

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Département Génie des procédés

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
master**

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie Chimique

Thème :

**Etude paramétrique de procédé de dessalement et de déminéralisation
d'eau de mer dans la centrale Thermique de Cap Djinet**

Présenté par :

- **BOUSNINA FAHIMA**
- **MAZARI IMANE**

Dirigé par :

Mr .M.AMITOUCHE Promoteur
Mr .M.TOUATI Co-Promoteur

Soutenu le 07.2021

Devant le jury composé de :

M^r .MN.SAHMOUNE	Professeure à l'UMBB	Président
M^r .H.BOLOUL	MCA à l'UMBB	Examineur
M^r .M.AMITOUCHE	MCA à l'UMBB	Promoteur

Année Universitaire : 2020/2021

Résumé

L'une des contraintes associées au fonctionnement des usines de dessalement est la production d'une solution concentrée (sels et métaux), connue sous le nom de saumure, qui peut entraîner des problèmes critiques pour l'environnement, et la production des gaz qui causent la pollution de l'atmosphère.

Pour résoudre les problèmes liés à la gestion des concentrés, des efforts sont actuellement déployés pour réduire les volumes de concentrés dans le but ultime de parvenir à un rejet liquide nul (ZLD) des installations de dessalement.

Dans ce travail nous avons étudié les différents processus de dessalement et déminéralisation de l'eau de mer pour la production d'eau de plus grande pureté, dans la centrale thermique de Cap Djinet

Des analyses physico-chimiques sont effectuées sur les eaux produites (eau dessalée et eau déminéralisée) et sur la saumure déchargée dans le milieu marin au niveau de la centrale.

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 sur l'environnement marin par la bonne dilution avec les eaux de refroidissement.

Mots clés : Centrale électrique, Dessalement, Déminéralisation, Environnement, Saumure, Valorisation, Cap Djinet, Algérie.

ملخص

من المعوقات المرتبطة بتشغيل محطات التحلية إنتاج محلول مركز (أملاح ومعادن) يسمى محلول ملحي ، والذي يمكن أن يشكل مشاكل خطيرة على البيئة ، وإنتاج الغازات التي تسبب تلوث البيئة.

لحل المشاكل المرتبطة بإدارة المركبات، تُبذل الجهود حاليًا لتقليل أحجام المركبات بهدف نهائي هو تحقيق صفر تصريف سائل (ZLD) من محطات تحلية المياه.

لقد درسنا في هذا العمل العمليات المختلفة لتحلية مياه البحر وتنقية مياه البحر من أجل إنتاج مياه أكثر نقاءً في محطة الطاقة الحرارية في Cap Djinet.

يتم إجراء التحليلات الفيزيائية والكيميائية على المياه المنتجة (المياه المحلاة والمياه المنزوعة المعادن) وعلى المحاليل الملحية التي يتم تصريفها في البيئة البحرية للمحطة.

تؤكد النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها أن جودة المياه المنتجة عالية الجودة ، مما يدل على كفاءة العمليات المستخدمة ، دون أن ننسى عدم تأثير المحلول الملحي الذي يتم تصريفه على البيئة البحرية من خلال التخفيف الصحيح بمياه التبريد.

الكلمات المفتاحية: محطة كهرباء ، تحلية ، نزع المعادن ، بيئة ، محلول ملحي ، استرجاع ، كاب جنات، الجزائر

Abstract

One of the constraints associated with the operation of desalination plants is the production of a concentrated solution (salts and metals), known as brine, which can cause critical problems for the environment, and the production of the gases which cause air pollution. .

To solve the problems associated with the management of concentrates, efforts are currently being made to reduce the volumes of concentrates with the ultimate goal of achieving zero liquid discharge (ZLD) from desalination plants.

In this work we have studied the different processes of desalination and demineralization of seawater for the production of water of greater purity, in the thermal power station of Cap Djinet

Physico-chemical analyzes are carried out on the water produced (desalinated water and demineralized water) and on the brine discharged into the marine environment at the plant.

The experimental results obtained attest that the quality of the water produced is of perfect quality, which denotes the efficiency of the processes used, without forgetting the absence of impact of the brine discharged on the marine environment by the correct dilution with cooling waters.

