

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
DEPARTEMENT DE GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



*En vue de l'obtention du diplôme
De MASTER en GENIE DES PROCEDES*

Option : Génie de l'environnement

Thème

**Suivi du dessalement d'eau de mer par le procédé Multi
stage flache MSF : Centrale thermique de CAP-
DJINET**

Soutenu le : JUIN 2017

par : HAFID Riad

Jury de soutenance :

Président : F. BOUMECHHOUR

MCB UMBB

Examineur : M. AMMITOUCHE

MCB UMBB

Promoteur : A. BALOUL

MAA UMBB

Co promoteur : K. HAFID

INGENIEUR

Année universitaire 2016/2017

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
DEPARTEMENT DE GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



*En vue de l'obtention du diplôme
De MASTER en GENIE DES PROCEDES*

Option : Traitement des eaux

Thème

**Suivi du dessalement d'eau de mer par le procédé Multi
stage flache MSF : Centrale thermique de CAP-
DJINET**

Soutenu le : JUIN 2017

par : DJILLALI Zoubir

Jury de soutenance :

Président : F. BOUMECHHOUR

MCB UMBB

Examineur : M. AMMITOUCHE

MCB UMBB

Promoteur : A. BALOUL

MAA UMBB

Co promoteur : K. HAFID

INGENIEUR

Année universitaire 2016/2017

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à étudier les différents processus de fonctionnement de traitement de l'eau de mer présents dans la centrale thermique de Cap Djinet.

Le prétraitement est la première étape qui fait appel à une chloration et à une filtration. Après ce processus, on s'intéresse au procédé de dessalement par distillation à détentes successives qui produit une eau dessalée moins concentrée en sels, suivi par un procédé de déminéralisation à lit mélangé afin d'éliminer toute les sels. Enfin de compte, nous obtenons une eau déminéralisée très pure nécessaire pour l'alimentation des auxiliaires électriques.

Des analyses physico-chimiques sont réalisées sur les différentes qualités d'eau produites et sur l'inévitable saumure déchargée au niveau des unités de dessalement vers l'environnement marin.

Les résultats expérimentaux obtenus, montrent que la qualité de l'eau produite est de parfaite qualité ce qui dénote l'efficacité des procédés utilisés sans oublier l'absence d'impact de la saumure déchargée à la sortie de l'eau de refroidissement de la centrale électrique sur l'environnement marin.

Mots clés : Energie électrique, Eau de mer, Dessalement, Déminéralisation, Environnement.

ان الهدف من هذا البحث هو دراسة مختلف عمليات معالجة مياه البحر الموجودة في محطة توليد الكهرباء في
.Cap Djinet

المعالجة هي الـ
المياه عن طريق التقطير تحت
بالتبادل الايوني
الكهرباء.
والترشيح. بعد هـ العملية، سنركز على عملية تحلية
ياه محلاة اقل تركيز
المتبقية، وبالتالي، ينتج
لك يأتي دور عملية التنقية
ية لوازم انتاج

أجريت تحاليل فيزيوكيميائية على المياه الناتجة
يتم رميه البيئة البحرية.
ي وحدات تحلية المياه

ل اليها بينت ان نوعية المياه الناتجة هي ات نوعية ممتازة وبالتالي كفاءة العمليات المستخدمة
الملحي فهو لا يسبب تأثير البيئة البحرية.

: توليد ماء البحر التحلية التنقية البيئة.

Summary

The objective of this study is to examine the various processes operating processing seawater present in the power plant of Cap Djinet.

Pretreatment is the first step that involves chlorination and filtration. After this process, we look at the process of desalination by distillation at successive pressure that produces a less concentrated desalted water, salt, continue with a process of mixed-bed demineralisation which to remove any remaining salts and therefore, it results in water pure demineralized necessary for feeding gear.

Physico-chemical analysis were performed on the respectful qualities of water produced and discharged brine inevitable at the desalination units to the marine environment.

The experimental results show that the quality of water produced is of perfect quality and thus the efficiency of processes used and the brine discharged through the outlet of the cooling water the power plant does not cause no impact on the marine environment.

Key words: Power generation, Seawater, Desalination, Demineralization, Environment

Remerciements

Je veux remercier ALLAH qui m'a donné la force et le courage pour accomplir ce modeste travail

Ainsi, Je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur M.A.Balloul, pour son aide précieuse, sa grande disponibilité ainsi que pour sa compréhension et ses encouragements ...

Je veux remercier également les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

*Enfin ,je remercier tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail
Merci à tous les proches et les amis.*

R,HAFID et Z,DJILLALI



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents qui m'ont soutenu
durant toute la durée de mes études.*

*A mes très chères frères et sœurs et à ma
grande famille.*

A mes très chères amis

A tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

A vous.

DJILLALI Zoubir

DJILLALI Zoubir



Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :
A mes très chers parents
A ceux qui ont partagé mes joies et
mes peines, mes sœurs.
A tous mes amis
A toute le groupe de genie de
l'environnement. A tous qui
m'aiment et que j'aime.*

HAFID Riad

HAFID RIAD



Liste des figures

PARTIE THEORIQUE

Figure N°1 : Plan de masse de la centrale.....	4
Figure N°2 : Plan de situation de la centrale thermique de cap djinet.....	6
Figure N°3 : Organigramme de la centrale.....	7
Figure N°4 : Principales transformation d'énergie	13
Figure N°5 : Schéma synoptique d'une tranche thermique	15
Figure N°6: Procédés de industrialisés de dessalement	27
Figure N°7 : Schéma général d'une installation de dessalement	28
Figure N°8 : Principe de distillation à simple effet.....	28
Figure N°9 : Principe de distillation à multiples effets.....	29
Figure N°10 : Principe de fonctionnement d'un système (MSF) à 3étages.....	30
Figure N°11 : Principe de distillation à compression de vapeur	31
Figure N°12 : Principe de l'osmoseur et de l'osmose inverse.....	32
Figure N°13 : Principe du dessalement par électrodialyse.....	33
Figure N°14 : Situation géographiques des station de dessalement.....	39

PARTIE EXPERIMENTALE

Figure I.1: Schéma générale de traitement de l'eau de mer dans la centrale thermique de cap djinet	55
Figure I.2: Station d'entré d'eau de mer	56
Figure I.3: Installation de filtration d'eaude mer au niveau de la centrale	57
Figure I.4 : Schéma simplifie de l'installation d'Electrochloration.....	59
Figure I.5 : Différents points d'injection de chlore au niveau de la centrale.....	60
Figure I.6 : Schéma simplifié de la station de dessalement	61
Figure I.7 : Installation de dessalement de la centrale thermique de Cap Djinet.....	69
Figure I.8 : Evolution de la pH.....	79
Figure .9 : Evolution de la température.....	79
Figure .10 : Evolution de la conductivité.....	80
Figure .11 : Evolution de la salinité.....	80
Figure .12 : Evolution de la turbidité.....	81
Figure .13 : Evolution de la dureté totale.....	82
Figure .14 : Evolution de TA et TAC.....	82

Liste des figures

Figure .15 : Evolution chlorures et sodium, potassium.....	83
Figure .16 : Evolution du fer, cuivre et de la silice.....	83

Liste des tableaux

Partie Théorique

Tableau n°1 : Volume et temps de séjour de l'eau dans les différents réservoirs.....	16
Tableau n°2 : Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer	17
Tableau n°3 : Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques	18
Tableau n°4 : Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer.....	18
Tableau n°5 : Conductivité de l'eau de mer ($\mu\text{s.cm}1$)	21
Tableau n°6 : pH de l'eau de mer.....	22
Tableau n°7 : Viscosité relative / ρ de l'eau de mer en fonction de la température	23
Tableau n°8 : Comparaison des procédés de dessalement.....	34
Tableau n°9 : Les différentes installations de dessalement en Algérie.....	36
Tableau n°10 : Stations « monobloc » en Algérie.....	38
Tableau n°11 : Emissions toxiques produites par diverses centrales couplées aux.....	44
Tableau n°12 : impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés.....	46

Partie expérimentale

Tableau II.1: Caractéristiques techniques de l'évaporateur.....	62
Tableau II.2 : Caractéristiques principales des pompes centrifuges de traitement.....	63
Tableau II.3 : Caractéristiques techniques des pompes de transfert d'eau de mer.....	63
Tableau II.4 : Caractéristiques techniques des pompes d'éjection.....	63
Tableau II.5 : Caractéristiques techniques des pompes doseuses.....	64
Tableau II.6 : Caractéristiques techniques de l'installation de dessalement MSF.....	67
Tableau II.7 : Différents méthodes d'analyse utilisées à la centrale.....	76
Tableau II.8 : analyse physico-chimique de l'eau de mer.....	77
Tableau II.9 : analyse physico-chimique de l'eau traité.....	78
Tableau II.10 : analyse physico-chimique de la saumure avant et après dilution avec l'eau de refroidissement.....	85
Tableau II.11 : analyse physico-chimique des différents échantillons.....	87

Symboles et abréviations

A : Ampère.

BP : Basse Pression.

Cd : Conductivité.

E : Impact de degré élevé.

ED : Electrodialyse.

ETM : Eléments traces métalliques.

F : Impact de degré faible.

°F : Degré français.

HP : Haute Pression.

Ind : indicature.

KW : Kilo watte.

M : Impact de degré moyen.

Max : Maximum, m bars : milli bars.

MEA : Membrane échange anionique.

MEC : Membrane échange cationique.

MED : Distillation à multiple effets,

MP : Moyenne Pression.

Mt : Méga tonne (1Mt=10⁹ kg).

MSF: Multi Stage Flash.

MX: Solution saline.

NTU : Unité de turbidité de néphélogétrie.

RO : Osmose inverse.

S : soufre.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TH : Titre Hydrotimétrique.

THE : Tubes horizontaux arrosés.

TH_{Ca}²⁺ : Dureté calcique.

TH_{Mg}²⁺: Dureté magnésienne.

VC : Compresseur de vapeur.

VTE : Tubes verticaux arrosés.

Sommaire

Sommaire

Remerciement	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1

Présentation de la centrale thermique de cap djinet

1. Introduction	3
2. Historique	3
3. Plan de masse	4
4. Plan de situation	6
5. Organigramme.....	7
6. Caractéristiques technique de la centrale	8
6.1. Combustible.....	8
6.2. La turbine	8
6.3. Eau de réfrigération principale (eau de mer).....	8
6.4. Eau de réfrigération secondaire	8
6.5. Constitution de la station de pompage.....	8
6.6. Système traitement des eaux	9
6.6.1. Station d'électro-chloration.....	9
6.6.2. Station de dessalement de l'eau de mer	9
6.6.3. Station de déminéralisation	9
6.6.4. Station de production d'hydrogène	9
6.7. Le poste d'eau	10
6.8. Générateur de vapeur (chaudière)	10
6.9. Alternateur.....	12
6.10. Energie d'évacuation.....	12
6.11. Commande et contrôle.....	12
6.12. Système de surveillance, d'alarme et d'analyse	12
6.13. Salle de commande centralisée.....	12
7. fonctionnement d'une tranche de production.....	12

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I : généralité sur l'eau de mer

I.1. Introduction.....	16
I.2. Ressources mondiales en eaux.....	16
I.3. Caractéristiques des eaux de mer.....	16
I.3.1. Compositions de Peau de mer.....	16
I.3.1.1. Espèces inorganiques.....	17
I.3.1.2. Composition en gaze dissous de Peau de mer.....	18
I.3.1.3. Composition organique.....	19
I.3.1.4. La flore bactérienne marine.....	19
I.3.1.5. Constitution d'entartrage.....	20
I.4. Propriétés de l'eau de mer.....	20
I.4.1. Salinité.....	20
I.4.2. Conductivité électrique.....	21
I.4.3. pH des eaux de mer.....	21
I.4.4. La température.....	22
I.5. Autre propriétés de Peau de mer.....	22
I.5.1. La densité.....	22
I.5.2. Viscosité.....	22
I.6. Le problème de Peau en Algérie.....	23
I.6.1. Ressource en eau.....	23
I.6.2. Faiblesse des ressources en eau.....	24

Chapitre II : Dessalement de l'eau de mer

II.1. Introduction.....	26
II.2. Les principales technologies de dessalement.....	26
II.2.1. Procèdes de dessalement.....	26
II.2.1.1. Schéma générale d'une installation de dessalement.....	27
II.2.1.2. Procédés de distillation.....	28
II.2.1.3. Procédés à membrane.....	31
II.2.1.4. Autres procèdes.....	33
II.2.2. Comparaison des procédés.....	33

II.2.3. Choix des procédés.....	34
II.3. Situation et tendances du dessalement de l'eau de mer en Algérie.....	35
II.3.1. Historique et constat de l'expérience algérienne.....	35
II.3.2. Les ressources en eau en Algérie.....	36
II.3.3. Situation des ressources.....	37
II.3.4. Capacité installée.....	38
II.3.5. Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie.....	39
II.3.6. Aboutissement du dessalement dans le pays.....	40
II.3.6.1. Economique.....	40
II.3.6.2. Social.....	40
II.3.6.3. Technologique.....	41
II.3.6.4. Environnemental.....	41
II.3.7. Soulagement de la demande en eau.....	41

Chapitre III : Impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement

III.1. Introduction	42
III.2. Pollution de saumure	42
III.2.1. Composition de la saumure	42
III.3. Émissions atmosphériques.....	44
III.4. impact du dessalement sur l'environnement	44
III.4.1. impact positif	44
III.4.1.1. Conservation des ressources d'eau souterraines.....	44
III.4.1.2. Fourniture de l'eau de bonne qualité	45
III.4.1.3 Source fiable à long terme	45
III.4.2. Impact négatif.....	45
III.4.2.1. Impacts des produits chimiques.....	48
III.4.2.2. Impact de l'augmentation de la salinité.....	50
III.4.2.3. Impact dus au prélèvement d'eau de mer	51
III.4.2.4. Impact dus à la chaleur	51
III.4.2.5. Impact sanitaire des contaminations microbiennes	53
III.4.2.6. Impact socio-économique.....	53

Partie expérimentale

Partie IV : Description des technologies de traitement de l'eau de mer au niveau de la centrale

IV.1. Introduction.....	54
IV.2. Technologies de traitements de l'eau de mer au niveau de la centrale.....	55
IV.2.1. Prétraitement	55
IV.2.1.1. La prise d'eau.....	55
IV.2.1.2. Station de pompage	56
IV.2.1.3. Filtration de l'eau de mer	56
IV.2.1.4. chloration des eaux de mer.....	57
IV.2.2. Présentation de l'installation de dessalement MSF.).....	60
IV.2.2.1. Les différentes organes de l'installation « MSF ».....	61
IV.2.2.2. Injection des produits chimiques.....	65
IV.2.2.3. Données techniques.....	67
IV.2.2.4. Description du procédé de l'installation.....	67
IV.3. Présentation de l'unité de déminéralisation à lit mélangé.....	70
IV.3.1. Introduction.....	70
IV.3.2. Description de l'installation.....	70

Chapitre V : Résultat et discussion

V.1. Introduction.....	75
V.2. Le prélèvement des échantillons.....	75
V.3. Les méthodes d'analyses.....	76
V.3.1. les analyses physico-chimique des différents échantillons.....	76
V.4. contrôles de l'efficacité du procédé de dessalement.....	77
V.4.1. résultats physico-chimique de l'eau avant et après dessalement.....	77
V.5. les analyses dues à l'évaluation de l'impact environnemental.....	85
V.6. Contrôle de l'unité de dessalement.....	86
Conclusion.....	89
Références bibliographique	

Annex

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie et l'eau sont deux éléments indispensables à l'être humain et de manière globale, leurs demandes ne cessent d'augmenter. Pour l'homme, l'eau est destinée à la consommation et constitue un élément fondamental pour les usages domestiques, agricole et industriels, ce qui la rend insuffisante et nécessite la recherche d'autre ressource outre que celle des barrages (rivières et des nappes souterraines)

Toute fois, l'Algérie a lancé ces dernières années, un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement de l'eau de mer pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse.

Une importante centrale thermique à vapeur a été réalisée pour renforcer l'alimentation électrique du pays, il s'agit de la centrale de Cap d'Alger qui fait appel aux caractéristiques thermodynamiques de l'eau de mer dans un but de transformation d'énergie. La combustion se fait 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'agressivité de l'eau de mer découle notamment de ses propriétés physicochimiques : conductivité élevée due à une salinité importante, oxygène dissous. Celle-ci se trouve également renforcée par l'action des organismes vivants (bactéries-micro algues...)

Afin de réduire les dégâts occasionnés par l'eau et pour garantir un fonctionnement optimisé de la chaudière et des équipements auxiliaires, il est indispensable que les eaux d'alimentation soient dépourvues de sels minéraux, de gaz en particulier l'oxygène et le dioxyde de carbone et débarrassées des matières en suspension. Pour toutes ces raisons, il ne suffit pas seulement de pomper l'eau, mais encore il faut la traiter avant d'arriver à la chaudière. D'une manière générale l'eau doit être, dessalée, déminéralisée, dégazée puis conditionnée par addition d'espèces réductrices.

Introduction générale

L'objectif de ce travail est de comprendre et d'étudier les différents processus de fonctionnement de traitement de l'eau de mer à la centrale thermique de Cap d'Alger, afin d'obtenir une eau pure nécessaire à l'alimentation des chaudières à haute pression ainsi que la susceptibilité des décharges de saumure de porter atteinte sur la salubrité du milieu aquatique.

La première partie est réservée en premier temps à des généralités sur l'eau de mer, nous présentons tout d'abord l'importance de l'eau incluant les caractéristiques et les propriétés de l'eau de mer. Ensuite nous allons mettre en évidence les différentes techniques de dessalement ainsi que, un bref aperçu sur le dessalement en Algérie, on termine par décrire l'impact environnemental engendré par le dessalement.

La deuxième partie est consacrée en premier temps par une présentation des protocoles expérimentaux. Ensuite nous avons présenté les résultats obtenus concernant le contrôle de l'efficacité de traitement de l'eau de mer et son impact sur l'environnement marin. Enfin nous concluons notre mémoire par une conclusion générale.

Présentation de la centrale thermique de CAP-DJINET

1. Introduction :

La centrale thermique de Cap Djinet, est l'une des plus importantes du pays, créée en **1986**, située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de Boumerdès. Elle a la particularité de fonctionner à la vapeur, à partir de la distillation de l'eau de mer, occupant une superficie de **35hectares**.

Le choix de ce site est fait sur la base des critères suivants :

- Proximité des consommateurs importants, situés notamment dans la zone industrielle Rouiba-Reghaia.
- Possibilité d'extension.
- Conditions du sous-sol favorable, ne nécessite pas de fondations profondes.

La centrale de Cap Djinet se compose de **4** tranches de type thermique vapeur d'une puissance unitaire de **176Méga Watts** borne alternateur. La puissance totale installée est de **705 Méga Watts**, et celle fournie au réseau est de **672Méga Watts** borne usine et pour la consommation totale des auxiliaires des **4** tranches et des auxiliaires communs est d'environ **32 Méga Watts**.

1. Historique :

La centrale a été construite par un consortium Austro-Allemand : **Kwu** « **Kraftwerk-AG** de **RFA** », **SGP** « Simmering GRAZ Pauker d'Autriche » et **Siemens** d'Autriche également qui avait la responsabilité des études, de la supervision du montage et de contrôle de l'ouvrage, ainsi que d'une entreprise Espagnole **DRAGADOS** à laquelle a été confiée la réalisation de la prise de l'eau de mer. Les principales entreprises algériennes qui ont participé à la réalisation de la centrale sont les suivantes : **GENISIDER** : (réalisation des terrassements généraux, de tout le génie civil, réalisation de la station de pompage et mise en place des tuyauteries de refroidissement) ; **INERGA** : (réalisation du génie civil de la base inter-entreprise) ; **S.N.L.B** : (fourniture et montage de la base inter-entreprises de chantier) ; **PROSIDER** : (fourniture et montage de tous les hangars du chantier) ; **ENATUB** (fourniture des tuyauteries constituant le circuit de refroidissement) ; **SNIC** (sablage et peinture) ; **SONATRAM** (travaux de dragage en mer) ; **SOGEP** (travaux de peinture), [1]

❖ **Mise en service de la Centrale :**

La mise en service des groupes s'est effectuée comme suit :

Groupe 1 : couplage sur réseau le 17/06/86	Groupe 3 : couplage sur réseau le 29/11/86
Groupe 2 : couplage sur réseau le 17/09/86	Groupe 4 : couplage sur réseau le 21/02/87

3. Plan de masse : [1]

Il est présenté dans la figure ci-après :

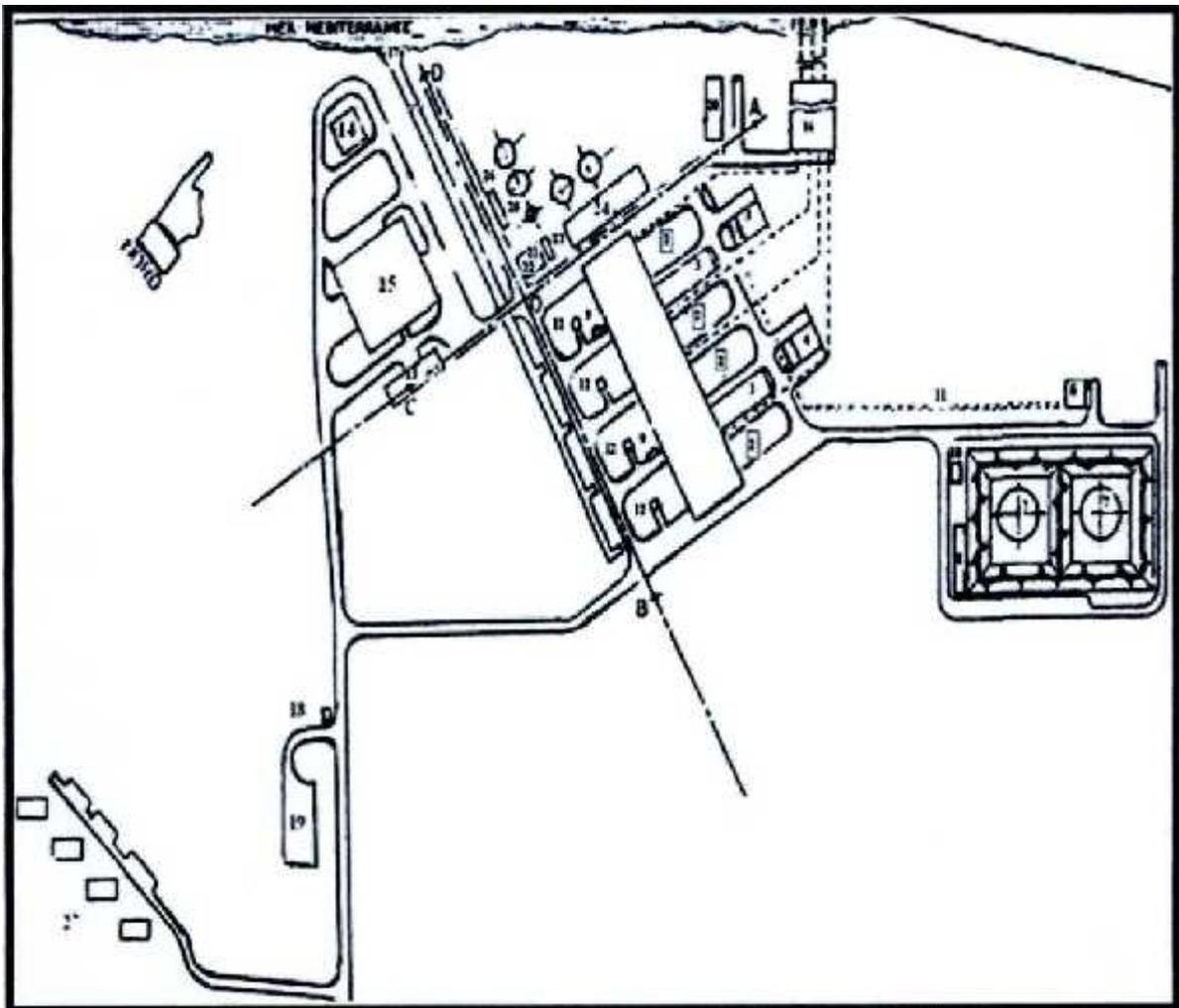


Figure N°1 : Plan de masse de la centrale

Légende

1- Salle des machines	15- Atelier magasin
2- Chaudière	16- Station de pompage
3- Locaux des auxiliaires électriques	17- Canal et rejet d'eau de mer
4- Locaux des auxiliaires mécaniques	18- Poste de garde
5- Tour de prise d'eau de mer	19- Parking
6- Station de détente de gaz	20- Station de chloration
7- Réservoir stockage fuel	21- Préparation d'eau potable
8- Station pompage et dépotage fuel	22- Déminéralisation
9- Station de pompage H ₂	23- Fosse de neutralisation
10- Poste d'incendie à mousse	24- Dessalement d'eau de mer
11- Rack à tuyauterie	25- Station des pompes d'incendies
12- Air de transformateur	26- Pompe d'eau déminéralisée
13- Bâtiment administrative	27- Logements d'exploitation
14- Cantine	

