes :

○ Les pompes de traitement :

Tableau III.9 : caractéristiques principales des pompes centrifuges de traitement.

pompes	Pompe de recirculation de saumure	Pompe de saumure	Pompe de distillat	Pompe de l'eau motrice	Pompe de recirculation d'eau chaude
Débits (m ³ /h)	258	36	25	103	280
Puissance (KW)	65.8	2.75	4.2	6.9	8

○ **Les pompes de transfert d'eau de mer :**

Les pompes de transfert d'eau de mer installées dans la station de pompage sont des pompes centrifuges verticales à deux étages.

Tableau III.10: Caractéristiques techniques des pompes de transfert d'eau de mer.

Caractéristiques fonctionnelle	Pompe de transfert
Milieu d'alimentation	Eau de mer
Débit (m ³ /h)	289
Rendement (%)	70
Masse volumique /Température (Kg/m ³) /°C	1026/27
Hauteur de refoulement (m)	39
Vitesse de rotation (tr /mn)	1450
Puissance nécessaire	44.8
Liquide d'arrêt	Eau de mer

○ **Les pompes d'éjection :**

Tableau III.11 : caractéristiques techniques des pompes d'éjection

Caractéristiques fonctionnelles	Pompe d'éjection de vapeur	Pompe d'éjection de l'eau
Quantité (Kg)	68.900	130000
Température d'entrée (°C)	30	78.6
Aspiration des étages	14 et 18	2, 4, 5 et 13
Pression d'entrée (bars)	0.0747	0.143
Pression de sortie	1.0133	0.073 bars
Capacité (Kg /h)	2.95	Max 15.8

○ **Les pompes doseuses :**

Tableau III.12: caractéristiques techniques des pompes doseuses

Caractéristiques fonctionnelles	Pompe doseuse de Belgard	Pompe doseuse de bisulfite de sodium
Milieu d'alimentation	Begard EVN	Bisulfite de sodium
Débit (m ³ /h)	Max 0.0026	Max 0.006
Masse volumique /température (Kg.m ⁻³ /°C)	1000/50 max	1000 /50 max
Hauteur de refoulement (m)	120	120
Vitesse de rotation (tr/mn)	1500	1500

- **Systeme d'évacuation :**

L'eau de mer naturelle utilisée pour le procédé d'évaporation est saturée de gaz incondensables tels que l'oxygène et l'azote ainsi que le gaz carbonique formé, par le bicarbonate sont peu à peu libérés dans les étages de l'installation et peuvent nuire à l'échange de chaleur, ces gaz incondensables sont amenés de l'étage **2** jusqu'à l'étage **4** puis de l'étage **5** à l'étage **13** et enfin de l'étage **14** à l'étage **18**, et sont évacués aux points d'aspiration des étages **1,4,13** et **18**.

La pompe d'éjection d'eau est prévue pour aspirer les gaz de la pompe d'éjection de vapeur et des étages **2** à **13**, l'eau motrice de l'éjecteur est mise en circulation par la pompe un réservoir de désaéragé fait partie de ce circuit, les gaz dissous dans l'eau sont libérés et évacués à l'atmosphère.

Pour éviter un réchauffement indésirable de l'eau motrice, on remplace une partie de cette eau, par la même quantité d'eau froide. Ce système comprend aussi une pompe d'eau motrice qui a un débit de **103 m³ /h**.

- **Filtre de l'eau de mer :**

Le filtre utilisé est de type à décolmatage par contre-courant (autonettoyant). L'eau de mer à filtre pénètre dans ce filtre à la bride d'entrée, traverse le double panier filtrant et quitte le filtre à la bride de sortie. Les impuretés sont retenues dans le filtre par la toile filtrante de panier, lorsque par la suite d'un colmatage du filtre on atteint la perte de charge limite. Le procédé de décomptage par contrecourant se met en marche automatiquement. [3] [1]

III-4-3-2 Injection des produits chimiques :

Elle se fait pour la protection de l'installation de dessalement d'eau de mer contre l'entartrage, les salissures et la formation de la mousse.

➤ **protection contre l'entartrage :**

Lors du réchauffement de l'eau de mer, les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement. La présence de tartre entraîne inmanquablement des difficultés d'exploitation et/ou de perte de rendement.

Afin de minimiser l'entartrage des tubes, la centrale dispose d'instrument d'injection du Belgard EVN à **3.5 mg/l**.

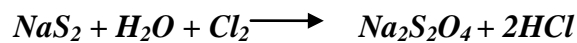
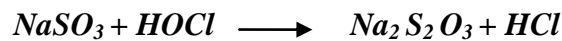
➤ **Protection contre les salissures :**

Les salissures sont une cause importante de corrosion sous dépôt et de détérioration de la capacité d'échange thermique.

Entre 6 à 12 mois sera nécessaire de nettoyer le condenseur et le réchauffeur final. L'agent nettoyant utilisé à la centrale est l'acide chlorhydrique à 5%, environ 290 l de solution de HCL par nettoyage est dosé et injecté par une pompe doseuse avec un débit de 35.25m³ /h, soit dans la mer soit dans la saumure de circulation suivant la zone à nettoyer. [21]

➤ **La protection contre la formation de la mousse :**

L'eau de mer, pour la centrale thermique, est traitée au chlore actif. Ce procédé détruit les organismes se trouvant dans l'eau de mer. Un excédent de la concentration de chlore actif dans l'eau de mer alimentant le poste de dessalement influence négativement le procédé de dessalement. Le contenu de chlore actif est assuré et si sa teneur augmente, on ajoute le bisulfite de sodium NaS₂O₃ dans l'eau de mer servant d'eau d'alimentation, ce qui neutralise le chlore. Le bisulfite de sodium réduit le chlore dans l'eau comme suit :



III-4-3-3 Données techniques de l'unité MSF : [30]

Tableau III.13 : données techniques de l'unité MSF

Données techniques	
Production de distillat (m ³ /h)	20.83-25.00
Impureté du distillat (mg/l)	Inférieur à 15
Température maximum de saumure (°C)	83-91
Quantité d'eau de mer (m ³ /h)	239-256
Salinité maximale de l'eau de mer (mg /l)	36000
Salinité maximale dans la saumure (mg/l)	65300
Débit de recirculation (m ³ /h)	239-256
Débit de saumure (m ³ /h)	31-37
Débit d'eau d'alimentation (m ³ /h)	52-62
Matières consommables	
Inhibiteur d'incrustation	Belgard EVN
<ul style="list-style-type: none"> • Taux de dosage (mg/l) • Consommation (kg /h) 	<ul style="list-style-type: none"> • 3.8 - 5.8 • 0.2 - 0.36
Produit anti-mousse	Belite M33
<ul style="list-style-type: none"> • Dosage saisonnier (mg/l) • Consommation (g/l) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1.0 • 26
Mazout (kg /l)	202-250
Gaz de chauffage (m ³ /h)	242 - 300 (15°C - 1.0 bar)

III-4-3-4 Description du procédé de l'installation :

L'eau de mer est refoulée par la pompe à travers le condenseur passant par le filtre. Une partie de l'eau de mer est dérivée avant d'entrer à la chambre d'eau du 18ème étage d'évaporateur pour créer les vides et refroidir le système de recirculation de l'aspiration d'air.

Une partie d'eau de mer provenant des étages de dissipation de chaleur retourne à la mer, l'autre partie remplace une partie de saumure rejetée et l'eau produite à l'alimentation ajoutant une solution d'inhibiteur d'incrustation prélevée du réservoir de produit chimiques.

L'eau de mer d'alimentation se mélange avec la saumure, pour être aspirée par la pompe de recirculation de saumure refoulant à travers les étages de récupération de la chaleur (1à15) ou elle est réchauffée par la chaleur d'évaporation de la vapeur condensée à chaque étage.

La saumure part du dernier condenseur pour se diriger vers le réchauffeur final qui est chauffé par l'eau de chaudière augmentant sa température avant son entrée dans le 1er étage de l'évaporateur, la pression de ce dernier est légèrement inférieure à la pression de saturation, qui correspond à la température d'entrée de la saumure, faisant ainsi évaporer une partie de celle-ci. La buée ascendante passe par un séparateur d'humidité et se condense finalement sur les parois des tubes du condenseur, dans la partie supérieure de l'étage de l'évaporateur.

La saumure s'écoule dans la partie inférieure de l'étage par des passages spéciaux ou elle se dirige vers la chambre suivante, avec une pression inférieure à la pression de saturation qui correspond elle-même à la température de la saumure, de ce fait une nouvelle partie de la saumure s'évapore de nouveau et ainsi de suite, ce processus se répète à chaque étage.

Les gaz incondensables sont évacués par la pompe d'éjection de vapeur et celle d'éjection d'eau, ce gaz se trouvent dans les vapeurs et se composent de l'air infiltré et surtout des gaz dissous dans l'eau de mer, libérés pendant le processus d'évacuation. Le distillat tombe à goutte des parois dans les cuves de distillat, ce dernier traverse les ouvertures de passage pour arriver d'étage à la pompe de distillat.

- Rejet de distillat \longrightarrow conductivité >30
- Stockage du distillat \longrightarrow conductivité < 30

Une partie de la saumure concentrée est rejetée du dernier étage, par la pompe de rejet à travers le canal de rejet (Figure III.14). [31]

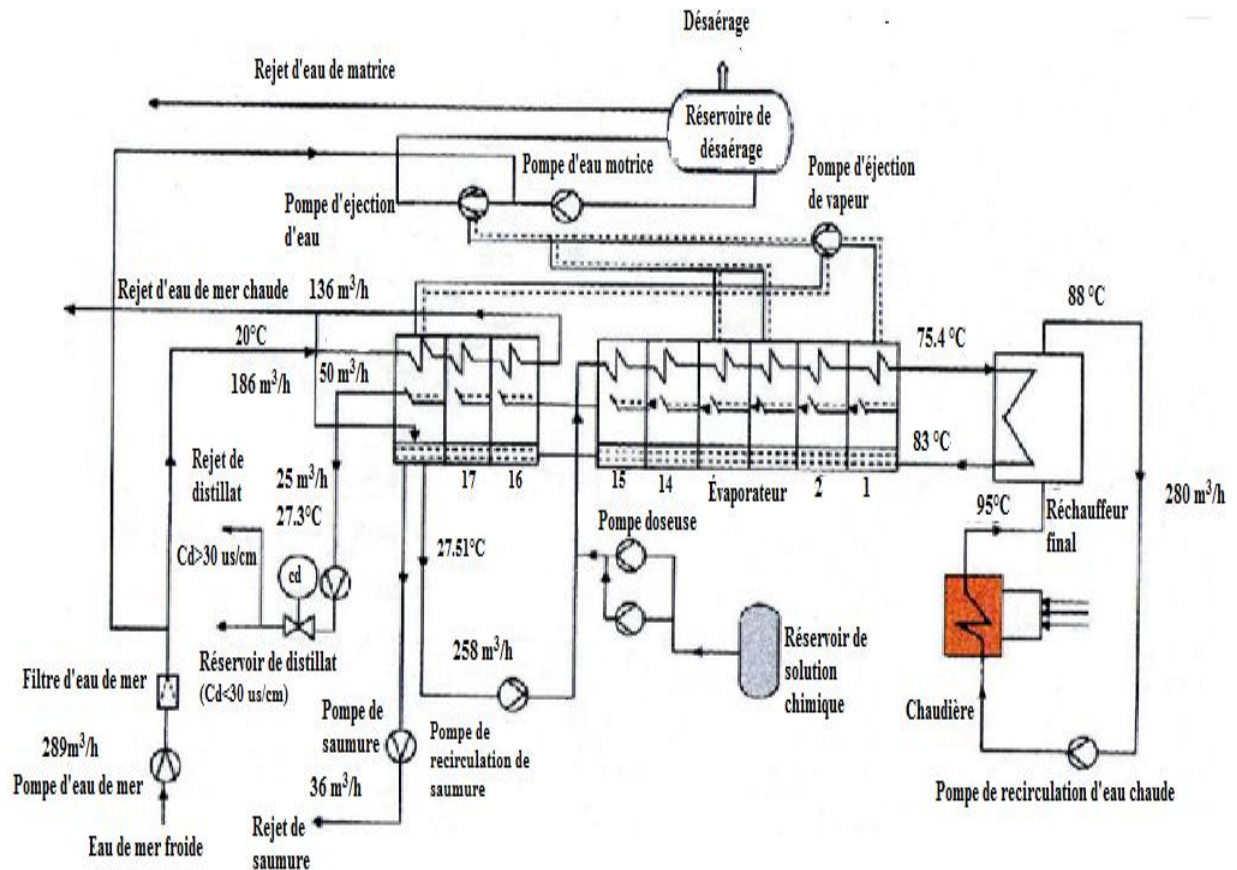


Figure III-14 : installation de dessalement de la centrale thermique de cap Djinet

III-5- L'unité de déminéralisation à lit mélangé :

III-5-1- Introduction :

La station de déminéralisation a pour but de transformer l'eau dessalée en eau pure grâce à un procédé d'échange ionique, ce qui supprime les sels dissouts pour éviter les risques de corrosion et d'entartrages des différentes canalisation et circuit de fonctionnement.

La centrale thermique de Cap Djinet utilise l'eau dessalée comme eau brute qui a une teneur en sel maximum de **20 mg/l** comme **NaCl** et une température maximale de **40°C**.

L'eau dessalée est retenue dans deux réservoirs de **2700 m³** chacun, et aspirée à travers les pompes de l'eau brute, jusqu'au filtres à lits mélangés. Ces derniers sont prévus avec une capacité nette de **40 m³/h** pour chacun, fonctionnant généralement en mode alterné, un sert à la déminéralisation, l'autre en réserve. L'eau déminéralisée doit correspondre dans sa qualité aux exigences d'eau d'appoint des chaudières à vapeur à haute pression, dont la conductivité électrique doit être inférieure à **0.1µs /cm** et la teneur en silice inférieure à **0.02mg/l**.

III-5-2 - Description de l'installation :

III-5-2-1- Les filtres à lit mélangés :

Le distillât de l'installation de dessalement de l'eau de mer stocké dans deux réservoirs de **2700 m³**, est pompé à la station de déminéralisation pour être refoulé vers les deux filtres à lits mélangés.

Un filtre à lits mélangés comprend le mélange d'échangeurs cationiques fortement acides, et les échangeurs anioniques fortement basiques. En service normal, l'eau à déminéraliser s'écoule de haut en bas à travers la couche des résines tel que :

- Les cations de l'eau sont absorbés par la résine cationique et échangés contre les ions **H⁺**
- Les anions sont absorbés par la résine anionique et échangés contre les ions **OH⁻**.

L'eau déminéralisée est envoyée vers les deux réservoirs de stockage de **1500 m³** pour chacun.

On injecte dans la conduite d'arrivée des deux réservoirs de stockage de l'ammoniac **NH₃** pour rehausser la valeur de ph de l'eau déminéralisée à plus de **9.5**. Une fois que les résines sont saturées, il y a lieu de procéder de régénération. [30]

III-5-2-2- La régénération :

La régénération permet une réactivation des résines. si la conductivité à la sortie des lits mélangés est importante, l'eau est de mauvaise qualité, ce dernier ne doit pas être utilisée pour les besoins de la centrale et surtout l'alimentation du générateur de vapeur.

La régénération des filtres à lits mélangés est nécessaire quand :

- La conductivité à la sortie des lits mélangés est supérieure à **0.1µs/cm**.
- La teneur en **SiO₂** est supérieure à **0.02mg/l**.
- La différence de pression entre l'entrée et la sortie des lits mélangés est supérieure à **1.5 bars**.

La régénération consiste à effectuer un rinçage des résines anioniques et cationiques, par deux solutions : solution de **HCl** concentrée à **5 %**, solution de **NaOH** concentrée à **5%**. Après un fonctionnement de 2 mois environ.

III-5-2-2-1 Compartiment de l'acide chlorhydrique HCl :

L'acide chlorhydrique à **30%** de concentration est stocké dans deux réservoirs, d'une capacité de **10 m³** pour chacun. Le remplissage des conteneurs par l'acide s'effectue par le refoulement avec l'air comprimé. La quantité

d'acide, nécessaire pour la régénération est transportée par deux pompes doseuses et diluée avec l'eau déminéralisée jusqu'à une concentration de **5%**.

III-5-2-2-2 Compartiment de la soude caustique NaOH :

La soude caustique à **99%** qui est livrée en forme solide (flacons, feuillets), est dissoute dans une cuve de dissolution équipée d'un agitateur à une concentration de **30%**, puis pompés par deux pompes de remplissage jusqu'au réservoir de stockage de **1800 L** de volume. La quantité nécessaire à la régénération est aspirée par deux pompes doseuses et diluée avec de l'eau déminéralisée jusqu'à une concentration de **5%**. [30]

III-5-2-3 Remplissage d'acide chlorhydrique et de la soude caustique :

Cette étape consiste au remplissage d'acide **HCl** et de la soude caustique **NaOH**. L'opération de remplissage acide et de soude dure **30 mn**.

- La solution **HCl** à **5%** passe à travers la couche de résine cationique de bas en haut.
- La solution de soude **NaOH** passe à travers la couche de résine anionique de haut en bas.

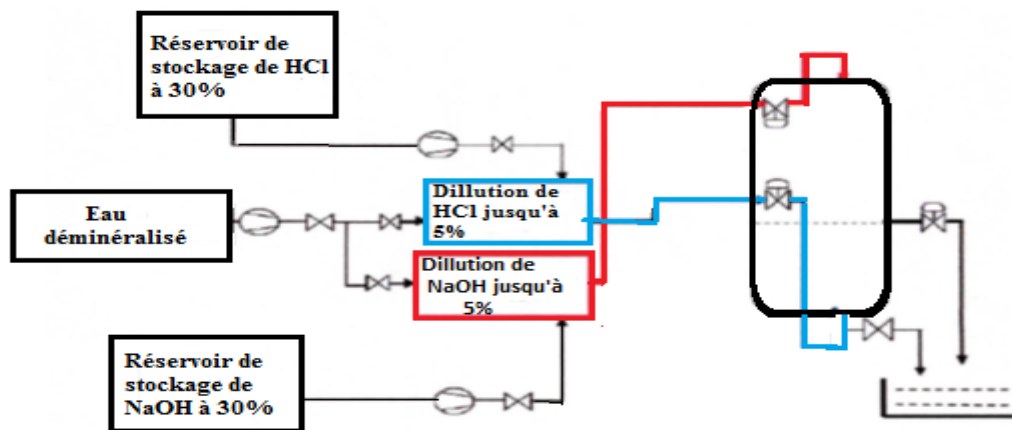


Figure III-15: remplissage de l'acide et la Soude.