Key words: Power station, Desalination, Demineralization, Environment, Brine, Recovery, Cap Djinet, Algeria.

Remerciement

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs à qui nous voudrions témoigner tout ma reconnaissance

*Nous voudrions tout d'abord adresser tout mas gratitudes à mon promoteur de ce mémoire, **Mr. AMITOUCHE**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Nous désire aussi remercier mon encadreur **Mr. TOUATI***

Et tout le personnel de la centrale Thermique de CAP-DJINET

*Un grand merci à **Mr. BALOU** pour les conseils concernant la base de données, ils ont grandement facilité mon travail.*

Dédicace

A ma mère

« Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte »

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour le remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée.

A mon père

Qui a fournie tout ses efforts pour qui je termine mes études

A mes frères Fouad, Farid et Younes

A ma chère sœur Assia

A mon amis warda

A mon binôme Imane

Fahima

Dédicace

C'est avec un cœur plein de joie que je dédie ce modeste travail:

*Aux deux bougies qui s'allument rien que pour éclaircir mon
Chemin ; ma très chère mère exemple de courage et mon très
cher père mon exemple de sagesse. Je prie Dieu le tout puissant
de les protéger du mal et de les récompenser.*

A mes adorables frères ; ABDE RAHIM et ALI AHMED

A mes très chères sœurs ; NABILA ET AMINA

A mes oncles, mes tantes

A Ma chère : ZAHIRA

A mes deux grandes mères que dieu les protège

A tout mes amis, en particulier WARDA

A mon binôme FAHIMA

Ainsi que toute sa famille

Sommaire

LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEUX	
Symbole et abréviation	
Introduction générale	1
I.1 Introduction :	3
I.2 Historique :	3
I.3 Implantation :	4
I.4 Données météorologiques	6
I.5.Caractéristiques techniques de la centrale.....	6
I.5.1 Générateur de vapeur	6
I.5.2. Turbine :	13
I.5.3 Ventilateurs :	16
I.5.4 Alternateurs (SIEMENS)	16
I.5.5 poste d'eau	17
I.5.6 Auxiliaires électrique	21
I.5.7 Salle de commande.....	22
I.5.8 Transformateur principal d'évacuation d'énergie.....	22
I.5.9. Station de filtrage et de pompage d'eau de mer	23
I.5.10.Station de dessalement et de déminéralisation d'eau de mer	23
I.5.11 Station de production d'hydrogène.....	24
I.5.12 Poste gaz	24
I.5.13 Poste fuel.....	24
I.6 Principe de fonctionnement.....	24
Conclusion.....	27
II-1 Introduction	28
II-2 Composition et salinité d'eau de mer et l'eau saumâtre	30
II.3. Les différents procédés de dessalement	31
II.3.1. Schéma générale d'une installation de dessalement	31
II.3.2 : Les critères de classification des procédés	33
II.3.3 : Les principales techniques de dessalement	34
II.3.3.1. Procédés de distillation.....	34
II.3.3.1.1 .Distillation à simple effet	37
II.3.3.1. 2. Distillation à effet multiple	37

II-3.3.1. 3. Distillation avec compresseur de vapeur.....	38
II-3.3.1. 4. Multi Stage Flash (Distillation Thermique par Détentes Successives)	39
II.3.3.2. Procédés membranaires	41
II.3.3.2.1 Osmose Inverse.....	43
II.3.4. Principaux avantages et inconvénients de dessalement.....	47
II.3.5 : Études comparatives.....	49
Conclusion:.....	52
Introduction :	54
I. Présentation de l'installation de dessalement MSF.....	54
I.1. Les différents organes de l'installation	55
I.2. Injection des produits chimiques:.....	59
I.3. Description fonctionnement de l'installation de dessalement.....	61
II. Présentation de l'unité de déminéralisation à lits mélangés.....	64
II.1. Différents organes de l'installation.....	65
II.2. Caractéristiques techniques des équipements	65
II.3. Description de l'installation.....	67
III. L'entraînement dans la vapeur	76
II-3-1 Lutte contre les problèmes de circuit eau-vapeur	76
I. Analyses et interprétations des résultats :	78
I.1 Prélèvement des échantillons	78
I.2 Les méthodes d'analyses.....	79
I.3 Analyse de l'eau de mer	79
III. Contrôle de circuit eau-vapeur	92
Introduction	105
I. L'impact de dessalement sur l'environnement.....	105
A. Impacts négatif.....	108
I.A.1. Impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement, notamment en ce qui concerne le milieu marin	108
A.1.1. Effets de la saumure (salinité et température) sur le biote.....	109
A.1.2. Effet des produits chimiques utilisés dans le procédé de dessalement et rejetés avec la saumure.....	109
A.2. Contaminants émergents.....	111
I.A.2. Impacts atmosphérique (Impacts des gaz)	112
I.A.2.1. Changements climatiques	113