4. Plan de situation :

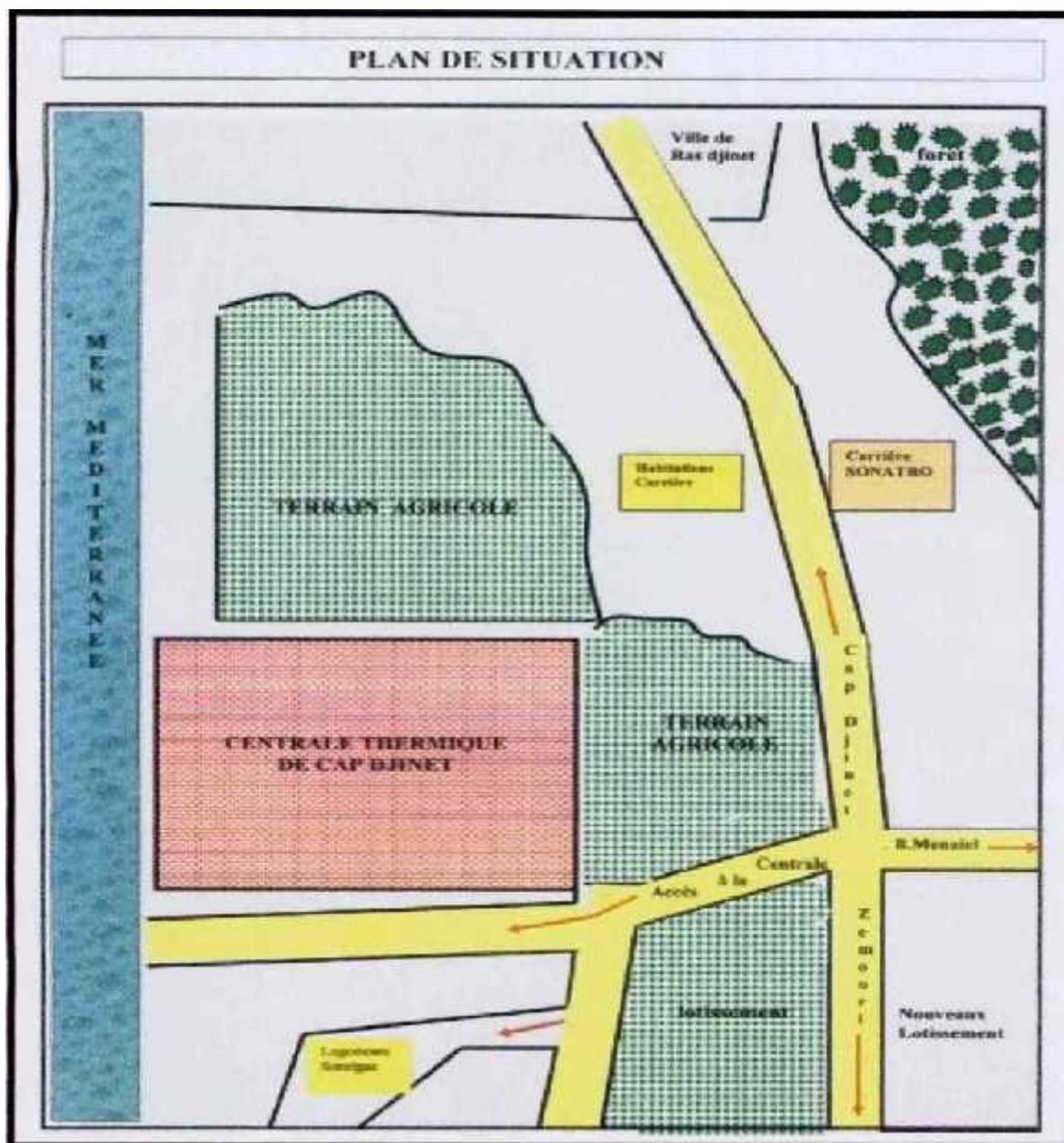


Figure N°2 : Plan de situation de la centrale thermique de cap djinet

5. Organigramme :

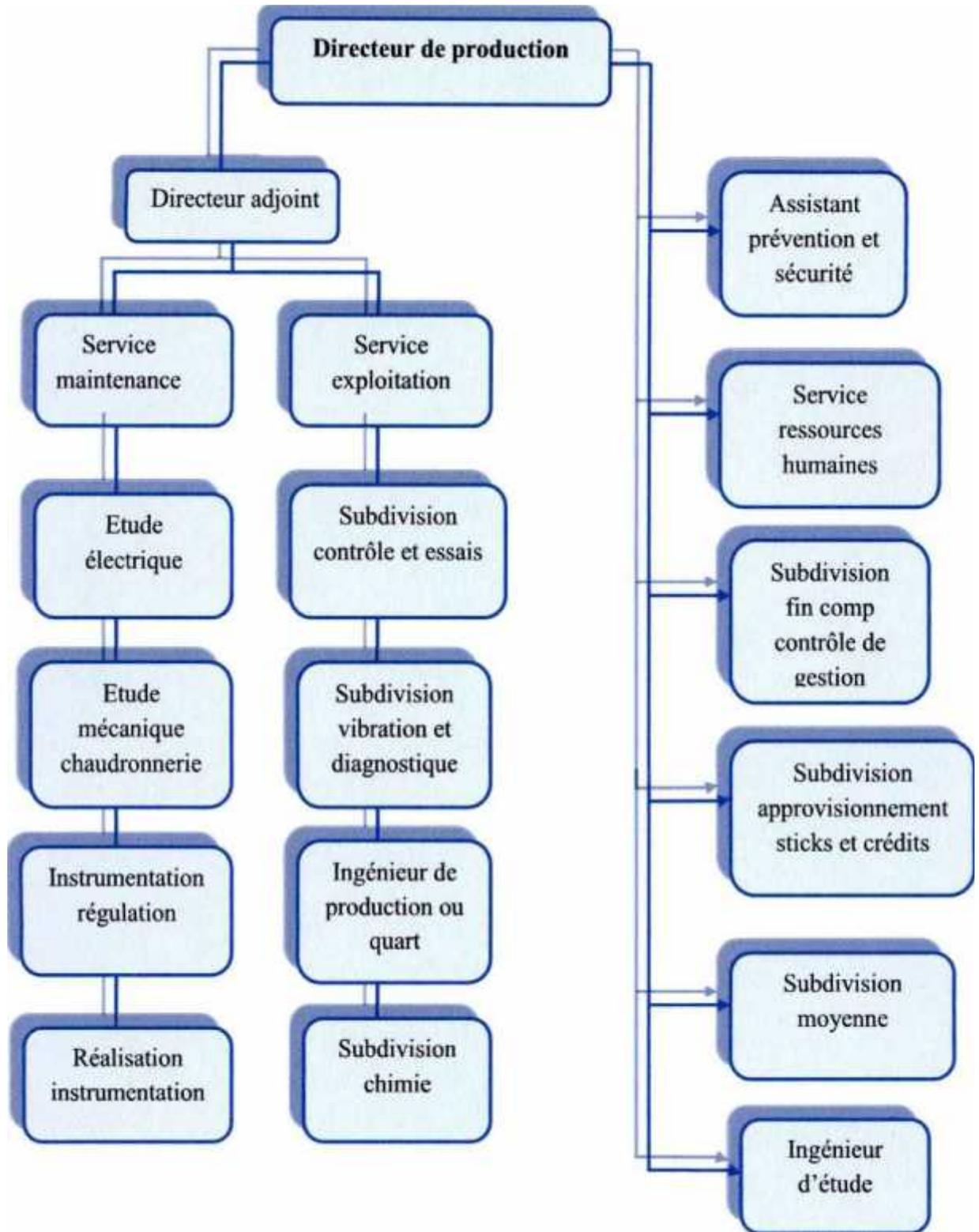


Figure N°3 : Organigramme de la centrale

6. Caractéristiques technique de la centrale : [1]

6.1. Combustible :

Le combustible principal utilisé dans les chaudières est le **gaz naturel** de HASSI-R'MEL, acheminé par gazoduc. Un débit de **16 000 m³/h** de gaz est nécessaire pour assurer la pleine charge des quatre groupes. En cas d'indisponibilité, le secteur est assuré par du **fuel** «oïl domestique» à l'aide d'un dispositif d'alimentation composé de deux réservoirs de **10000m³** pour chacun.

6.2. La turbine :

C'est l'élément le plus essentiel dans la centrale, elle transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre, le travail mécanique obtenu sert à entrainer l'alternateur. Cette turbine est une machine à une ligne d'arbres, composée de corps «**HP**» (Haute Pression), «**MP**» (Moyenne Pression), et «**BP**» (Basse Pression) séparés. Elle comporte **(06)** soutirages qui alimentent **(03)** réchauffeurs (**BP**), et **(02)** réchauffeurs (**HP**) et la bache alimentaire. Les rotors de la turbine et de l'alternateur sont accouplés rigidement.

6.3 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 de circuit eau-vapeur.

La prise d'eau se situe en mer à **900 m** 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 intérieure / extérieure (**2,70 m / 3,00 m**).

6.4. Eau de réfrigération secondaire :

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

6.5. 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.

- J) Deux (02) pompes de circulation d'eau de mer de **12 000 m³/h** chacune, qui refoulent l'eau de mer jusqu'au condenseur.

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

6.6. Système traitement des eaux :

a. 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 **(2x150 Kg/h)** de chlore avec deux unités. En condition de chloration continue, **104000 m³/h** d'eau de circulation sont continuellement chlorés.

b. 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 débit de **500 m³/h** chacune, assurent la production d'eau pour les appoints au cycle thermique. Ces unités sont de type multi flash. L'eau dessalée est stockée dans deux réservoirs de **2700 m³** chacun avant d'être déminéralisée. (Conductivité **<30 µs/cm**).

c. 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 lit mélangés de **40 m³/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 (02) réservoirs de **1900 m³** chacun. (Conductivité **<0,1 µs/cm**).

d. Station de production d'hydrogène :

La production de l'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 des quatre alternateurs de la centrale. Sous une pression de **3 bars**, en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction.

6.7. Le poste d'eau :

a. Rôle du 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).

b. Constitution :

• 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 2x12000m³/h**), dans les **14850** tubes en titane contenu dans le condenseur.

• Deux (02) pompes d'extraction :

Assurent le transfert de l'eau du puit du condenseur jusqu'à la bache alimentaire en passant par les trois (03) réchauffeurs **BP** (le débit nominale d'une pompe d'extraction est **414 m³/h**).

• Dégazeur et bache alimentaire :

Le dégazage a pour but d'éliminer l'oxygène (**O₂**) dissous dans l'eau pour protéger les installations et la chaudière contre la corrosion.

L'eau réchauffée est directement en contact avec la vapeur de soutirage N° 4 venant du corps **MP** de la turbine, elle est pulvérisée dans la vapeur.

) Trois (03) pompes alimentaires :

Servent à alimenter la chaudière à partir de la bache alimentaire (le débit nominal des pompes est de **3 x 261,6 m³/h**).

6.8. Générateur de vapeur (chaudière) :

La chaudière utilisée est de type à circulation naturelle qui a pour rôle de faire passer l'eau d'alimentation de l'état liquide à l'état vapeur « surchauffé » pour tourner le corps **HP** de la turbine et vapeur « resurchauffée » pour le corps **MP**. C'est l'un des éléments essentiels de circuit thermique, [2].

a. Principaux élément : [3]

a.1 Circuit eau :

Le circuit d'eau est constitué d'un économiseur, d'un ballon, de colonnes de descente et d'écrans vaporisateurs.

- **L'économiseur :**

Il extrait des gaz d'échappement de la chaudière la chaleur en excès, que la chaudière elle-même ne peut plus absorber, et de réchauffer l'eau destinée au ballon de la chaudière.

- **Ballon :**

Le mélange eau-vapeur monte vers le ballon, il se produit une séparation entre la vapeur et l'eau par des séparateurs cyclones.

- **Colonne de descente et écrans vaporisateurs :**

Ils sont raccordés à la partie inférieure du ballon, la circulation de l'eau dans ces tubes se fait naturellement à peu près en même temps que la production de vapeur. Elle repose sur la différence de poids qui existe entre le tube de descente plein d'eau et la colonne montante remplie du mélange eau -vapeur plus léger.

a.2 Circuit vapeur :

- **Surchauffeurs :**

Ils sont en nombres de trois, primaire, secondaire et tertiaire. Ils ont pour but d'élever la température de la vapeur saturée afin de la rendre une vapeur sèche. Son but est, pour les turbines, d'améliorer leur rendement global tout en préservant de l'érosion leurs ailettes, puisque aucune présence de gouttelettes d'eau n'est possible dans la vapeur surchauffée.

- **Resurchauffeurs :**

Ils ont un rôle identique à celui des surchauffeurs, à savoir élever la température de la vapeur resurchauffée provenant de la turbine.

- **Désurchauffeurs :**

Pour stabiliser la température de la vapeur surchauffée qui sort de la chaudière par l'injection des gouttelettes d'eau (pulvérisation), ils sont disposés entre les surchauffeurs et même entre les resurchauffeurs.

6.8. Alternateur :

L'alternateur est une machine transformatrice, c'est pour cela qu'il transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique.

6.9. Energie d'évacuation :

L'énergie électrique produite est évacuée par l'intermédiaire d'une ligne de **225Kv** sur le poste Alger-est (Boudouaou).

6.10. Commande et contrôle :

La centrale se caractérise par un degré élevé d'automation et de centralisation des commandes. On dénombre une quarantaine de chaînes de régulation par groupe de production qui permet un pilotage automatique du groupe.

6.11. 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.) des différents équipements 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.

6.12. Salle de commande centralisée :

Chaque paire de tranches est contrôlée et réglée depuis une salle de commande, cette dernière comprend pour chaque paire de tranche :

-) Deux pupitres de conduites.
-) Deux tableaux verticaux où sont rassemblés les organes de commande et les appareils d'enregistrement de la plus grande partie des paramètres.
-) Un tableau synoptique schématisant les auxiliaires électriques.

7. Fonctionnement d'une tranche de production : [1]

Avant d'écrire le fonctionnement de la centrale, il est bon de rappeler les différentes transformations énergétiques qui ont servi à la production de l'énergie électrique (Figure N°4). En gros on a trois transformations

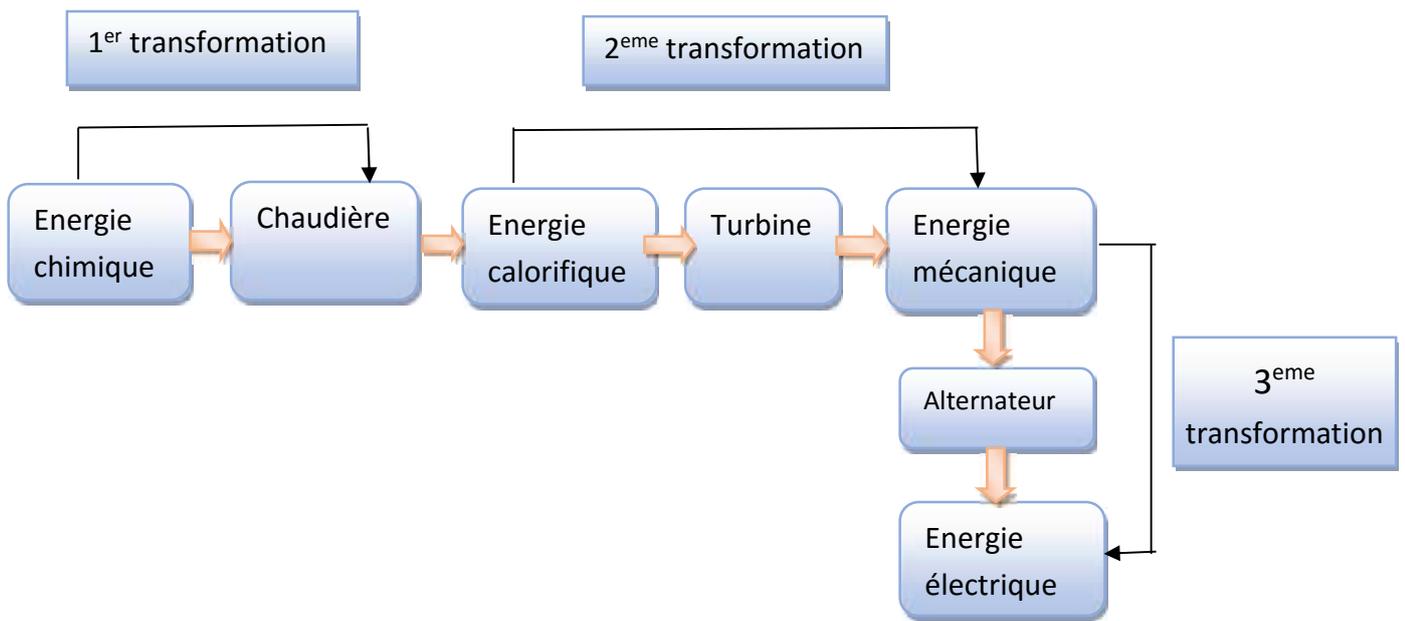


Figure N°4 : Principales transformation d'énergie

L'eau froide est aspirée à la bêche alimentaire alimenter par le condenseur, et par l'eau d'appointé après distillation, elle est comprimée successivement par les pompes basse pression et haute pression et réchauffer par les réchauffeurs **HP** et **BP**.

Au moyen de vapeur des soutirages, l'eau d'alimentation en sortant des réchauffeurs HP va évacuer dans la chaudière est particulièrement dans l'économiseur, l'eau se réchauffe par convection par les biais des famées résultant de la chambre de combustion, elle est canalisée ensuite vers le ballon.

A la sortie de l'économiseur, l'eau est encore à l'état liquide, pour avoir de la vapeur il faut encore la chauffer. Alors, du ballon, elle descend vers les écrans vaporisateurs.

Au contact de la flamme des brûleurs l'eau devient vapeur et monte naturellement jusqu'au ballon du fait de la différence de densité de l'eau et de la vapeur.

Dans le ballon s'opère une séparation de l'eau et de la vapeur, puis celle-ci est transmise à la surchauffeur par les tubes supports.

A la sortie de surchauffeur final, la vapeur est acheminée vers la turbine pour subir la détente, la vapeur d'échappement en partie détendue est refroidie dans la partie HP de la turbine, est ramenée à la chaudière pour une resurchauffe.

A la sortie des resurchauffeurs la vapeur poursuit sa détente dans le corps MP puis dans le corps BP, la vapeur détendue est conduite au condenseur. La condensation de la vapeur s'effectue sous vide à la température 33°C et à la pression de 0,05 bar.

Les pompes d'extraction aspirent l'eau du puits de condenseur et la refoulent à travers le réfrigérant d'alternateur, et les trois réchauffeurs basse pression jusqu'à la bêche alimentaire.

Dans la bêche alimentaire s'effectue le dégazage physique de l'eau d'alimentation, et un nouveau cycle peut recommencer (Figure N°5)

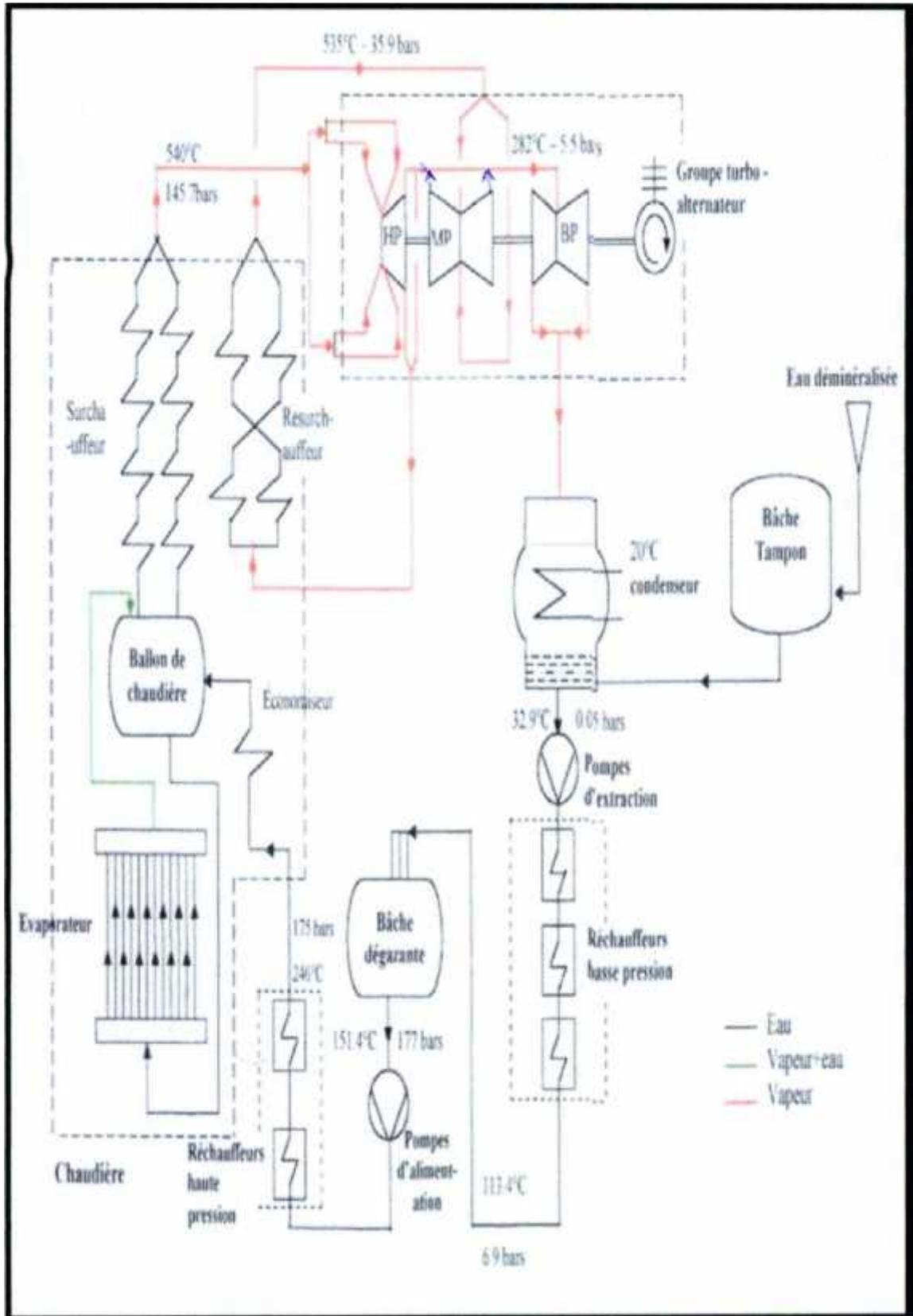


Figure N°5 : schéma synoptique d'une tranche thermique

Chapitre I

Généralités sur l'eau de mer

Chapitre I

Généralités sur l'eau de mer

I.1. Introduction : [4]

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 km³** et couvre **70%** de la terre, tandis que la consommation mondiale ne dépasse pas **1500 km³/an**.