III-5-2-4 Rinçage des résines :

Une fois que l'acide chlorhydrique et la soude caustique sont introduits, les pompes doseuses de HCL et **NaOH** s'arrêtent automatiquement. La pompe d'eau de dilution reste en service pour effectuer le lavage des résines pour enlever le **HCl** et le **NaOH**, cette opération dure **80 mn**.

Avant de passer à l'étape suivante, une pause de 30 secondes est nécessaire, pour arrêter complètement l'opération de lavage des résines.

III-5-2-5 Abaissement du niveau d'eau :

Cette étape consiste à stabiliser le niveau à l'intérieur du lit mélangé. Cette opération dure **30mn**. Le niveau d'eau doit diminuer pour se stabiliser à **10 cm** au-dessus des résines.

III-5-2-6 Reconstitution du mélange de résines :

Cette étape consiste à une reconstitution du mélange des résines. L'air fourni par le Compresseur est introduit par le bas du réservoir des lits mélangés et ressort par la partie supérieure. Lors de cette opération, le volume à l'intérieur du filtre augmente avec l'apport d'air pour reconstituer le mélange des résines. Cette opération dure **10 mn**.

III-5-2-7 Remplissage de l'espace vide :

Cette étape consiste au remplissage de l'espace vide du réservoir des lits mélangés jusqu'à ce que l'eau sorte par le point haut. Cette opération dure **5mn**.

III-5-2-8 Rodage du lit mélangé :

Cette opération consiste à faire une recirculation d'eau brute pour effectuer le lavage des résines, et mesurer la conductivité de l'eau sortant du réservoir.

- Si la conductivité est supérieure **10 µs/cm** l'eau est dirigée vers le rejet
- Si la conductivité est comprise entre **0.1** et **10 µs/cm** la recirculation est maintenue pendant **120mn**
- Si la conductivité est inférieure **0.1 µs/cm** l'eau déminée est dirigée vers les bâches de stockage. [30]

III-5-2-9 La neutralisation :

Cette étape consiste à effectuer une neutralisation des produits chimiques ayant servi à la régénération des lits mélangés tels que l'acide chlorhydrique **HCl** et la soude caustique **NaOH**. Le **HCl** et la soude caustique, étant des agents chimiques très corrosifs et agressifs, peuvent causer des dommages de l'installation de rejet et polluer l'environnement. Pour cela lors du rejet le pH doit être de **7** à **8**. [30]

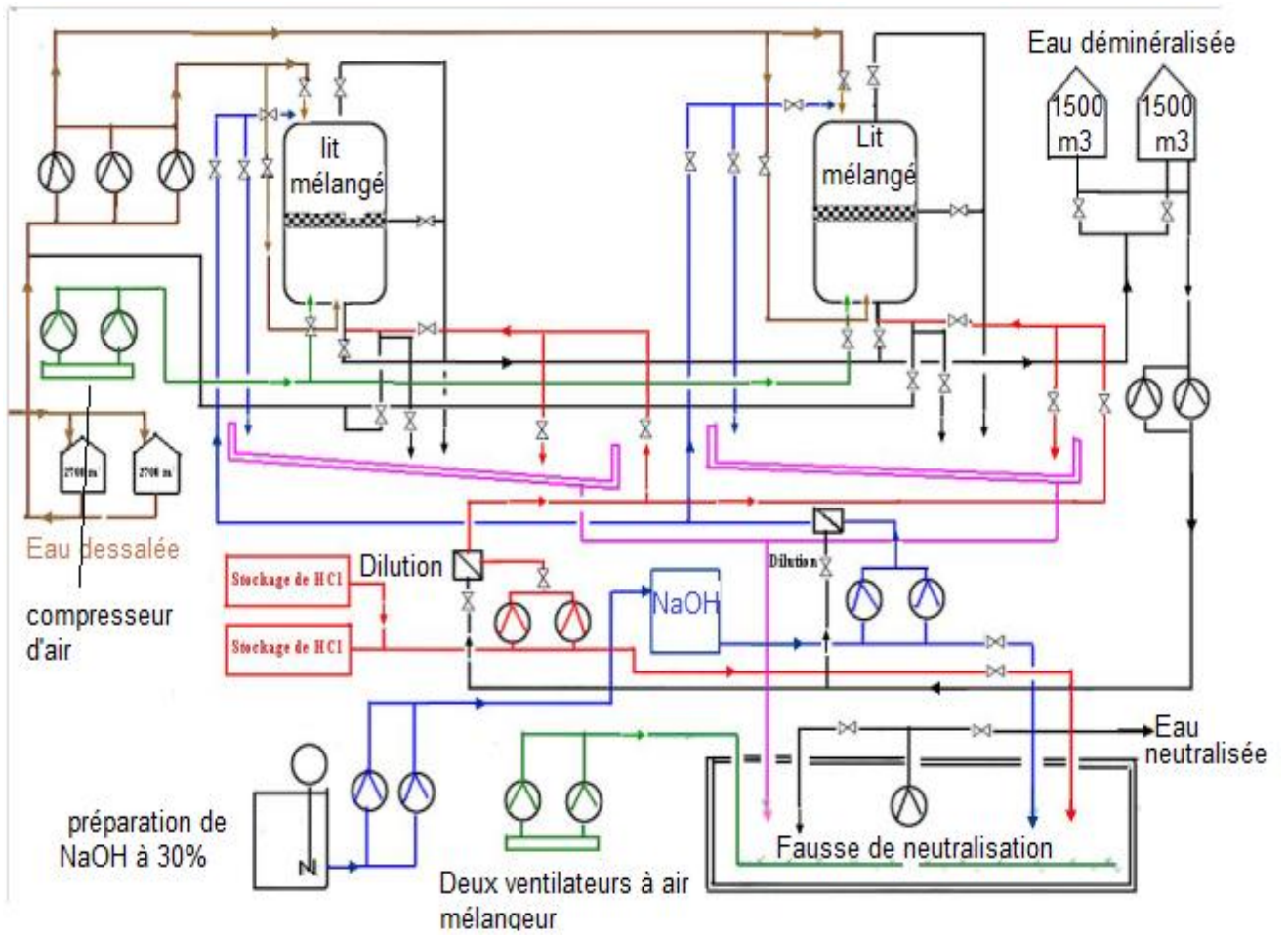


Figure III-16 : Installation de déminéralisation de la centrale thermique de Cap Djinet.

III-6 la combustion

III-6-1 Introduction :

De nombreuses industries travaillent à des températures très élevées, pour chauffer les produits aux températures requises, il faut réaliser des combustions à des températures encore plus élevées.

La combustion, et plus particulièrement celle des hydrocarbures gazeux ou liquides a beaucoup de paramètres et de facteurs qui se caractérise, donc il faut une bonne connaissance des facteurs qui affectent la combustion efficace des combustibles (quantité de combustible de comburant, l'excès d'air...) pour toute personne étudiant l'utilisation de l'énergie pour optimiser la combustion afin d'obtenir le meilleur rendement. [30]

III-6-2 Définition de la combustion :

III-6-2-1 Définition générale :

La combustion recouvre l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent au cours de l'oxydation complète ou partielle du carbone et de l'oxygène, des combustibles usuels.

III-6-2-2 Réaction chimique de combustion :

La réaction chimique de combustion ne peut se produire que si l'on réunit trois éléments :

- Un combustible.
- Un comburant.
- Une source d'inflammation ou source d'énergie (une énergie d'activation en quantités suffisantes).

On présente de façon symbolique cette association par le triangle du feu de la même manière, la combustion cesse dès qu'un élément du triangle est enlevé. (Figure III.17).



Figure III-17: le triangle du feu.

III-6-2-3 Le combustible :

Le combustible peut être :

- ✓ Un solide formant des braises (bois, papier, carton, tissu, pvc...).
- ✓ Un liquide ou solide liquéfiable (essence, gasoil, huile, Kérosène, polyéthylène, polystyrène).
- ✓ Un métal (fer, aluminium, sodium, magnésium...).
- ✓ Un gaz (butane, propane, méthane, dihydrogène ...).

III-6-2-4 Le comburant :

Est l'autre réactif de la réaction chimique. La plus part du temps, il s'agit de l'air ambiant et plus particulièrement de l'un de ses composants principaux, le dioxygène. L'azote neutre est le comburant le plus courant, tel que :

La composition en volume ou en moles de :

- ✓ l'air-oxygène : **20.95%**
- ✓ Azote : **79.05%**

III-6-2-5 Energie d'activation :

Le plus souvent, la réaction est déclenchée par une énergie d'activation. Il s'agit généralement de la chaleur.

III-7 La chaudière

III-7-1 Introduction :

La chaudière ou le générateur de vapeur a pour rôle de transformer l'eau d'alimentation en vapeur surchauffée à haute température et pression avec une enthalpie élevée alimenté le groupe turboalternateur.

Elle représente la partie où se déroule la transformation de l'énergie chimique dégagée par le combustible en énergie thermique.

Elle est constituée d'un ensemble d'échangeurs et d'équipements annexes permettant de transférer l'énergie thermique fournie par le combustible ou une source chaude à un fluide caloporteur, ce fluide peut être liquide (eau huile métaux fondus) ou gaz (air vapeur saturée ou surchauffée).

III-7-2 Description de la chaudière :

Les chaudières utilisées dans la central CAP DJINET sont de type à circulation naturelle (construction SGP Autriche). Elle comporte les constituants qui sont représentés dans la (figure III.18) [30]

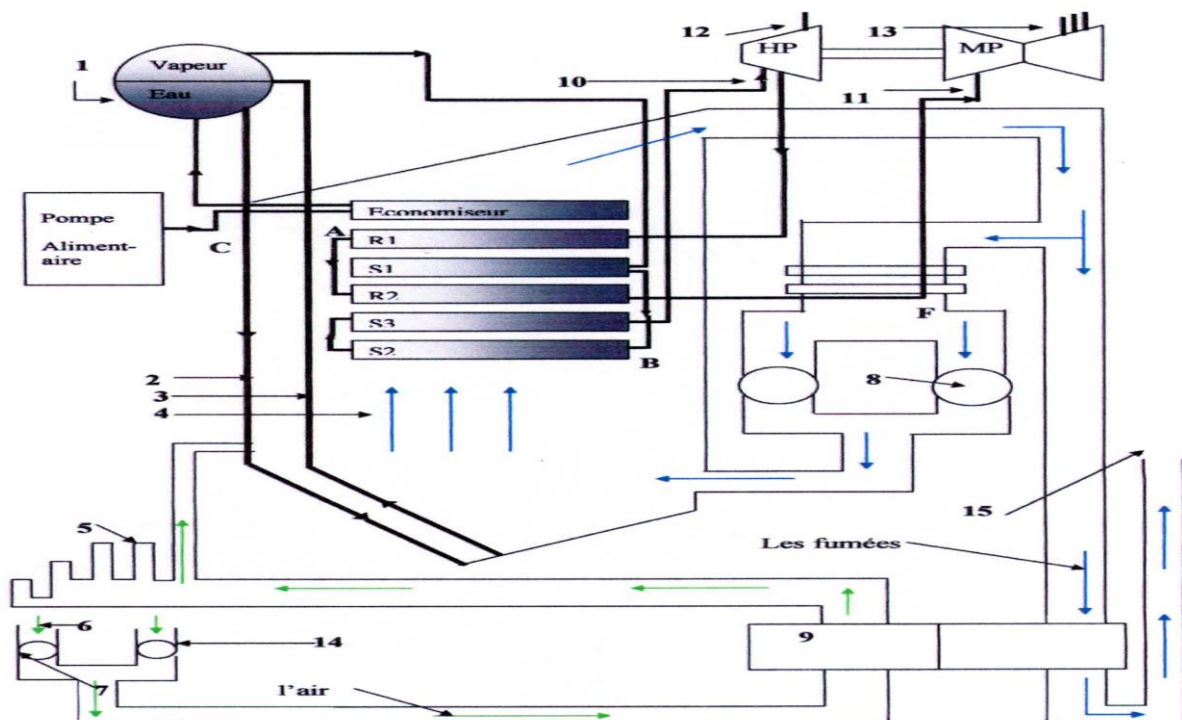


Figure III-18 : Schéma de la chaudière.

Légende :

1. Le ballon
2. Les colonnes de descente
3. Les écrans vaporisateurs
4. Le foyer de la chaudière
5. Les bruleurs (8 bruleurs)
6. Les ventilateurs de soufflage d'air
7. Préchauffage d'air par soutirage de la vapeur
8. Les ventilateurs de recyclage des fumées
9. Réchauffeur d'air rotatif (L.JUNGSTROM)
10. Entrée de vapeur surchauffée à la turbine (HP)
11. Entrée de vapeur surchauffée à la turbine (MP)
12. Soutirage de la turbine (HP)
13. Soutirage de la turbine (MP)
14. Entrée d'air comburant
15. Cheminée (évacuation des fumées vers l'atmosphère)

➤ Les dimensions de la chaudière sont :

- Hauteur 17000mm
- Longueur 9675mm
- Largeur 9375mm

III-7-2-1 générateur de vapeur

- Débit de vapeur minimale Q_{\min} 130t/h $P_i=44\text{MW}$
- Débit de vapeur maximale Q_{\max} 530t/h $P_m=176\text{MW}$
- Débit de vapeur nominale Q_{min} 523t/h $P_n=176\text{MW}$

Tableau III-14: caractéristique des vapeurs

Type de vapeur	Caractéristiques	
Vapeur surchauffée	Pression de service vapeur surchauffée	160 bars
	Pression du timbre	172 bars
	Température de l'eau d'alimentation	262°C
	Température de vapeur surchauffée	540°C
Vapeur resurchauffée	Pression de vapeur resurchauffée	36 bars
	Pression du timbre	40 bars
	Température de vapeur resurchauffée	540 bars
	Température d'entrée de vapeur	350°C

III-7-2-2 Chambre de combustion :

C'est le lieu où s'effectue la transformation de l'énergie chimique (Energie potentielle) de la combustion en énergie calorifique tout en assurant la présence de la quantité du combustible (gaz) comburant et l'étincelle. Cette chambre est dotée sur une de ses quatre faces de huit bruleurs reparties sur quatre étages. La chambre de combustion est équipée de :

- Regards sur les parois latérales et arrière pour contrôler la combustion.
- Deux caméras pour transmettre en salle de commande l'image des flammes des bruleurs.
- Des portes de visite sur différents étages de la chaudière.

III-7-2-3 bruleurs :

Les bruleurs ont pour fonction de réaliser la combustion et donc d'assurer, le mélange du combustible (fuel) et du comburant (gaz naturel), de façon à ce que chaque molécule de l'un puisse trouver la ou les molécules de l'autre, auxquelles elle va s'associer, la stabilité de la combustion

➤ Caractéristique de bruleurs :

- Nombre de lance a gaz par bruleur 06.
- Débit gaz naturel $5000\text{Nm}^3/\text{h}$
- Débit gaz minimal 5000Nm^3

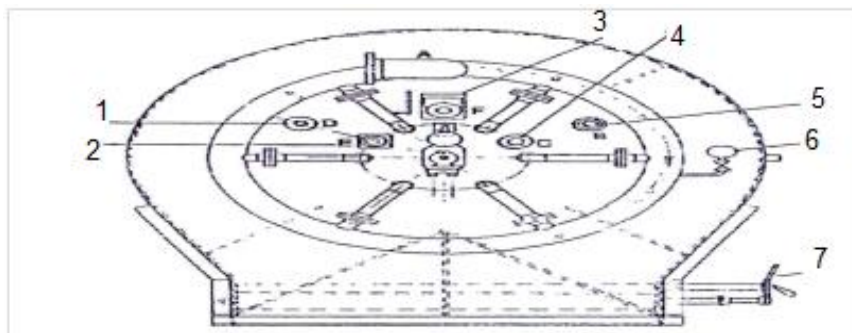


Figure III-19 : Schéma d'un bruleur

Légende :

1. Cellule photoélectrique détecteur flamme (bruleur au fuel).
2. Bruleur d'allumage
3. Elément de commande de turbulence.
4. Tube regard.
5. Détecteur de flamme (bruleur à gaz)
6. Manomètre.
7. Clapet d'air primaire

III-7-2-4 Economiseur :

C'est une tuyauterie en forme de serpent, il se trouve en fin de parcours des gaz de combustion (partie supérieur de la chaudière). Il a comme fonction principale ; la réception, le réchauffement, et le guidage de l'eau d'alimentation vers le ballon chaudière ; il prend la chaleur des fumées de la chaudière comme source thermique.

➤ Caractéristiques de l'économiseur :

Tableau III-15: caractéristiques de l'économiseur.

Type	tuyauterie en forme de serpent
Pression de service	164.3 bar
Débit de fumée traversant l'économiseur	550 ou 650 t/h
Débit d'eau d'alimentation	523 t/h
Volume d'eau	10.5m ³
Surface de chauffe	2080 m ²
Nombre de tube de liaison au ballon	22
Nombre de nappe horizontal	22

III-7-2-5 Ballon chaudière :

C'est un réservoir où se trouvent les deux fluides eau et vapeur. Son rôle est de séparer l'eau et la vapeur et d'assurer la circulation naturelle. L'eau venant de l'économiseur entre dans la moitié inférieure du ballon chaudière et la moitié supérieure reçoit de la vapeur venant des tubes écrans qui sortent vers le surchauffeur primaire. La séparation est effectuée à l'aide de séparateurs cyclones.

Tableau III.16 : caractéristiques du ballon chaudière.