I .A.3.Analyse des Emission Atmosphériques	116
5. Conclusion.....	118
II-Gestion et valorisation de rejet	118
II-1-Amélioration des technologies actuelles	119
II .2.Récupération des métaux et des sels.....	119
Conclusion.....	138
Conclusion générale	139
BEBLIOGRAPHIE	141
Annexe.....	146

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :

Fig. n° (1) : Vue de la centrale de Cap Djinet	3
Fig. n°(2) : Carte de situation du central [46].....	5
Fig. n° (3) : Chaudière de la centrale de Cap Djinet	6
Fig. n° (4) : Corps haute pression (HP)	14
Fig. n°(6) : Corps basse pression (BP)	15
Fig. n°(7) : Ventilateur	16
Fig. (9) : Condenseur	18
Fig. n° (10). : Vue de bêche alimentaire de la centrale.	19
Fig. n°(11) : Vue de réchauffeur basse pression (BP).	21
Fig. n°(12) : Salle de commande	22
Fig. n°(13) : Transformateur principal	22
Fig. (14) : Station de pompage	24
Fig. n° (15) : Organigramme des principales transformations d'énergie.	25
Fig. n°(16) : Schéma synoptique d'une tranche thermique	26
Fig. n° (1) : Répartition et capacités de production de l'eau dessalée et de rejet de saumure des usines de dessalement dans le monde [26].....	29
Fig. n°(2) : Tendances du dessalement mondial par (a) nombre et capacité des installations de dessalement totales et opérationnelles et (b) capacité opérationnelle par technologie de dessalement. [26].....	29
Fig. n° (3) : Les concentrations des sels dans l'eau de mer [50]	31
Fig. n° (4) : Schéma général d'une installation de dessalement. [1]	32
Fig. n°(5) : Organigramme représente les différents procédés de dessalement.	34
Fig. n°(6) : Schéma de Prise d'eau de mer de surface fixe [31].....	35
Fig. n°(7) : Schéma de Prise d'eau de mer Puits côtier[31]	36
Fig. n°(8) : Schéma Prise d'eau de mer de surface mobile [31]	36
Fig. n° (9): Distillation à simple effet [34]	37
Fig. n° (10): Distillation à multiple effet	38
Fig. n°(11) : Distillation avec compresseur de vapeur	39
Fig. n°(12) : Distillation à détente étagées	40
Fig. n°(13) : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....	44
Fig. n°(14) : Schéma de dessalement et le prétraitement d'eau de mer par osmose inverse	45