I.2. Ressources mondiales en eaux :

Les ressources mondiales en eaux sont les mers, les océans, les glaciers, les fleuves, les eaux souterraines, et enfin les lacs. Toute fois l'essentiel est constitué d'eau de mer (**97.2%**) et de glace (**2.15%**) directement inutilisable. L'eau douce, facilement disponible (lacs, certains eaux souterraines), ne représente que **0.07%** des ressources totale, soit environ **1million de km²**, Les océans représentent ainsi une ressource quasi inépuisable en eau (tableau .1).

Tableau .1 : volume et temps de séjour de l'eau dans les différents réservoirs.

Réservoirs	Volume (10 ⁶ .km ³)	% total	Temps de résidence
Océans	1350	97	2500 ans
Glaciers (calotte glacière)	33	2.4	1000 à 10000 ans
Eaux souterraines	8	0.6	1500 ans
Lacs	0.1	< 0.01	17 ans
Eau dans le sol	0.07	< 0.01	1 ans
Eau dans l'atmosphère	0.013	< 0.001	8 jours
Rivières	0.0017	0.0001	16 jours
Eau dans la matière vivante	0.0011	0.0001	Quelques heures
Totale	1391	100	

I.3. Caractéristiques des eaux de mer :

I.3.1. Composition de l'eau de mer : [5]

L'eau de mer est une solution saline composée par de nombreux ions, mais seulement un nombre limité de composants contribuent pour plus de **99%** de la quantité totale de sel dont :

chlore, sodium, magnésium, calcium, potassium, brome, strontium, bore et fluor ainsi que des sulfates.

I.3.1.1. Espèces inorganiques :

Il a été constaté que même si la masse totale des sels dissous peut varier d'une mer à une autre, les proportions relatives des éléments majeur restent constante, cette propriété a été établie par le chimiste allemand **William Dittman**.

a. Constituants majeurs : [6]

En pratique, on retient comme constituants principaux ceux qui sont présents en concentration supérieure à **1 mg.kg⁻¹**. Ils sont énumérés dans le tableau .2.

Tableau .2 : Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer

Constituant	Concentration(mg./kg ⁻¹)
Na ⁺	10770
Mg ²⁺	1290
Ca ²⁺	412.1
K ⁺	399
Sr ²⁺	7.9
Bore totale	4.5
Cl ⁻	13354
So ₄ ²⁻	2712
HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	118-146
Br ⁻	67.3
F ⁻	1.3

b. Les éléments traces métalliques:

Les éléments traces métalliques (ETM) sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ **10⁻³ mg.kg⁻¹** en masse, ou moins. Le tableau .3 présente les principaux éléments traces métalliques dans l'eau de mer.

Tableau .3 : Concentration moyenne des principaux éléments traces métallique présents dans une eau de mer

Constituant	Concentration($\times 10^{-3}$ mg.kg ⁻¹)
Ti	1
Zn	0.5
Ni	0.48
Al	0.4
Cr	0.3
Cd	0.1
Cu	0.1
Fe	0.055
Mn	0.03
Pb	0.002
Hg	0.001

c. Les éléments nutritive:

Le terme d'éléments nutritifs comprend donc principalement les nitrates (NO_3^-) et l'ammoniac (NH_4^+), le phosphore sous forme phosphate (PO_4^{3-}) et le silicium tel que la silice (SiO_2). Les nutriments sont utilisés par les phytoplanctons, cellules végétales de taille d'un à quelques centaines de microns qui dérivent à la surface des océans et photosynthétisent des hydrates de carbone, de l'oxyde de carbone et de l'eau.

Le tableau .4 présente les teneurs moyennes en éléments nutritifs dans l'eau de mer.

Tableau .4 : principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer :

Elément nutritifs	Espèces dissoutes possibles	Concentration(mg.kg ⁻¹)
Azote	N_2 , NO_4^- , NH_4^+	11.5
Silicium	$\text{Si}(\text{OH})_4$	2
Phosphore	HPO_4^{--} , PO_4^{3-} , H_2PO_4^-	0.06

I.3.1.2. Composition en gaz dissous dans l'eau de mer : [7]

On trouve les gaz dissous : oxygène et gaz carbonique importantes pour la vie animale et végétale : qui comprennent principalement : **64% d'azote**, **34% d'oxygène**, **1.8% de dioxyde de**

carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre) ... ces concentrations diminuent lorsque la température et la profondeur augmentent.

I.3.1.3. Composition organique :

L'océan est le plus grand réservoir de carbone organique sur terre avec environ **700 Gt**, la majeure partie du carbone organique se trouve sous forme dissoute COD à plus de **92%** tandis que la fraction particulaire COP représente entre 2 (pour les eaux profondes) et **8%** (pour les eaux de surface) du carbone organique total (COT) présent dans l'océan soit une moyenne de **3%**.

a. Matière organique particulaire :

L'eau de mer contient de la matière organique particulaire dont les constituants possèdent des tailles variées : le phytoplancton, les levures, les bactéries et les petits micro-organismes hétérotrophes comme le micro-zooplancton.

b. Chlorophylles :

Les chlorophylles sont des récepteurs primaires et secondaires de la lumière dans le mécanisme de la photosynthèse du phytoplancton marin. Ces molécules servent à transférer l'énergie lumineuse lors de la photo-réaction et à la convertir en énergie chimique de réduction ou d'oxydation.

c. Matière organique dissoute :

Elle contient aussi la matière organique dissoute qui a pour origine l'activité biologique planctonique, les apports continentaux par les fleuves et les apports atmosphériques.

I.3.1.4. La flore bactérienne marine : [8]

Dans les écosystèmes aquatiques, les organismes les plus nombreux sont les microorganismes, les bactéries forment la composante majoritaire. Leur rôle est fondamental dans l'équilibre écologique des milieux aquatiques, principalement par la régulation des cycles biogéochimique et énergétique.

Les bactéries marines diffèrent physiologiquement de celles qui ont des habitats non marins ; elles sont très adaptées aux conditions très spéciales offertes par le milieu marin (salinité, pH, oxygénation réduite, basses températures et des pressions souvent considérables).

Dans le milieu marin, les bactéries servent de nourriture à de nombreux organismes marins, elles favorisent la fixation d'algues ou de laves sur certains substrats, elles permettent également

la dégradation de certains polluants tels que naphthalène, pesticides, cellulose, hydrocarbures, etc. Cependant, leur effet peut être nuisible.

I.3.1.5. Constitution d'entartrage : [9]

Toutes les eaux de mer contiennent un certain nombre de sels dont la concentration varie avec les conditions climatiques et les lieux géographiques.

Quand l'eau de mer est chauffée dans un évaporateur, les limites de solubilité de certains sels sont atteintes, par conséquent, une formation de tartre se produit sur les surfaces des membranes tel que : CaCO_3 , Mg(OH)_2 , CaSO_4 , NaCl .

I.4. propriétés de l'eau de mer :

I.4.1. Salinité :

La salinité est le caractère la plus importante de l'eau de mer. La présence de sels dans l'eau modifie fortement certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, coefficient d'activité), tandis que d'autres sont moins influencées (viscosité, absorption de la lumière). D'autres propriétés dépendent essentiellement de la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique).

D'après **Forch et Al. (1902)** la salinité ($S_{\text{‰}}$) de l'eau de mer est définie comme la mesure de la matière dissoute en (g/kg d'eau de mer) lorsque les quantités de brome et d'iode remplacés par la chlore, les espèces carbonatées sont transformées en oxyde et la matière organique est détruite, Elle se mesure en **PSU**, unité reposant sur la conductivité de l'eau de mer, équivalente au pour mille (‰) ou encore au g/kg, [5].

) Expression de la salinité :

Compte tenu de la difficulté de la mesure directe de la salinité ainsi exprimée, Knudsen a proposé un calcul de la salinité à partir de la chlorinité :

$$S_{\text{‰}} = 0.030 + 1.8050 \text{ Cl } \text{‰}$$

($\text{Cl } \text{‰}$ étant la masse d'halogénures, exprimée en chlorures, obtenue à partir de **1kg** d'eau de mer). Plusieurs organismes internationaux ont établi en 1956 des tables océanographiques

internationales. Depuis 1969 est entrée en vigueur, une nouvelle relation empirique, plus précise entre la salinité et la chlorinité :

$$S\text{‰} = 1.80655 \times \text{Cl } \text{‰}$$

La salinité varie d'une mer à une autre et elle est en moyenne de **35 g/l**, avec de fortes variations régionales dans certains cas : **39 g/l** en Méditerranée, **42 g/l** dans le Golfe Persique et jusqu'à **270 g/l** en mer morte, elle peut aussi varier au cours de l'année, en fonction de la saison, La mer soit plus salé l'été que l'hiver que les mers méridionales le soient d'avantage que les mers septentrionales.

I.4.2. Conductivité électrique : [10]

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 (Tableau .5).

Tableau .5 : Conductivité de l'eau de mer ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)

Salinité(‰)	Température		
	25°C	15°C	5°C
10	17.345	13.967	10.616
20	32.188	25.967	20.816
30	46.213	37.351	29.090
35	53.025	42.896	33.457

I.4.3. pH des eaux de mer : [11]

L'eau de mer est faiblement alcaline et son pH moyen est de 8 avec des variations entre **7** et **8.2**. Il varie très légèrement selon l'activité de la photosynthèse du plancton et des algues marines ainsi qu'avec la profondeur (tableau .6).

-) Une forte production d'oxygène s'accompagne 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)

Tableau .6 : pH de l'eau de mer :

Océan ou mer	pH
Atlantique	8.25
Indien	8.25
Baltique	8.15
Méditerranée	8.00
Rouge	8.20

I.4.4. La température :

La température varie en fonction de la latitude et de la profondeur, elle est au minimum de **-4°C** (point de congélation) pour atteindre **35°C** dans certaines mers tropicales (golfe persique). Les variations sont surtout sur la couche superficielle des océans (vent, courants, houle, soleil).

I.5. Autre propriétés de l'eau de mer : [12]

I.5.1 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**.

I.5.2. Viscosité :

La viscosité décroît rapidement en fonction de la température et dépend également de la salinité (tableau .7). Cette dernière caractéristique est prise en compte dans l'équation suivante :

$$\eta = \eta_0 (1 + A\sqrt{C} + BC)$$

0 étant la viscosité du solvant à l'état pur, **C** la concentration du soluté. **A** et **B** des coefficients dépendant du soluté. Suivant la nature des ions, le coefficient **B** peut prendre des valeurs positives ou négatives et rendre plus ou moins fluide le solvant (les ions ayant tendance à former des ions complexes augmentent la viscosité).

Tableau .7 : Viscosité relative / **0** l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité. **0** viscosité de l'eau pure à **0°C 1787** centpoise.

Température	5 ‰ S	10 ‰ S	20 ‰ S	30 ‰ S	40 ‰ S
0	1,009	1,017	1,032	1,056	1,054
5	0,855	0,863	0,877	0,891	0,905
10	0,738	0,745	0,785	0,772	0,785
15	0,643	0,649	0,662	0,675	0,688
20	0,568	0,574	0,586	0,599	0,611
25	0,504	0,510	0,521	0,533	0,545
30	0,454	0,460	0,470	0,481	0,491

I.6. Le problème de l'eau en Algérie : [13] [14]

L'Algérie, située dans une zone semi-aride, a toujours vécu un déficit en eau. Après l'indépendance, elle est directement confrontée au problème du manque d'eau à la fois pour l'industrie, l'agriculture, et les besoins des populations, non seulement l'explosion démographique et la croissance économique entraînent une demande en eau qui dépasse de très loin les ressources disponibles, mais, en plus, rien n'indique que la sécheresse qui a sévi ces deux dernières décennies laisserait place à une pluviosité abondante.

I.6.1. Ressource en eau :

En moyenne, un milliard de m³ d'eau précipite annuellement sur le nord de l'Algérie. **150** millions de m³ seulement alimentent les nappes phréatiques. Le reste, soit **850** millions m³ s'évapore dans l'atmosphère.

Les potentialités en eaux superficielle de l'Algérie sont estimées à environ **13** milliards m³ dont **11,5** milliards de m³ dans les bassins côtiers et **627** millions de m³ dans les bassins sahariens et **733** millions de m³ dans les hautes plaines.

Pour ce qui est des eaux souterraines, elles sont estimées à **1,8** milliards de m³ dans le Nord. Les ressources mobilisables totales en eau de surface sont évaluées à **5,7** milliards de m³ dans le sud du pays.

D'autres ressources non négligeables peuvent être mobilisées pour l'agriculture. Par exemple, il s'agit de traitement des eaux usées dont le volume est d'environ **600** millions de m³. Si toute fois les stations d'épuration sont fonctionnelles.

I.6.2. Faiblesse des ressources en eau : [15]

a. Les ressources en eau superficielle :

Les ressources en sont généralement faibles et surtout extrêmement irrégulières, leur exploitation devient de plus difficile dans notre pays, leur répartition sur le territoire est inégale, elles sont également exposées à des risques de pollution de plus en plus importants et qui compromettent l'utilisation de ces eaux dans de nombreuses régions du pays.

b. Les ressources en eau souterraine :

Les eaux souterraines sont généralement faibles et localisées dans le Sahara, Au nord, les précipitations sont irrégulières et mal distribuées géographiquement, elles augmentent d'ouest en est et affectent successivement les monts de Tlemcen, le versant nord de l'Ouarsenis, le massif de la grande Kabylie, la petite Kabylie, le nord constantinois et le massif des Aurès.

c. Dégradation continue des ressources :

La dégradation des ressources en eau commence à atteindre des proportions inquiétantes dans la région tellienne, où se trouve la plus grande partie des potentialités en eau de surface, la pollution de certains barrages, tant par les eaux usées domestiques que par des rejets industriels.

d. Les périodes de sécheresse :

L'Algérie connaît depuis plus d'une vingtaine d'années, une sécheresse sévère et persistante. L'année 1988/1989 est à classer en tant qu'année sèche. Le déficit pluviométrique est bien remarqué à l'Ouest. De manière générale, la sécheresse est apparue sur la majorité des pays du bassin méditerranéen depuis le début des années 1980.

d. Conditions climatiques difficiles :

Le climat en Algérie est semi-aride (200 mm à 500), d'où des ressources de plus en plus limitées et difficiles à exploiter. Il faut savoir que trois ensembles fortement contrastés climatiquement caractérisent le territoire national et qui sont :

-) Le littoral et les massifs montagneux occupant environ **4%** de la superficie totale. Le climat est de type méditerranéen, les pluies pouvant atteindre **1600 mm/an** sur les reliefs sont irrégulières d'une année à l'autre et inégalement réparties.
-) Les hauts plateaux qui occupent environ 9% de la superficie totale, sont caractérisés par un climat semi-aride, il en résulte une faiblesse des ressources hydriques.
-) Le Sahara, ensemble désertique, aride avec une pluviométrie moyenne inférieure à 100 mm/an, couvre 87% du territoire, les conditions climatiques extrêmes et les amplitudes thermiques sont très fortes.

e. Croissance démographique :

L'Algérie comptait environ 32.3 millions d'habitants en 2004, dont **41%** établis dans le milieu rural (la population est fortement concentrée dans la zone côtière). En 2017, la population dépasse 40 millions d'habitants.

g. Pertes dans les réseaux d'irrigation :

Les pertes totales dans les réseaux d'irrigation sont estimées globalement à 40% des prélèvements. Il faut apprendre à ne pas gaspiller l'eau d'une part et à produire de l'eau salubre à partir de l'eau de mer ou des sources fortement polluées d'autre part.

Chapitre II

Technique de dessalement

II.1. Introduction:

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

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 sont permises 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, [5].

II.2. Les principales technologies de 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.

II.2.1. Procèdes de dessalement :

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

1)-Les procédés faisant intervenir un changement de phase :

-) Evaporation.
-) Congélation.

2)-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).

3)-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 : les procédés par évaporation et les procédés de séparation par membranes (Figure N°6), [4].

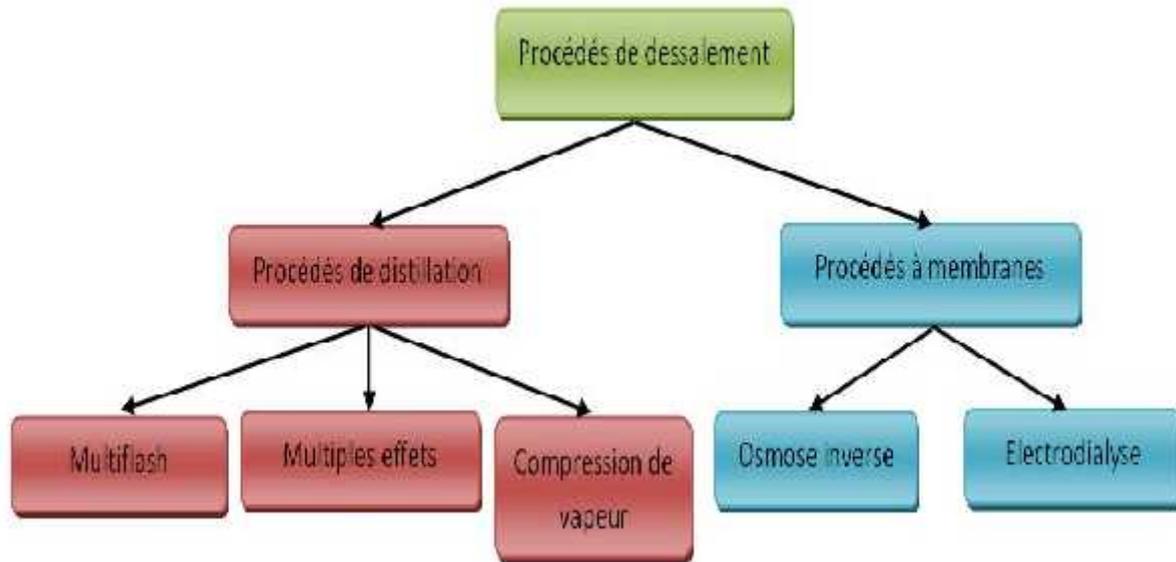


Figure N° 6 : Procédés industrialisés de dessalement

L'ensemble des procédés utilisant la technique de distillation sauf le procédé compression de vapeur, (VC) utilise l'énergie thermique. Les procédés utilisant les membranes, ainsi que VC, font appel à l'énergie électrique ou mécanique.

II.2.1.1. Schéma générale d'une installation de dessalement :

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes (voir figure N°7) :

-) 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 reminéralisation de l'eau produite.

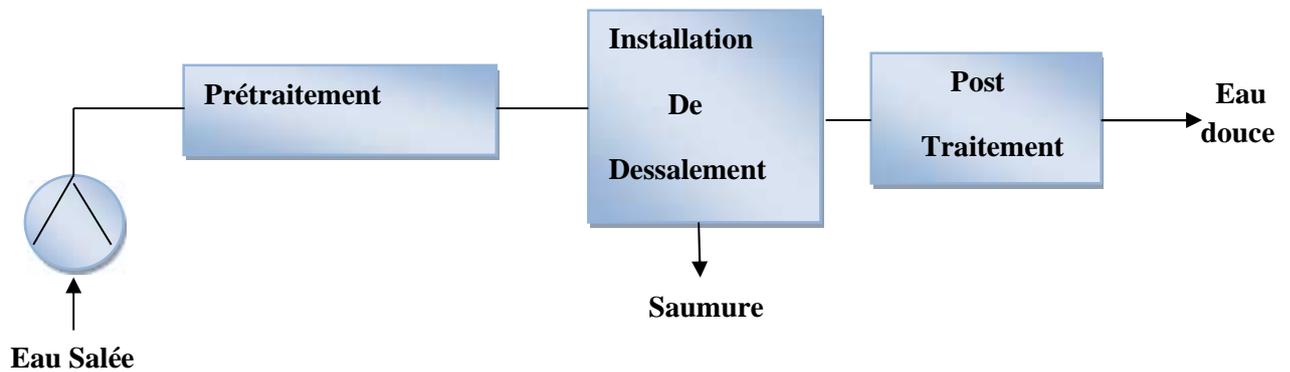


Figure N°7 : Schéma général d'une installation de dessalement

II.2.1.2. Procédés de distillation : [17] [20]

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.

a) - Distillation à simple effet :

Un faisceau tubulaire, alimenté par un fluide chauffant est plongé dans l'eau de mer à la partie basse d'une enceinte étanche et sous vide. Le fluide chauffant provoque alors une évaporation de l'eau de mer. La vapeur ainsi formée est condensée sur un faisceau tubulaire, placé dans la partie haute de l'enceinte et dans lequel circule l'eau de mer froide. L'eau distillée et condensée s'écoule du faisceau et est recueillie dans une goutte d'où elle est pompée pour des usages divers.

Un appoint d'eau de mer, supérieur à la production, est introduit dans l'enceinte, une autre pompe évacue une fraction de saumure de telle manière que la salinité de l'eau de mer reste à une concentration acceptable (voir figure N°8).

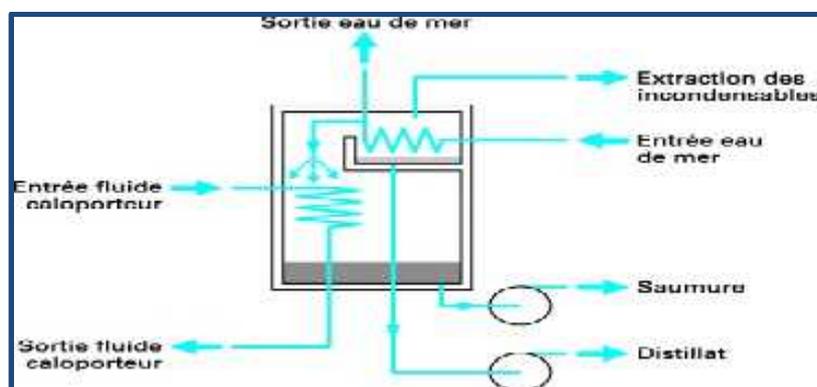


Figure N°8 : principe de distillation à simple effet

b) - Distillation à multiple effets:

L'eau de mer est chauffée dans le premier effet, vaporisant une fraction d'eau de mer, une partie de cette vapeur est condensée par le faisceau tubulaire où circule de l'eau de mer froide. L'autre partie de la vapeur est renvoyée dans l'effet suivant, maintenu à une pression plus faible que le premier. De même, une partie de la saumure chauffée dans le premier effet est également utilisée pour chauffer l'eau de mer dans le second.

La vapeur en provenance du premier effet se condense dans le deuxième sur le faisceau tubulaire et produit une quantité presque égale de vapeur à partir de l'eau de mer, et ainsi de suite. A chaque effet, l'eau distillée est envoyée dans un collecteur (voir figure N°9).