Timbre	172 bars
Pression de service	160 bars
Volume d'eau	26.9m ³
Température	347°C
Longueur totale	13000 mm
Diamètre intérieur	1626 mm
Epaisseur	87 mm
Nombre de séparateur cyclone	66

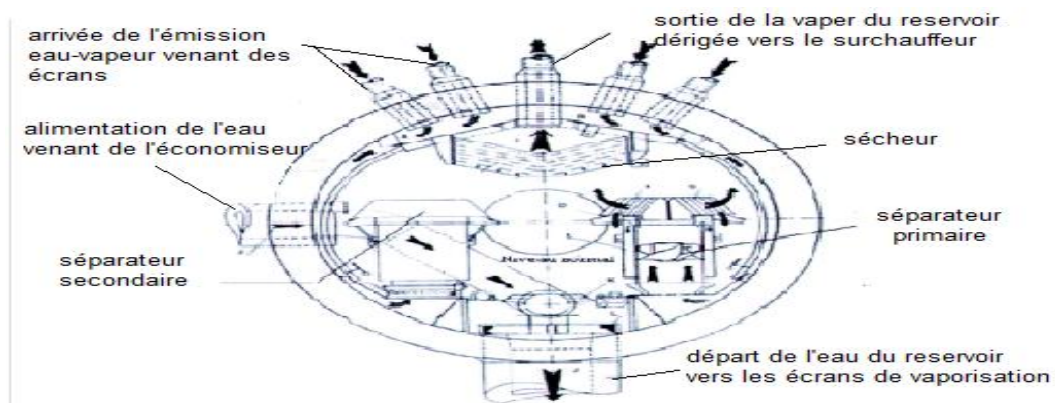


Figure III-20: Schéma du ballon chaudière.

III-7-2-6 Surchauffeurs :

Ce sont des échangeurs, et il y a trois (3) qui servent à surchauffer la vapeur à partir d'une vapeur saturée. Ils sont montés en lignes séparées parallèles par les resurchauffeurs, dans le parcours des gaz de combustion. Donc, il est possible de compenser des différences de température du côté gaz de fumée grâce au surchauffeur 1 et 2.

Tableau III.17 : caractéristiques des surchauffeurs.

caractéristiques	Surchauffeur primaire	Surchauffeur secondaire	Surchauffeur final
Nombre de files	2x128	4x64	2x128
Diamètre extérieur (mm)	38	33.7	33.7
Epaisseur (mm)	3.6 – 4.5	4 - 5	4 – 5
Surface de chauffe (m ²)	1565	581	538
Pression de service (bar)	160	150	145.6
Température sortie (°C)	427	485	540

III-7-2-7 Resurchauffeurs :

Ce sont des échangeurs de chaleur qui servent à resurchauffer la vapeur sortante de corps haute pression de la turbine avant de l'envoyer vers le corps moyenne pression par récupération de l'énergie thermique contenue dans la fumée, la température de celle-ci augmente une seconde fois, mais gardent la pression de détente constante. Ils sont deux montés en lignes parallèles. Entre resurchauffeurs 1 et 2 se trouvent les dés chauffeurs (à droite et à gauche) qui servent à la stabilisation de la température de sortie.

Tableau III-18 : caractéristiques des resurchauffeurs.

caractéristiques	Resurchauffeur primaire	Resurchauffeur secondaire
Surface de chauffe	1832 m ²	929 m ²
Pression de sortie	39 bars	37 bars

III-7-2-8 Désurchauffeurs :

Servent à régler la température de la vapeur en limitant toutes ses élévations excessives par injection de l'eau sur cette vapeur (pulvérisation).

L'eau à injecter venant de :

- La conduite d'alimentation, pour la désurchauffe de la vapeur surchauffée
- Le deuxième étage de la pompe d'alimentation, pour la désurchauffe de la vapeur resurchauffée.
- La température d'eau d'injection dans le désurchauffeur de la vapeur surchauffée est 154.4 °C.

➤ caractéristiques des désurchauffeurs :

Tableau III-19: caractéristiques des désurchauffeurs.

caractéristiques	Désurchauffeur de la vapeur surchauffée	Désurchauffeur de la vapeur resurchauffée
Débit d'eau	35.7 t/h	4.6 t/h
Pression d'entrée	165.4 bar	60 bars

III-7-3-les organes auxiliaires de la chaudière :

III-7-3-1 Ventilateurs de soufflage :

Il y a deux ventilateurs de soufflage, ont pour le rôle de fournir l'air nécessaire à la combustion au générateur de vapeur.

III-7-3-2 Réchauffeur d'air rotatif :

Sert à réchauffer l'air de combustion par récupération de la chaleur des fumées. Pour :

- Accélérer des réactions de combustion

- Diminuer de l'encrassement par réduction des suies de fait d'une combustion plus complète.

Le réchauffeur d'air rotatif est entraîné par un moteur électrique triphasé, et par un moteur alimenté en courant continu en secours.

III-7-3-3 Préchauffeurs d'air à vapeur :

Servent à l'augmentation de la température d'air de combustion. Ceci permet de régler la température de l'air de telle sorte qu'aucune condensation ne se forme sur les tôles de réchauffeur rotatif. Le pré chauffeur d'air à vapeur est alimenté par les soutirages du corps MP.

➤ caractéristiques :

Tableau III.20 : caractéristiques du préchauffeur d'air à vapeur

puissance	4999000 kcal/h
débit d'air	299700 Nm/h
entrée d'air	20°C
sortie d'air	70 °c
fluide chauffant	vapeur (8bar ,250°C)
volume de vapeur surchauffée	10019 kg

III-7-3-4 ventilateurs de recyclage :

Les ventilateurs de recyclage ramènent une quantité des fumées produites lors de la combustion à l'intérieur de foyer afin de régler la température de la vapeur à la sortie de la surchauffeur. Cette quantité est réglée par registres de turbulence coté aspiration des ventilateurs.

III-7-3-5 Cheminée :

La cheminée est de hauteur de 60 mètres au-dessus du sol. Elle est équipée à son sommet de :

- une passerelle d'entretien avec échelle d'accès
- un balisage aérien
- protection par parafoudre

III-7-4 Fonctionnement de la chaudière :

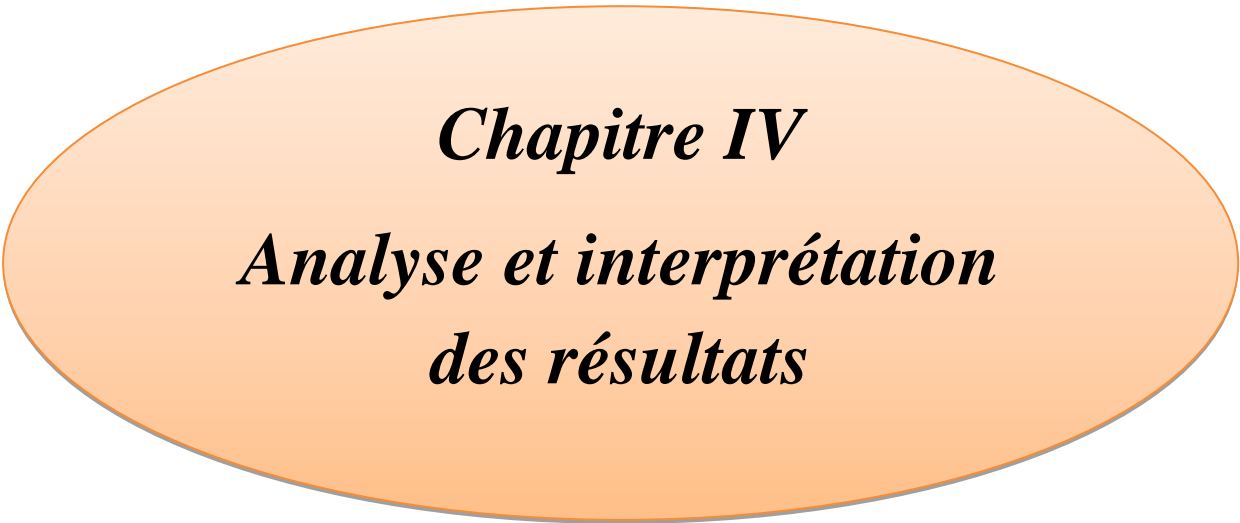
Le premier élément traversé par l'eau d'alimentaire dans la chaudière afin d'augmenter sa température, c'est l'économiseur, ensuite le ballon chaudière, à partir de la chambre de combustion cette eau traverse les tubes écrans qui sont exposés aux rayons des flammes. On obtient un mélange eau-vapeur qui remonte au ballon de chaudière dans lequel on aura la partie inférieure qui est constituée d'eau et la partie supérieure constituée de la vapeur.

Cette vapeur continuera son chemin vers le corps HP après avoir traversé les trois surchauffeurs. Cette dernière va subir une détente dans le corps HP de la turbine, après elle va passer par les resurchauffeurs et est renvoyée au corps MP, puis au corps BP de la turbine.

III-7-5 les circuits thermiques de la chaudière :

Afin d'améliorer notre compréhension concernant le principe de fonctionnement de la chaudière et leurs organes, on fait une description des circuits thermiques de la chaudière qui sont répartis en deux et toutes les valeurs numériques sont présentées à pleine charge 176Mw

- circuit air-fumées
- circuit eau-vapeur



Chapitre IV
Analyse et interprétation
des résultats

Introduction :

A fin d'aboutir au but souhaité de ce travail, il était primordial qu'on passe par deux parties, faire un traitement de l'eau de mer à fin de suivre les caractéristiques physicochimiques de l'eau durant le traitement, et analyser les rejets atmosphériques issues de la combustion. Pour cela on a procédé aux étapes citées si dessous.

En premier, nous avons parlé des différentes technologies de traitement utilisées dans la centrale thermique de cap Djinet pour le traitement de l'eau de mer.

En deuxième lieu, nous avons parlé des différentes analyses physicochimiques nécessaires effectuées sur les eaux traitées des trois niveaux (eau de mer, eau dessalée et les eaux de canal de rejets final) à fin de déduire la qualité de l'eau et efficacité du processus utilisé.

La saumure déchargée des deux unités (dessalement et de déminéralisation), retourne à la mer, cette solution est très concentrée et polluée, donc elle peut affecter le milieu aquatique. A fin de minimiser cette pollution, la décharge de saumure est faite par l'intermédiaire de l'eau de refroidissement de la centrale électrique puis rejetée dans le canal évacuant l'eau de mer ver la mer directement passant par une bonne dilution.

Quatre prélèvements vont être analysés : l'eau de mer, rejet de dessalement (saumure) et l'eau rejetée dans le canal de rejets final évacuant ver la mer. Ce qui nous prévient sur l'efficacité ou non du processus employé.

En fin, l'analyse des rejets atmosphériques résultants de la combustion.

IV- 1 Analyses et interprétations des résultats des rejets liquides

IV-1-2 Prélèvement des échantillons :

Le prélèvement est une opération un peu délicate, il doit être représentatif sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau. Il permet de définir les caractéristiques et la qualité de l'eau en un instant donné et durant une période déterminée plus ou moins longue.

➤ Conservation des échantillons :

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide de bouteilles en polyéthylènes qui sont lavés et séchés soigneusement. Ils sont étiquetés et conservés à 4C° pendant le transport au laboratoire. Les échantillons pris sont donnés comme suit :

- Echantillon de l'eau de mer pompée vers l'unité de dessalement.
- Echantillon de l'eau dessalée dans l'unité de dessalement nommée aussi distillat.
- Echantillon de la saumure sortante de l'unité de déminéralisation.
- Echantillon prélevé du canal de rejet final contenant l'eau de mer, l'eau de recirculation et la saumure.

IV-1-3 Analyses effectuées au niveau de la centrale thermique de Cap Djinet :

Le tableau suivant représente les différentes méthodes d'analyse effectuées au niveau de la centrale thermique de Cap Djinet.

Tableau IV-21 : Analyses effectuées au niveau de la centrale thermique de Cap Djinet (Annexe 1-19)

Paramètre d'analyse	Méthode d'analyse
Ph	pH mètre
Conductivité électrique	Conductimétrie
TH	Complexométrie
TA	Volumétrie
TAC	Volumétrie
Chlorures	volumétrie
fer, cuivre, sulfates, phosphates, nitrites, nitrates, sodium, potassium	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire
Calcium ; magnésium	Complexométrie

Pour l'évaluation de l'efficacité du traitement des eaux adaptées dans la centrale thermique de Cap Djinet, il est nécessaire de suivre l'évolution des caractéristiques physicochimiques de l'eau durant le traitement.

IV-1-4 Contrôle de l'efficacité du procédé de dessalement et de déminéralisation :

IV-1-4-1- Résultats des analyses physicochimiques de l'eau de mer :

Tableau IV.22 : Analyses physicochimiques de l'eau de mer

Paramètres	unités	Essais			Moyenne
		1	2	3	
Température	C°	18	21.9	19	19.6
pH	/	8.3	8.4	8.3	8.33
Conductivité	ms/cm	45.5	52.6	51.4	49.83
salinité	g/l	38.4	38.9	38.6	38.63
TA	mg/l	6.4	5.6	5.2	5.72
TAC	mg/l	52.4	54.8	53.6	53.6
CO ₃ ⁻²	mg/l	12.8	11.2	10.4	11.46
HCO ₃ ⁻	mg/l	39.6	43.6	43.2	42.13
TH	mg/l	3120	3360	2968	3149.2
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	584	480	544	536
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	2536	2880	2424	2613.3
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	18376.8	19143	1887.3	13135.7
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	3071	-	-	3071
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/l	0.132	-	-	0.132
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/l	0.2	-	-	0.2
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	1.1	-	-	1.1
Sodium (Na ⁺)	mg/l	13401	-	-	13401
Potassium (K ⁺)	mg/l	418	-	-	420
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0.023	-	-	0.023
Cuivre	mg/l	0.029	-	-	0.029
silice	mg/l	0.145	-	-	0.145

IV-1-4-2- Résultats des analyses physicochimiques de l'eau traitée :

Tableau IV.23 : Analyses physico-chimiques de l'eau traitée

paramètres	unités	Eau dessalée (distillat)				Eau déminéralisée			
		essais				essais			
		1	2	3	Moy	1	2	3	Moy
Température	C°	19	23.9	24.2	22.3	18	18.2	19	18.4
Ph	-	7.59	7.58	7.59	7.58	7.29	7.18	7.19	7.22
Conductivité	µs/cm	12.58	12.63	12.59	12.6	0.03	0.06	0.05	0.14
Salinité	mg/l	17.12	17.24	17.1	17.1	0.00	0.00	0.00	0.00
TA	mg/l	00	00	00	00	00	00	00	00
TAC	mg/l	1.6	0.8	1.6	1.04	00	00	00	00
CO ₃ ⁻²	mg/l	00	00	00	00	00	00	00	00
HCO ₃ ⁻	mg/l	1.6	0.8	1.6	1.33	00	00	00	00
TH	mg/l	5.2	4.4	5.2	4.93	00	00	00	00
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	0.8	1.2	0.8	0.93	00	00	00	00
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	4.4	3.2	4.4	4	00	00	00	00
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	6.36	7.09	6.36	6.6	00	00	00	00
Sulfates	mg/l	2.8	-	-	2.8	00	00	00	00
Phosphates	mg/l	00	-	-	00	00	00	00	00
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/l	00	-	-	00	00	00	00	00
Nitrates	mg/l	0.1	-	-	0.1	00	00	00	00
Sodium Na ⁺	mg/l	2.18	-	-	2.18	00	00	00	00
Potassium K ⁺	mg/l	0.18	-	-	0.18	00	00	00	00
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0.014	-	-	0.014	0.0011	-	-	0.0011

cuivre	mg/l	0.039	-	-	0.039	0.001	-	-	0.001
silice	mg/l	0.022	-	-	0.022	0.0011	-	-	0.0011

➤ Interprétation des résultats :

Pour une analyse large des résultats enregistrés dans les tableaux précédents, et à fin de pouvoir apprécier la qualité de traitement, on a eu recours aux tracés des courbes déterminant les différentes qualités d'eaux analysées.

IV-1-4-2-1 pH et température :

➤ pH :

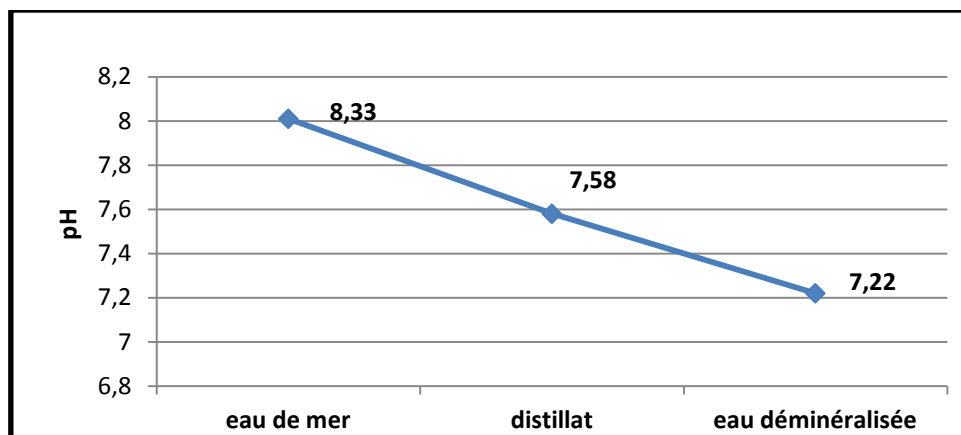


Figure IV-21 : Evolution du pH en fonction des eaux traitées.

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. On constate d'après les résultats obtenus que le pH est à 8.33 dans l'eau de mer à cause de la minéralisation des sels d'acides forts qui sont à caractère acide. Ensuite dans le distillat il diminue pour atteindre une valeur de 7.58, et il prend la valeur de 7.22 (presque la neutralité) dans l'eau déminéralisée après l'élimination des sels à caractère basique.

➤ Température :

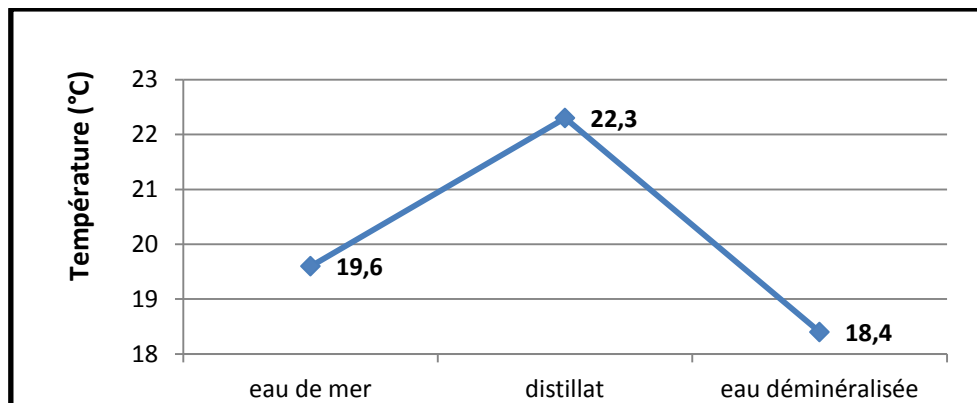


Figure IV-22: Evaluation de la température durant les phases de traitement.