Fig. n°(15) : Module spirale	46
Fig. n°(16) : Structure des membranes d'osmose inverse	46
Fig. n°(17): Processus ED simplifié	47
Fig. n°(1) : Schéma simplifié de la station de dessalement	54
Fig. n°(3) : Schéma simplifiée de l'installation de déminéralisation	64
Fig. n°(4) : Préparation d'une solution de NaOH à 30%.....	67
Fig. n°(5) : Etape n° 1 de régénération des lits mélangés.....	69
Fig. n°(6): Etape n° 2 de régénération des lits mélangés.....	69
Fig. n°(7) : Etape n° 3 de régénération des lits mélangés	70
Fig. n°(8) : Etape n° 6 de régénération des lits mélangés.....	71
Fig. n°(9): Etape n° 7 de régénération des lits mélangés.....	71
Fig. n°(10) : Etape n° 8 de régénération des lits mélangés.....	72
Fig. n°(11) : Etape n° 9 de régénération des lits mélangés.....	72
Fig. n° (12): Schéma de neutralisation.....	74
Fig. n°(13): Installation de déminéralisation de la centrale thermique de Cap Djinet.....	75
Fig. n°1: Evolution de pH.....	83
Fig. n°2 : Evolution de la température	83
Fig. n°3 : Evolution de la conductivité	84
Fig. n °4 : Evolution de la salinité	84
Fig. n°5 : Evolution de la turbidité	85
Fig. n°7 : Evolution de TA et TAC	86
Fig. n° 9 : Evolution de Fer, de cuivre et de silice	87
Fig. (10) : évolution du PH de l'eau déminéralisé au cours des années suivantes (2013, 2017,2021).....	95
Fig. (11) : évaluation du Salinité de l'eau dessalée à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021).....	95
Fig. (12) : évaluation du Salinité d'eau déminéralisée au cours des années suivantes (2013, 2017,2021).....	95
Fig. (14) : évaluation du Conductivité de l'eau dessaler à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	96
Fig. (13) : évaluation du Chlorures (Cl⁻) de L'eau dessalée à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	96
Fig. (15) : évaluation du Turbidité de L'eau dessalée à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	96

Fig. (16) : évaluation du Turbidité de l'eau déminéralisé à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	96
Fig. (19) : évaluation du Chlorures (Cl ⁻)	98
de l'eau de mer à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021).....	98
Fig. (20) : évaluation du Salinité de l'eau de mer à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021).....	98
Fig. (18) : évaluation du Conductivité d'eau de mer à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	98
Fig. (17) : évaluation du PH de l'eau de	98
mer à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	98
Fig. (21) : évaluation du PH de Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	100
Fig. (22) : évaluation du PH de Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021).....	100
Fig. (23) : évaluation du Salinité de Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	100
Fig. (24) : évaluation du Salinité de Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	100
Fig. (25) : évaluation du Conductivité de Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021).....	101
Fig. (26) : évaluation du Conductivité de Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021).....	101
Fig. (27) : évaluation de la turbidité de	101
Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	101
Fig. (28) : évaluation de la turbidité de Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021).....	101
Fig. (29) : évaluation du Chlorures Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)	102
Fig. (30) : évaluation Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021).....	102
Fig. n°(1) : les différents rejets d'une usine de dessalement	106
Fig. n°(2) : les impacts de dessalement	107
Fig. n°(3) : Impacts de dessalement sur l'atmosphère.....	115
Fig. n°(4) : les métaux récupères et les techniques utilisées	124
Fig. n°(5): Evolution de la quantité de chaque sel déposé (en masse) en fonction de la concentration de la saumure.	126

Fig. n°(6) : Schéma du procédé de dessalement sans rejet avec rejet optionnel d'eau de mer	127
Fig. n°(7) : Schéma du procédé de dessalement sans rejet basé sur l'électrodialyse.....	128
Fig. n°(8) : Schéma de l'électrodialyse par métathèse.....	129
Fig. n°(9) : Schéma du procédé de dessalement à Zéro rejet basé sur la métathèse de l'électrodialyse	130
Fig. n°(10) : Schéma du dessalement dans le système de cristallisation ED-MSF	131
Fig. n°(11) : Schéma du dessalement de l'eau de mer par électrodialyse dans un système de cristallisation ED-MSF.....	131
Fig. n°(12) : Schéma du dessalement dans le système UF-NF-MSF-cristallisation	133
Fig. n°(13) : Schéma du dessalement dans le système UF-NF-RO-MSF-cristallisation ..	133
Fig. n°(14) : Schéma du système membranaire intégré pour la récupération des sels dissous dans le retentât de la NF de l'eau de mer	134
Fig. n°(15) : Dessalement à zéro rejet (ZRD).....	137

LISTE DES TABLEUX

Chapitre II :

Tableau n° (1) : avantages et inconvénients des procédés de dessalement d'eau de mer ... 48

Tableau n°(2) : Caractéristiques des différents procédés 50

Chapitre III:

Tableau n°(1) : Caractéristiques techniques de l'évaporateur 55

Tableau n°(2) : Caractéristiques principales des pompes centrifuges de traitement 56

Tableau n°(3) : Caractéristiques techniques des pompes de transfert d'eau de mer 57