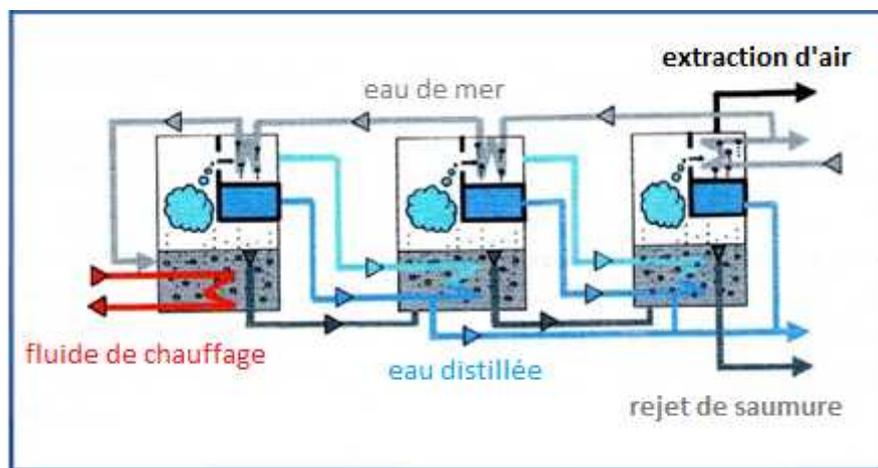


Figure N°9 : Principe de distillation à multiples effets

Il existe plusieurs variantes d'évaporateurs multiples effets, les usines **MED** sont construites avec des faisceaux à long tubes verticaux (Vertical Tube Evaporateur, **VTE**) et les évaporateurs multiples effet à tubes horizontaux (Horizontal Tube évaporateur, **HTE**),

- J Dans le 1^{ère} cas, l'eau de mer est amenée au sommet des faisceaux multitubulaires et ruisselle en film mince le long de tubes d'échange chauffés extérieurement, la saumure est recueillie à la base de la cellule. La saumure et la vapeur, qui sert de fluide chauffant sont envoyées à la partie supérieure de la seconde cellule et ainsi de suite.
- J Dans le 2^{ème} cas, le principe retenu est de pulvériser la saumure préchauffée sur la surface extérieure d'un faisceau de tubes horizontaux, tandis que la vapeur s'écoule à l'intérieur des tubes ou elle se condense, produisant ainsi de l'eau pure.

c)-Distillation par détente successives (Multi stage Flash, MSF): [19]

) Le procédé de distillation à détente étagées a cycle direct:

Ce procédé dit **Flash** consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de **120°C**, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes (voir figure N°10).

C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détente successive dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites.

Pour chauffer l'eau de mer jusqu'à **120°C**, l'eau de mer circule d'abord dans les tubes des condenseurs des différents étages en commençant d'abord par le dernier étage où la température est la plus faible, elle est alors préchauffée en récupérant la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. Elle est finalement portée à **120°C** grâce à de la vapeur à une température supérieure à **120°C** produite par une chaudière, [18].

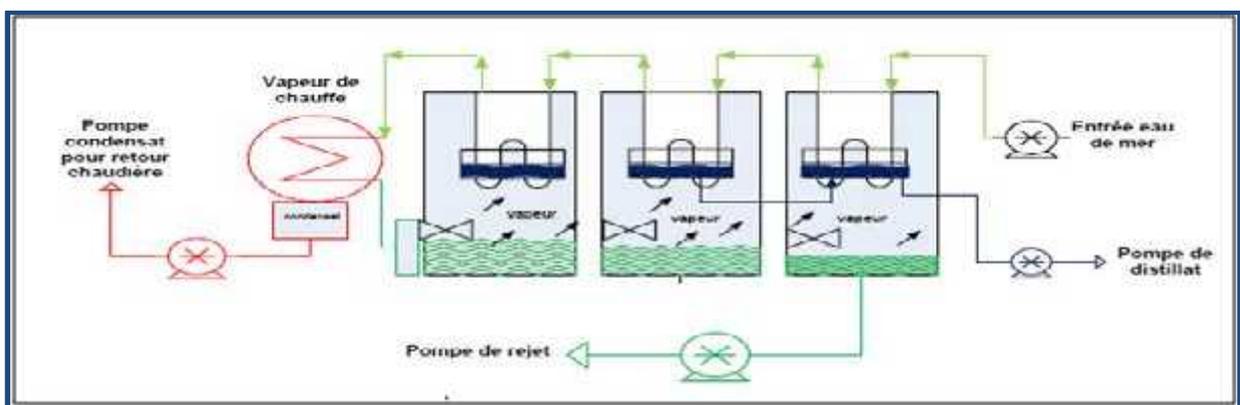


Figure N°10 : Principe de fonctionnement d'un système par détente successive MSF a 3 étages

) Procédé Flash à recirculation :

Une unité Flash à recirculation est divisée en deux parties:

-) Des étages à basse température dits de rejet de chaleur, où l'eau de mer froide est utilisée pour la condensation de la vapeur produite et où sont extraites l'eau douce et la saumure.

- J) Des étages de récupération de chaleur et de réchauffeur, ou la saumure circule en boucle fermée: la concentration de la saumure dans les condenseurs est maintenue constante par injection du débit d'eau de mer prétraitée.

d)-Distillation par compression de vapeur:

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée (voir figure N°11). La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée, [17].

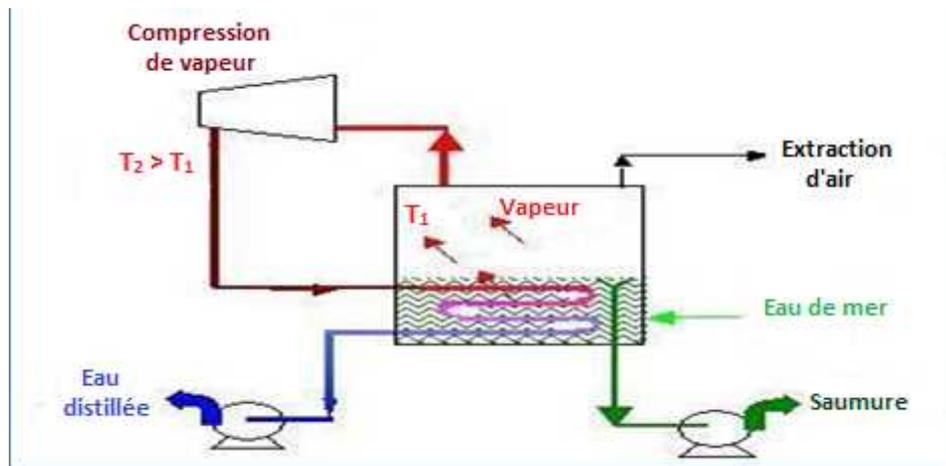


Figure N°11 : Principe de distillation à compression de vapeur

II.2.1.3. Procédés à membrane: [19] [20]

Les membranes ont la capacité de différencier et séparer sélectivement les sels et l'eau. En utilisant ces capacités mais différemment dans chaque cas, deux procédés de dessalement à membrane ont été développés et sont actuellement disponibles sur le marché.

a) - Osmose inverse :

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

Si l'on considère 2 solutions de concentrations salines différentes séparées par une membrane (voir figure N°12). L'eau migre spontanément de la solution diluée à la solution la plus concentrée. Si l'on applique une pression supérieure à la pression osmotique (pression d'équilibre) le solvant va migrer de la solution concentrée à la solution diluée, c'est le **phénomène d'osmose inverse**.

Donc, l'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (**54 à 80 bars** pour le traitement de l'eau de Mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase.

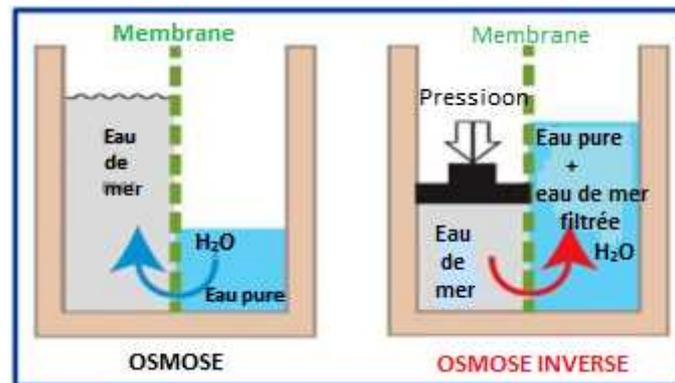


Figure N°12 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

Les membranes sont constituées d'une surface plane dont la perméabilité est sélective. Son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée.

Actuellement quatre types de modules sont commercialisés et les membranes les plus couramment utilisées pour le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse sont les membranes à fibres creuses et de type spirale.

b) -Electrodialyse :

L'électrodialyse est une technique séparative dans laquelle des espèces ionisées minérales ou organiques dissoutes, telles que les sels, les acides ou les 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 séparant 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 cationiques sont arrêtés par les membranes anioniques, et réciproquement (figure

N°13) : il en résulte une augmentation de la concentration dans les compartiments de même parité (concentrat) et une diminution dans les compartiments adjacents (diluât).

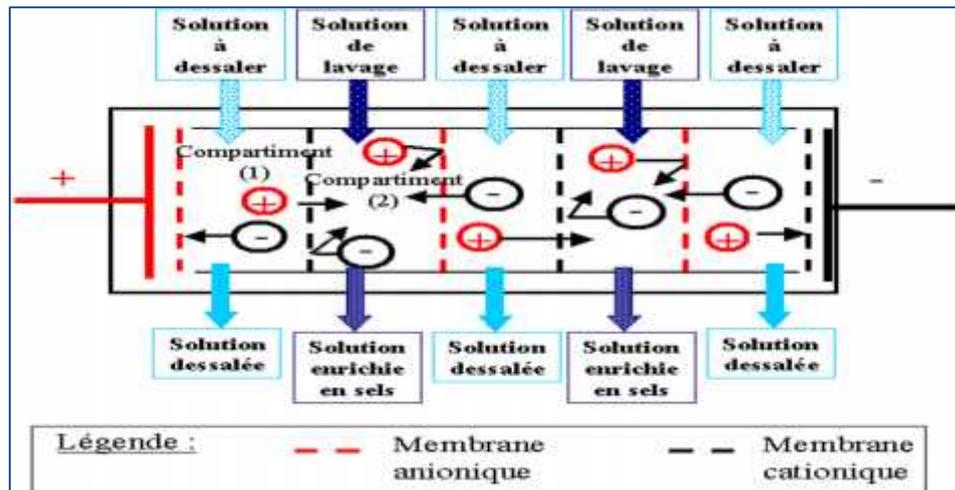


Figure N°13 : Principe du dessalement par électrodialyse

Les membranes utilisées en électrodialyse sont des membranes échangeuses d'ions qui se présentent sous la forme de feuilles dont l'épaisseur est comprise entre **0,1** et **0,8mm**. Du point de vue propriétés on distingue deux types de membranes

- Les échangeuses de cations qui sont perméables uniquement aux cations et dont le groupement fonctionnel est en générale un groupement acide sulfonique(SO_3^-).
- Les échangeuses d'anions qui sont perméables uniquement aux anions et dont le groupement fonctionnel est en générale un groupement ammonium quaternaire(NR_3^+).

II.2.1.4. Autres procédés :

Reposant sur le principe de la congélation, de la distillation à membranes, de l'humification solaire et les processus solaires et éoliens. Elles sont Très peu utilisées compte tenu de faible succès commercial, mais ils peuvent prouver l'objet de valeur dans des circonstances spéciales ou encore avec d'autres avances ou améliorations technologiques.

II.2.2. Comparaison des procédés : [21]

Le dessalement est un processus très consommateur d'énergie. Pour le **MED** et les usines **MSF**, l'énergie principale est sous forme de chaleur, mais un peu d'énergie électrique est exigée pour les pompes et les auxiliaires. Le **RO** et **ED** utilisent seulement de l'énergie électrique.

Tableau n°8 : Comparaison des procédés de dessalement.

comparaison	MSF	MED	MED-VC	VC	RO	ED
Température de fonctionnement	< 120	< 70	< 70	< 70	< 45	< 45
Principale source d'énergie	Thermique	Thermique	Thermique	Electrique	Electrique	Electrique
Consommation Thermique (KWh/m ³)	12	6	21	Pas applicable	Pas applicable	Pas applicable
Consommation électrique (KWh/m ³)	3,5	1,5	1,5	8-15	4-7	1
Salinité de l'eau brute (g/l)	30-100	30-100	30-100	30-50	1-45	0.1-3
Salinité de l'eau traité (mg/l)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 500	< 500
Capacité d'un trainage (m ³ /j)	5000-60000	500-12000	100-20000	10-2500	1-10000	1-12000
Avantage	Technique éprouvée	20 % moins cher que le MSF	Capacité robuste	Simplicité	Modularité	/
Inconvénients	Investissement, consommation	Capacité plus faible que MSF	Consommation	Capacité limitée	Fragilité	/

Les techniques thermiques sont adaptées aux fortes salinités et aux hautes températures alors que les techniques à membranes sont meilleur marché dans des conditions de salinité moyenne et de température peu élevée (autour de 25°C).

II.2.3. Choix des procédés :

Le choix du procédé dépend de plusieurs paramètres :

-) La situation géographique.
-) La disponibilité, le coût des matériaux et le coût de l'énergie.
-) La capacité désirée pour l'installation et la nature de l'eau à dessaler.
-) La pureté de l'eau que l'on veut obtenir.
-) La disponibilité de main d'œuvre pour l'entretien.
-) L'utilisation de l'eau produite (usage domestique ou bien industrielle).

II.3. Situation et tendances du dessalement de l'eau de mer en Algérie : [22] [23]

Les sécheresses répétées qui frappent notre région magrébine ont accru d'une manière considérable les difficultés d'approvisionnement des populations en quantité qu'en qualité.

L'Algérie avec un climat semi-aride et avec des ressources en eau souvent utilisés intensivement, souffre temporairement en eau de stockage, avec un niveau élevé d'utilisation de ces ressources en eau, la demande en eau croît rapidement et l'eau disponible décroît.

L'Algérie a choisi le dessalement d'eau de mer pour faire face à la demande domestique et industrielle en eau dans le pays.

II.3.1. Historique et constat de l'expérience algérienne:

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie et tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage destiné exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi-inexistant. Une seule expérience a été tentée dans une situation où il n'existait aucune autre solution. Il s'agit de l'unité de déminéralisation d'**Oued Djellaba** dans la wilaya de Biskra (Sud-Est Algérien).

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

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

D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au processus des complexes de production de l'électricité (**Cap Djinet** à l'Est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (**Arzew et Skikda**). Il y a également quelques installations qui sont destinées, principalement dans le sud, à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières.

On retrouve l'ensemble des procédés classiques: **électrodialyse, échanges d'ions, distillation et osmose inverse**. Le tableau ci-dessous présente les différentes installations qui sont mise en service.

Tableau n°9 : Différentes installations de dessalement dans le pays.

Sites	Nombre d'unités	Débit (m ³ /j)	Procédé	Mise en service
Skikda	1	1440	Flash	1971
Skikda	2	720	Flash	//
Skikda	-	1440	Echangeurs d'ions	//
Annaba	2	960	//	//
Annaba	2	3600	//	1973
Ghazaouet	1	840	//	1974
Arzew	6	3888	Electrodialyse	1975
Arzew	-	960	Echangeurs d'ions	//
Hassi Messaoud	6	1000	Electrodialyse	//
Hassi Messaoud	2	110	//	1976
Hassi Touil	1	55	//	1977
Arzew	1	350	Thermo compression	1978
Annaba	3	14180	Multi flash	//
Hassi Messaoud	2	350	Electrodialyse	//
Bel Abbes	-	1500	Echangeurs d'ions	//
Haoud Berkaoui	1	55	Electrodialyse	1979
Hassi Messaoud	2	300	//	//
Rhoud El	1	25	//	//
Baguel	1	960	Multi Flash (5	//
Arzew	2	144	étages)	//
Annaba	2	576	Echangeurs d'ions	//
Annaba	3	792	//	//
Hassi Rmel	2	6240	Osmose inverse	1980
Annaba	-	960	Echangeurs d'ions	//
Ghardaia	1	960	Osmose inverse	//
Arzew	-	57600	Multi Flash (6	//
Mostaganem	2	300	étages)	1981
Rhoud El	-	864	Osmose inverse (6	//
Baguel	1	1800	lignes)	//
Biskra	-	160	Electrodialyse	1982
Annaba	1	1200	Osmose inverse	//
Reghaia			Echangeurs d'ions	
Arzew			//	
			Compression vapeur	

II.3.2. Les ressources en eau en Algérie : [24]

En moyenne, un milliard de m³ d'eau précipite annuellement sur le nord de l'Algérie. **150** millions de m³ seulement alimentent les nappes phréatiques. Le reste, soit **850** millions m³ s'évapore dans l'atmosphère.

Les potentialités en eaux superficielles de l'Algérie sont estimées à environ **13** milliards m³ dont **11,5** milliards de m³ dans les bassins côtiers et **627** millions de m³ dans les bassins sahariens et **733** Millions de m³ dans les hautes plaines.

Pour ce qui est des eaux souterraines, elles sont estimées à **1,8** milliards de m³ dans le Nord. Les ressources mobilisables totales en eau de surface sont évaluées à **5,7** milliards de m³ dans le sud du pays.

D'autres ressources non négligeables peuvent être mobilisées pour l'agriculture. Par exemple, il s'agit de traitement des eaux usées dont le volume est d'environ **600** millions de m³. Si toute fois les stations d'épuration sont fonctionnelles.

II.3.3. Situation des ressources:

Notre pays souffre d'un manque d'eau, cette situation n'a jamais pu être réglée à ce jour. De plus, un rationnement permanent est utilisé pour essayer de servir tous les consommateurs. Cette situation tend à s'aggraver avec l'accroissement des besoins des consommateurs.

La situation de l'eau en Algérie est aggravée par:

-)] Irrégularité des pluies, les études montrent que les **20** dernières années le taux de pluviométrie est réduit de **30%** par rapport à la moyenne des années précédentes, cette sécheresse a un impact négatif sur:
 - L'écoulement dans les rivières,
 - Le remplissage des barrages et réservoirs,
 - L'alimentation des aquifères.
-)] Mauvaise distribution de l'eau.
-)] Manque de maintenance des puits, réservoirs et barrages (envasement des barrages).
-)] Fuite d'eau dues aux vieillissements des réseaux de distribution (**40%** d'eau est perdue dans les systèmes: **32%** techniques et **8%** connections).
-)] Mauvaise gestion de ressources.
-)] La pollution des nappes et des eaux superficielles dépasse en volume les capacités de traitement des systèmes d'épuration installés (intrusion marine).
-)] Infrastructures insuffisantes et puits illicites,
-)] Déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles.

Cette situation constitue un risque d'assèchement de ces réserves, ce qui menace sérieusement l'avenir des générations futures.

A cet effet, le recours au dessalement d'eau de mer, en tant que solution complémentaire, atténue considérablement ces risques et participe à couvrir une partie du déficit de ces ressources.

II.3.4. Capacité installée: [25]

En **2002**, La sécheresse a menacé sérieusement les ressources en eau, où les réserves avaient atteint un niveau alarmant. Pour faire face, plusieurs petites unités ont été installées un peu partout.

Actuellement **23** stations « monobloc » d'une capacité totale de **57500 m³/j** sont installées presque dans toutes les wilayas de la bande côtière. En **2011**, ils pourront atteindre **52**.

Une dizaine de grosses unités de plus de **575000 m³/j** installées dans les grandes villes (Hamma **200 000 m³/j**, Arzew **90000 m³/j**) (voir figure n°14). La plus importante unité de dessalement en Afrique par le procédé d'osmose inverse est l'unité de Hamma. Elle est mise en fonction en février **2008** et répond à **25%** des besoins domestiques en eau de la capitale. D'autres stations sont en cours de réalisation (Jijel **50000 m³/j**, El-Kala **50000 m³/j**, AinTemouchent **150 000 m³/j**, Annaba **100 000 m³/j**). La quantité d'eau dessalée en Algérie est estimée à **60** millions m³.

Tableau n°10 : Stations « monobloc » en Algérie.

Numéro	Localisation	Capacité (m ³ /j)	Population à servir	L'année mise en service
01	Hamma	200 000	1333,320	1 ^{er} trimestre 2008
02	Kahrama	90 000	540 000	3 ^{eme} trimestre 2005
03	Skikda	100 000	666,660	2 ^{eme} trimestre 2007
04	Béni-Saf	150 000	999,990	3 ^{eme} trimestre 2007
05	Souk-Tlefa	100 000	666,660	1 ^{er} trimestre 2007
06	mostaganam	100 000	666,660	3 ^{eme} trimestre 2007
07	Zéralda	100 000	666,660	1 ^{er} trimestre 2008
08	Cap Djinet	100 000	666,660	2 ^{eme} trimestre 2008
09	jijel	50 000	333,330	1 ^{er} trimestre 2009

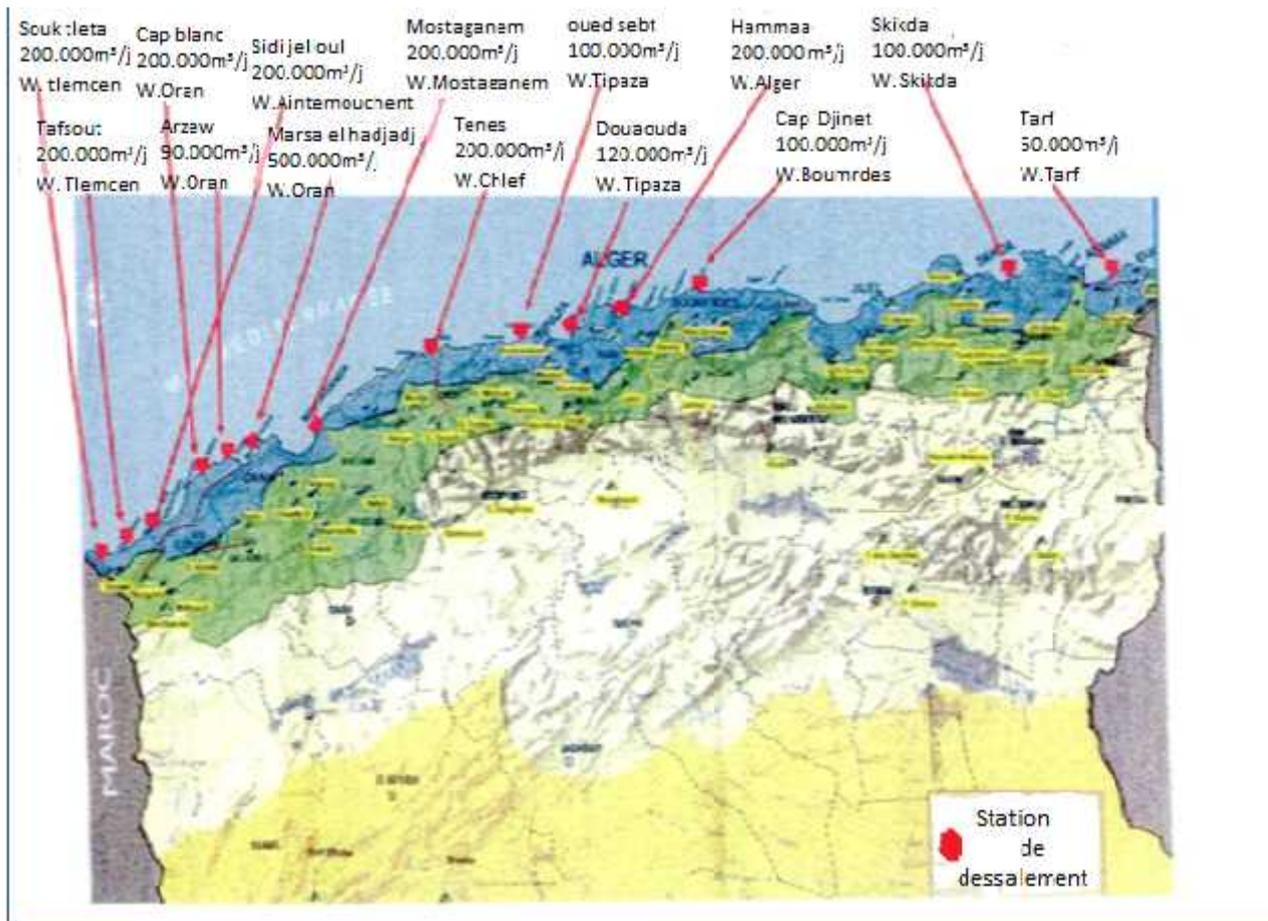


Figure N°14 : Situation géographique des stations de dessalement

II.3.5. Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie : [35]

Les principaux avantages du procédé de dessalement sont :

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

Chapitre III

Impact du dessalement sur l'environnement

III.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.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marine, la perturbation d'écosystèmes importants, le bruit, [26].

III.2. Pollution de saumure :

Le principal rejet des usines de dessalement est la saumure, cette dernière peut être définie comme de l'eau de mer globalement plus concentrée pour tous les éléments qu'elle contient et notamment en sels, elle est déchargée généralement, dans l'environnement marin et peuvent entraîner des modifications locales de la salinité au point de rejet, [28].

Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentrée (TDS) sont autour de **70 000 ppm** sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contreversée pendant beaucoup d'années. C'est maintenant qu'elle est reconnue comme une décharge étendue de saumure, comme elle constitue une couche hypèresaline au fond de la mer dû à sa plus grande densité. Elle a un potentiel qui affect fortement la faune et la flore marines.

L'importance des impacts sur l'environnement dépend des caractéristiques du processus du dessalement-détermination de la composition chimique de la saumure produite mais également des conditions hydrodynamiques et bathymétriques normales aussi bien que des facteurs biologiques de l'environnement marin, [29].

III.2.1. Composition de la saumure:

Quel que soit le procédé utilisé toutes les usines de dessalement, produisent de la saumure, qui a une composition chimique similaire à l'eau de mer, mais, dont la concentration qui s'avère double. Le volume de saumure produit par un litre d'eau dessalée, ainsi que sa teneur en sels, dépendront de la technique de dessalement employée et de la composition saline de l'eau utilisée, [25].

Cependant, les rejets des usines de dessalement ne comprennent pas seulement l'effluent de saumure, toute une série de produits chimiques et d'additifs sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissure et antimousse, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée, [27]

a. Produit de la corrosion :

Les usines de dessalement ont procédé thermique rejettent du cuivre, du nickel, du fer, du chrome, du zinc et d'autres métaux lourds en fonction des alliages présents dans la filière de production, comme par exemple : le titane. En termes de concentrations, celle de cuivre et du fer sont les plus élevées.

b. Agent antitartre :

Les dépôts de tartre se forme sur les surfaces du matériel de dessalement, la présence de tartre entraine inmanquablement des difficultés d'exploitation et de perte de rendement. Les additifs antitartres le plus largement utilisés semblent être des polymères de l'acide maléique, Ces polymères empêchent les matières dissoutes de précipiter, décanter et former une croûte sur les surfaces.

c. Agents antisalissure :

Les salissures « fouling » constituent un processus à phases multiples dans lequel interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elles commencent par l'adsorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries.

d. Agent antimousses :

L'eau de mer, sujette à une augmentation saisonnière de teneur en produits organiques qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques, peut avoir tendance à mousser lorsqu'elle est traitée en usine de dessalement. Les agents antimousses sont habituellement des poly glycols alkyles, des acides gras et des esters d'acides gras. Les agents sont tensio-actifs à l'interface eau-vapeur et empêchent la formation de mousse.

III.3. Emissions atmosphériques : [31]

En général, les émissions atmosphériques des usines de dessalement consistent seulement en azote et oxygène provenant d'usines de distillation qui utilisent des procédés de désaération pour réduire la corrosion.

En outre, la production d'énergie destinée à être utilisée dans les usines 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. (Tableau n°11).

Tableau n°11 : Emissions toxiques produites par diverses centrales couplées aux procédés MSF et RO.

Centrales	MSF (Mt/an)				RO (Mt/an)			
	CO ₂	NO _x	SO _x	Particule S	CO ₂	NO _x	SO _x	Particule S
Charbon	197,28	0,25	0,41	0.03	24.06	0.0302	0.0492	0.00377
Diesel	161.3	0.98	0.22	0.02	19.2	0.1166	0.0266	0.00288
Turbine à gaz, cycle combiné	105.61	0.01	0.17	0.01	9.6	0.001	0.0157	0.00089

III.4. Impact du dessalement sur l'environnement :

Le dessalement de l'eau de mer a un impact à la fois positif et négatif sur l'environnement.

III.4.1. Impact positif : [30] [31]

III.4.1.1. Conservation des ressources d'eau souterraines :

Premièrement, la conservation de la couche aquifère est importante, à titre d'essai le pompage d'eau de mer au cours des périodes d'une demande maximale d'eau « de sécheresse et d'été » peut avoir comme conséquence l'infiltration d'eau de mer qui se traduit par l'approvisionnement des eaux potables.

Un deuxième argument pour la conservation de la couche aquifère côtière est que les fertilisants du littoral dépendent de l'eau douce qui s'infiltré pour donner de l'eau de bonne qualité.

III.4.1.2. Fourniture de l'eau de bonne qualité :

La disponibilité de l'eau de bonne qualité est préliminaire au développement économique et sociale dans communautés locales. Les eaux superficielles et souterraines sont de plus en plus difficiles à traiter, à cause de la pollution (sous ses différentes formes). Par conséquent, le coût de leur potabilisation devient de plus en plus cher.

III.4.1.3. Source fiable à long terme :

-) Le dessalement est une source fiable de l'eau, elle offre la sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrielle) des différents consommateurs, car cette ressource n'obéit pas aux aléas climatiques et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues, des quantités journalières qui dépassent les **200 000 m³/j**.
-) Sur **70** villes dépassant le million d'habitant, **42** sont situées près des côtes ou vit près de **40** de la population mondiale, soit **2,4 milliard** d'habitant

Ces facteurs font du dessalement une vraie opportunité de ressources « alternative » permettant de réduire la surexploitation des aquifères de ces zones côtières, et de prémunir contre les risques de forte sécheresse.

Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement de différents procédés (osmose inverse).

III.4.2. Impact négatif :

Les activités de dessalement d'eau de mer ont des impacts défavorables sur l'environnement. La plupart des impacts dérivent du positionnement des tubes d'alimentation et des canalisations de décharge de saumure (Tableau n°12).

Les décharges de saumure ont un impact potentiel sur les communautés biotiques des estuaires se manifeste par la mort des différents d'invertébrés et de poissons due aux déperditions de leurs

propres moyens de défenses lors de leur entraînement dans les systèmes.

Beaucoup des organismes meurent soit par asphyxie en raison de mouvements gênants de leurs branchies soit par des dommages mécaniques internes ou externes subit lors de leur passage dans les systèmes traversés soit par les injections d'additives. la mortalité de cette faune pourra être immédiate ou latente. De même, la majorité des œufs et de larves d'invertébrés et de poissons sera détruite.

Cette enchainement perturbe globalement certains facteurs biotiques de ses populations, telles que :

- La composition et l'abondance des espèces affectées.
- Leurs abondances dans les eaux adjacentes.
- Leurs taux de survie en comparaison à la survie naturelle.
- Les écologiques des organismes charriés et leurs stratégies reproductives.

Tableau n°12 : Impacts néfastes sur l'environnement associés aux procédés de dessalement, [45]

Impact	degré d'impact	Origine de l'impact	Techniques d'atténuation
<p>Pollution thermique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'oxygène Dissous dans les eaux Réceptrices • Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes 	M M	<ul style="list-style-type: none"> • Saumure Chaude 	<ul style="list-style-type: none"> • Mélange de la Saumure avec de l'eau Froide avant le rejet • Bassins de retenue
<p>Salinité accrue</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effets nocifs pour les Espèces résistantes aux sels 	M	<ul style="list-style-type: none"> • saumure Concentrée 	<ul style="list-style-type: none"> • Dilution de la saumure Avant rejet • Récupération de sels • Bon choix de

			l'emplacement pour l'émissaire afin de permettre le maximum de brassage et de dispersion
Désinfectant	E	Chlore et ses Composés Réaction du chlore avec Des composés organiques « hydrocarbures» principalement	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation d'autres désinfectants. Mesures de protection contre les polluants au prélèvement de l'usine.
Métaux lourds • Toxicité	M	Corrosion du matériel de l'usine	<ul style="list-style-type: none"> Conception et choix judicieux du matériel de l'usine en recourant à des matériaux résistants à la corrosion
Produits chimiques • Eutrophisation des eaux réceptrices • Toxicité • Hausse du Ph	E F F	Adjonction d'agents Anticorrosion et antitartre	<ul style="list-style-type: none"> Réduction au minimum de l'utilisation de produits chimiques Utilisation d'additifs sans danger pour l'environnement
Pollution atmosphérique • Plus acides • Effet de serre • Poussières	F M M	Utilisation de combustibles et activités d'élimination	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation d'énergies propres et renouvelables autant que possible Application de systèmes Mixtes et de production couplée Purification des gaz avant émission dans l'atmosphère

<p>Sédiments</p> <ul style="list-style-type: none"> • Turbidité et limitation de la photosynthèse • Difficultés de respiration chez les animaux aquatiques 	M	<p>Perturbation des sables par des activités d'excavation et de dragage</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction au minimum et contrôle des activités d'excavation et remblayage • Bonne maîtrise du ruissellement dans la zone du site
<p>Bruit</p>	F	<p>Activités de construction Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des activités de construction aux seuls horaires de travail • Choix du matériel le moins bruyant

E: Impact de degré élevé **M** : Impact de degré moyen **F** : Impact de degré faible

III.4.2.1. Impacts des produits chimiques : [32] [33]

Les produits chimiques utilisés dans les usines de dessalement ont tendance à se concentrer dans la chaîne alimentaire par le processus de bioaccumulation : des substances présentes à des concentrations extrêmement faibles dans le plancton se retrouvent très concentrées en haut de la chaîne alimentaire, notamment dans les poissons.

a. Effet dus aux produits de la corrosion :

Les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le fer, le chrome et le zinc dans le milieu marin., provenant de la dissolution de la tuyauterie et du système de condensateur de refroidissement et autres dépendants des alliages Cuivre-Nickel qui sont généralement utilisés comme matériaux pour les échangeurs thermiques.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspension et déposent en

s'accumulant dans les sédiments. Or, les microorganismes planctoniques se nourrissent de ces particules en suspensions.

a.1. Le cuivre :

❖ A faible concentration :

Le phytoplancton utilise cet élément comme essentiel, pour activer le système enzymatique qui catalyse les étapes majeures de la glycolyse, du cycle d'acide tricarboxylique, de la photosynthèse et du métabolisme protéinique.

Le zooplancton facilite son déplacement par consolidation dans les matières fécales qui se précipitent au fond de la mer et qui seront distribuées après grâce aux activités bio fouisseurs du benthos. Toute la chaîne alimentaire accumule le cuivre, les poissons au niveau de leurs tissus.

❖ A forte concentration :

Le cuivre est très toxique et joue le rôle d'inhibiteur d'enzymes au niveau de l'organisme et peut entraîner le décès d'un nombre important d'espèces susceptibles. Pour le phytoplancton, le cuivre inhibe la photosynthèse, limite l'absorption et l'assimilation du nitrate et l'adsorption du silicate.

a.2. Le Fer :

Le fer est contenu dans certains additifs entrants dans le processus de dessalement. En présence d'une forte salinité peut conduire à un accroissement de la turbidité qui risquera de perturber la photosynthèse.

b. Effet dus aux additifs antitartres :

Les phosphates polymères sont utilisés contre l'entartrage. L'orthophosphate, produit de l'hydrolyse des polyphosphates, est un macroélément nutritif. Les éléments nutritifs augmentent dans le milieu marin. En conséquence, il peut y avoir le risque de prolifération d'algue macroscopique. C'est-à-dire, ces produits lancent l'apparition de phénomènes d'eutrophisation.

c. Effet dus aux additifs antisalissure :

Les usines de dessalement utilisent généralement le chlore sous forme gazeux ou liquide ou l'hypochlorite et ses dérivées, pour réduire le biofouling, cependant, pose d'autres problèmes en

raison de leur toxicité en ce qui concerne toute vie animale ou végétale dans l'environnement marin.

L'injection de biocide à des concentrations supérieures à **0,01mg/l** entraîne une dépréciation de la photosynthèse ainsi le chlore qui attaque les branches des poissons est entraînant une oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine avec la mortalité des organismes par anorexie. En général, les concentrations résiduelles du chlore sont de **0,2 à 0,5 mg/l** pour les procédés de distillation.

d. Effets des additifs antimousses :

Les agents antimousses sont des détergents, ils ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire.

III.4.2.2. Impact de l'augmentation de la salinité : [34]

Il est confirmé que la salinité élevée cause des graves dommages aux flores et faunes marines.

a. Sur la qualité de l'eau du milieu récepteur :

La concentration élevée de salinité entraîne une augmentation de la turbidité de l'eau. Ce genre de pollution est probable à empêcher la pénétration de la lumière, et perturbe le processus de photosynthèse.

b. Sur les organismes marins :

La salinité accrue affecte les organismes marins, Quand ces derniers sont exposés à une variation de la salinité (contenu en sels plus élevé dans le milieu externe que dans les fluides de l'organisme) ils sont soumis à un choc osmotique qui est préjudiciable pour la plupart d'entre eux en fonction de leur tolérance à la salinité.

• Plancton :

Une augmentation de la salinité du milieu du plancton peut réduire leur production jusqu'à leur extinction (principalement aux niveaux des larves et de jeunes individus). Les larves crustacées et invertébrées flottant dans la colonne d'eau sont également plus sensibles aux variations de niveaux de salinité que les individus entièrement développés.

III.4.2.3. Impact dus au prélèvement d'eau de mer :

Les dispositifs de prélèvement de l'eau installés par les usines de dessalement ne sont pas sans impacts sur les écosystèmes locaux. Or, des organismes marins tels que des poissons peuvent heurter ces tambours, et se blesser (écaillage, troubles de l'orientation etc.). Ainsi, ces troubles physiques peuvent être à l'origine d'une mortalité accrue dues aux maladies et à l'augmentation de la prédation.

Le maillage de **5 mm** des tambours permet d'épargner les organismes de moyenne et grande taille qui ne peuvent pas être entraînés dans le circuit d'eau d'alimentation. En revanche, les petits organismes marins tels que le phytoplancton, le zooplancton (petits invertébrés, bactéries etc.) sont aspirés avec l'eau de mer prélevée ce qui implique une baisse de la biomasse et de la biodiversité locales

III.4.2.4. Impact dus à la chaleur : [33]

L'énergie thermique nécessaires au processus de dessalement de l'eau de mer qui sont à l'origine de l'augmentation de la température de l'eau et donc d'une température élevée dans la saumure. La chaleur perdue déchargée des usines de dessalement à une température qui est environ supérieure de **10 à 15°C** à celle de l'eau de mer est finalement absorbée dans l'environnement marin.

a. Sur la qualité de l'eau :

La température d'effluent a une importante sur les propriétés physiques de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité. Les principales conséquences sont les suivantes :

- La solubilité d'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, ce qui place le biote dans des conditions de vie contraignante dues à sa forte demande en oxygène. Cette température élevée de l'eau accélère la respiration de bactéries et peut promouvoir l'anoxie ou l'hypoxie contribuant à l'élimination de la vie aquatique, en particulier durant l'été.
- La densité, viscosité, la tension de surface et la solubilité d'azote diminuent également avec la température.

b. sur les organismes d'estuaire :

La dégradation du taux de solubilité chimiques et des réactions biochimiques au niveau du milieu récepteur entraîne automatiquement des réponses physiologiques et des changements de

comportement des organismes :

b. 1 Algues :

- La dispersion du taux de photosynthèse phytoplanctoniques entraînent la diminution de la production algale.
- Des populations normales d'algues tendent à être remplacées par espèce moins souhaitable, situation d'eutrophisation.
- Diminuer la production des populations macro-algues.
- Diminuer l'abondance et la diversité du phytoplancton.

b. 2 Poisson :

L'augmentation ou la réduction de la température influence sur la vitesse de natation et le comportement des poissons qui mène à une modification des diagrammes de leurs distributions.

Généralement, la productivité de poissons dans une zone exposée à une température élevée devra augmenter, cependant, la mort des poissons causée par le choc brutal froid ou chaud lors des opérations d'arrêt et de démarrage de l'unité de dessalement compense ce possible effet bénéfique.

S'il ne meurt pas, les poissons peuvent subir des effets physiologiques tels que :

- Une baisse d'éclosion des œufs ;
- Un abaissement du taux respiratoire ;
- Une inhibition du développement larvaire.

III.4.2.5. Impact sanitaire des contaminations microbiennes : [35]

Le degré de pollution des eaux de mer est cependant, comme pour les eaux douces, évalué par le dénombrement des bactéries, appelés « indicateurs de contamination fécale », en général les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux, d'autres espèces sont considérées comme pathogènes : salmonelle (bacilles de la typhoïde, des paratyphoïdes A et B et de diverses gastro-entérites), Escherichia etc.

La présence simultanée des entérocoques (coliformes fécaux thermo-tolérants, streptocoques fécaux suffit à confirmer qu'il y a pollution).

Les impacts associés à la contamination microbiologique des eaux de mer affectent la qualité de l'eau elle-même mais aussi celle des cheptels présents sur les sites soumis aux contaminations. C'est l'homme : l'utilisateur du littoral en qualité de « baigneur » ou de « consommateur de fruits de mer » qui suscite un grand intérêt.

III.4.2.6. Impact socio-économique: [21]

Le dessalement des eaux de mer a donné des solutions urgentes et sécuritaires, mais il peut aussi avoir des impacts non négligeables sur les citoyens comme suit :

- Changement des modes de consommation, voire utilisation abusive de l'eau sous l'impression qu'il est facile de s'en assurer.
- Concentration accrue de développement et l'activité dans la zone côtières, migration de population des régions rurales vers les zones côtières.
- Dépendance à l'égard d'une technologie qui peut à son tour dépendre de l'importation de savoir-faire ou d'énergie, ce qui expose la qualité de l'eau à la dégradation (par exemple, déversements de pétrole).

Partie expérimentale

Chapitre IV

description des traitements de l'eau de mer au niveau de la centrale

IV.1. Introduction:

Après avoir décrit toutes les étapes de fonctionnement de traitement de l'eau de mer (voir figure V.1) présentent dans la centrale thermique de Cap Djinet pour l'alimentation des auxiliaires électriques, on s'est intéressé à la partie d'analyse. Pour cela, on a retenu trois points de prélèvement.

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

Les résultats obtenus peuvent nous renseigner sur le rendement d'élimination des sels et donc sur l'efficacité de la méthode de dessalement et de déminéralisation utilisée.

Après le traitement, la saumure produite au niveau des quatre unités de dessalement est déchargée. Elle est retournée à la mer dont sa concentration s'avère habituellement double ou près du double de l'eau de mer. En plus de la concentration élevée des sels, cette eau de décharge contient divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement et du dessalement. Donc, la saumure de décharge a des impacts et des aspects négatifs directs et indirects sur l'environnement marin.

Afin de minimiser ces impacts négatifs et éviter la pollution marine, la décharge de saumure est faite par l'intermédiaire de la sortie de l'eau de refroidissement de la centrale électrique. Pour cela, nous avons fait des analyses physico-chimiques de la saumure avant et après dilution avec l'eau de refroidissement. Les résultats obtenus peuvent nous renseigner sur les impacts environnementaux.

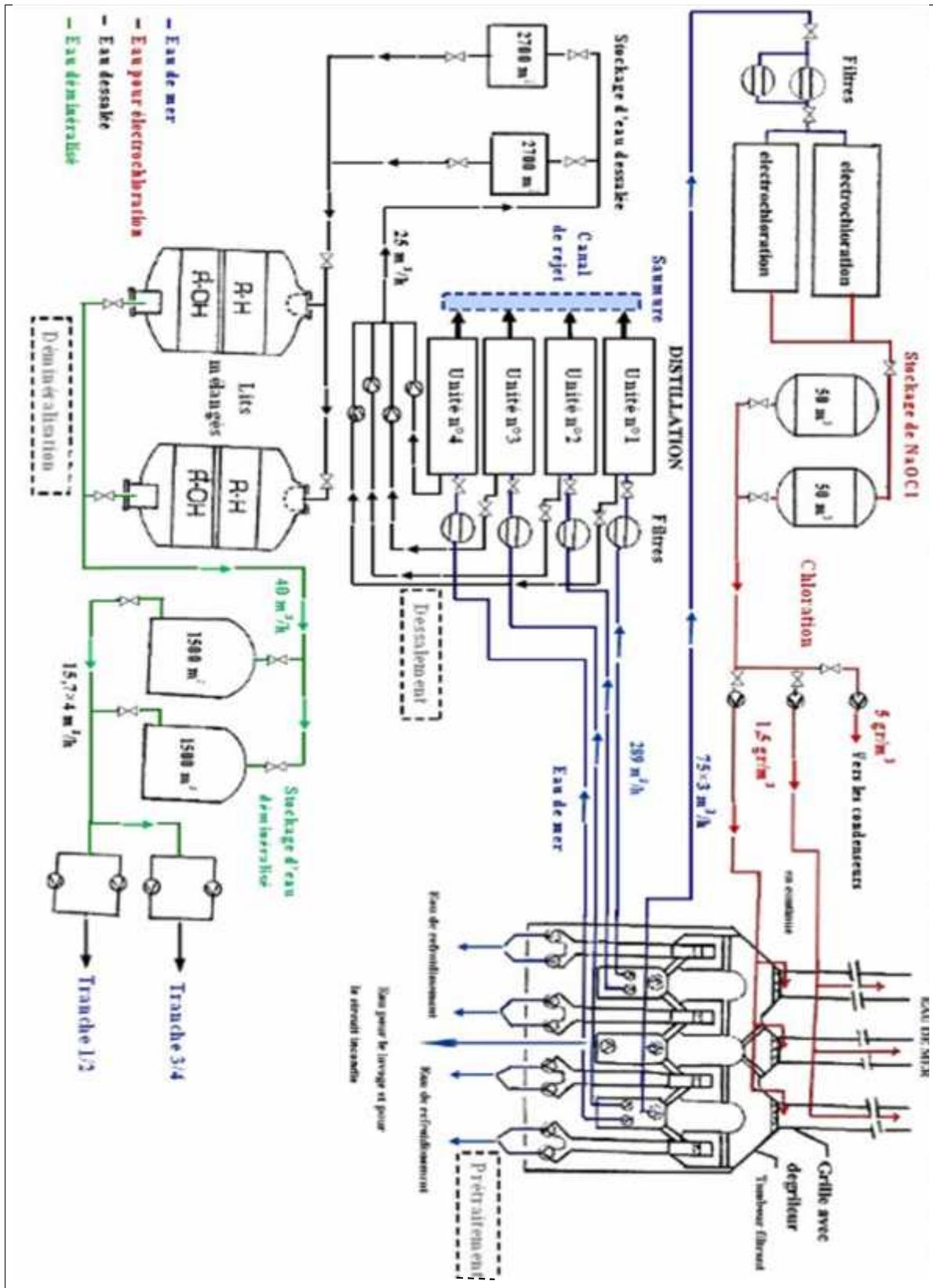


Figure .1 : Schéma générale de traitement de l'eau de mer dans la centrale thermique

V.2. Technologies de traitements de l'eau de mer au niveau de la centrale : [1]

V.2.1. Prétraitement :

L'eau de mer subit des prétraitements avant d'être introduite dans l'unité de dessalement pour assurer un bon fonctionnement de cette dernière qui implique la prévention de colmatage de la prise d'eau de mer,

V .2.1.1. La prise d'eau

La prise d'eau se fait en plein mer par trois conduites en béton d'un diamètre de 2.7 m et se situe à 900 m de l'arrivée de l'eau à la station de pompage, l'eau est tirée directement à une profondeur de 7 m. (figure I.2).

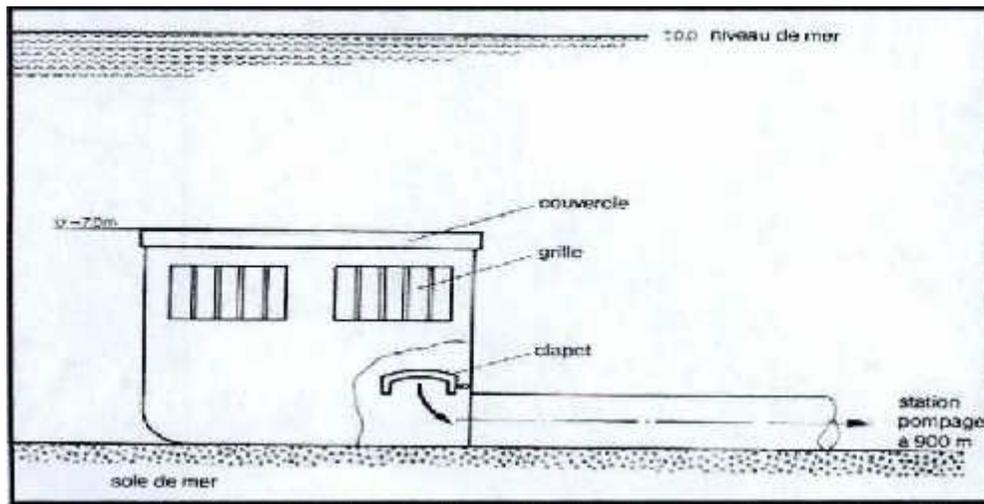


Figure I.2 : Station d'entre d'eau de mer

IV.2.1.2. Station de pompage :

La hauteur d'entrée dans la station de pompage est prévue une fosse de révision, chacun des trois canaux est pourvu d'un batardeau.