D'après les résultats obtenus pour les trois qualités d'eau, on remarque une légère variation entre la température de l'eau de mer et celle de l'eau déminéralisée, due probablement aux changements climatiques et les courants marins.

Cependant, une évolution de la température de l'eau dessalée (distillat) jusqu'à 22.3°C qui revient au procédé de distillation lui même qui est basé sur le principe de l'évaporation. En général la température n'a pas d'effet néfaste sur la qualité de l'eau produite.

IV-1-4-2-2 La conductivité et la salinité :

➤ Conductivité :

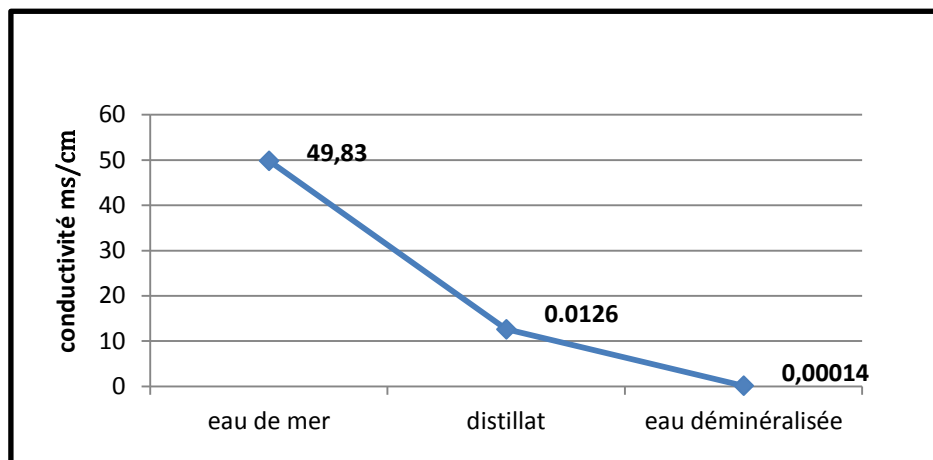


Figure IV-23: Evolution de la conductivité en fonction des eaux traitées.

➤ Salinité :

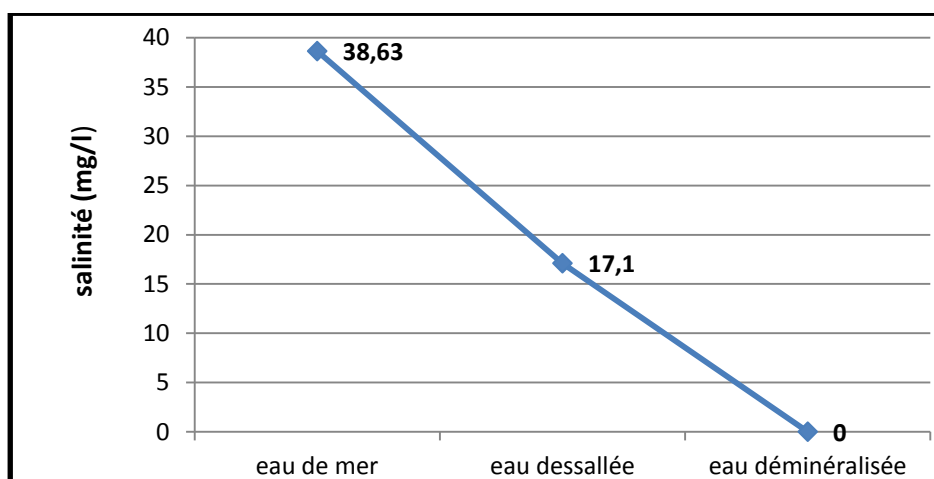


Figure IV-24 : Evolution de la salinité en fonction des eaux traitées.

D'après les résultats obtenus pour les trois qualités d'eau, on remarque que la conductivité de l'eau de mer est très grande (**38.6 $\mu\text{s}/\text{cm}$**) car elle est trop salée. Après la distillation, nous constatons une forte diminution de la conductivité du distillat estimée de **17.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$** . En fin, nous obtenons une conductivité résiduelle de **0.14 $\mu\text{s}/\text{cm}$** , par traitement sur lit mélangé, ce qui dénote l'absence des sels révélés par la figure (IV.24). Même constatation pour la salinité.

Donc on peut dire que ces deux procédés sont performants et très appropriés pour assurer un bon fonctionnement des chaudières destinées à faire fonctionner les turbines.

IV-1-4-2-3 La dureté totale TH :

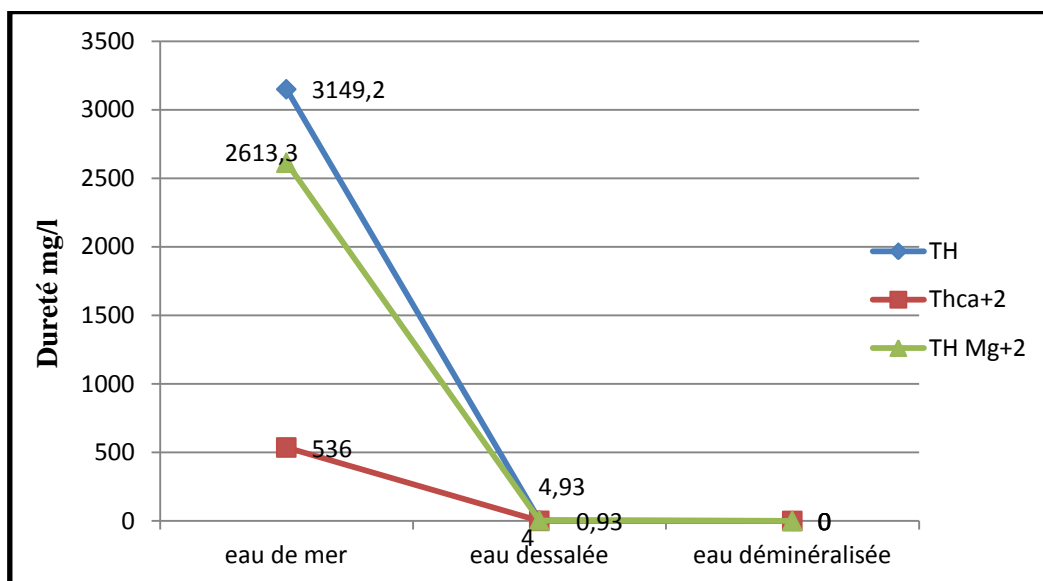


Figure IV-25 : Evolution de la dureté totale TH, TH_{Ca+2} et TH_{Mg+2} en fonction des eaux traitées.

La dureté d'une eau correspond essentiellement à la somme des concentrations en cations Ca^{+2} et Mg^{+2} . Dans l'eau de mer, la concentration de Mg^{+2} est plus grande que celle du Ca^{+2} (estimée plus que le double).

La valeur de TH de l'eau de mer est de (**3149.2 mg/l**) qui est une valeur normale pour une eau de mer très salée. Après la distillation, on remarque que la majeure partie de la dureté est éliminée, le reste qui est due à une fuite ionique, est fixé par les lits mélangés qui permet d'avoir une TH nulle.

IV-1-4-2-4 Le titre alcalimétrique TA et TAC :

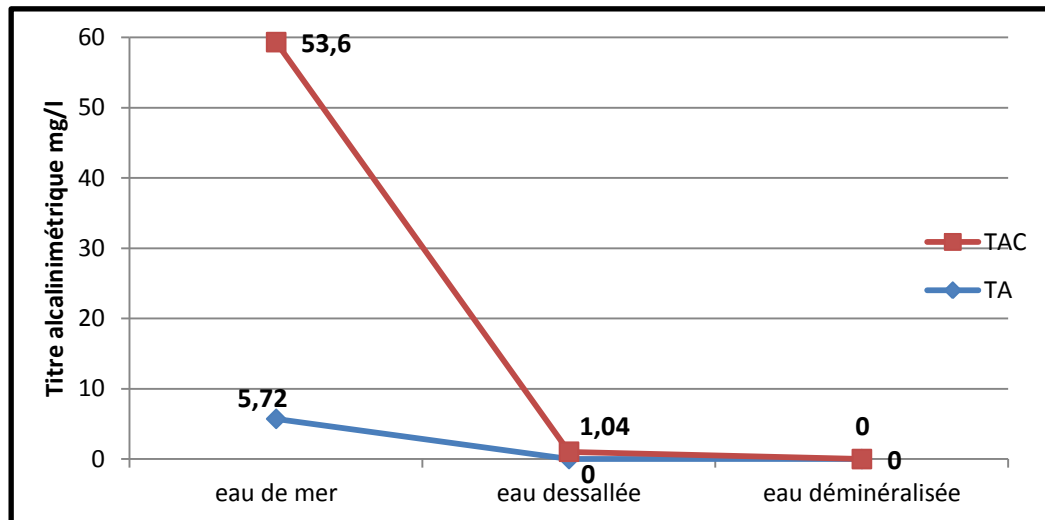


Figure IV-26 : Evolution du TA et TAC en fonction des eaux traitées.

On constate ici, que l'alcalinité est constituée principalement des hydrogénocarbonates HCO_3^- et un résidu de carbonates (CO_3^{2-}) car notre titre alcalimétrique TA n'est pas nul (5.72 mg/l), et la concentration en ions hydroxydes (OH^-) est nulle.

La valeur du TAC de l'eau de mer est de 53.6 mg/l. L'alcalinité est complètement éliminée par le procédé de distillation, transformée en CO_2 et H_2O , une fuite résiduelle de 1.04 mg/l de TAC est ensuite éliminée par le lit mélangé (TAC=0 dans l'eau déminéralisée).

IV-1-4-2-5 Chlorure, sodium et potassium :

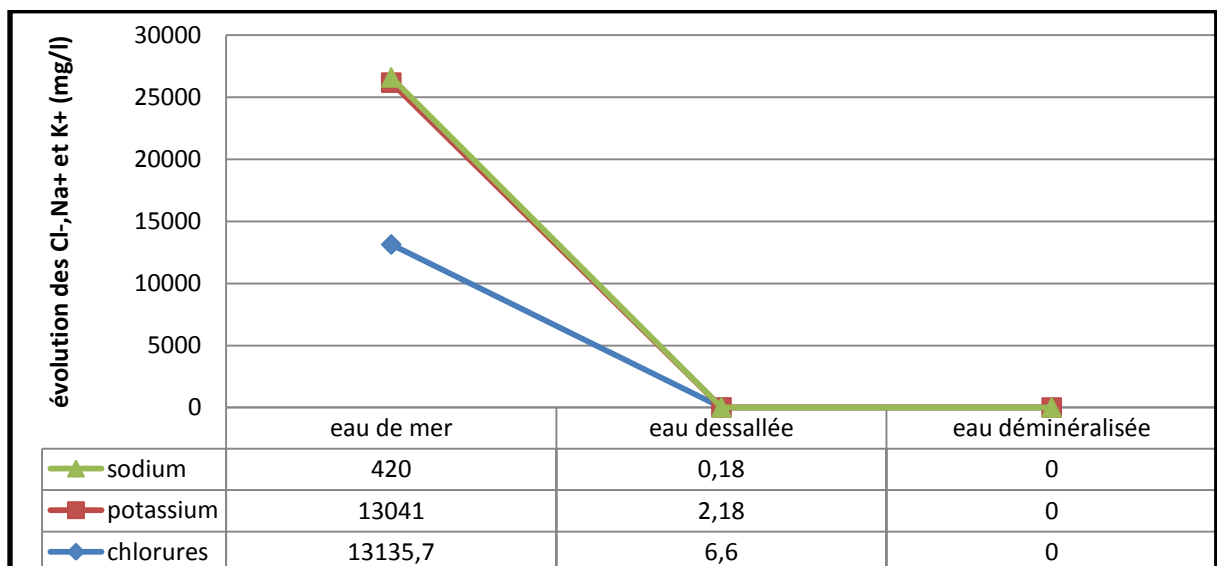


Figure IV-27 : Evolution des chlorures, potassium et du sodium en fonction des eaux traitées

on constate que les procédés de distillation et de déminéralisation sur lits mélangés utilisés pour le traitement de l'eau de mer qui est chargée en grandes quantités de chlorures (Cl^-), de sodium (Na^+) et de potassium (K^+), sont très efficaces pour l'élimination totale de ces derniers.

IV-1-4-2-6 Fer, Cuivre et Silice :

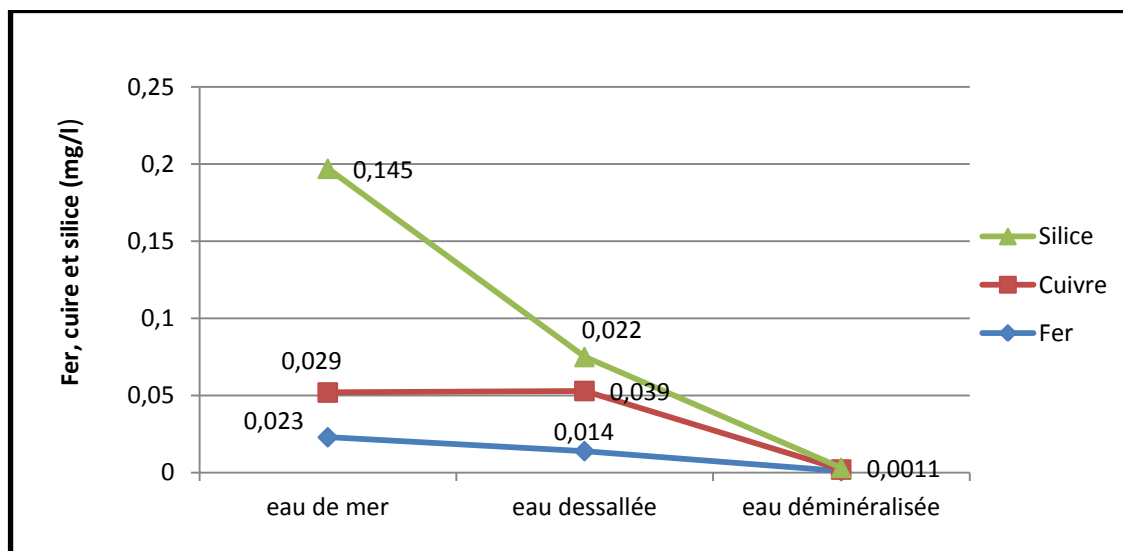


Figure IV-28 : Evolution du Fer, Cuivre et Silice en fonction des eaux traitées.

La plus grande partie du Fer est éliminée par la distillation tandis que la teneur du Cuivre augmente très peu au cours de ce procédé. Cette augmentation revient probablement à un certain passage des ions cuivre dans l'eau venant de la dissolution du Cuivre constituant la canalisation, la cuve de distillation et le condenseur étant en cuivre, (elles sont fabriquées à base de cuivre et de nickel).

La Silice se trouve avec une très faible quantité, ce qui veut dire son élimination par le procédé de distillation ensuite par la déminéralisation sur lit mélangé.

IV-1-5 Analyses physico-chimiques des eaux du canal de rejets final :

A fin d'effectuer notre bilan environnemental des rejets de la centrale (saumure et eau évacuée au canal de rejets), nous avons procédé à des analyses physico-chimiques de la saumure rejetée et l'eau du canal de rejets final.

Tableau IV.24 : Analyses physico-chimiques de la saumure et de l'eau de canal de rejets final.

paramètres	unités	saumure				Eau de canal de rejet			
		Essais				Essais			
		1	2	3	Moy	1	2	3	Moy
Température	°C	20	19	19.8	19.6	22	21.8	22	21.93
pH	-	8.38	8.35	8.37	8.36	8.4	8.3	8.3	8.33
conductivité	ms/cm	88.3	88.43	88.23	88.32	53.59	54.2	54.16	53.98
salinité	mg/l	68579	68578.6	68578	68578.5	40771.4	40772	40771.8	40771.73
TA	mg/l	20.8	16.4	18.8	18.4	11.2	9.2	10	10.12
TAC	mg/l	68.4	62.4	60.8	63.84	56.4	49.6	55.2	53.72
CO ₃ ⁻²	mg/l	43.2	32.8	36.8	37.6	22.4	18.4	20	20.26
HCO ₃ ⁻	mg/l	26.8	29.6	23.2	26.53	34	31.2	35.2	33.46
TH	mg/l	4640	4160	4280	4360	2968	3088	3360	3138.64
TH _{Ca} ⁺²	mg/l	824	766	792	794	584	560	568	570.66
TH _{Mg} ⁺²	mg/l	3816	3394	3512	3407.3	2384	2528	2792	2568
Chlorures (Cl)	mg/l	31905	34315.6	36868	34362.8	21553.6	21411.8	21624.5	2152.9
Sulfates	mg/l	4971	-	-	4971	0.895	-	-	0.895
Phosphates	mg/l	0.251	-	-	0.251	0.137	-	-	0.137
Nitrites (NO ₂ ²⁻)	mg/l	0.4	-	-	0.4	0.36	-	-	0.36
Nitrates	mg/l	2.09	-	-	2.09	1.2	-	-	1.2
Sodium Na ⁺	mg/l	25231	-	-	25231	12954.5	-	-	12954.5
potassium k ⁺	mg/l	850.66	-	-	850.66	451.5	-	-	451.5
Fer	mg/l	0.066	-	-	0.066	0.069	-	-	0.069
Cuivre	mg/l	0.061	-	-	0.061	0.021	-	-	0.021
Silice	mg/l	0.2	-	-	0.2	0.151	-	-	0.151

➤ Interprétation des résultats :

La saumure provenant des unités de dessalement est très chargée en sel. Elle est deux fois plus concentrée par rapport à celle de l'eau de mer. La conductivité de la saumure atteint une valeur maximale de (84.2ms/cm) (due probablement à l'évaporation de l'eau de mer). Avant rejet, la saumure subit une dilution avec les eaux de refroidissement (eau de mer) ce qui va baisser la conductivité pour qu'elle devienne équivalente à celle de l'eau de mer. Mais l'impact des additifs et produits chimiques utilisés durant les processus (Belite, Belgar, HCl) est considérablement non négligeable, car ils ont un effet néfaste sur l'écosystème du milieu marin (faune et la flore).