Tableau n°(4): Caractéristiques techniques des pompes d'éjection 57

Tableau n°(5) : Caractéristiques techniques des pompes doseuses 58

Tableau n°(6) : récapitulative des ajouts chimiques 60

Tableau n°7 : Caractéristiques techniques de l'installation de dessalement MSF 61

Tableau n°8: Caractéristiques techniques des filtres à lits mélangés 65

Tableau n°(9) : Les étapes de régénération du filtre à lit mélangée 73

Chapitre IV:

Tableau n° 1 : Différents méthodes d'analyse utilisées à la centrale 79

Tableau n° 2 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer 81

Tableau n° 3 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau dessalée et l'eau déminéralisée 82

Tableau n° 4: Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure avant et après dilution avec l'eau de refroidissement 89

Tableau n° 5 : Analyse physico-chimique des différents échantillons 90

Tableau n°6 : Les résultats des analyses effectuées au circuit eau-vapeur 92

Tableau n° 7: résultat d'analyse de l'eau dessalée et déminéralisée des années (2013, 2017, 2021) 94

Tableau n° 8 : l'analyse physico-chimique d'eau de mer des années (2013, 2017,2021). 97

Tableau n°9 : analysée des saumure avant et après dilution des années (2013, 2017,2021) 99

Tableau n°10 : Comparaison d'analyse de saumure après dilution avec l'eau de mer de l'année 2013 103

Tableau n°11 : Comparaison d'analyse de saumure après dilution avec l'eau de mer de l'année 2017 104

Chapitre V:

Tableau n°(1) : les contaminants émergent des technologies de dessalement	111
Tableau n°(2) : Matériels Utilises pour l'analyse des émissions atmosphériques.....	116
Tableau n°(3) : Résultats d'analyse des émissions atmosphériques.....	117
Tableau n°(2): Classification périodique des éléments [46].....	121
Tableau n°(4): Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement	121
Tableau n°(5) : Caractéristiques des sels.....	125
Tableau n°(6) : Procède de dessalement à Zéro rejet ZRD	135

Symbole et abréviation

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 (IMt=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⁺ : Dureté calcique.

TH : Dureté magnésienne.

VC : Compresseur de vapeur.

ZRL : Zéro rejet liquide

Émission de GES : Émission de gaz à effet de serre

EDR : Électrodialyse inverse

MPE : Meilleures pratiques environnementales

EDR : Électrodialyse inverse

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

EIE : Évaluation de l'impact sur l'environnement

MTD : Meilleures techniques disponibles

VTE : Tubes verticaux arrosés.

EDM : Métathèse par électrodialyse

UE : Union européenne

AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique

US-EPA: UNITED STATES ENVIRONMENTAL

SWRO: Stands for Seawater Reverse Osmosis

WET : Développement d'un nouvel essai de caractérisation de l'érodabilité Des sols le
« Wheel Erosion Test »

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

RE : Énergies renouvelables

AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique

WWF: WORLD WILDLIFE FUND

ZRD: Zéro rejet dessalée

Introduction

générale

Introduction générale

Une centrale thermique est un type de centrale qui a besoin de ressources en combustibles fossiles pour produire de l'électricité. L'électricité produite à partir du gaz naturel (énergie fossile) représenterait : 97,2 % (Source: Banque Mondiale 2006).

Ils existent certains avantages à utiliser une centrale thermique pour produire de l'électricité.

Tout d'abord, elle peut être localisée à proximité du lieu de consommation, ce qui réduit les problèmes et les coûts liés au transport de l'électricité. De plus, sa construction exige beaucoup moins de temps que pour la plupart des autres types de centrale (hydroélectrique, nucléaire), de sorte qu'elle peut être mise en service très rapidement. . Selon la ressource en hydrocarbure qu'elles utilisent pour produire de l'électricité, les centrales thermiques sont soumises aux prix de vente du charbon, du gaz naturel et du mazout. De plus, les ressources utilisées ne sont pas renouvelables. Finalement, il est reconnu que la combustion des hydrocarbures rejette dans l'atmosphère des GES (CO₂,...) nuisibles à l'environnement.