La station de pompage est un ouvrage en béton armé étanche avec un bord supérieur à plus de 7.5 m en dessus du niveau de la mer, et comprend quatre voies de filtration et d'un bassin d'alimentation et des chambres d'aspiration pour les pompes de l'installation de dessalement, de la chloration et pour la pompe d'incendie. Les batardeaux d'arrêt sont installés à l'avant de chacune des 8 pompes de circulation.

Chacune des voies de filtration sont équipés 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 pompes de circulation principales sont installées à la fin des installations de filtration.

Entre les voies sont disposées les chambres d'aspiration, les deux chambres extérieures servent à l'alimentation de l'installation de dessalement d'eau de mer par les pompes de transferts et comprennent chacune une pompe pour la chloration.

IV.2.1.3. Filtration de l'eau de mer :

Deux étapes de filtration ont eu lieu :

a) Dégrillage (filtration primaire) :

Afin de protéger l'installation contre les gros débris (40 mm), l'eau arrive au grille de grappin à grosse maille avec un dégrilleur entraîné électriquement. Les matières retenues par la grille qui sont accumulées sont soulevées jusqu'au niveau d'évacuation de débris.

b) Tamisage (filtration secondaire) :

Afin de retenir les débris fins qui pourraient provoquer un colmatage, une filtration secondaire qui est finale se fait par des tambours filtrant à maille fine consiste à une structure à rotation lente dans laquelle l'eau entre de chaque côté. Lorsque les panneaux filtrants sont montés à la périphérie de la structure tournante et l'eau est refoulé vers l'extérieur depuis le tambour, à travers les mailles filtrantes. Tandis que le filtre tourne, les débris adhérant à l'intérieur des panneaux et passent au-dessus des paniers de récupération, placé à l'intérieur du filtre, (figure I.3).

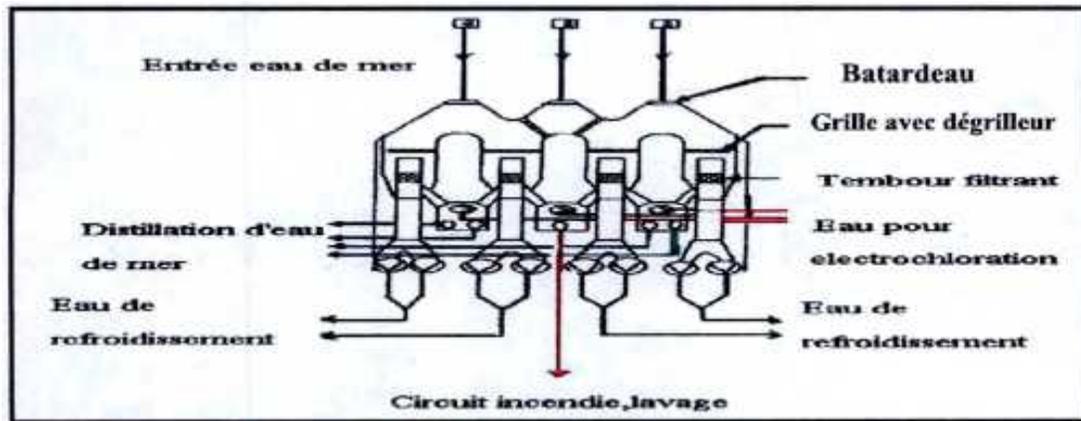


Figure .3 : Installation de filtration d'eau de mer au niveau de la centrale

IV.2.1.4 Chloration des eaux de mer:

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 :



L'acide hypochloreux est un acide faible qui réagit selon la réaction suivante:



La distribution de HOCl et OCl^- varie considérablement en fonction du pH : plus le pH est élevé, plus la proportion d' OCl^- est élevée. Il est important de tenir compte de ce phénomène car l'acide hypochloreux est un désinfectant beaucoup plus efficace que les ions hypochlorites.

a. Description du procédé de l'électrochloration :

Le chlore actif est produit sous forme d'hypochlorite de sodium se fait par électrolyse de l'eau de mer à l'aide d'une installation d'électrochloration, ce dernier est prévu pour produire **2x150**

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 **3400 A**.

La production d'hypochlorite de sodium est assurée à partir des opérations suivantes (figure IV.4) :

-) Filtration de l'eau de mer et alimentation des électrolyseurs.
-) Electrolyse de l'eau de mer.
-) Stockage de l'eau de mer chlorée.
-) Refoulement de l'eau de mer chlorée aux diffuseurs.

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 une 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.

Un séparateur d'hydrogène est installé entre le deuxième et le troisième électrolyseur pour chasser la plupart du gaz produit dans les deux cellules précédentes. de cette façon, les deux électrolyseurs suivants sont alimentés avec de l'eau de mer dégazée.

b. Réactions chimiques et électrochimiques :

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

Des réactions chimiques successives se développent à l'intérieur de l'électrolyseur.

) Réactions cathodiques :



) Réactions anodiques :



Dans la cellule la soude caustique formée réagit avec les acides chlorhydrique et hypochloreux pour donner respectivement du chlorure de sodium et de l'hypochlorite de sodium.



c. Nettoyage des électrolyseurs :

Pendant le fonctionnement, les électrodes subissent un processus d'encrassement, qui consiste principalement en hydrates et en carbonates, ces incrustations sont éliminées périodiquement en les dissolvant, dans une solution diluée à **5%** d'acide chlorhydrique **HCl** et avec un débit de **75 m³/h**, qui fait circuler à travers les électrolyseurs.

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%**, (figure I.4).

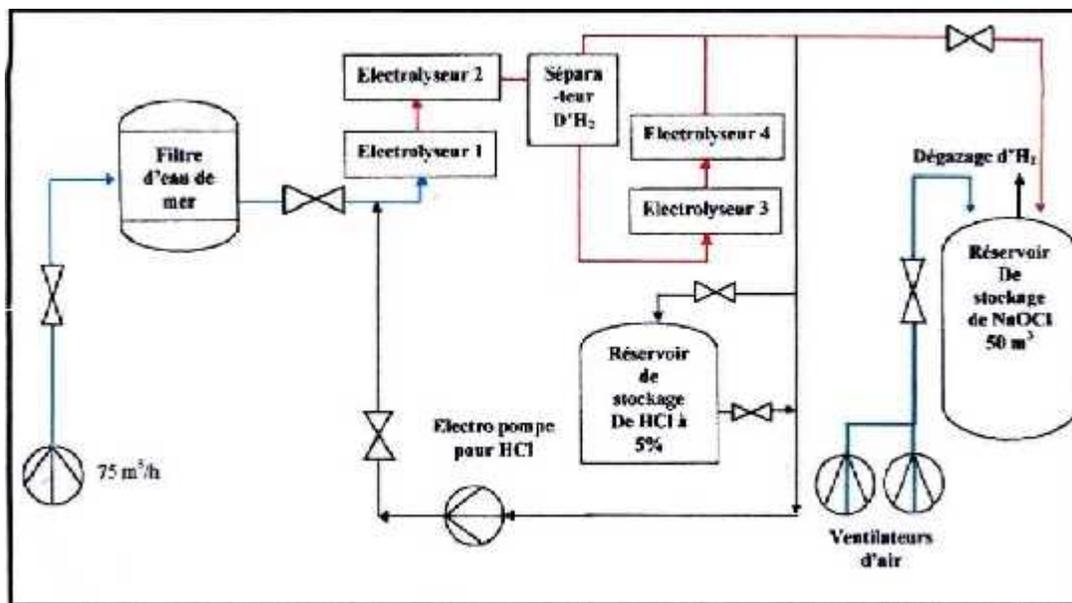


Figure I.4: Schéma simplifié de l'installation d'électrochloration

d. Les points d'injections du chlore :

) La chloration en continu :

La chloration continue à lieu sur les tuyaux d'eau de circulation à environ **1.5 g/ 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.

La figure I.5 représente les différents points d'injection de chlore au niveau de la centrale

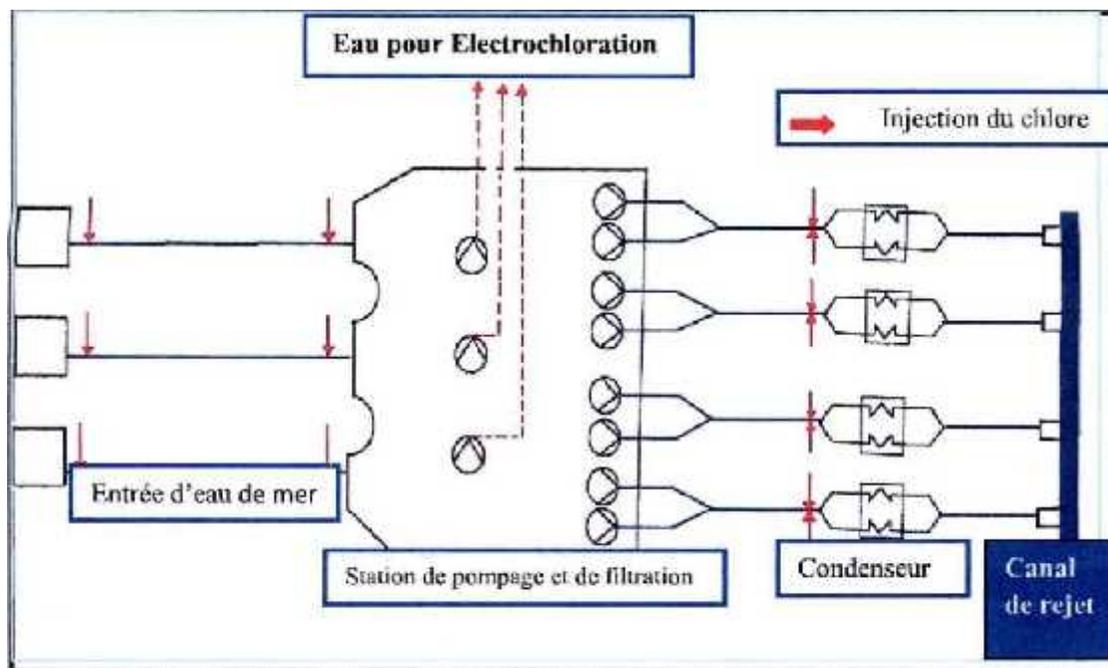


Figure I.5 : les différents points d'injection de chlore au niveau de la centrale

IV.2.2. Présentation de l'installation de dessalement MSF : [12]

Les besoins journaliers en eau dessalée de la centrale thermique sont de l'ordre de **1100 m³**.

L'installation comprend quatre unités (figure I.6) 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 500 m³ d'eau dessalée par jour qui est stockée dans deux réservoirs d'une capacité de **2700 m³**.

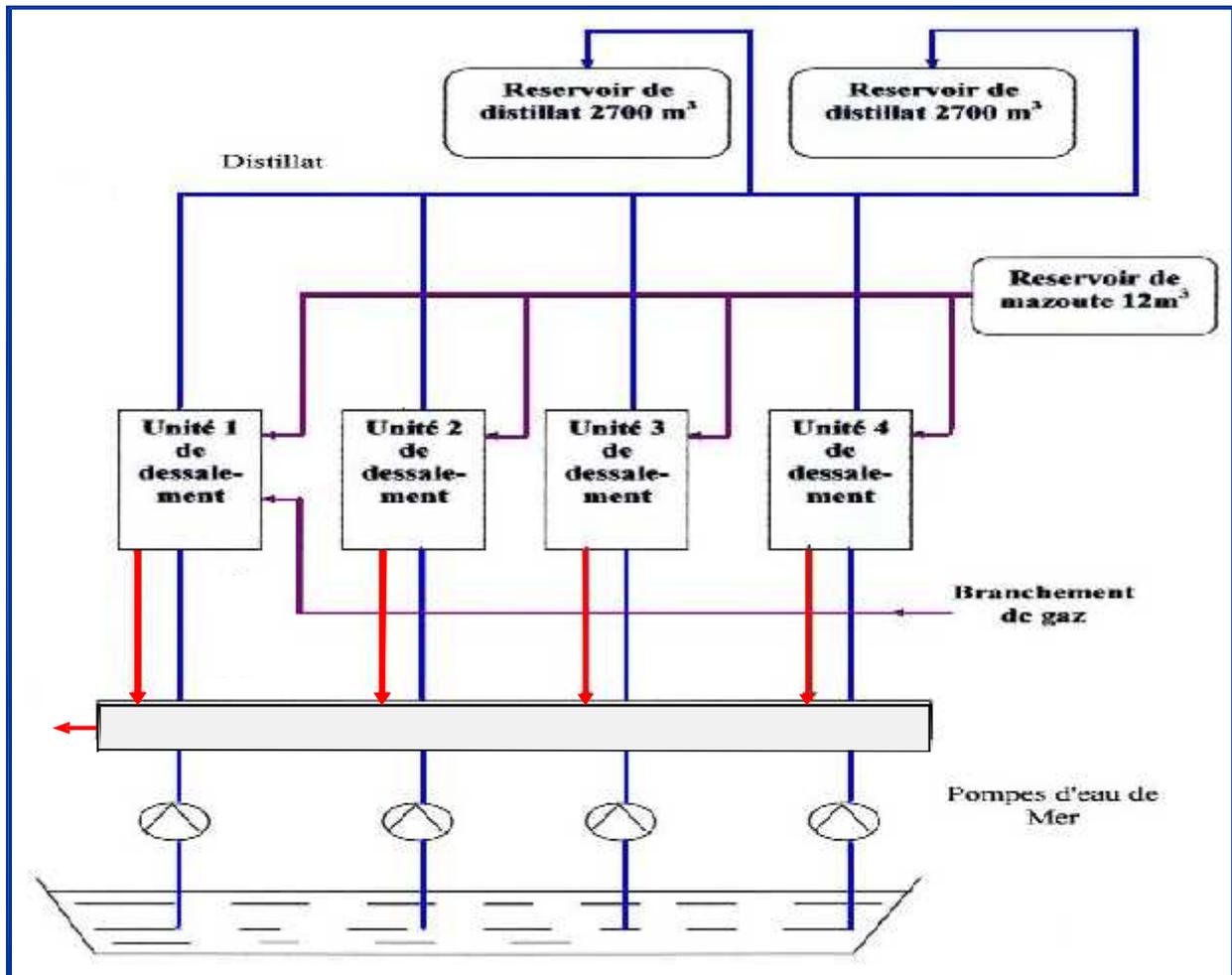


Figure I.6 : Schéma simplifié de la station de dessalement

IV.2.2.1. Les différents organes de l'installation « MSF » [12], [17]

a. L'évaporateur

L'évaporateur est constitué de dix-huit étages :

- Trois pour la dissipation de chaleur
- Quinze 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 distillât et la saumure. Tous les dispositifs sont prévus pour vider et aérer totalement tous les étages.

Tableau I .1 : Caractéristiques techniques de l'évaporateur.

Zone de dissipation de chaleur	
) Liquide du coté tube : eau de mer.	) Taux de salinité : 36 g/l.
) Quantité d'eau mer : 186 m³/h	) Nombre d'étage : 03.
) Temperature d'entrée : 20 °C	) Perte totale de pression : 8.1 mbars.
) Réchauffement moyen par étage : 2.5 °C.	) Temperature de sortie : 27.51 °C.
Zone de récupération de chaleur	
) Liquide du côté tube : saumure.	) Taux de salinité : 60 g/l.
) Temperature d'entrée : 27.4 °C.	) Number d'étage : 15.
) Réchauffement moyen par étage : 3.2°C.	) Perte totale de pression : 32.7 mbar.
	) Temperature de sortie : 75.4 °C.
Saumure de détente	
) Temperature d'entrée: 83.0 °C.	) Salinité de saumure : 65.3 mg/l.
) Pression en première étage: 0.446 bars.	) Température en dernier étage : 27.3 °C.
) Chute moyenne par étage : 3.1 °C.	) Pression au dernier étage ; 0.034 bars.
) Débit de saumure : 36 m ³ /h.	) Pureté du distillat : 15-20 mg/l.
) Quantité d'eau d'alimentation : 50 m³/h.	) Nombre d'étage : 18.
) Salinité à l'entrée : 60 mg/l.	) Quantité de distillat : 25 m³/h.

b. 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 **280 m³/h** (coté enveloppe).

Il est caractérisé par :

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

c. La chaudière d'eau chaude :

C'est une chaudière à eau chaude et basse pression, 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, ainsi que de basses températures de fumés. Elle est caractérisée par une température de services de **95°C** et d'un débit de **180m³/h.**

d. Les pompes :**) Les pompes de traitement :****Tableau .2 :** Caractéristiques principales des pompes centrifuges de traitement.

Pompe	Pompe de recirculation de saumure	Pompe de saumure	Pompe de distillat	Pompe de l'eau motrice	Pompe de recirculation d'eau chaude
Debit (m³/h)	258	36	25	103	280
Puissance (KW)	65.8	2.75	4.2	6.9	8.1

) 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 I .3 : Caractéristiques techniques des pompes de transfert d'eau de mer.

Caractéristique fonctionnelle	Pompe de transfert
Milieu d'alimentation	Eau de mer
Débit (m³/h)	289
Rendement (%)	70
Masse volumique/température (Kg.m³/⁰C)	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 I .4 :** Caractéristiques techniques des pompes d'éjection.

Caractéristiques fonctionnelle	Pompe d'éjection de vapeur	Pompe d'éjection de l'eau
Quantité (kg)	68.900	130.000
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 atm	0.073 bars
Capacité (kg/h)	2.95	Max 15.8

) Les pompes doseuses :

Tableau I .5 : Caractéristiques techniques des pompes doseuses.

Caractéristique fonctionnelle	Pompe doseuse de belgard	Pompe doseuse de bisulfite de sodium
Milieu d'alimentation	Belgard 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
Puissance nécessaire (KW)	0.25	0.25

e. Système d'évacuation : mise sous vide

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 ce 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**.

f. Filtre de l'eau de mer :

Le filtre utilisé est de type à décolmatage par contre-courant (auto-nettoyant). L'eau de mer à filtrer 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.

g. Equipement de surveillance :

La conception de base de fonctionnement d'évaporateur se base sur la télécommande et la télésurveillance, les instruments indicateurs pour le fonctionnement et la surveillance sont arrangés sur les pupitres de commande ceux-ci comprennent en outre des boutons poussoirs et des interrupteurs pour démarrer et arrêter l'installation, des instruments de réglage et de télé contrôle, ainsi qu'un système d'alarme et un diagramme d'ensemble.

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

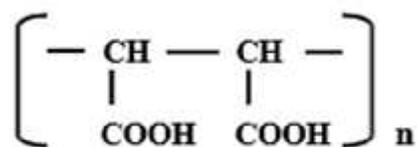
IV.2.2.2. Injection des produits chimiques : [20]

Le système d'injection des produits chimiques a pour but de protéger l'installation de dessalement d'eau de mer contre l'entartage, les salissures et la formation de la mousse.

a. Protection contre l'entartage :

Lors du réchauffement de l'eau de mer, les dépôts de tarte 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'entartage des tubes, La centrale dispose d'instrument d'injection du **Belgard EVN à 3,5 mg/l**. Ce dernier est un polymère carboxylique nommé « acide poly maléique » de formule :



b. 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 et 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 **35.25 m³/h**, soit dans la mer soit dans la saumure de circulation suivant la zone à nettoyer.

L'acide chlorhydrique réagit essentiellement avec les incrustations des accélérateurs :

-) Carbonate de calcium **CaCO₃**
-) Hydroxyde de magnésium **Mg(OH)₂**
-) Carbonate de magnésium **MgCO₃**.

Les produits de réaction de l'acide avec ces incrustations sont les chlorures et les dioxydes de carbone. Le procédé de nettoyage, se fait en fonction de la valeur du pH, doit être identique à l'entrée et à la sortie de la zone à nettoyer.

c. Protection contre la formation de la mousse :

L'eau de mer est sujette à une augmentation saisonnière en produits organiques, et peut avoir tendance à mousser, une partie de cette mousse peut arriver au distillât et le rendre inutilisable. Dans ce cas le produit préconisé est la **BELITE (M33)** à (0,1 mg/l) qui peut être dissous et dosée avec le **BELGARD EVN**.

d. Neutralisation au chlore :

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 mesuré et si sa teneur augmente, on ajoute le bisulfite de sodium **Na₂S₂O₃** 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 :



IV.2.2.3. Données techniques : [1]

Tableau I .6 : Caractéristiques techniques de l'installation de dessalement

Données techniques	
Production de distillat (m³/h)	20.83 – 25.00
Impureté du distillat (mg/l)	Inferieur à 15
Température maximum de saumure (°C)	83 – 91
Quantité d'eau de mer (m³/h)	239 – 256
Salinité maximale de l'eau de mer (mg/l)	36000
Salinité maximale dans la saumure (mg/l)	65300
Débit de recirculation (m³/h)	239 – 256
Débit de saumure (m³/h)	31 – 37
Débit d'eau d'alimentation (m³/h)	52- 62
Matières consommables	
Inhibiteur d'incrustation	BELGARD EVN
) Taux de dosage (mg/l)	) 3.8 – 5.8
) Consommation (kg/h)	) 0.2 – 0.36
Produit anti-mousse	BELITE M 33
) Dosage saisonnier (mg/l)	) 0.1 – 1.0
) Consommation (g/l)	) 26
Mazout (kg/l)	202 – 250
Gaz de chauffage (m³/h)	242 – 300 (15 °C – 1.0 bar)

IV.2.2.4. 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 18eme étage d'évaporateur pour crier 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'eau d'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 (1 à 15) 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 chauffée par l'eau de chaudière augmentant sa température avant son entrée dans le I^e 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 évaporée 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, ces 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 distillât tombe à goutte des parois dans les cuves de distillât, ce dernier traverse les ouvertures de passage pour arriver d'étage à la pompe de distillât, [67].