IV-1-5-1 Contrôle des rejets de chaque unité :**IV-1-5-1-2 Rejets de l'unité de dessalement :**

Dans cette partie, on va vérifier la qualité de l'eau dessalée et effectuée un bilan des caractéristiques de ces rejets afin de qualifier l'eau rejetée.

Tableau IV.25: caractéristiques des rejets de dessalement

Rejets	mesures	valeurs limites de consigne	valeurs mesurées
saumure de recirculation	Ph	8	7.8
	conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	112	88
	TA ($^{\circ}\text{F}$)	/	3
	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	/	20
rejet de saumure	pH	8	8.3
	conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	120	84.2
	TA ($^{\circ}\text{F}$)	/	4.6
	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	/	15.96

IV-1-5-1-2-1 Interprétation des résultats :➤ **pH :**

On remarque que le pH de la saumure de recirculation est égale à **7.8**, cette simple différence est due à l'injection des produits chimiques (Antitartre : Belgard EVN à **3.5 mg/l** et anti mousse : bisulfite de sodium NaS_2O_3).

➤ **Conductivité :**

La conductivité de rejet de saumure est de (**84.2 $\mu\text{s/cm}$**), elle est inférieure à celle de la saumure de recirculation (**88 $\mu\text{s/cm}$**), ceci est due à la dilution (avec l'eau de mer) de la saumure dans la zone de dissipation de chaleur. Lors de l'appoint d'eau de mer, il est nécessaire de maintenir un certain niveau de saumure dans l'évaporateur pour éviter le phénomène de fluage, ce système est muni d'une pompe qui aspire l'excès de la saumure, cet excès est appelé rejet de saumure (paramètre à analyser et interpréter).

➤ **TA et TAC :**

Les résultats trouvés montrent que la saumure de recirculation et la saumure rejetée contiennent des ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- .

IV- 2 : Analyses et interprétations des rejets atmosphériques.

IV-2-1 Introduction :

Dans cette deuxième partie, on va analyser et quantifier les éléments atmosphériques intervenant dans la combustion, donc en amont du réchauffeur d'air rotatif. Ensuite on va qualifier notre air en aval du réchauffeur d'air rotatif. Afin d'effectuer notre bilan environnemental des rejets atmosphériques de la centrale.

IV-2-2 Analyses effectuées :

IV-2-2-1 Analyse de la combustion en amont du réchauffeur d'air rotatif :

Le tableau suivant représente les différents éléments intervenant dans la combustion, donc ceux de l'analyse en amont du réchauffeur d'air rotatif, pendant cinq (05) essais successifs.

Tableau IV.26 : Analyse de la combustion en amont du réchauffeur d'air rotatif.

Taux de gaz	unités	essai 1	essai2	essai 3	essai 4	essai 5
O ₂	%	2.75	2.49	1.26	1.85	2.44
CO ₂	%	10.32	10.49	11.29	10.85	10.52
CO	ppm	0	0	0	0	0
SO ₂	ppm	0	0	0	0	0
NO	ppm	213.6	208	208	213	225
NO ₂	ppm	0.4	0.6	0.2	0.6	1
NO _x	ppm	214	209	208	213	266
Perte de gaz de combustion Q _A	%	13.2	12.8	12.7	13	13.2

Pour une analyse large des résultats enregistrés dans le tableau précédent, et à fin de pouvoir effectuer une analyse de la combustion issue des gaz introduits en amont du réchauffeur rotatif, on a eu recours aux tracés des courbes déterminant la variation des taux de chaque gaz pendant cinq jours.

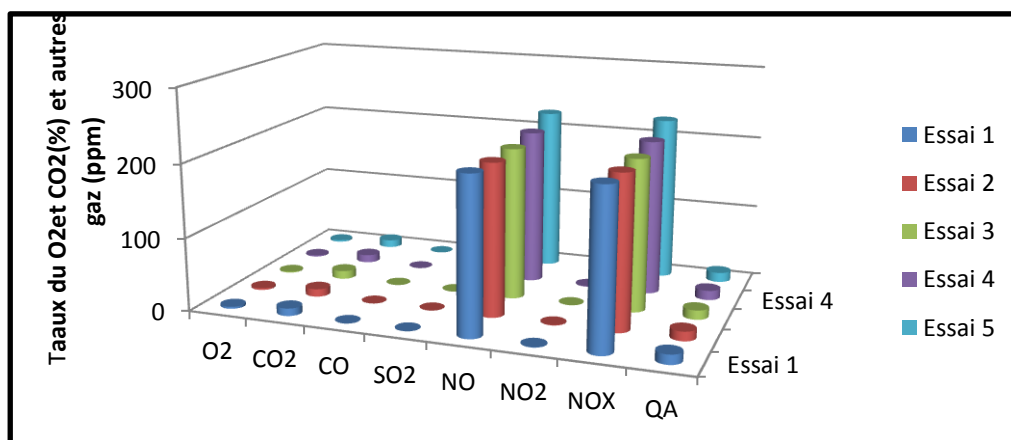


Figure IV-29 : Evaluation du taux des différents gaz intervenant dans la combustion.

➤ **Interprétation des résultats :**

L'oxygène :

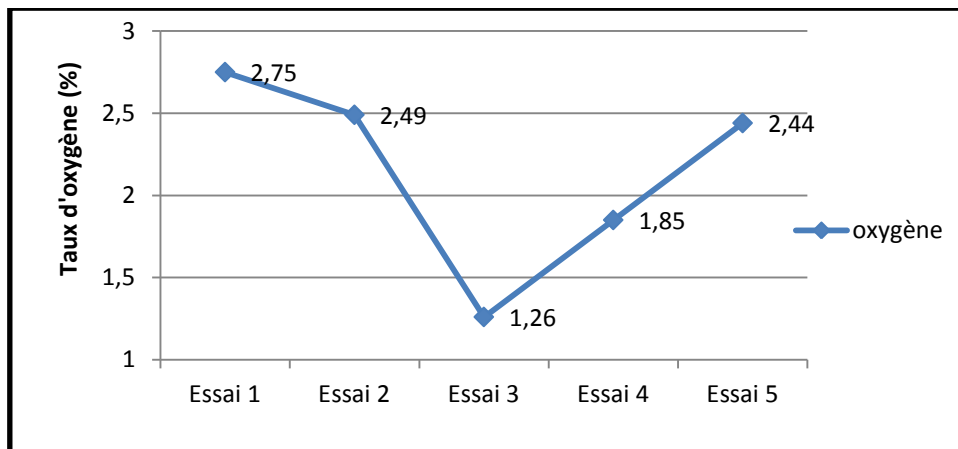


Figure IV-30 : Evolution du taux d'oxygène introduit en amont du réchauffeur d'air rotatif.

On remarque, que le taux d'oxygène introduit dans les cinq (05) essais connaît une variation négligeable (entre 2.75 et 2.44%), mais au troisième essai il connaît une diminution qui confirme la bonne combustion.

➤ **Le CO₂ et le CO :**

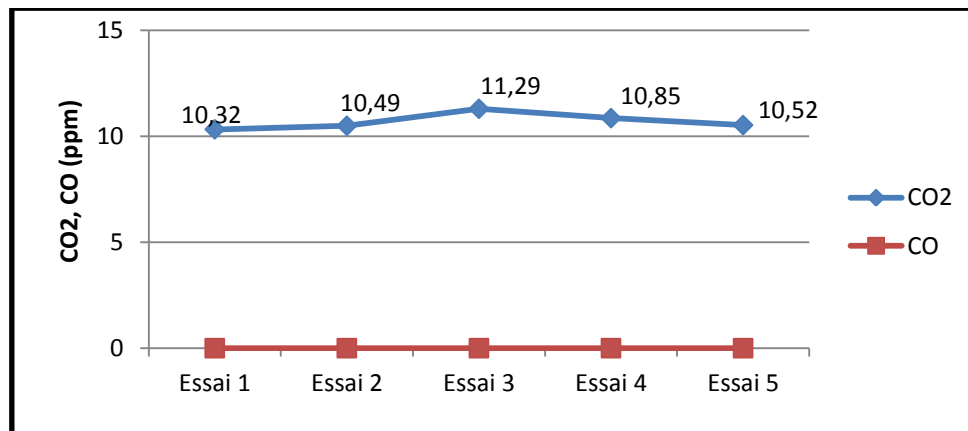


Figure IV-31 : Evolution du CO₂ (%) et du CO (ppm) en amont du réchauffeur rotatif.

Le taux du CO₂ est presque le même avec de faibles valeurs, il connaît une variation très négligeable pendant les 05 essais, mais il augmente le troisième essai pour atteindre un taux de 11.29 %. L'émission de ce CO₂ est due à la combustion du gaz naturel et cela revient à la bonne consommation de l'oxygène utilisé selon les besoins journaliers de la chaudière.

Dans les 05 essais, l'absence du CO est due à la mauvaise qualité de la combustion provoquée par la mauvaise alimentation en combustible (gaz naturel). Il apparaît principalement dans le cas où la combustion est faite par le Fuel.

➤ **NO, NO₂ et le NO_x :**

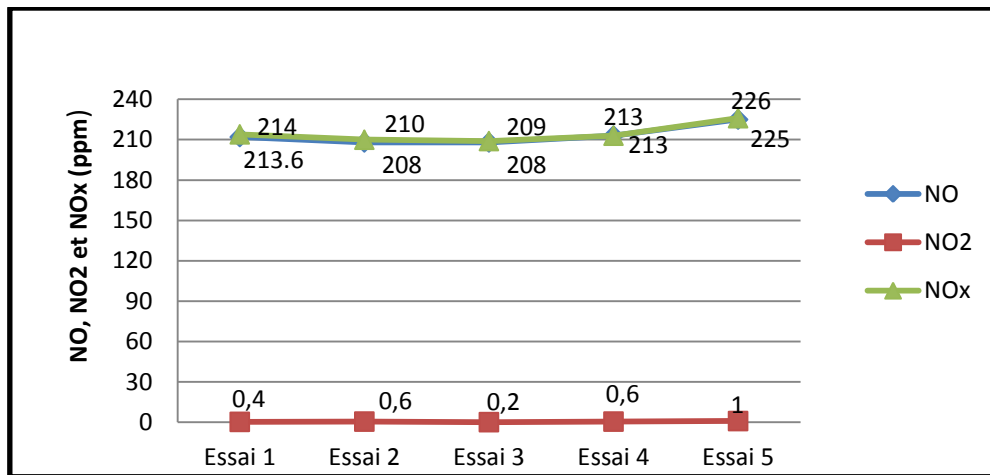


Figure IV-32 Evolution du NO, NO₂ et du NO_x en amont du réchauffeur d'air rotatif

On remarque, que les valeurs de NO et NO_x sont très proches approximativement avec quelques variations très négligeables. La formation du NO est due à l'oxydation de l'azote de l'air dans la chambre de combustion où la température de flamme de la chaudière peut atteindre 1600 (°C).

Le NO₂ émis connaît de faibles valeurs négligeables dans les cinq essais (de 0,2 à 1 ppm). Il se forme à partir de la réaction de l'oxygène de l'air avec les composés contenant de l'azote, liés chimiquement dans le combustible (gaz naturel). C'est ce qui explique la bonne formation des NO et NO_x qui consomment beaucoup d'oxygène.

➤ **La perte de charge (Q_A) :**

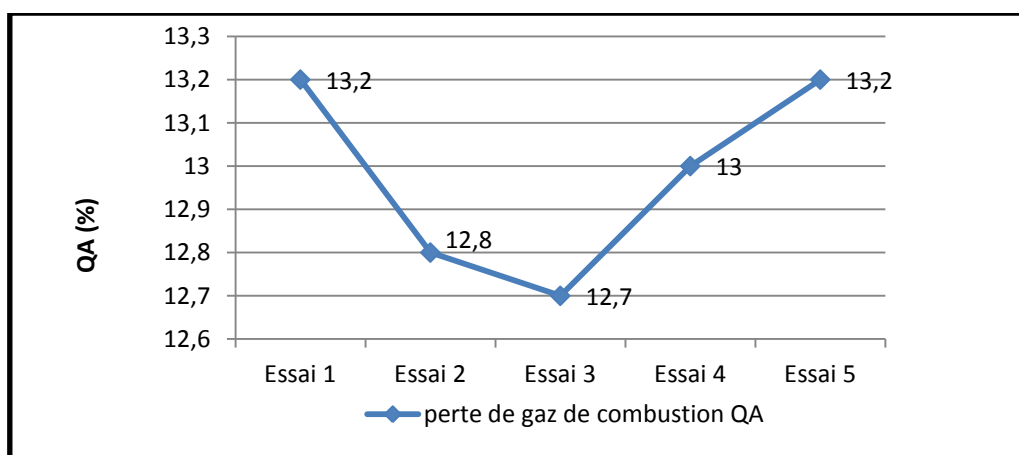


Figure IV-33 : Evolution du taux de perte de charge en amont du réchauffeur d'air rotatif.

IV-2-3-2 Analyses en aval du réchauffeur d'air rotatif :

Le tableau suivant représente les différents gaz sortants (les rejets atmosphériques) en aval du réchauffeur d'air rotatif après la combustion pendant cinq (05) jours successifs.

Tableau IV-27: Analyse en aval du réchauffeur d'air rotatif

Les gaz	unités	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
O ₂	%	6.5	6.72	4.55	6.34	6.74
CO ₂	%	7.9	8.09	9.32	8.31	8.08
CO	ppm	0	0	0	0	0
SO ₂	ppm	0	0	0	0	0
NO	ppm	179	167	181	186	185
NO ₂	ppm	3.2	3	3	3.4	4
NO _x	ppm	183	170	184	186	189
Pertes de gaz de combustion QA	%	4	3.9	3.6	3.9	3.9

Pour une analyse large des résultats enregistrés dans le tableau ci-dessus et afin de pouvoir effectuer une analyse de la combustion des gaz sortants en aval du réchauffeur rotatif, on a eu recours aux tracés des courbes déterminant la variation de chaque gaz étalée sur cinq essais.

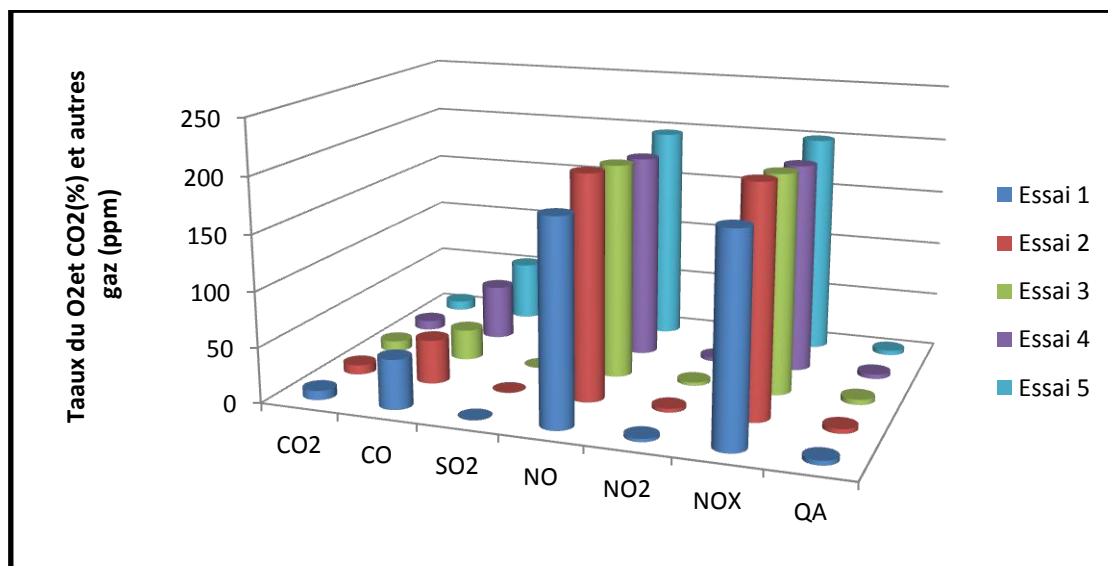


Figure IV-34 : Evaluation des différents gaz sortants après la combustion en (%) et (ppm).

➤ Interprétation des résultats :

Afin d'interpréter les résultats enregistrés, on aura recours à des courbes de chaque gaz.