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

L'eau de mer, de par sa nature, est très corrosive vis-à-vis des matériaux de construction (de la centrale). Elle est chargée de sels, de gaz dissous et de solides en suspension. . Par conséquent, si elle n'est pas traitée, son utilisation pose un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent l'efficacité et la durée de vie des installations, [47]. L'objectif de ce traitement est de diminuer ou d'éliminer totalement ces particules en fonction de l'usage prévu pour l'eau.

L'eau de mer au niveau des centrales électriques est traitée de façons très différentes suivant qu'il s'agisse de fournir de l'eau de refroidissement ou de l'eau pour l'alimentation des chaudières à hautes pressions.

Notre étude consiste à définir les différents procédés de traitement des eaux de mer adaptés pour la centrale, dans le but de produire de l'eau d'appoint destinée à l'alimentation des chaudières à haute pression. Ce présent travail de mémoire est basé sur l'étude de procédé de dessalement et de déminéralisation sur résine échangeuse d'ions de l'eau de mer à la centrale thermique de cap Djinet, afin d'obtenir une eau nécessaires à l'alimentation des chaudières à haute pression ainsi qu'un rejet de saumure qui respectent les normes exigées.

Cette étude est soutenue par des analyses effectuées sur des échantillons prélevés dans différents endroits du circuit de l'eau.

La première partie est basée sur à la présentation de la centrale thermique et ces principes de fonctionnement, ainsi que les différentes techniques sont présentées.

Par la suite nous avons présenté en détaille l'unité de dessalement et de déminéralisation de la centrale.

Cette partie est terminée par la description et l'exposition des différents impacts environnementaux engendrés par le dessalement.

La deuxième partie est consacrée au suivi de fonctionnement et de contrôle de l'efficacité de traitement de l'eau de mer et la qualité de rejet, afin d'évaluer l'efficacité de traitement et les impacts sur l'environnement marin sur la base des résultats d'analyses des années (2013, 2017 ; 2021) en premier temps. En suite une bonne synthèse des protocoles expérimentaux pour la récupération des métaux et des sels de la saumure issue des stations de dessalement sont présentés.

Enfin on a terminé notre travail de mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I :

*Présentation et principe de
fonctionnement de centrale*

I.1 Introduction :

La centrale de Ras -Djinet est une centrale thermique qui produit une puissance électrique avec une capacité de 704 MW répartie en 4 unités de production de type thermique à vapeur d'une puissance unitaire de 176 Mégawatts (MW) chacun. La puissance fournie au réseau National est de 672MW bornes usine, transportée au poste d'intersection ALGER/EST par l'intermédiaire de 04 lignes de transport de 220 kv. La consommation totale des auxiliaires des quatre tranches et des auxiliaires communs est d'environ 32 MW.

La centrale Thermique de RAS DJINET est une branche de la société nationale de l'électricité et de gaz, SONELGAZ par abréviation. La centrale a été construite par un consortium Austro-allemand : SEIMENS-KWU-SGP, et mise en service pour la première fois en 1986.

Cette centrale est classée parmi les plus grandes du pays et revêt un caractère hautement stratégique (régulation de réseau électrique). Elle a été créée pour renforcer le parc de production d'énergie électrique *qui* atteignait à la fin de premier plan quinquennal : 3000 MW pour la production de 10 000 (G/H).



Fig. n° (1) : Vue de la centrale de Cap Djinet

I.2 Historique :

La centrale thermique de Ras Djinet a été construite par un groupe Austro-allemand SIEMENS-SGP qui avait la responsabilité des études, de la supervision du montage et du contrôle d'ouvrage, ainsi que d'une entreprise Espagnole DRAGADOS à la quelle a été confié la réalisation de la prise d'eau de mer.

Les principaux contrats ayant été signés en 1980, les travaux de terrassement ont démarré en 1981, et les travaux de montage ont commencé en 1984.

Les principales opérations sont réalisées selon le calendrier suivant :

Travaux de génie civil :

- Début : juin 1981.
- Fin : Mars 1985.
- Montage mécanique :
 - Début : Mars 1984
 - Fin : Septembre 1986
- Montage électrique :
 - Début : Mars 1984
 - Fin : Septembre 1986
- La mise en service des groupes de production s'est déroulée comme suit :
 - Groupe 1 en Décembre 1985.
 - Groupe 2 en Avril 1986.
 - Groupe 3 en Septembre 1986.
 - Groupe 4 en Décembre 1986.