) Rejet de distillât → conductivité >30

) Stockage du distillât → 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 I.7)

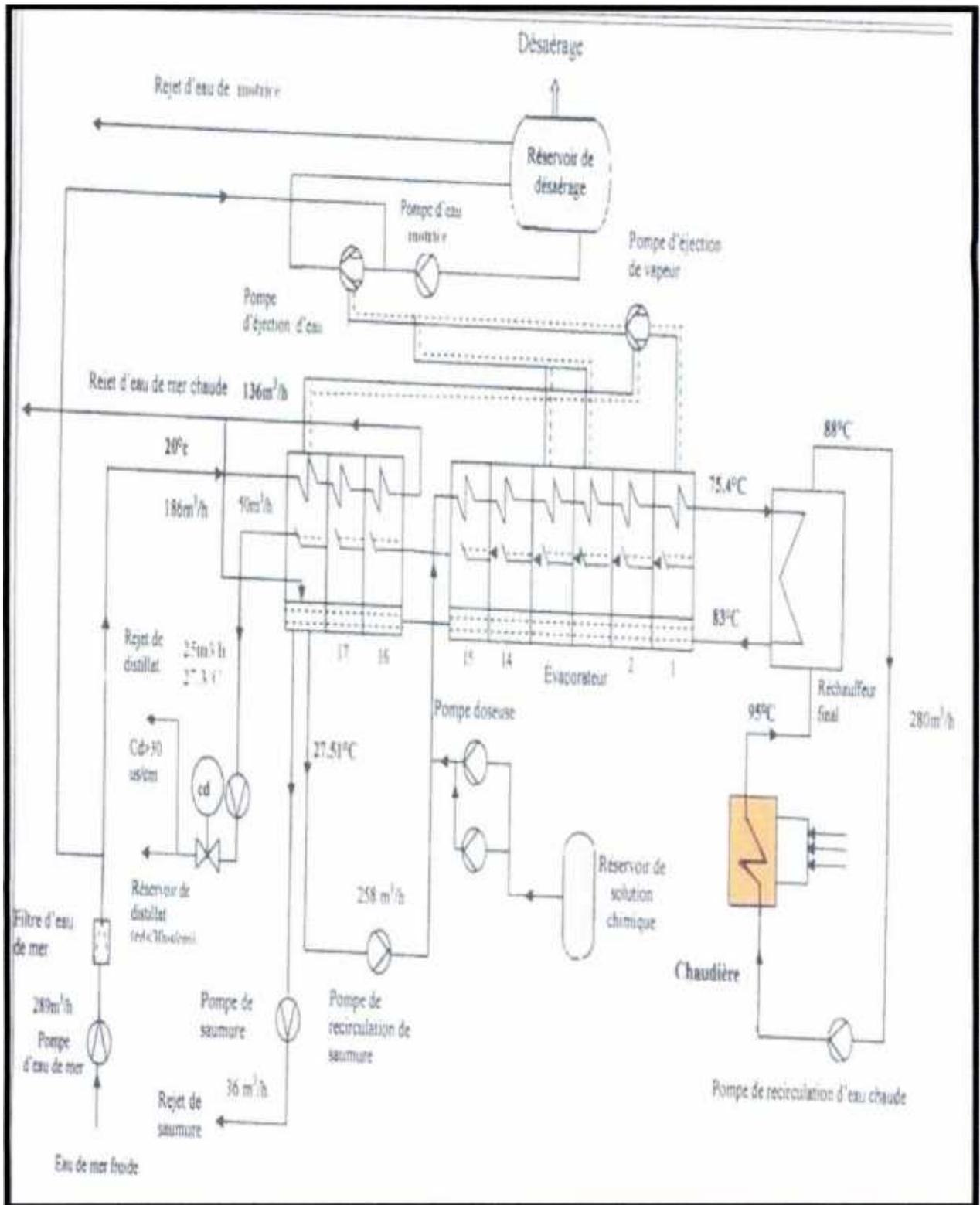


Figure .7 : Installation de dessalement de la centrale thermique de Cap djinet

IV.3. l'unité de déminéralisation à lit mélangé: [36]

II.3.1. 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 canalisations 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 est aspiré 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 **0,1 µs /cm** et la teneur en silice inférieure à **0,02 mg/l**.

IV.3.2. Description de l'installation :

a. Les filtres à lit mélangés :

Le distillât de l'installation de dessalement de l'eau de mer qui est 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 haute 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 relever 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.

b. 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.
-) Après un fonctionnement de **2** mois environ.

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%**.

b. 1 Compartiment de l'acide 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%**.

b. 2 Compartiment de la base 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%**.

) 3^{me} étape : Remplissage d'acide et de soude

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

-) 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.

J **4^{eme} étape : Rinçage des résines**

Une fois que l'acide 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 lever le HCl et le NaOH, cette opération dure **80 mn**

J **5^{eme} étape : Pause**

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

J **6^{eme} étape : 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.

J **7^{eme} étape : 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**.

J **8^{eme} étape : Remplissage de l'espace vide**

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

J **9^{eme} étape : 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.

J Si la conductivité est supérieure 10 $\mu\text{s/cm}$ l'eau est dirigée vers le rejet

J Si la conductivité est comprise entre 0,1 et 10 $\mu\text{s/cm}$ la recirculation est maintenue pendant 120 mn.

J Si la conductivité est inférieure 0.1 $\mu\text{s/cm}$ l'eau déminée est dirigée vers les bâches de stockage.

J 10^{me} étape : La neutralisation

Cette étape consiste à effectuer une neutralisation des produits chimiques ayant servi à la régénération des lits mélanges tels que l'acide HCl et la soude caustique. L'acide et la soude caustique, étant des agents chimiques très corrosifs et agressifs, ils 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**.

Chapitre V

Résultat et discussion

Introduction :

Dans les procédés industriels, l'eau joue un rôle très important, elle peut être un solvant, réactif ou agent pouvant véhiculer la chaleur ou le froid. Pour chaque usage, l'eau doit avoir des caractéristiques particulières et subir un traitement pour améliorer une caractéristique donnée, au niveau de la centrale thermique il est nécessaire de suivre l'évolution des caractéristiques physicochimique de l'eau durant le traitement.

Dans cette partie, en premier temps, nous allons présenter les technologies de traitement de l'eau de mer au niveau de la centrale. Par la suite, on s'intéresse à la partie analyse. Nous allons appuyer notre investigation par des analyses physico-chimiques et bactériologiques à trois niveaux (eau de mer, eau traitée et eau rejetée) qui nous mène à évaluer l'efficacité du processus de dessalement et de déminéralisation donc la qualité de l'eau produite.

La saumure déchargée des quatre unités de dessalement retourne à la mer, cette solution fortement concentrée est polluées, elle affecte le milieu aquatique. Afin d'atténuer cette pollution, la décharge de saumure est faite par l'intermédiaire de l'eau de refroidissement de la centrale électrique. Quatre prélèvements vont être analysé (rejet de saumure, première dilution, deuxième dilution, contact eau de mer, ce qui nous préviens sur l'impact environnementale.

V.1. Introduction :

Ce chapitre montre tout d'abord les points de prélèvement des différents échantillons, il présente les protocoles expérimentaux utilisés pour l'ensemble des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

V.2. Prélèvement des échantillons :

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse, il doit être représentatif sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Le prélèvement d'eau est une opération délicate, il permet de définir la qualité de l'eau en un instant donné et durant une période déterminée plus ou moins longue. De ce fait il faut lui apporter le plus grand soin.

) Conservation des échantillons :

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide de bouteilles en polyéthylène qui sont lavées et séchées comme suit :

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

Tous les échantillons sont soigneusement étiquetés et conservés à 4°C pendant le transport au laboratoire.

-) Les points de la prise d'échantillons sont donnés comme suit : Le point A désigne l'endroit de prélèvement de l'eau brute.
-) Le point B indique le point de prélèvement de l'eau dessalée à partir d'une unité de dessalement munie d'un robinet de prélèvement.
-) La position C définit le point de ponction de saumure rejetée à la mer.
-) La position D désigne le point de prélèvement du rejet de saumure après la dilution.

V.3. Les méthodes d'analyses:

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

Tableau .7 : Différents méthodes d'analyse utilisées à la centrale.

Paramètres d'analyse	Méthodes d'analyses
pH	pH mètre
Conductivité électrique	Conductivimétrie
TH	Complexométrie
TA	Volumétrie
TAC	Volumétrie
Silice, Fer, Cuivre	Spectrophotométrie d'adsorption moléculaire (S.A.M)
Calcium, Magnésium	Complexometrie
Chlorure	Volumétrie

Concernant les analyses de turbidité (à l'aide d'un turbidimètre), des sulfates, des phosphates, des nitrites, des nitrates, du sodium et le potassium par Spectrophotométrie d'absorption moléculaire, ils ont été faits au niveau du laboratoire de dessalement Cap Djinet.

V.3.1. Les analyses physico-chimiques des différents échantillons:

Effectuées selon les protocoles expérimentaux présentés en annexe.

) Les analyses dues à l'évaluation de l'efficacité de traitement :

Afin d'évaluer l'efficacité du traitement des eaux adaptées pour la centrale thermique, il est nécessaire de suivre l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau durant le traitement.

V.4. contrôles de l'efficacité du procédé de dessalement :

V.4.1. résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau avant et après dessalement :

Tableau II.8 : analyse physico-chimique de l'eau de mer

Essai / Paramètre	Unités	A	B	C	Moyenne
pH		8.08	8.05	7.95	8.02
Température	°C	17.8	18.2	18.5	18.16
Conductivité	ms/cm	47.3	46.7	46.3	46.76
Salinité	g/l	38.0	38.8	39.2	38.66
Turbidité	NTU	0.463	0.422	0.447	0.444
TH	°F	710	720	710	713.33
TH _{Ca²⁺}	mg/l	450	460	480	463.33
TH _{Mg²⁺}	mg/l	1430.4	1420.6	1412.3	1421.1
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	19286	20075	19535	19632
TA	°F	00	00	00	00
TAC	°F	12.4	13	12.8	12.73
CO ₃ ⁻²	mg/l	00	00	00	00
HCO ₃ ⁻	mg/l	151.28	158.6	156.16	155.34
Sulfates (SO ₄ ⁻²)	mg/l	3076	2988.40	2940.80	3001.73
Phosphates (PO ₄ ⁻³)	mg/l	0.32	0.37	0.35	0.35
Nitrite (NO ₂ ⁻)	mg/l	0.012	-	-	0.012
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.8	-	-	0.8
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0.024	-	-	0.024
Cuivre	mg/l	0.03	-	-	0.03
Silice	mg/l	0.16	0.13	0.14	0.143
Sodium (Na ⁺)	mg/l	13360	-	-	13360
Potassium (K ⁺)	mg/l	423	421	425	423

Tableau II.9 : analyse physico-chimique de l'eau traité

Essai Paramètre	Unités	Eau Dessalée				Eau Déminéralisée			
		A	B	C	Moy	A	B	C	Moy
pH		7.78	7.44	7.55	7.59	7.20	7.18	7.21	7.19
Température	°C	26.47	26.77	26.62	26.62	18.66	19.71	19.84	19.40
Conductivité	µs/cm	12.56	13.12	12.45	12.71	0.06	0.07	0.05	0.06
Salinité	mg/l	17.73	17.2	17.53	17.48	0.08	0.06	0.06	0.066
Turbidité	NTU	0.336	0.317	0.356	0.336	0.223	0.217	0.215	0.218
TH	°F	0.8	0.95	0.9	0.88	00	00	00	00
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	1.002	0.98	0.75	0.91	00	00	00	00
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	1.158	1.585	1.680	1.47	00	00	00	00
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	9.22	8.91	8.85	8.98	00	00	00	00
TA	°F	00	00	00	00	00	00	00	00
TAC	°F	1	0.80	0.75	0.85	00	00	00	00
CO ₃ ²⁻	mg/l	00	00	00	00	00	00	00	00
HCO ₃ ⁻	mg/l	12.2	9.76	9.15	10.37	00	00	00	00
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	5.06	3.45	3.15	3.88	00	00	00	00
Phosphates (PO ₄ ²⁻)	mg/l	0.27	0.16	0.11	0.18	00	00	00	00
Nitrite (NO ₂ ⁻)	mg/l	00	00	00	00	00	00	00	00
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	00	00	00	00	00	00	00	00
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0.016	-	-	0.016	0.0012	-	-	0.0012
Cuivre	mg/l	0.041	-	-	0.041	0.003	-	-	0.003
Silice	mg/l	0.024	0.023	0.02	0.022	0.002	-	-	0.002
Sodium (Na ⁺)	mg/l	2.46	2.34	2.25	2.35	00	00	00	00
Potassium (K ⁺)	mg/l	0.27	0.19	0.34	0.26	00	00	00	00

b. Interprétation des résultats :

Pour une analyse large des résultats, en registrés dans le tableau précédent, et afin de pouvoir apprécier la qualité de traitement, on a eu recours au tracé des histogrammes déterminant les différents paramètres des différentes qualités d'eaux analysées.

1. pH et température :

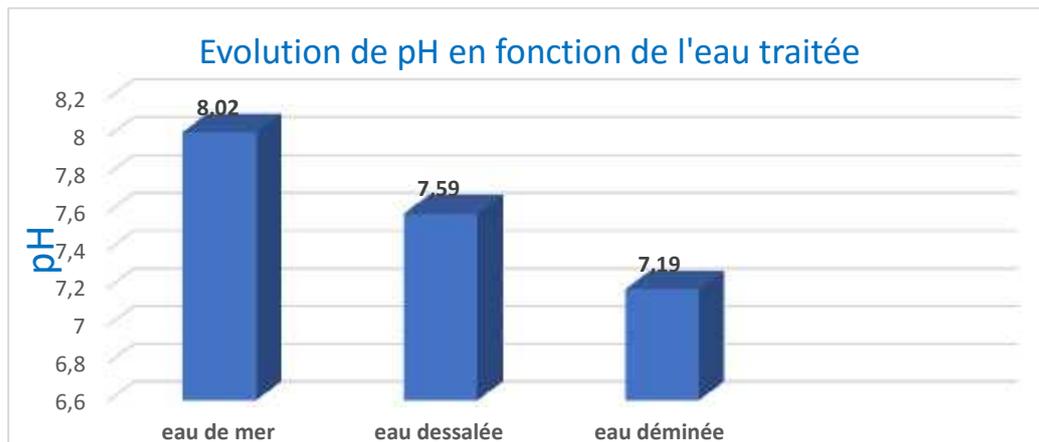


Figure .8 : évolution de pH en fonction de l'eau traité

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 la neutralité et pratiquement identique pour les trois qualités d'eau. Donc, on peut dire que les procédés de distillation et de déminéralisation n'ont pas d'influence sur le pH.

) Température :

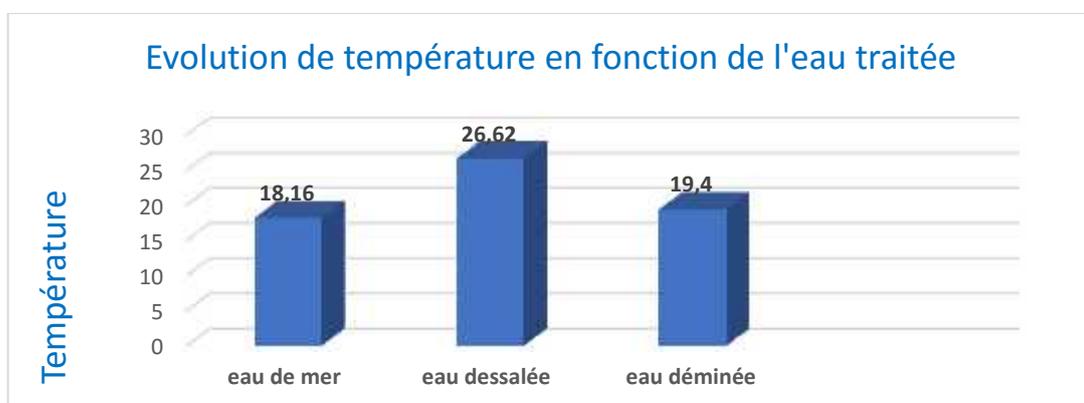


Figure .9 : l'évolution de la température durant le traitement.

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 déminéralisé.

Cependant, une élévation de la température de l'eau dessalée jusqu'à 27°C revient au procédé de distillation lui-même qui est basé sur le principe de l'évaporation. Cette élévation s'accompagne d'une modification de la densité qui décroît lorsque la température croît, d'une réduction de la viscosité et d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface (évaporation). En générale, la température n'a pas un effet néfaste sur la qualité de l'eau produite.

2. La conductivité et la salinité :

Les figures .10 et .11 représentent respectivement l'évolution de la conductivité et de la salinité en fonction de l'eau traitée.

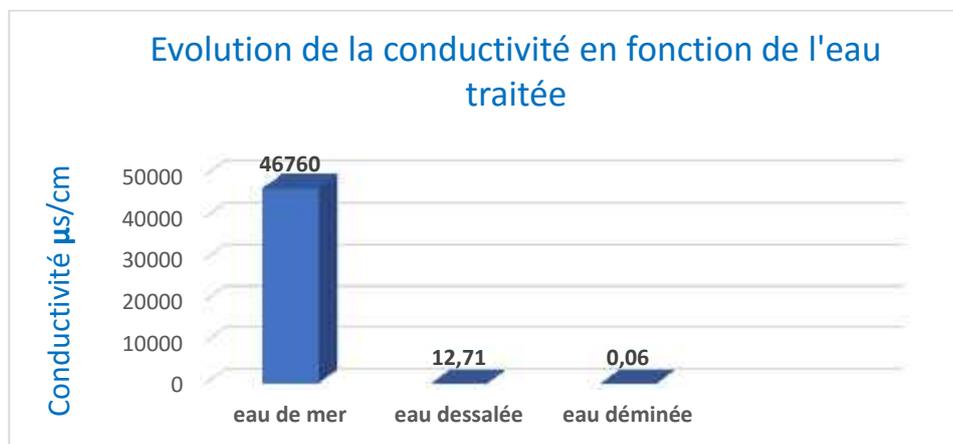


Figure .10 : évolution de la conductivité en fonction de l'eau traité

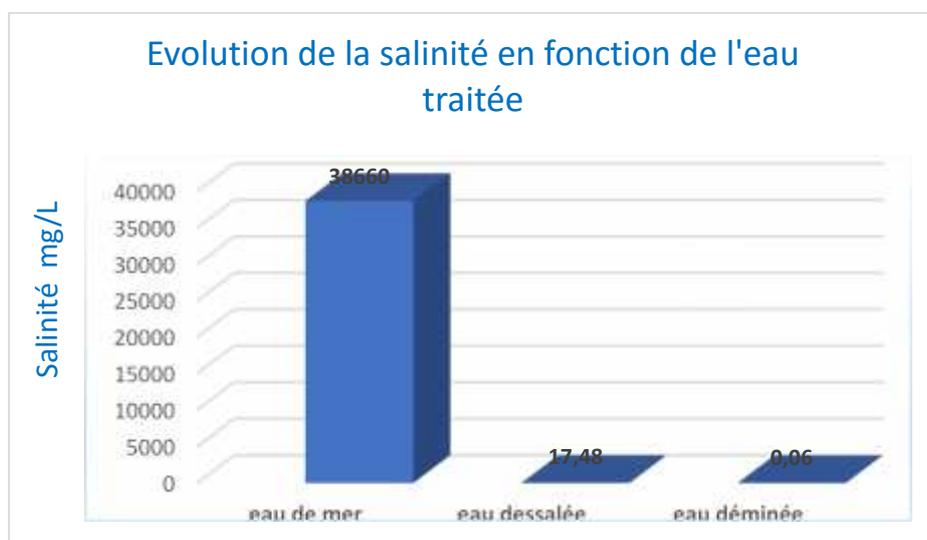


Figure .11: évolution de la salinité en fonction de l'eau traité

D'après les résultats obtenus pour les trois qualités d'eau, on remarque que la conductivité de l'eau de mer est très grande, elle varie entre **46** et **47 ms/cm**. Après la distillation, nous constatons une forte diminution, il ne reste que **12 μ s/cm** dans le distillat. En fin, nous obtenons une conductivité résiduelle de **0,06 μ s/cm** par traitement sur lit mélangé.

Même constat pour la salinité

Donc, on peut dire que ces deux procédés sont efficaces et très appropriés pour une réduction conséquente de la conductivité.

3. La turbidité :

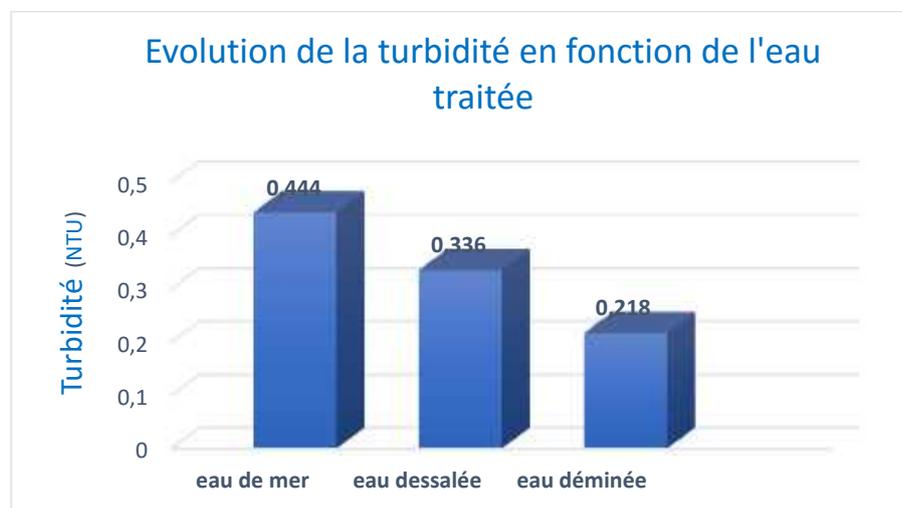


Figure .12 : l'évolution de la turbidité durant le traitement.

D'après les résultats, on remarque que la turbidité est presque identique pour les trois qualités d'eau traitée. Elle varie entre **0,4** et **0,2 NTU** c'est-à-dire elle est négligeable. Par conséquent, nous pouvons affirmer l'absence de matières en suspension.

4. La dureté totale TH :

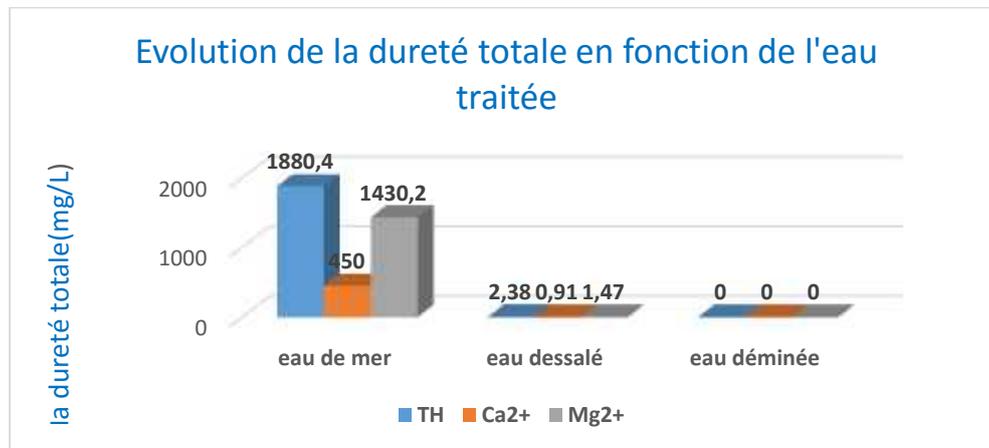
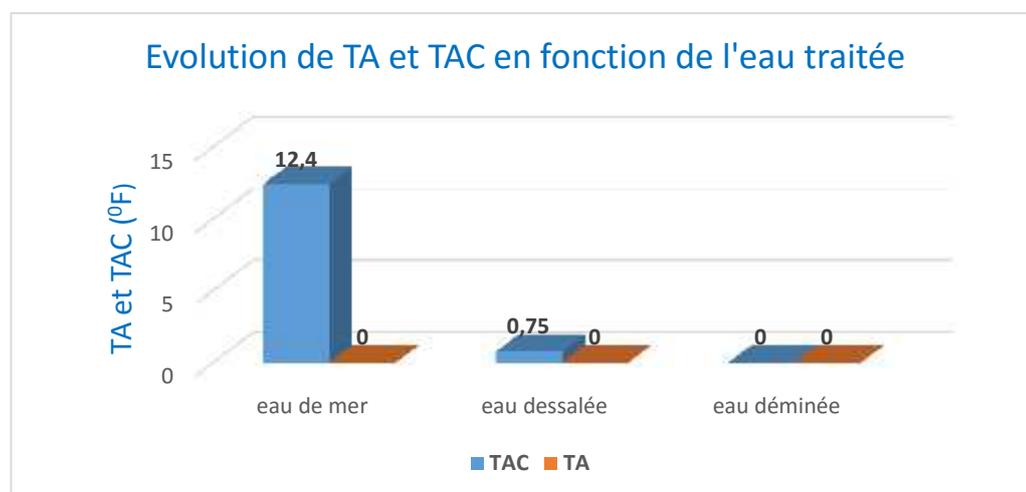


Figure .13: l'évolution de la dureté totale TH, TH_{Ca²⁺} et TH_{Mg²⁺} en fonction de l'eau traitée.