➤ Le CO₂, CO et L'oxygène :

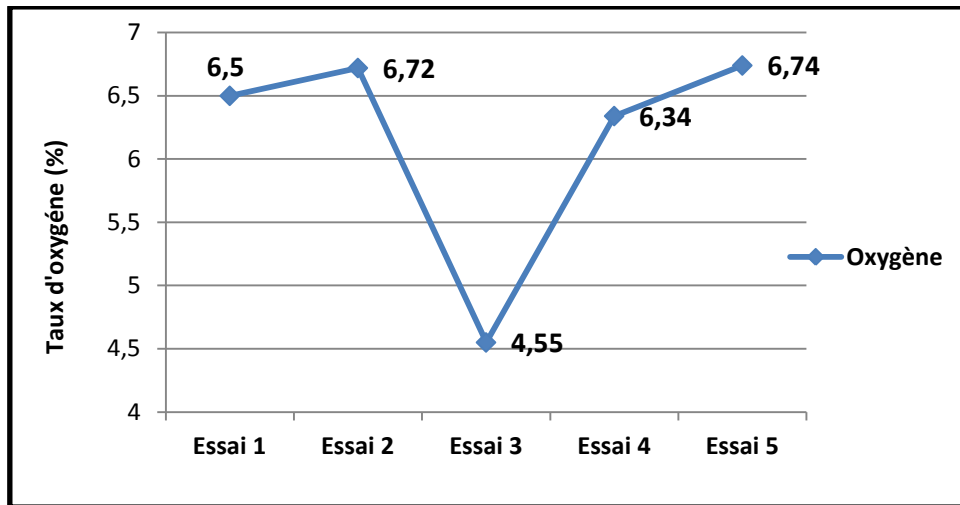


Figure IV-35 : Taux d'oxygène en aval du réchauffeur d'air rotatif

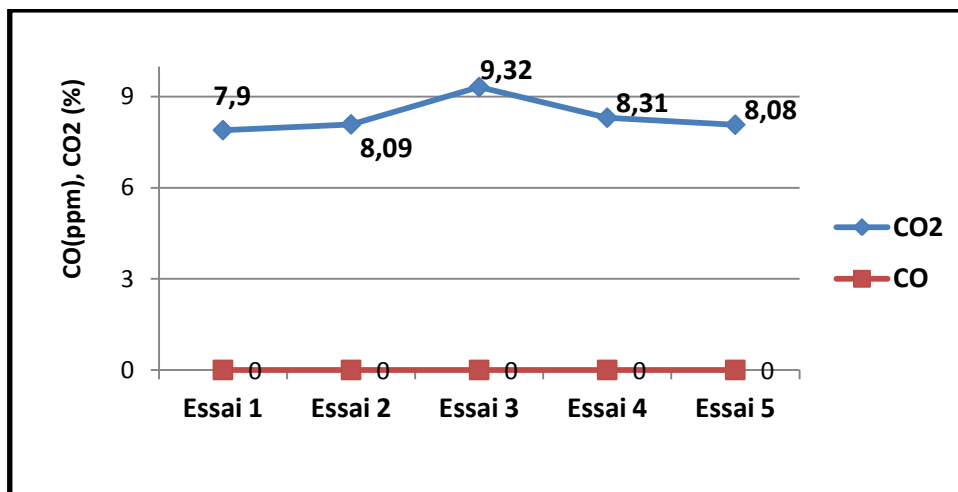


Figure IV-36 : Evolution du CO₂(%) et CO (ppm) en aval du réchauffeur d'air rotatif

Ces variations peuvent être dues principalement aux conditions d'exploitation de la chaufferie (personnel, maintenance et le réglage des paramètres de fonctionnement). La bonne combustion nécessite une bonne consommation d'oxygène ce qui explique les résultats obtenus précédemment, donc une grande émission du CO₂.

➤ Le NO, NO₂ et le NO_x :

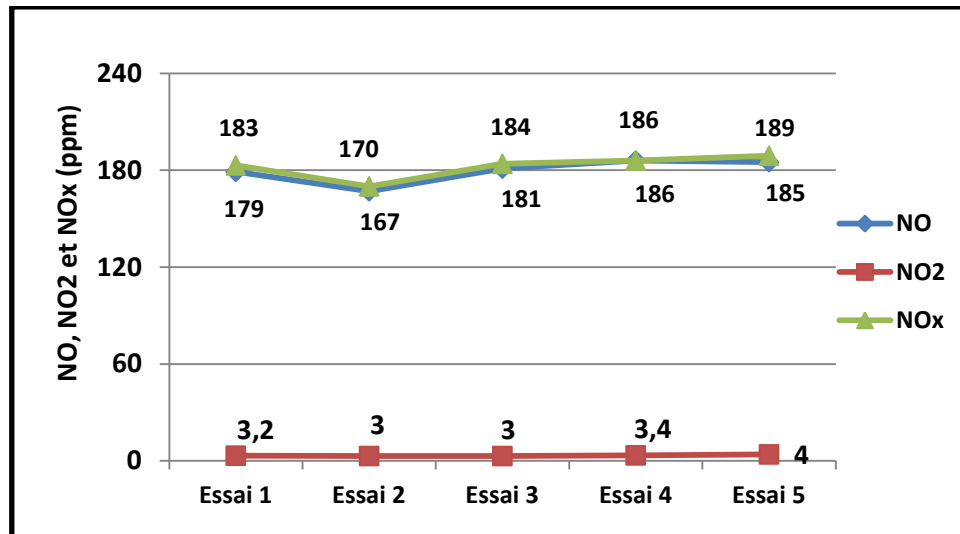


Figure IV-37 : Evolutions du NO, NO₂ et NO_x en aval de réchauffeur d'air rotatif

On remarque une bonne formation des NO_x et NO dues à la bonne consommation d'oxygène et un taux faible de formation des NO₂ à cause du manque d'oxygène qui a été consommé déjà par les NO et les NO_x.

➤ La perte de gaz (Q_A) :

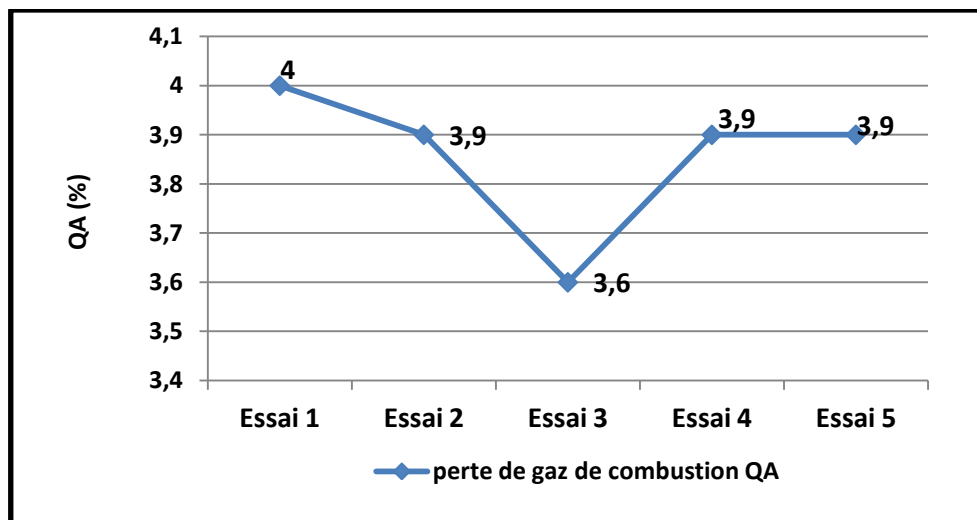


Figure IV-38 : Evolution du Q_A en aval du réchauffeur d'air rotatif

La diminution de la perte de charge correspond à la variation de la quantité d'oxygène, ce qui confirme l'influence des conditions d'exploitation de la chaufferie (personnel, maintenance et réglage des paramètres de fonctionnement).

IV-3 Conclusion :

La station de dessalement de Cap Djinet est basée sur la technique d'MSF qui a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages, son fonctionnement est relativement simple (une pompe à basse pression et température).

- D'après les résultats obtenus dans les différents tests physico-chimiques de l'eau produite par l'unité de dessalement de Cap Djinet, on note que les étapes de prétraitement utilisées produisent une eau de bonne qualité qui répond aux normes Algériennes, et qui garantie le bon entretien de l'équipement de la station.
- La saumure comparativement à l'eau de mer présente une salinité beaucoup plus élevée, ce qui est l'inconvénient majeur du dessalement, qui a des impacts sur l'environnement et un effet nocif sur la vie marine et aquatique. Ce qui va être étudié et interprété dans la partie suivante du travail.

Chapitre V

***Impacts des rejets de la
centrale de Cap Djinet sur
l'environnement***

V-1 Introduction :

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

Dans le cas des installations de dessalement d'eau de mer, des problèmes peuvent se poser dans le cas où les rejets de saumures sont évacués aux larges et éventuellement dilués par les courants marins. En effet, outre une concentration en sels plus élevée, les rejets de saumure peuvent contenir des produits de corrosion (chrome, nickel, molybdène, cuivre...) ainsi que des réactifs utilisés (antitartres, anti mousses, produits anticorrosion, coagulants, composés organochlorés...).

En général, les émissions atmosphériques des unités de dessalement consistent seulement en azote et oxygène provenant d'unités de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour réduire la corrosion, en rejets des éjecteurs (unité MSF) ou des dégazeurs.

En outre, la production d'énergie destinée à être utilisée dans l'unité de dessalement accroît les émissions atmosphériques. Des augmentations substantielles des émissions atmosphériques peuvent également se produire si une centrale thermique ou une installation de production couplée est construite dans le cadre d'un projet de dessalement [21].

En cet effet, on étudiera dans cette partie les différents impacts des rejets de la centrale thermique de Cap Djinet sur l'environnement.

V-2 Différentes émissions et rejets de la centrale :

V-2-1 Les produits chimiques:

L'unité de dessalement de la centrale utilise des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartres, anti-salissures et anti mousses, ils finissent par définir la composition de la saumure concentrée (influence de la présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit).

Les produits chimiques rejetés dans le milieu marin se répartissent comme suit :

▪ **Produits de la corrosion :**

L'unité de dessalement à procédé thermique rejette du cuivre, du nickel, du fer, du chrome et d'autres métaux lourds en fonction des alliages présents dans la filière.

▪ **Agents antitartre :**

le dépôt des tartres sur les surfaces du matériel de dessalement entraîne des difficultés d'exploitation et/ou une perte de rendement, tel que , dans le procédé de distillation, le tartre réduit le taux de transfert de la chaleur à travers les parois atteintes et aussi le débit de liquide dans les tuyaux. [27]

▪ **Agents antisalissure :**

Depuis longtemps, les composés du chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer et l'usine située en amont, afin de prévenir les salissures.

▪ **Agents anti mousses :**

La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques. Les agents anti mousses sont des tensio-actifs à l'interface eau-vapeur qui empêchent la formation de mousse. [28]

V-2-2 Emissions atmosphériques :

Les émissions atmosphériques de l'unité de dessalement consistent seulement en Azote et Oxygène provenant de la distillation utilisé en un procédé de désaération pour réduire la corrosion, et en rejets des éjecteurs (unité MSF). La production d'énergie destinée à être utilisée dans l'unité de dessalement accroît les émissions atmosphériques.

V-2-3 La saumure :

Les usines de dessalement rejettent en fait la même charge de constituants de l'eau de mer que celle qu'elles ont reçue, mais dans un volume d'eau moindre. Avec le procédé MSF, un taux de récupération habituel sur la base de l'eau d'alimentation est de **10%** et la salinité de la saumure concentrée est donc **1,1** fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Le concentré est généralement dilué avec l'eau de refroidissement avant d'être rejeté.

V-3 Impacts du procédé de dessalement de l'eau de mer:

V-3-1 Impacts sur l'environnement :

Parmi les impacts dus à l'unité de dessalement, ceux provenant de la production de la saumure, qui est un sous-produit de dessalement inévitable, déchargée généralement dans l'environnement marin. Les constituants présents dans ces eaux résiduaires rejetées par les unités de dessalement dépendent dans une large mesure de la qualité de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau douce produite et de la technique de dessalement adoptée.

Cependant, les rejets des usines de dessalement ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure concentrée, les désinfectants et les agents antisalissure (anti Fuling), mais également des eaux chaudes et des effluents aqueux tels que les distillats et condensats d'éjecteur. [29].

Il ne faut pas oublier, lors d'une éventuelle évaluation, **les effets** qui causent un impact environnemental d'une station de dessalement, qui sont:

V-3-1-1 Effets dus au prélèvement d'eau de mer :

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Ce processus comporte des impacts potentiels pour la flore et la faune de la zone concernée.

Des tambours tamiseurs sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de prétraitement de l'usine de dessalement. En général, le maillage de ces tambours tamiseurs est de l'ordre de 5 mm, afin d'empêcher l'apport de la plupart des poissons et autres organismes marins.

Cependant, le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact, à savoir le heurt du poisson sur les tambours et l'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation.

Il est bien de noter, que le prélèvement et le tamisage de volumes relativement importants provoque le heurt du poisson et d'autres organismes sur les tambours tamiseurs, avec conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation. Les mailles des tambours empêchent l'apport de poissons et les invertébrés de grande taille.

Les principaux impacts associés au passage dans les circuits de prétraitement et de dessalement, qui dépendent en grande partie de la technique adoptée pour les procédés de filtration sur lits mélangés et distillation par Multi Stage Flash (MSF), sont liés à des activités telles que la chloration, les lésions de cisaillement et le changement rapide de pression dans le circuit. La conséquence générale de

l'entraînement d'organismes dans le circuit est une réduction du recrutement pour les habitats existants et une chute de la productivité globale de l'écosystème. [21]

V-3-1-2 Effets d'émissions des gaz (CO, CO₂) :

Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau de mer sont très consommatrices d'énergie, même si la tendance est à la baisse. Cette énergie est le plus souvent fournie par des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) qui présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques tels que l'émission de gaz à l'effet serre (CO₂) qui provoque les pluies acides.

Cependant, les usines de dessalement émettent aussi des gaz qui ne proviennent pas de la combustion de combustibles fossiles, mais qui étaient déjà dissous dans l'eau de mer. Dans les usines thermiques, l'eau d'alimentation est habituellement désaérée, s'évapore dans les chaudières de détente. Les deux procédés (filtration sur lit mélangé et MSF) augmentent les émissions de gaz carbonique (CO₂), qui est stocké dans les océans sous forme de bicarbonate.

D'autre part l'énergie thermique ou mécanique nécessaire au processus de dessalement de l'eau de mer, sont à l'origine d'une augmentation de la température de l'eau et donc d'une température élevée de la saumure (température de saumure est de 15°C). [22]

V-3-1-3 Effets des produits chimiques :

V-3-1-3-1 Effets dus à la présence des métaux lourds dans les rejets :

La concentration des métaux lourds et leur composition dans les rejets dépend des éléments de construction utilisés et de leur résistance à la corrosion. Les parois des échangeurs de chaleur des usines à distillation sont habituellement en alliages cuivre nickel, et les autres éléments de construction comme les cuves à saumure sont souvent en acier inoxydable. Ce dernier est généralement très peu corrosif, des quantités-traces de fer, nickel, chrome et molybdène peuvent apparaître dans les rejets des usines de dessalement.

Les alliages d'acier inoxydable en traces ne posent que relativement peu de risque pour le milieu marin, mais le cuivre est extrêmement toxique pour la plupart des organismes marins. Des concentrations aussi faibles que 10µg/l dans l'eau de mer peuvent avoir des effets considérables, mais leur toxicité dépend généralement de la biodisponibilité et de la sensibilité des espèces. Les concentrations de base du cuivre dans la Méditerranée sont faibles, de l'ordre de 0,04 à 0,70 µg/l au large, et inférieures à 0,01 à 50 µg/l dans les eaux côtières.

Les concentrations de cuivre dissous diminuent sous l'effet des processus chimiques et physiques dans l'eau de mer (précipitation, adsorption), mais il se

produit un enrichissement de l'élément dans les matières en suspension et, finalement, dans les sédiments. L'accumulation de cuivre constitue un risque potentiellement élevé pour les habitats des fonds meubles et les zones à faible échange d'eau, dans lesquelles les taux de sédimentation sont élevés. De nombreux invertébrés benthiques (les crustacés) s'alimentent de matières déposées ou en suspension, le risque étant que des métaux lourds viennent enrichir leurs corps et atteignent des niveaux trophiques trop élevés. [23]

V-3-1-3-2 Effets dus aux additifs chimiques:

Ils ont des conséquences sur l'écosystème marin. Par exemple, les produits antitartres rejetés par les usines de dessalement étaient des éléments nutritifs qui stimulaient la productivité primaire. Ces produits peuvent donc induire une prolifération d'algues dans des milieux qui habituellement en comptent peu, comme en mer méditerranée. De même, les produits antisalissure rejetés par ces usines auraient des effets stérilisants sur certains organismes [27].

○ Effets dus aux additifs d'antitartre :

Les agents antitartres les plus largement utilisés ont été les polymères de l'acide maléique. L'utilisation de ces produits dans l'alimentation des unités à MSF (multi stage flash) permet d'empêcher l'apparition d'effets eutrophisants.

○ Produits antisalissure :

La chloration est un bon auxiliaire mais un mauvais maître en ce sens qu'elle est très économique et efficace mais qu'elle n'est pas correctement maîtrisée ; elle donne naissance à des dérivés tels que les thiolo-méthanés qui sont soumis à réglementation en raison de leurs effets cancérigènes. Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer. [24]

○ Additifs anti-mousses :

Ce sont des détergents. Ils ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés mais pourraient être négligeables.

V-3-1-4 Rejets de saumure :

La saumure est un sous-produit du dessalement, qui est déchargée, généralement dans l'environnement marin, avec un volume total déterminant pour les dommages qu'il peut induire. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentrée (TDS) est auteur de 85294.08 tonnes/an sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contre-versée pendant beaucoup d'années. La salinité totale de la saumure est de **68.57 g/l** contre **38.4g/l** pour l'eau d'alimentation. [25]

Un rejet de saumure concentré en sel, appelle un examen plus soigneux des impacts potentiels sur l'environnement que s'il s'agit d'un rejet en petites quantités. La longueur de l'émissaire, sa distance au rivage, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existence ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau de mer et les caractéristiques hydrologiques (courants marin, vagues) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dilution au point de rejet.

La salinité, est l'une des fortes caractéristiques des eaux rejetées par l'unité de dessalement. C'est l'un des principaux impacts de ces unités sur les écosystèmes marins. Ce phénomène peut conduire à des modifications du milieu, tel que :

- **Anoxie (absence d'oxygène) :**

Au niveau des fonds marins : la diminution des brassages associée à la présence d'espèces consommatrices d'oxygène peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin.

- **Diminution de la lumière :**

La présence d'eau hyper salée provoque la formation d'un brouillard liquide qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales.

V-3-1-5 Le bruit :

En général, ils sont produits par des pompes à haute pression et par les turbines utilisées pour la récupération d'énergie, le niveau de bruit est plus de 90 dB(A). L'usine devrait être située loin des secteurs peuplés et être équipée de technologie acoustique appropriée pour réduire le niveau de bruit [26].

Une grille présentant les impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement est reproduite sur le (tableau V.28).

Tableau V.28: Grille d'impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement.

Origine de l'impact	Impacts	Degré d'impact
saumure chaude	- Pollution thermique	F
	✓ Eutrophisation ✓ Toxicité ✓ Ecotoxicité	E
	saumure concentrée	✓ Toxicité ✓ Ecotoxicité
- Chlore et ses composés : Réaction du chlore avec des composés organiques hydrocarbures principalement	- Désinfectants	M
corrosion du matériel de l'usine (métaux lourds)	- Toxicité	E
	- Ecotoxicité	M
Adjonction d'agents	- Eutrophisation	E
	- Minéralisation - Acidification	F F
Anticorrosion et antitartre	- Toxicité - Minéralisation - Acidification	M
Utilisation de combustibles et activités d'élimination	- Pluies acides	F
	- Effet de serre	F
- Activités de construction - Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine	- Bruit	F
		F

E : impact de degré élevé.