I.3 Implantation :

La centrale Thermique de CAPDJINET se situe au bord de la mer à l'est d'Alger, dans la wilaya de Boumerdes, à 30 km de l'est du centre de wilaya, et à 1 km à l'ouest de la ville de Ras Djinet. Elle occupe une superficie de 35 HIKTAR.



Fig. n°(2) : Carte de situation du central [46]

I.4 Données météorologiques :

L'emplacement de la centrale est exposée à un climat méditerranéen, caractérisé par un degré d'humidité élevé tant en été qu'en hiver. La zone est exposée aux gicllements d'eau et n'a aucune protection contre le vent. L'emplacement est considéré poussiéreux. Les conditions moyennes de l'environnement sont les suivantes

Température maximale	45 °C
Température minimale	0 °C
Température moyenne du projet	20 °C
Humidité de l'air	50%-80%
Moyen de pluies	750 mm

I.5. Caractéristiques techniques de la centrale :

La centrale Thermique de Ras Djinet est composée de plusieurs organes important du type Thermique et pour chaque groupe de la centrale on trouve :

I.5.1 Générateur de vapeur :

La chaudière est un appareil destiné à extraire l'énergie calorifique du combustible et la céder à l'eau, Alors elle a pour rôle de transformer l'eau d'alimentation en vapeur, à haute pression et à une température plus élevée en vue d'alimenter la turbine. La chaudière est de type pressurise (sous-pression) à circulation naturelle.



Fig. n° (3) : Chaudière de la centrale de Cap Djinet

1. Rôle du générateur de vapeur :

Le générateur de vapeur (chaudière) a pour rôle d'extraire l'énergie calorifique du combustible et de la céder à la vapeur d'eau. C'est donc la transformation de l'énergie chimique en énergie calorifique, qui sera transformé en énergie mécanique dans la turbine.

2. Classification des Chaudières:

La classification des chaudières est très variée vue la multitude des critères et des modes de classification existants et on peut les résumer comme suit :

- Le mode d'emploi :
 - Chaudière fixe
 - Chaudière mobile
- La disposition générale :
 - Chaudière horizontale
 - Chaudière verticale
- Le mode de construction
 - Chaudière à bouilleurs
 - Chaudière à tubes de filmée
 - Chaudière à faisceau tubulaire
- Le mode de chauffage :
 - Chaudière à foyer intérieur
 - Chaudière à foyer extérieur
- La nature de la vapeur produite :
 - Chaudière à basse pression (< 5 bar)
 - Chaudière à moyenne pression (< 45 bar)
 - Chaudière à haute pression (jusqu'à la pression critique de 225 bar)
- La vitesse de circulation de l'eau :
 - Classe A : chaudière sans circulation (< 1 m/s)
 - Classe B: chaudière à circulation modérée (1 à 5 m/s)

- Classe C: chaudière à circulation accélérée (5 à 9 m/s)
- Classe D: chaudière à circulation forcée (>10m/s).

Le timbre d'une chaudière, exprime en bar, est la pression limite que les conditions de sécurité lui permettent de supporter.

3. Constitution :

Un générateur de vapeur est constitué essentiellement :

3.1. Foyer ou chambre de combustion :

La chambre de combustion est la partie principale de générateur de vapeur, c'est le lieu où s'effectue la transformation de l'énergie chimique en énergie calorifique.

Le foyer comporte quatre faces de huit brûleurs répartis sur quatre étages.

3.2 .Economiseur :

C'est une tuyauterie en forme de serpent. A pour rôle de récupérer une partie des calories contenues dans les gaz de combustion et de les céder à l'eau d'alimentation vers le Ballon.

Caractéristiques

- Débit d'eau d'alimentation : 523 t/h
- Timbre : 172 bars
- Pression de service : 164,3 bars
- Volume d'eau : 10,5 m³
- Surface de chauffe : 2080 m²

3.3 .Ballon chaudière (réservoir) :

Le réservoir (ou ballon) a pour rôle d'assurer l'alimentation des écrans vaporisateur en eau. La vapeur est séparée de l'eau à l'aide des séparateurs cyclones.