La dureté d'une eau correspond essentiellement à la somme des concentrations en cations alcalino-terreux Ca^{2+} et Mg^{2+} . Dans l'eau de mer, la concentration de Mg^{2+} est **3fois** la concentration en Ca^{2+}

La valeur de TH de l'eau brute est très élevée, elle est de **750°F**, ce qui correspond à une eau de très grande dureté. Après la distillation, on remarque que la majeure partie de la dureté est éliminée, le reste est fixé par le lit mélangé qui permet d'avoir un TH nul.

5. Le titre alcalimétrique TA et TAC :

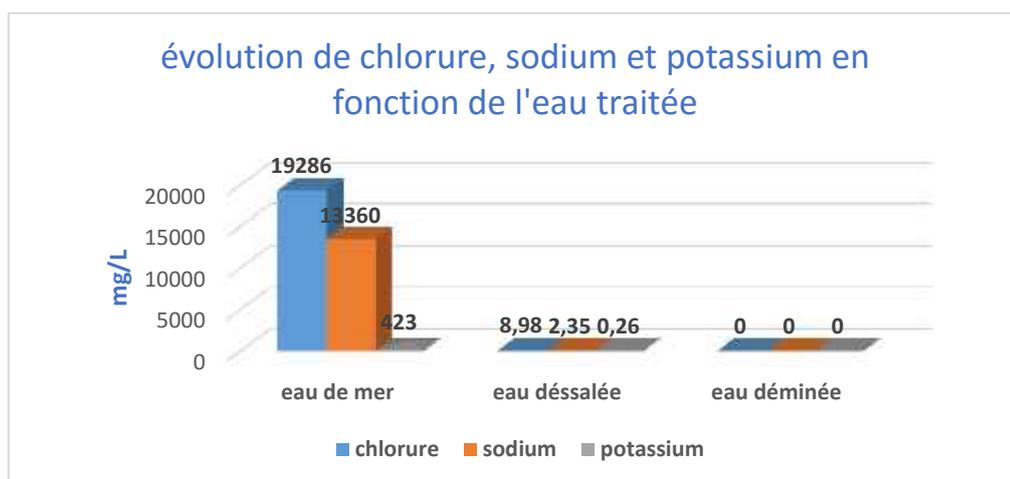


La figure .14 : l'évolution du TA et TAC en fonction de l'eau traitée.

Le titre **TA** étant nul, la concentration en ion hydroxydes (OH^-) et en carbonate (CO_3) est pratiquement négligeable, l'alcalinité est donc constituée par les hydrogencarbonates HCO_3 .

La valeur de **TAC** obtenue pour l'eau brute est de **12,4^{0F}**. L'alcalinité est presque éliminée totalement par le procédé de distillation. Une valeur résiduelle de **0,75^{0F}** de TAC est constatée c'est-à-dire de HCO_3 qui est ensuite éliminée totalement par le lit mélangé. Ce dernier permet d'avoir un **TAC** conforme aux normes.

6. Chlorure, sodium et potassium :



**La figure .15 : l'évolution des chlorures, sodium et de potassium
En fonction du l'eau traitée.**

L'eau de mer est chargée en grande quantité des chlorures (Cl^-), de sodium (Na^+), et de potassium (K^+) mais les procédés de distillation et de déminéralisation sur lit mélangé sont suffisants pour les éliminer totalement.

7. Le fer, le cuivre et la silice :



La figure .16 : l'évolution de fer, de cuivre et de la silice en fonction du l'eau traitée.

Les analyses des ions ferrique set cuivriques sont importantes au niveau de la centrale thermique car ces derniers même en petite quantités peuvent causer la corrosion des conduites qu'ils traversent.

La majeure partie du fer est éliminée par le procédé de distillation tandis que la teneur de cuivre augmente au cours de ce procédé. Cette augmentation revient à la dissolution du cuivre constituant la cuve de distillat et le condenseur (elles sont fabriquées à base de cuivre et de nickel « Cupronickel, **CuNi₃₀ Fe** »).

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différents, ioniques et colloïdaux. La majeure partie peut être éliminée par le procédé de distillation et le reste par le lit mélangé. La valeur obtenue est acceptable puisqu'elle répond aux normes exigées par la centrale.

8. Les autres paramètres :

On remarque que la distillation élimine la majeure partie de leurs teneurs et le reste éliminé par le lit mélangé.

Donc, on peut dire que l'eau traitée est de parfaite qualité, elle est totalement déminéralisée. De ce fait, on peut dire que les deux procédés de traitement des eaux de la centrale, la distillation et la déminéralisation sur lit mélangé fonctionnent très bien et sont donc efficaces.

V.5. Les analyses dues à l'évaluation de l'impact environnemental:

Afin d'évaluer l'impact environnemental de la saumure chargé en sel provenant de l'unité de dessalement sur le milieu marin, nous avons procédé à des analyses physico-chimiques de la saumure avant et après dilution avec de l'eau de refroidissement.

Tableau .10 : présente les caractéristiques de:

-) Saumure avant dilution.
-) Saumure après dilution.

J) V.5.1. Les analyses de la saumure avant et après la dilution :

paramètre	Unités	Samure avant dilution	Saumure après dilution	Eau d'entrée
pH		8.37	7.65	8.02
Température	°C	28.08	21.35	18.16
Conductivité	ms/cm	88.43	54.69	46.76
Salinité	mg/l	69479	40772.66	38660
Turbidité	NTU	0.460	0.325	0.444
TH	°F	1050	623.33	713.33
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	728.12	430.76	463.33
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	2082.56	1240.14	1421.1
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	36333.66	22037	19632
TA	°F	2.8	00	00
TAC	°F	19.89	12.43	12.73
CO ₃ ²⁻	mg/l	67.2	00	00
HCO ₃ ⁻	mg/l	174.41	151.68	155.34
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/l	4804	3075.66	3001.73
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	mg/l	0.47	0.30	0.35
Nitrite (NO ₂ ⁻)	mg/l	0.012	0.012	0.012
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.8	0.8	0.8
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0.066	0.045	0.024
Cuivre	mg/l	0.061	0.012	0.03
Silice	mg/l	0.20	0.16	0.143
Sodium (Na ⁺)	mg/l	25231	12549	13360
Potassium (K ⁺)	mg/l	850.66	480	423

) **Interprétation des résultats:**

Nous remarquons que la saumure provenant des unités de dessalement sont très chargés en sel. Elle est deux fois concentrée par rapport à celle de l'eau de mer.

La conductivité de la saumure atteint une valeur maximale de **88ms/cm** (due probablement à l'évaporation de l'eau de mer) qui la charge en sels. Avant rejet, la saumure subit une dilution avec les eaux de refroidissement (diminution de la conductivité à **54ms/cm**), **valeur équivalente à celle de la conductivité de l'eau de mer.**

Pour les autres paramètres, les mêmes résultats que l'eau de mer ont été trouvés. Donc, le rejet de saumure n'a pas d'impact sur l'environnement et sur le milieu marin.

Mais il faut faire attention aux additifs chimique (antisalissure, antimousse et antitartre) car ils ont un impact négatif sur :

-) La composition de la saumure
-) La faune et la flore.

V.6. Contrôle de l'unité de dessalement:

Le but de ce contrôle est de vérifier la qualité de l'eau dessalée et de faire un bilan sur les différentes natures d'eau présentes dans l'unité de dessalement afin de vérifier la présence d'une éventuelle corrosion.

) **Résultats :**

Tableau .11 : présente les caractéristiques des différents échantillons d'eau prélevé au niveau de l'unité de dessalement.

) **Interprétation des résultats:**

Echantillon	Mesure	Valeur de consigne Limite	Valeur mesurée
Eau de mer	pH	7,5-7,8	7.6
	Conductivité (ms/cm)	60	55
Eau de chaudière	pH	9	9
	Conductivité (ms/cm)	/	89
Distillat	pH	5-8	8
	Conductivité (µs/cm)	30	15
	Cuivre (ppb)	150	26
Saumure de recirculation	pH	8	7.8
	Conductivité (ms/cm)	112	86
	TA (°F)	/	3
	TAC (°F)	/	20
Rejet de saumure	pH	8	8.1
	Conductivité (ms/cm)	120	84.2
	TA (°F)	/	4.5
	TAC (°F)	/	22
	Cuivre (ppb)	/	42

1. Le pH :

Les valeurs du pH des cinq échantillons sont conformes aux normes exigées à la centrale. Donc, il n'y a pas de risque de corrosion dans l'unité de dessalement.

Pour les échantillons d'eau de mer, de distillat et de rejet de saumure, les valeurs de pH mesurées sont à la neutralité. Donc, on constate que le procédé de distillation n'a aucune influence sur le pH.

Pour les eaux de chaudière, la valeur mesurée du pH est de **9**. Cette augmentation est due à l'injection de NH_3 dans les eaux d'alimentation.

Pour la saumure de recirculation, la valeur mesurée est égale à **7,8**. Cette simple augmentation est due à l'injection des produits chimiques (antitartre et anti mousse).

2. La conductivité :

Les valeurs de la conductivité des cinq échantillons prélevés ne dépassent pas les limites exigées à la centrale.

La conductivité de l'eau de mer est très grande (**46760 $\mu\text{s/cm}$**). Après la distillation, la majeure partie de cette conductivité est éliminée, il ne reste que **12,71 $\mu\text{s/cm}$** dans le distillat. Donc, on peut dire que le procédé est efficace.

La chaudière est alimentée par une eau déminéralisée dont la conductivité est inférieure à **0,6 $\mu\text{s/cm}$** . L'augmentation de cette dernière jusqu'à **89 $\mu\text{s/cm}$** est due à l'augmentation de la température (**95 °C**). Donc, on peut dire que la conductivité devient plus importante lorsque la température augmente.

La conductivité de rejet de saumure (**84,2 $\mu\text{s/cm}$**) est inférieure à celle de la saumure de recirculation (**86 $\mu\text{s/cm}$**), cette diminution est due à la dilution (un appoint d'eau de mer) de la saumure dans la zone de dissipation de chaleur. Lors de l'appoint d'eau de mer, il faut maintenir un certain niveau de la saumure dans l'évaporateur, ce système est muni d'une pompe qui aspire l'excès de la saumure, cet excès est appelé rejet de saumure.

3. TA, TAC :

Les mesures de TA et TAC indique que la saumure de recirculation et le rejet de saumure contiennent les ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- .

4. Cuivre :

Le cuivre est un facteur de corrosion, la cuve du distillat et le condenseur sont fabriqués à base de cuivre et de nickel (Cupronickel, **CuNi30Fe**). La valeur du cuivre relevée est inférieure à la valeur limite, ce qui indique que les conduites ne sont pas corrodées.

Conclusion générale

Conclusion générale

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

Elle nous a permis maîtriser les différents traitements utilisables pour les eaux destinées à l'alimentation des chaudières et de mieux apprécier l'exploitation et la gestion des installations de traitement des eaux, ainsi que de comprendre les paramètres physico-chimiques qui influent sur la fiabilité des équipements.

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

Le lit mélangé assure une meilleure production d'eau de plus grande pureté, celle-ci reste toujours en phase de production et reste de loin, le plus performant du point de vue économique et entretien.

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

Les analyses effectuées sur le rejet de saumure après dilution avec l'eau de refroidissement à des résultats proches de ceux de l'eau de mer donc pas d'impact sur l'environnement marin.

Bibliographies

REFEREENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographique

[1] : Documentation interne de l'entreprise (archives).

[2] : Michel RAOULT. La vapeur -mode d'emploi, réseaux thermiques et équipements sous pression, édition Parisiennes 2003.

[3] : Friedrich NUBER et Karl NUBER. Calcul thermique des chaudières, édition Dunod 1972.

[4] : Farid Tata-Ducru. « Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes ». Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, Janvier 2009.

[5] : C.Fabiola es TRADA MALDONADO « contribution à l'étude du système ca-Mg-CO₂- H₂O : dissolution de la calcite et de la dolomite dans l'eau de mer et dans ses solutions de NaCl de 0 à 300°C; ingénieur de l'école national supérieure de chimie de Toulouse, 1991.

[6] : Copin-Montégut Gérard. « Propriétés physiques de l'eau de mer ». Technique de l'ingénieur, Doc. K170, Novembre 2002.

[7] : Jean-Pierre Méricq. « Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilités de couplage avec l'énergie solaire ». INSA Toulouse ; 2009

[8] : BIANCHI M., MARTHY D., BERTRAND J.C., CAUMETTE P., GAUTHIER M. Les microorganismes du domaine océanique. Edit. Masson.447p, 1989.

[9] : LABIOD KOTBIA. « Étude du caractère incrustant des eaux et son inhibition par des essais chimiques et d'électrodéposition », septembre 2010

[10] : J.P-Riley,G.SKirrow, Chemical oceanography, Academie press(1965).

[11] : Copin-Montégut Gérard. « Chimie de l'eau de mer », Institut Océanographique, 1996.

[12] : Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel - comité des techniques. « Circuits d'eau de mer (traitement et matériaux) ». Edition technip, Paris-1993.

REFEREENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [13] : M.F.A. Goosen, H. AlHinai, S.S. Sablani, Capacity building strategies for desalination: Activities, facilities and educational programs in Oman, Desalination 141 (2001) 181190.
- [14] : LALLEM.M, DERAMCHIA, ILMANE.M.C, BELKACEM.M. R, BONGHACHICHE.S; Investir en Algérie., Ministère délégué à la participation et à la promotion de l'investissement MDPP (2004).
- [15] : [http://www.Culture sciences,chimie.Ens.Fr/](http://www.Culture_sciences,chimie.Ens.Fr/) dossiers chimie-société-article dessalement. 24 avril 2011.
- [16] : Maurel A. « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. ». Lavoisier technique et documentation, Paris, 2006.
- [17] : Simon Nisan. « Dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires ». pdf 2007.
- [18] : GALUS.C; « Les techniques de dessalement de l'eau de mer prennent de l'essor, extrait du Monde (2000)
- [19] : Nicos X. Tsiourtis. « Desalination and the environment ». Desalination, Vol.141, pp : 223-236, (2005).
- [20] : Viviane Renaudin. « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». CNRS, Nancy,2003.
- [21] : Farid Tata-Ducru. « Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes ». Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, Janvier 2009.
- [22] : Salim Kehal. « Rétrospective et perspectives du dessalement en Algérie ». Desalination, Vol.136, pp : 35-42, (2001).
- [23] : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. « Programme d'Aménagement côtier – Zone côtière Algérois – Gestion intégré des ressources en eau et assainissement liquide – Diagnostic ». Juin-2005.
- [24] : N.Saber. « L'eau, c'est la vie ». Energie & mines. Avril 2004.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [25] : S. Taleb. « Contrôle de la qualité d'une eau dessalée ». MEDRC, cours intensifs, 2005.
- [26] : United Nations Environment Programme - Mediterranean Action Plan MED POL. « Sea Water Desalination in the Mediterranean: Assessment and Guidelines ». Map Technical Reports sériés No. 139, UNEP/MAP, Athens, 2003.
- [27] : A .Pumama, H.H.A1-Barwani and M.A1- Lawatia ; « Modeling dispersion of brine wast discharges ffrom a Coastal desalination plants » ;desalination Vol.155,pp :41-47 , (2003)
- [28] : Rachel Einav***,Kobi Hamssib, Dan peryb , « The footprint of the desalination processes of the environnement » ,Desalination, Vol.152,pp : 141-154 , (2002)
- [29] : J.Shipper; « Environmental impact from desalination plants-Pollution of the sea » ; WHO cours, Desalination March 2000.
- [30]: T.G Bomman and N.TW.Klages ; « Albany Coast Water Board » environmental Scopin Report ; IECM Report No :C84 ;Octobre 2004
- [31] : Levinton, J.S. Marine Biology Function. Biodiversity, Ecology. Oxford University Press, New York, U.S.A, (1996).

Annex

Analyses physico-chimiques effectuées :**1)- Mesure de pH :****Principe:**

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 (pH: 9,7 et 4).

Mode opératoire:**a) -Etalonnage de l'appareil :**

-) Allumer le pH mètre(bouton rouge).
-) Brancher l'électrode de pH.
-) Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
-) Vérifier l'électrode(niveau de la solution de KCl).
-) Afficher la température ambiante.
-) Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH=7.
-) Régler l'agitation à faible vitesse.
-) Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH =7.
-) Laisser stabiliser un moment.
-) Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
-) Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH =9 et pH = 4.
-) Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

b) -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.

2)-Mesure de température:

Principe:

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.

3)-Mesure de la conductivité :

Principe :

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

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.

Expression des résultats

La mesure est obtenue directement en $\mu\text{S/cm}$.

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 :

Définition:

Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

Principe:

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, 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:

a) -Etalonnage de l'appareil :

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

b) -Dosage de l'échantillon:

Remplir une cuvette de mesure propre avec l'échantillon à analyser bien homogénéise et effectuer rapidement la mesure. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

Expression des résultats

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 présente dans l'eau sont amènes à former un Complexe de type chélate par le sel dis sodique de l'acide éthylène diamine tetracétique a 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.

Mode opératoire :

Mettre dans un erlenmeyer 100ml d'eau a analyse, ajouter 5ml de solution tampon, puis une pincée du NET « noir ériochromeT » (apparition d'une couleur rouge violet). On titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage du bleu.

$$TH (°F) = (V_{EDTA} \times N_{EDTA} \times 1000 \times 5) / V_{éch}$$

7)- Détermination de titre hydrométrique calcique THCa²⁺ :

Pour la détermination du TH calcique on utilise la méthode complexométrique par la solution d'EDTA en milieu basique a PH élève (par la soude) et en présence d'un indicateur colore.

Réactifs:

-) Solution titrée d'EDTA (N/50)
-) Solution NaOH (2N)
-) Indicateur coloré (murexide)

Mode opératoire :

Dans 100 ml de l'eau à analyser on ajoute 5ml de NaOH et un peu de l'indicateur murexide (apparition d'une couleur rose violet). on titre avec l'EDTA jusqu'au point de virage du rose au mauve. Pour calculer la concentration du calcium dans la solution on utilise la formule suivante :

$$[\text{Ca}^{+2}] = (\text{V}_{\text{EDTA}} \times \text{N}_{\text{EDTA}} \times 1000 \times 5) / \text{V}_{\text{eau}} \text{ (°F)}$$

8)- Détermination de titre hydrométrique magnésium TH_{Mg²⁺} :

Pour la détermination de TH_{Mg²⁺} on utilise la formule suivante :

$$\text{TH}_{\text{total}} = \text{TH}_{\text{Ca}^{2+}} + \text{TH}_{\text{Mg}^{2+}} \longrightarrow \text{TH}_{\text{Mg}^{2+}} = \text{TH}_{\text{total}} - \text{TH}_{\text{Ca}^{2+}}$$

9) - Détermination de l'alcalinité:**Définition:**

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates HCO_3^- , carbonates CO_3^{2-} et hydroxy des OH^- .

-) Le titre alcalimétrique (**TA**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et en carbonates caustiques.
-) Le titre alcalimétrique complet (**TAC**) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates.

Principe:

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 :

- Bécher de **250 ml**.
- Cylindre gradué de **100 ml**.
- Burette rapide.

Réactifs :

- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,1 N.
- Solution alcoolique de phénolphtaléine à 0,5%.

-) Phénolphtaléine.....5 g.
-) Alcool éthylique.....500 ml.
-) Eau distillée..... 500 ml.

- Solution de méthylorange à 0,5%.

-) Méthylorange.....0,5 g.
-) Eau distillée.....100 ml.

Mode opératoire:

a)-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 couleur 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 de la solution (**pH=8,3**). Soit **V** le nombre de millilitres d'acide utilisés pour obtenir le virage.

b) - 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 méthyl orange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au 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 millilitres 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.

$$\text{TAC (°F)} = (\text{Nacide} \times \text{Vacide} \times 5 \times 1000) / \text{Véch}$$

Expression des résultats :

a) -Pour TA:

-) **V** exprime le titre alcalimétrique en milliéquivalents par litre.
-) **5 V** exprime le titre alcalimétrique en degrés français (en effet, **1°F** correspond à **10mg** de carbonate de calcium (CaCO₃) ou **0,2 meq/l**)

b) -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 HCO_3^- et CO_3^{2-}

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

-) Hydroxydes OH^- .
-) Bicarbonates HCO_3^- .
-) Carbonates CO_3^{2-} .

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:

$$\begin{cases} \text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] \\ \text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \end{cases} \implies \begin{cases} [\text{OH}^-] = 2 \text{ TA} - \text{TAC} \\ [\text{CO}_3^{2-}] = 2 (\text{TAC} - \text{TA}) \end{cases}$$

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:

$$\begin{aligned} [\text{CO}_3^{2-}] &= 2 \text{ TA} \\ [\text{HCO}_3^-] &= \text{TAC} - 2 \text{ TA} \end{aligned}$$

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 > 1/2 TAC	2 TA - TAC	2 (TA - TAC)	0
TA = 1/2 TAC	0	TAC	0
TA < 1/2 TAC	0	2 TA	TAC - 2 TA
TA = 0	0	0	TAC

11) - détermination du sodium Na²⁺ :

Pour la détermination du sodium on a utilisé la méthode par logiciel (**Rosa**), qui faire l'équilibre entre TDS et les autres éléments chimiques pour déterminer la valeur de Na²⁺.

20) - Pour la détermination de:

Nitrates NO₃⁻

Nitrite NO₂⁻

Chlorure Cl⁻

Potassium K⁺

Sulfate SO₄²⁻

Fer (Fe³⁺, Fe²⁺)

Cuivre (Cu²⁺)

Silice (SiO₂)

Phosphates (PO₄²⁻)



Spectrophotomètre hach DR 5000

Au niveau de l'laboratoire de l'usine de dessalement **Cap-djinet**, on a fait les analyses de ces éléments à l'aide d'un spectrophotomètre **DR5000** qui simplifiée le travail dans un temps très court « quelques minutes »

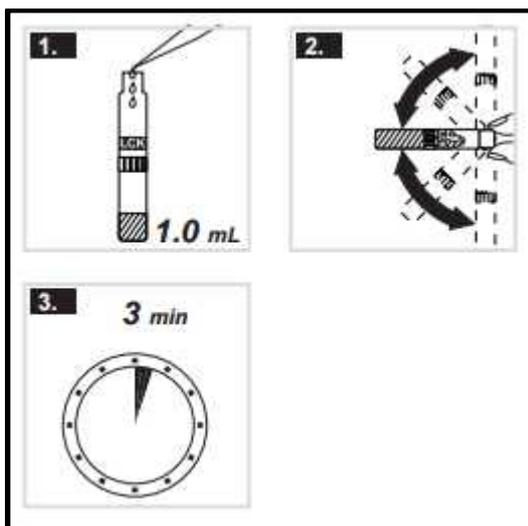
Les boites LCK (LCK 350, LCK 353, LCK 311, LCK 341) :

Les boites LCK contiennent différents dosages pour la détermination des différents éléments chimiques.

Chaque analyse à son méthode, et à la couverture de ces boites on trouve la figure qui représente les étapes de mode opératoire.



Les boites LCK



- 1.** Pipetter **1.0 mL** d'échantillon.
- 2.** Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite.
- 3.** Attendre **3 min**, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

Mode opératoire de LCK311

Exemple:

La boîte (LCK 311) mesure du chlorure :

Gramme de mesure (I): 1-70mg/l

On prend le dosage des chlorures comme un modèle d'explication et pour les autres analyses Chaque élément a sa méthode de mesure.

) **Pour les autres paramètres on utilise les boîtes LCK comme suit :**

) Nitrates NO_3^-		LCK 339
) Nitrite NO_2^-		LCK 341
) Chlorure Cl^-		LCK 311
) Potassium K^+		LCK 328
) Sulfate SO_4^{2-}		LCK 353
) Fer ($\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}$)		LCK 321
) Cuivre (Cu^{2+})		LCK 329
) Silice (SiO_2)		LCK 325
) Phosphates (PO_4^{2-})		LCK 350

On considère chaque boîte de LCK et son mode opératoire qui est marqué sur la boîte.