M : impact de degré moyen.

F : impact de degré faible.

V-4 Interprétation des impacts des rejets de la centrale de Cap Djinet sur l'environnement marin :

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

- **Perméat** : c'est la fraction de l'eau qui a été dessalée, dite aussi distillat.
- **Concentrât** : c'est la fraction de l'eau de concentration très élevée, elle est rejetée à la mer, dite aussi saumure.

Cette saumure contient une concentration très élevée en sel (**68,57 g/l**), car elle regroupe les quantités de sel qui se trouvent dans l'eau d'entrée avant le

processus de dessalement en plus des produits chimiques utilisés dans le prétraitement et l'entretien des installations.

Après dessalement, la saumure du point de vue caractéristique physico-chimique (salinité, dureté et alcalinité, pH, conductivité, turbidité, concentration en gaz dissous tel que l'oxygène et le CO₂) est une solution saline très concentrée et devient une source de pollution confirmée.

D'après les résultats obtenus des analyses physicochimiques des rejets liquides des différentes unités de dessalement, on a constaté que la saumure rejetée est très concentrée en sels (**68.57 g/l**) par rapport à l'eau de mer (**38.63g/l**) (estimée le double). Et d'après les données techniques des unités de dessalement elle ne doit pas dépasser **65g/l**.

On ne peut pas nier que le dessalement de l'eau de mer apporte une solution rapide à la pénurie d'eau douce mais aussi d'autre part, il apporte avec lui beaucoup d'inconvénients:

- L'utilisation des produits chimiques (Acide H₂SO₄ qui modifie le pH de l'eau produite et de la saumure concentrée, chlore, Bisulfate de sodium qui réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure concentrées, NaOH qui accroît le niveau de sodium dans les saumures concentrées.. etc.).
- Besoins énergétiques importants.
- Rejets de saumure concentrée et chaude (comme dans notre cas, dans la distillation).
- Traces des métaux lourds dans les rejets.

D'après les besoins journaliers de la centrale de Cap Djinet en eau dessalée, le débit d'eau de saumure rejetée dans la mer est de **36 m³/h** pour chaque unité de dessalement. Donc on ne peut pas négliger toutes ces quantités énormes de sels rejetés dans la mer durant toute l'année, qui peuvent être estimées comme suit :

Pour une seule unité de dessalement on a:

$$[\text{Saumure}]_{/\text{Heure}} = 36000 \text{ l/h} \times 68.57 \times 10^{-3} \text{ kg/l} = \mathbf{2468.520 \text{ Kg/h}}$$

$$[\text{Saumure}]_{/\text{Heure}} = 2468.520 \times 10^{-3} = \mathbf{2.468 \text{ tonnes/h}}$$

$$[\text{Saumure}]_{/\text{jour}} = 2.468 \text{ tonne/heure} \times 24 = \mathbf{59.23 \text{ tonnes/jr}}$$

$$[\text{Saumure}]_{/\text{an}} = 59.23 \text{ tonnes/jr} \times 360 = \mathbf{21322.8 \text{ tonnes/an}}$$

Pour les quatre unités de dessalement, la concentration de la saumure rejetée est estimée de :

$$[\text{Saumure}]_{/\text{Heure}} = \mathbf{2.468 \text{ tonnes/h}} \times 4 = \mathbf{9.872 \text{ tonnes/h}}$$

$$[\text{Saumure}]_{/\text{jour}} = \mathbf{9.872 \text{ tonnes/h}} \times 24 = \mathbf{236.928 \text{ tonnes/ jr}}$$

$$[\text{Saumure}]_{/\text{an}} = 236.928 \text{ tonnes/ an} \times 360 = 85294.08 \text{ tonnes/an}$$

V-5 conclusion :

Le retour de toute cette saumure à la mer provoque une variation de la composition chimique en s'ajoutant aux rejets de produits chimiques des traitements correctifs de l'eau d'appoint et aux rejets de la pollution marine tels que l'hydrogène sulfuré ou les composés ammoniacaux et hydro-carburants. Tous ces rejets ont un impact néfaste sur la préservation de des écosystèmes et l'environnement marin. La diminution en oxygène dissous a une conséquence sur la vie des espèces marines.

A large, horizontally-oriented oval with a light orange gradient and a thin dark orange border. The text is centered within this oval.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail est destiné à apporter une contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement. A savoir l'évaluation de la qualité de l'eau brute par un ensemble d'analyses physico-chimiques effectuées au niveau de laboratoire de qualité de la station de Cap Djinet et l'influence de la qualité des rejets sur l'environnement.

Bien que le dessalement de l'eau de mer soit une industrie en développement dans de nombreux pays méditerranéens pour réduire le manque d'eau potable, il présente aussi une dangereuse activité qui exerce des impacts sur le milieu marin, ces impacts vont des rejets rejetés dans l'eau, émissions dans l'atmosphère et dommages potentiels pour le milieu récepteur. Le principal rejet est la saumure qui est un polluant nocif sur l'écosystème marin.

Il convient de traiter avec précaution la problématique liée à ces rejets car le volume de saumure produit par litre d'eau dessalée, ainsi que la teneur en sels, dépend de la technique de dessalement employée et de la composition saline de l'eau utilisée, comparativement avec l'eau de mer elle présente une salinité beaucoup plus élevée (environ **35g/l** pour l'eau de mer et **68.57g/l** pour la saumure), ce qui est l'inconvénient majeur du dessalement, et qui provoque l'extinction et la mortalité des poissons, ainsi l'influence sur la qualité de l'eau par les eaux polluées qui sont mélangées par des produits chimiques (antitartre , antisalissure) rejetés dans la mer ; pour cela elle ne doit pas être rejetée dans la mer avant sa neutralisation pour minimiser ces impacts sur l'environnement.

Les solutions à apporter pour la production d'eau par dessalement sont le choix du procédé adéquat sur tous ses aspects économiques, technologiques et environnementaux, les traitements de neutralisation de la saumure, les dosages précis dans les traitements de correction de l'eau à dessaler.

A fin de minimiser les impacts de ces rejets de saumure sur le milieu marin, plusieurs recommandations tels que :

- L'emplacement du rejet doit être soigneusement choisi en fonction des flux marins, afin d'éviter les zones biologiques sensibles et de favoriser la dispersion des saumures.
- Rejeter la saumure à travers un système de diffuseurs qui permettent de diluer rapidement la salinité et de retourner les concentrations du milieu naturel.
- Préférer l'osmose inverse aux procédés thermiques et cela à cause des produits de corrosion et de détartage (corrosion faible due a la température ambiante et les parties métalliques des installations à l'osmose inverse sont en acier inoxydable).

La décharge nulle de saumure s'obtient au moyen d'un procédé d'évaporation des concentrés produit qui permet d'obtenir des résidus secs. Cette technique nécessite une forte augmentation du capital d'investissement et de la consommation d'énergie. Par conséquent, ce choix n'est applicable que lorsqu'il n'existe aucune autre solution de rejet des saumures.

De même, il convient de tenir compte de la contamination acoustique résultant de l'exploitation d'une station de dessalement, notamment lorsque les installations se trouvent près des agglomérations.

A cet effet, la protection des zones côtières est l'un des enjeux majeurs pour notre pays qui possède une façade maritime. La lutte contre la pollution passe donc par la législation et son application et surtout une politique globale à long terme qui prend en considération tous les enjeux du dessalement de l'eau de mer et ceci dans le cadre d'un développement réfléchi.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] Simon Nisan «Dessalement de l'eau de mer, par les réacteurs nucléaires» CEA, DER/SESI, CEN Cadarache, 13108 Saint-Paul, France 2007
- [2] J.P.Riley, G.SKIRROW. « Chemical oceanography» Academic Press, 1995
- [3] chambre syndicale de la recherché et de la production du pétrole et tu gaz naturel, comité des techniques « circuit des eaux de mer (traitement et matériaux) », édition techniques, paris 1993.
- [4] Eric Guil yard « Quand le sel de l'océan pimente le climat ».la météologie N33-Mai 2001.
- [5]Alain Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », édition technique et documentation, 2001.
- [6] «chimie de l'eau de mer », Institut océanographique, 1996.
- [7] Ramade ; 2000.p33
- [8] Réduction des NO_x - traitement primaire : adapter la combustion [archive] (Énergie Plus magazine).
- [9] N.Saber. « L'eau, c'est la vie ». Energie & mines. Avril 2004.
- [10] Philippe Bandelier et Jean-Claude Deronzier. « Groupement pour la recherche sur les échangeurs thermiques (GRETh) ». Direction de la recherche technologique CEA/Grenoble (mise à jour septembre 2001).
- [11] Alain Maurel. « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». Edition technique et documentation, 2001.
- [12] <http://www.Culture Sciences, chimie.Ens.Fr/dossiers chimie-société-article dessalement>.
- [13] Nicos X. Tsiourtis. « Desalination and the environment ». Desalination, Vol.141, pp : 223-236,(2005).
- [14] J.P. Brun. « Procédés de séparation par membranes ». MASSON, 1989.
- [15] [18] Viviane Renaudin. « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». CNRS, Nancy, 2003.
- [16] ENRICO RIBONI ; livre issus des cours pratique et économie de la purification de l'eau dans l'industrie ; Suisse 1997-2003
- [17] CIRCUITS EAU DE MER Traitement et matériaux editton technip.Paris 1993.
- [18] faridtaha-ducru ; Dessalement d'eau de mer. janvier 2009.
- [19] Alice Daussy ; yoanoub dessalement ; le dessalement de l'eau de mer à malte ; université de technologie Compiègne.

- [20] T.P.Brun ; procédés de séparation par membranes ; p207.
- [21] UNEP« Programme des Nations Unies pour l'Environnement »,07 mai 2001
- [22] Tinyurl.com, « commission européenne- Energy & Transport : figures and main facts »,2007
- [23] Programme des nations unies pour l'environnement UNEP (DEC)/ MED WG.231/12,10.Avril 2003
- [24] UNEP, «An Approach to Environmental Impact Assessment for Projects Affecting the Coastal and Marine Environment». Regional Seas Reports and Studies No. 122, 1990
- [25] H. HOEPNER, «a procedure for Environmental Impact Assessments (EIA) for seawater desalination plants», 1999
- [26] R. EINAV and F. LOKIEC, «environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon»; desalination», 2003
- [27] United Nations Environment Programme – Mediterranean Action Plan MED POL. « Sea Water Desalination in the Mediterranean: Assessment and Guidelines ». Map Technical Reports series No.139, UNEP/MAP, Athens, 2003
- [28] [29] KWU. « Circuit de dessalement d'eau de mer ». Service de formation professionnelle, Référence N°5515
- [29] Rachel Einav'', Kobi Hamssib, Dan Periyb. « The footprint of the desalination processes on the environment ». Desalination, Vol.152, pp : 141–154, (2002).
- [30] documentation interne de l'entreprise (archives)
- [31] Viviane Renaudin. «Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres » CNRS, Nancy, 2003

Annexes

Analyses physico-chimiques effectuées

1- Mesure de température :

La température est mesurée grâce à un thermomètre à mercure.

- **Mode opératoire :**

Le thermomètre est trempé dans le flacon juste après le prélèvement. Le résultat est donné directement en °C.

2- Mesure de potentiel d'Hydrogène (pH):

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel – KCl saturé) plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'acidité des ions H^+ .

Appareil : pH mètre.

Electrode : Electrode de pH.

Réactifs : Tampons à différents pH (7 et 4).

- **Mode opératoire :**

- ❖ **Etalonnage de l'appareil :**

- Allumer le pH mètre.
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH=7
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2.
- En lever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Ré étalonné de la même manière avec les solutions tampon pH=4.

- ❖ **Dosage de l'échantillon :**

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre sous faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.
- Puis noter la valeur de pH.

3- Mesure de la conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm de surface est séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Appareil : conductimètre.

- **Mode opératoire :**

D'une façon générale, la verrerie rigoureusement propre et rincée, avant usage, avec de l'eau distillée est utilisée. Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner, faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées.

Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air à la surface des électrodes. La température du liquide ne devra en aucun cas varier pendant la mesure. La mesure est obtenue directement en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

4- Mesure de la salinité :

Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de la salinité, la placer cette électrode dans l'eau à analyser. La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu (affichage numérique) en attendant que la valeur affichée se stabilise, le résultat est donné en (mg/l).

5- Mesure de la turbidité :

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection des matières non dissoute, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

Appareil :

- Turbidimètre.
- Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm, de diamètre.

- **Mode opératoire :**

- ❖ **Etalonnage de l'appareil :**

A l'aide des solutions d'étalonnage de formazine (400 NTU), on prépare une solution fille à 40 NTU et on effectue la mesure.

- ❖ **Dosage de l'échantillon :**

Remplir une cuvette de mesure propre avec l'échantillon d'analyse bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. La mesure est obtenue directement en NTU.

6- Détermination de la dureté totale TH (Titre Hydrotimétrique) :

La dureté ou titre hydrométrique d'une eau correspond à la teneur en calcium et magnésium. Les ions des éléments alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tetracétique à pH=10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium. La méthode permet de doser la somme des ions du calcium et du magnésium.

- **Appareillage :**

- Bécher de 250 ml.
- Cylindre gradué de 100 ml
- Burette
- Réactif :
- Solution EDTA (0.02N)
- Solution tampon pH=10
- Indicateur noir d'ériochromate « NET »

- **Mode opératoire :**

- On prélève 100 ml d'eau à analyser
- On ajoute quelques gouttes de solution tampon
- On ajoute 2 à 3 gouttes d'indicateur NET (apparition d'un rouge violet)
- On titre avec la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge violet au bleu
- On prend le volume d'EDTA (V_{EDTA})

❖ **Expression des résultats :**

$$[TH] = \frac{N_{EDTA} \times V_{EDTA}}{V_{\text{échantillon}}} \cdot 10^3 \times 5 \text{ (}^\circ\text{F)}$$

7- Détermination de titre hydrométrique calcique THCa²⁺ :

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse d'EDTA à pH entre 12 et 13. Le murexide qui forme un complexe rouge avec le calcium est utilisé comme indicateur. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage.

Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libre, puis avec les ions combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rose à la couleur bleu-violet.

• **Appareillage :**

- Bécher de 250 ml.
- Cylindre gradué de 100 ml.
- Burette.
- Réactifs :
- Solution EDTA (0.02N).
- Solution tampon pH = 12.
- Indicateur MUREXIDE.

• **Mode opératoire :**

- On prélève 100 ml d'eau à analyser
- On ajoute quelques gouttes de solution tampon pH = 12
- On ajoute 2 à 3 gouttes d'indicateur MUREXIDE (apparition d'une couleur rose)
- On titre avec la solution d'EDTA jusqu'au virage de rose au mauve
- On prend le volume d'EDTA (V_{EDTA})

❖ **Expression des résultats :**

$$[TH] = \frac{N_{EDTA} * V_{EDTA}}{V_{\text{échantillon}}} \cdot 10^3 \times 5 \text{ (}^\circ\text{F)}$$

8- Détermination de titre hydrométrique magnésium TH_{Mg}^{2+} :

La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésium.

$$TH_{Mg}^{2+} = TH - TH_{Ca}^{2+}$$

9- Détermination de l'alcalinité :

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

- **Appareillage :**

- Burette
- Erlenmeyer
- Eprouvette de 100 ml
- Becher
- HCl ou H_2SO_4 (0.02N)
- Solution de phénol phtaléine dans l'alcool à 0.5%
- Solution de méthylorange à 0.5%.

- **Mode opératoire :**

- ✓ **Détermination des carbonates (TA) :**

Pour un prélèvement de 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, ajouter 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine, une coulure rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux dont le pH est inférieur à 8.3. Verser ensuite l'acide dans le bécher à l'aide d'une burette en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète (pH = 8.3).

Soit V le nombre de millilitres d'acide utilisés pour obtenir le virage.

- ✓ **Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) :**

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune orangé (pH = 4.3). S'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orangé (pH=4). Soit V' le nombre de millilitre d'acide (0.1N) versés depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume 0.1 ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur.

- **Expression des résultats :**

- ✓ **Pour TA :**

- V exprime le titre alcalimétrique en milliéquivalent par litre.
- 5V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (en effet, 1°F correspond à 10mg de carbonate de calcium (CaCO₃) ou 0.2 meq /l.

- ✓ **Pour TAC :**

- (V' - 0.1) exprime le titre alcalimétrique complet en milliéquivalent par litre.
- (V' - 0.1) .5 exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

10- Détermination des HCO₃⁻ et CO₃²⁻ :

La connaissance du TA et du TAC permet le calcul des concentrations en :

- Hydroxydes OH⁻
- Bicarbonates HCO₃⁻
- Carbonates CO₃²⁻

- Si le TA et le TAC sont égaux, toute l'alcalinité est due aux hydroxydes.
- Si le TA est inférieur au TAC, des carbonates et des hydroxydes sont présents. Ceci veut dire que le TA est égal à tous les hydroxydes, plus la moitié des carbonates, et que le TAC est égal à tous les hydroxydes et tous les carbonates. Par conséquent :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2}[\text{CO}_3^{2-}] \\ \text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \end{array} \right. \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} [\text{OH}^-] = 2 \text{ TA} - \text{TAC} \\ [\text{CO}_3^{2-}] = 2 (\text{TAC} - \text{TA}) \end{array} \right.$$

- Si le TA est égal à la moitié du TAC, toute l'alcalinité est due aux carbonates. Si le TA est égal à moins de la moitié du TAC, des carbonates et bicarbonates sont présents. Ceci veut dire que le TA est égal à la moitié de l'alcalinité due aux carbonates, et que le TAC est égal à l'alcalinité due aux bicarbonates, plus l'alcalinité due aux carbonates. Par conséquent :

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 2 \text{ TA}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \text{TAC} - 2\text{TA}$$

- Si le TA est nul, le TAC est dû aux bicarbonates seuls. En résumé :

si	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
TA=TAC	TAC	0	0
TA > ½TAC	2 TA - TAC	2 (TA - TAC)	0
TA = ½ TAC	0	TAC	TAC - 2 TA
TA < ½TAC	0	2 TA	TAC - 2 TA
TA = 0	0	0	TAC

11- Détermination des chlorures :

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

- **Appareillage :**

- Erlenmeyer de 250 ml.
- Cylindre gradué de 100 ml.
- Burette.

- **Réactifs :**

- Acide nitrique concentré.
- Carbonate de calcium.
- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent N /10.

- **Mode opératoire :**

Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250ml. Ajouter 2 à 3 goutte d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de calcium et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes. Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent à N /10 utilisés.

- **Expression des résultats :**

$$\text{Teneur en Cl}^- \text{ en mg/l} = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3}}{V_{\text{échantillon}}} \times 1000 \times M_{\text{Cl}^-}$$

12- Détermination des sulfates :

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum, qui est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à $\lambda = 650 \text{ nm}$.

Appareil : Spectrophotomètre.

❖ Réactifs :

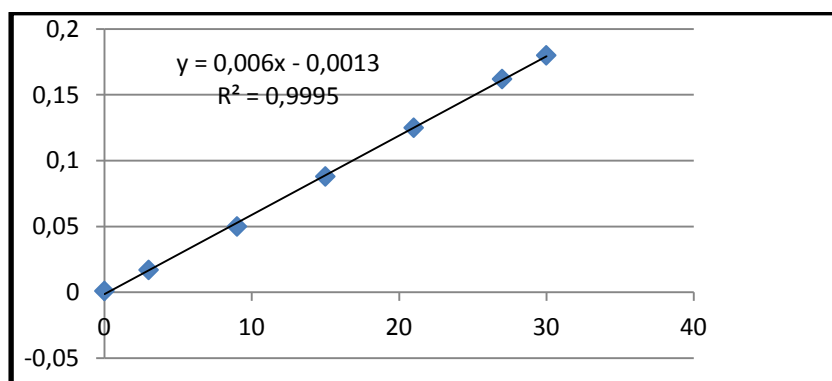
- Solution étalon de sulfate de sodium à 150 mg/l de SO_4^{-2} .
- Solution de sodium anhydre Na_2SO_4 0.221 g.
- Eau distillée.....1000 ml.
- Acide chlorhydrique à 10%
- Chlorure de baryum stabilisé :
- Chlorure de baryum10g
- Solution de Tween 20 à 25 %.....20ml
- Eau distillée.....80ml.

✓ Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Dans une série des tubes numérotés, introduire successivement :

N° de la fiole	T	1	2	3	4	5	6
Solution étalon de SO_4^{-2}	0	1	3	5	7	9	10
Eau distillé (ml)	50	49	47	45	43	41	40
Acide chlorhydrique au 1/10 (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Solution de chlorure de baryum stabilisée (ml)	5	5	5	5	5	5	5
Correspondance en mg/l de SO_4^{-2}	0	3	9	15	21	27	30

✓ La courbe d'étalonnage :



- **Mode opératoire :**

Dans les fioles, introduire 50 ml de l'échantillon à analyser :

- Ajouter 1ml d'acide chlorhydrique à 10%.
- Ajouter 5ml de la solution de chlorure de baryum stabilisé.
- Agiter et laisser reposer pendant 15 mn.
- Agiter à nouveau et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda=650\text{nm}$.

Le résultat est donné directement en mg/l.

13- Détermination des phosphates :

En milieu acide et en présence du molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrophotométrie.

Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium. La mesure de l'absorbance de ce complexe se fait à l'un des deux maxima d'adsorption (une vers $\lambda=700\text{nm}$, l'autre plus importante à $\lambda=880\text{nm}$).

Appareil : Spectrophotomètre

- ❖ **Réactifs :**

- Acide ascorbique à 10g /l.
- Acide ascorbique.....10g
- Eau distillée.....100ml
- Solution mère étalon à 50 mg/l de PO_4^{-2}
- KH_2PO_4 après séchage à 105°C0.2197 g
- Eau distillée800ml
- Acide sulfurique à 7.5 mol/l.....10ml
- Eau distillée190 ml
- Solution fille étalon à 1 mg/l.
- Solution mère20ml
- Eau distillée.....980 ml

- ✓ **Réactifs mélangé :**

(Réactif 1+réactif 3) + Réactif 2 = 500ml (stable 2 mois).

Réactif 1 :

Heptamolybdate d'ammonium.....13g

Eau distillée.....100ml

Réactif 2 : tartrate de potassium et d'antimoine :

- Hemihydraté0.35g
- Eau distillée.....100ml

Réactif 3 :

- Acide sulfurique 9 mol/l.....150ml
- Eau distillée.....150ml.

• **Mode opératoire :**

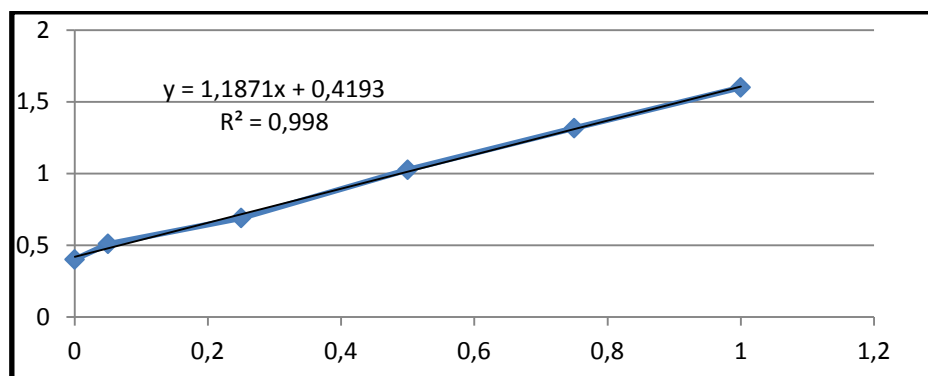
Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Introduire dans une série des fioles jaugée de 25 ml :

N° des fioles	T	1	2	3	4	5
Solution étalon de phosphore à 1 mg/l (ml)	00	01	05	10	15	20
Eau distillée	20	19	15	10	5	0
Correspondance de mg/l de phosphore	0	0.05	0.25	0.5	0.75	1

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter puis ajouter 4 ml, du réactif combiné, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml, attendre 30 min pour la stabilisation de la coloration, et effectuer les mesures au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 880 nm, puis tracer la courbe d'étalonnage.

✓ **Courbe d'étalonnage :**



❖ **Dosage de l'échantillon :**

Dans un erlenmeyer introduire :

- 40 ml d'eau à analyser.

- 1 ml d'acide ascorbique.
- Ajouter 2 ml du réactif mélangé.
- Laisser au repos pendant 15 minutes.
- Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 880 nm.

• **Expression des résultats**

Le résultat est donné directement en mg/l.

14- Détermination des nitrites :

Les ions nitrites réagissent en milieu acide (pH=4.9) avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque donnant un complexe de coloration rose avec le dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1, 2 éthane ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{N}_2$) qui est dosé par spectrométrie à la longueur d'onde $\lambda=540$ nm.

Appareil : Spectrophotomètre.

❖ **Réactifs :**

- Acide ortho phosphorique H_3PO_4 (d=1.7)
- Solution d'acide phosphorique (utilisée si l'échantillon est coloré).
- Acide phosphorique (80%)25ml.
- Eau distillée.....150 ml.
- Après refroidissement à la température ambiante, on complète avec l'eau distillée jusqu'à 250 ml.
- Conserve cette solution dans un flacon en verre brun. Elle est stable pendant 6 mois.

Réactif :

Coloré (réactif dangereux).

- Amino-4benzène sulfonamide20g
- Mélange H_3PO_4 (d=1.7).....50ml.
- Eau distillé.....250ml.
- Di chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino 1, éthane.....1g.
- Eau distillée.....500 ml.
- Conserver cette solution dans un flacon en verre brune. Elle est stable pendant 1 mois, si elle est conservée entre 2 et 5 °C.
- Solution mère étalon en d'azote nitreux (NO_2^-) à 100 mg/l.
- Nitrites de sodium(NaNO_2).....0.429g
- Sécher à 150°C pendant 2 heures.

- Eau distillée.....1000ml.
- Conserver cette solution dans un flacon en verre brun. Elle est stable pendant 1 mois si elle est conservée entre 2 et 5 °C.
- Solution fille étalon d'azote nitreux (NO₂) à 1 mg/l (préparer cette solution chaque jour avant emploi).
- Solution mère 1ml.
- Eau distillée.....100 ml.
- Solution de nettoyage (toute la verrerie doit être soigneusement lavée avec une solution d'acide chlorhydrique (d=1.12 mg /l, à 25%) et rincée abondamment à l'eau distillée).

• **Mode opératoire :**

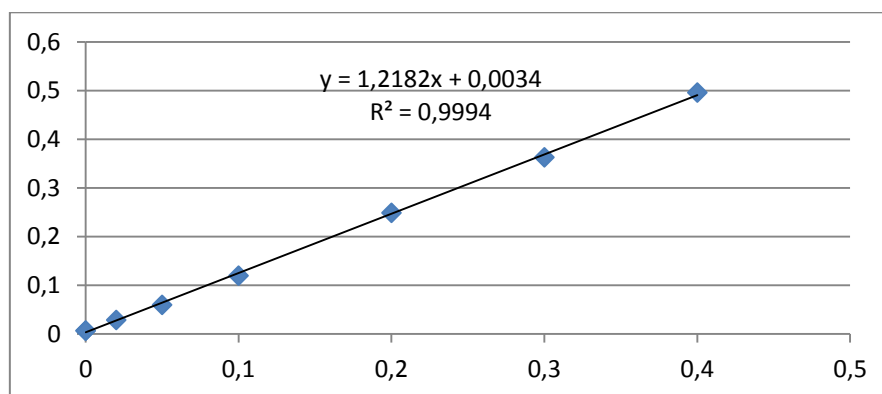
Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Dans une série des fioles jaugées de 50 ml et numérotées, introduire successivement :

N° de la fiole	T	1	2	3	4	5	6	7
Solution fille (ml)	0	1	2.5	5	10	15	20	30
Eau distillée (ml)	50	49	47.5	45	40	35	30	20
Réactif mixte (ml)	1	1	1	1	1	1	1	1
[N-NO ₂ ⁻²] (mg/l)	0	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 543 nm, et construire la courbe d'étalonnage.

Courbe d'étalonnage :



❖ **Dosage de l'échantillon :**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 1 ml de réactif mixte.
- Homogénéiser immédiatement en faisant tourbillonner.
- Laisser reposer 15 mn.

- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda=540$ nm.

15- Détermination des nitrates :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosouylate de couleur jaune susceptible d'un dosage colorimétrique.

❖ Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à 0.5 g dans 100 ml.
- Solution d'hydroxyde de sodium 30g dans 50 ml.
- Acide sulfurique concentré H_2SO_4 .
- Tartrate double de sodium de de potassium :
- Hydroxyde de sodium NaOH.....80g.
- Tartrate de sodium et de potassium.....12g.
- Eau distillée.....200ml.
- Laisser refroidir avant de compléter à 200 ml, cette solution doit être conservé dans un flacon de polyéthylène.
- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 100 mg /l.
- Nitrate de potassium anhydre.....0.772 g.
- Eau distillée.....1000 ml.
- Chloroforme.....1 ml.
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à..... 5 mg/l.
- Solution mère50ml.
- Eau distillée.....1000 ml.

• Matériels :

- Capsule de 60 ml.
- Pipette de 2 ml.
- Pipette de 10 ml.
- Pipette de 15 ml.
- Pipette de 1 ml.

• Appareil :

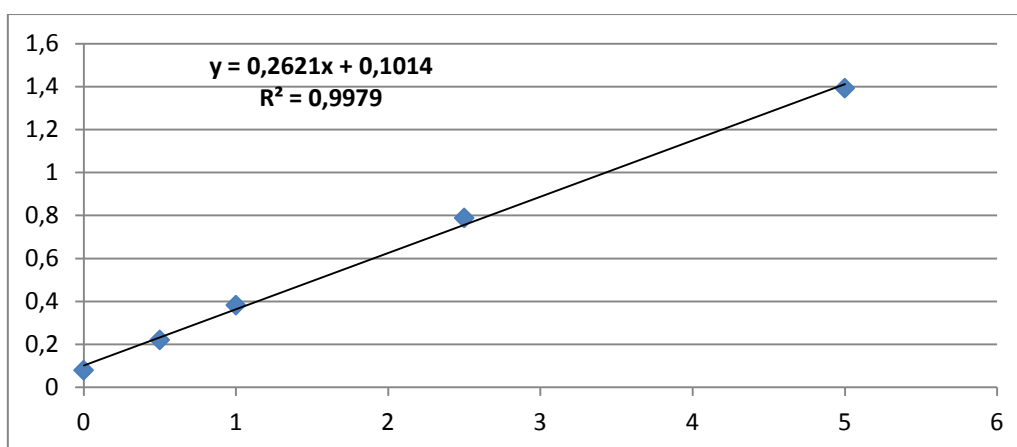
- Etuve de séchage.
- Spectrophotomètre.

- **Mode opératoire :**

Etablissement de la courbe d'étalonnage :
Dans une série de capsule de 60 ml, introduire successivement :

N° de capsule	1	2	3	4	5
Solution étalon 5mg/l	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de sodium (ml)	1	1	1	1	1
Correspondant en mg/l [N-NO ₃]	0	0.5	1	2.5	5

La courbe d'étalonnage :



❖ **Dosage de l'échantillon :**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser. Dans une capsule de 60 ml, ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30%. Ensuite 1 ml de salicylate de sodium. Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 – 88°C (ne pas surchauffer ni chauffer très longtemps) laisser refroidir à température ambiante, puis reprend le résidu pour 2 ml, H₂SO₄ repos 10 mn.
- Ajouter successivement 15 ml d'eau distillée. Ajouter de tartrate double puis passer au spectrophotomètre. Effectuer la lecture des absorbances à la longueur d'onde $\lambda=415$ nm. Le résultat est donné directement en mg/l.

16- de sodium et de potassium :

Le photomètre de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalino-terreux. Les éléments à analyser (sodium, potassium, lithiumetc.) sont généralement sous forme des sels. L'analyse se fait en partant de leur solution.

Appareil : Photomètre à flamme.**❖ Réactifs :**

- Solution fille de sodium (Na^+) à 10 mg/l.
- Solution mère de NaCl à 1 g/l..... 1ml.
- Eau distillée.....100ml.
- Solution fille de potassium (K^+) à 10 mg/ l.
- Solution mère de KCl à 1 g/l.....1 ml.
- Eau distillée.....100 ml.

• Mode opératoire :

Il faut suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert.
- Allumer la pompe.
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz propane.
- Allumer la flamme.
- Aspirer de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Appuyer sur la touche KONTROLL.
- Appuyer sur la touche Null-Zéro et attendre 5 à 10 minutes.
- Appuyer une 2^{ème} fois sur la même touche (Null-Zéro) pour qu'elle s'allume.
- Retirer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de (Na^+) ou de (K^+) à 10 mg/l.
- Appuyer sur la touche STANDARD.
- Attendre qu'elle s'allume.
- Appuyer une 2^{ème} fois sur la même touche et attendre qu'elle s'allume.
- Ensuite, appuyer sur la touche analyse (il faut que la lecture donne une valeur de 10).
- A la fin passer aux échantillons à analyser et appuyer seulement sur la touche analyse.
- A la fin du dosage et par mesure de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe. Le résultat est donné directement en mg/l.

17- Détermination du fer :**❖ Appareil**

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mm.

❖ Réactifs :**Réactif A :** dans une fiole de 100 ml mettre :

- Acétate d'ammonium.....40g.
- Acide acétique.....50ml.
- Eau distillée.....50ml.

Réactif B : dans une fiole de 100 ml mettre :

- Chlorure d'hydroxyde ammonium.....20g
- Eau distillée.....100 ml.
- Réactif C : dans une fiole de 100 ml mettre :
- Chlorure de phénantroline.....20g.
- Eau distillée.....100 ml.

Réactif D :

- Acide chlorhydrique à 25%.

• Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer de 100 ml mettre :

- 20 ml d'eau à analyser.
- ml d'acide chlorhydrique HCl à 25%.
- ml de réactif A.
- ml de réactif B.
- ml de réactif C.
- Mélanger et laisser 15 minutes puis passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda=500$ nm et un facteur de 2,00.

Expression des résultats : Le résultat est donné directement en mg/l.**18- Détermination du cuivre :****❖ Appareil :**

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mm.

❖ Réactifs :

Réactif A : dans une fiole de 100 ml mettre :

- Acide ascorbique.....20g.
- Eau distillé100ml.

Réactif B : ammoniacale 10%.

Réactif C : dans une fiole de 100 ml mettre :

- Chlorure d'ammonium20g.
- Eau distillé.....100 ml.

Réactif D : chloroforme.

Réactif E : dans une fiole de 100 ml mettre :

- Diethyl-dithiocabanat de sodium1g.
- Eau distillé.....100ml.

• **Mode opératoire :**

Dans une ampoule à décanter mettre :

- 100 ml d'eau à analyser.
- 1ml de réactif A.
- 2 ml de réactif B.
- 0.5 ml de réactif C.
- 10 ml de réactif D.

Agiter pendant 5 minutes et jeter la phase organique. Ajouter ensuite 1 ml de réactif E et 10 ml de réactif D, agiter pendant 5 minutes et filtrer la phase organique et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda=435$ nm et un facteur de 1.33. Pour l'échantillon témoin : réactif D.

Le résultat est donné directement en mg/l.

19- Détermination de la silice :

❖ **Appareil :**

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mn.

❖ **Réactifs :**

Réactif A : dans une fiole de 250 ml mettre :

- Molybdate d'ammonium.....6.75 g.

- Acide sulfurique pur.....13 ml.
- Eau distillée.....273 ml.

Réactif B : dans une fiole de 250 ml mettre :

- Acide oscalique ($H_2C_2O_4$)25g.
- Eau distillée.....100 ml.
- Réactif C : dans une fiole de 250 ml mettre :
- Sulfate de fer ammoniacal.....3g.
- Acide sulfurique pur.....3 ml.
- Eau distillée.....247 ml.

• **Mode opératoire :**

Dans une éprouvette en polystyrène mettre :

- 25 ml d'eau à analyser.
- 1 ml de réactif A, attendre 10 minutes
- 1 ml de réactif B, attendre 2 minutes
- 1 ml de réactif C, attendre 2 minutes
- Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda=800$ nm et un facteur de 3.5 pour l'échantillon témoin : 25 ml d'eau déminéralisée + les réactifs.

Le résultat est donné directement en mg/l