Caractéristiques

- Timbre : 172 bars
- Pression de service : 160 bars
- Volume d'eau : 26,9 m³
- Température : 347°C
- Nombre de séparateur cyclone : 66

3.4. Les colonnes de descente et tubes écrans :

Les colonnes de descente sont raccordées à la partie inférieure du ballon et conduisent l'eau tombant grâce à son propre poids à la partie inférieure de l'écran vaporisateur. Les écrans vaporisateurs tapissent le foyer de générateur de vapeur sur toutes ces faces.

Caractéristique

- Surface de chauffe : 1980 m²
- Pression de service : 160 bars
- Volume d'eau : 37 m³
- Nombre de colonne de descente : 4
- Nombre des tubes écrans : 508

3.5 Les surchauffeurs :

La vapeur parcourt successivement le collecteur des tubes support, la première surchauffeur puis la surchauffeur secondaire avant d'arriver dans la surchauffeur finale.

A pour rôle d'augmenter la température de la vapeur.

Caractéristiques

- Surchauffeur primaire :
- Timbre : 172 bars
- Pression de service : 160 bars
- Surface de chauffe: 1565 m²
- Température d'entrée : 360,8°C
- Température de sortie : 427°C
- Surchauffeur secondaire :
- Timbre : 172 bars
- Pression de service : 150 bars
- Surface de chauffe: 581 m²
- Température d'entrée : 393,9°C
- Température de sortie: 485°C
- Surchauffeur finale :

- Timbre : 172 bars
- Pression de service : 145,7 bars
- Surface de chauffe: $5\,38\text{ m}^2$
- Température d'entrée : 470°C
- Température de sortie : 540°C

3.6. Les resurchauffeurs :

Ce sont des échangeurs de chaleurs qui servent a resurchauffer la vapeur sortante de corps haute pression (HP) de la turbine avant l'envoyer vers le corps moyenne pression (MP).

Ils sont au nombre de deux.

Caractéristiques

- Résurchauffeur primaires :
- Timbre: 48 bars
- Pression de service : 39 bars
- Volume d'eau : $1\,8\,96\text{ m}^3$
- Surface de chauffer : 1832 m^2
- Résurchauffeur secondaire :
- Timbre: 48 bars
- Pression de service : 37 bars
- Volume d'eau : $1\,0\,11\text{ m}^3$
- Surface de chauffe : 929 m^2

3.7. Désurchauffeurs :

Ce sont des échangeurs qui servent à régler la température de la vapeur.

Ils sont de deux sortes :

Les désurchauffeurs de la surchauffe, ils sont alimentés par un piquage de l'eau d'alimentation.

Les désurchauffeurs de la resurchauffe sont au nombre de deux, ils sont alimentés par un piquage d'eau de l'étage intermédiaire des pompes alimentaire.

Caractéristiques

- Désurchauffeurs de vapeur surchauffée :
- Température d'eau d'injection : 154,4°C
- Pression d'eau d'injection (pression d'entrée) : 165,4 bars
- Débit d'eau d'injection : 35,7 t/h
- Désurchauffeurs de vapeur resurchauffée :
- Température d'eau d'injection : 154,4°C
- Pression d'eau d'injection : 60 bars
- Débit d'eau d'injection : 4,6 t/h

3.8. Les bruleurs:

Le générateur de vapeur est équipé de huit (08 bruleurs au gaz naturel et au fuel léger, Ces bruleurs sont disposés sur quatre étages de la face avant de la chaudière deux à deux rapprochés et espaces alternativement pour assurer une répartition adéquate de la chaleur. Les bruleurs sont prévus pour un fonctionnement mixte :

Un bruleur peut fonctionner soit au gaz naturel soit au fuel léger. En marche normal d'un groupe c'est le gaz naturel qui est utilisé comme combustible principal, le fuel est utilisé comme combustible de secours.

4 .Auxiliaires de la chaudière :

4.1. Les ventilateurs :

Les ventilateurs assurent la circulation de gaz de générateur de vapeur. Les ventilateurs utilisés pour le fonctionnement de générateur de vapeur sont :

4.1.1. Les ventilateurs de soufflage :

Les ventilateurs de soufflage doivent fournir l'air nécessaire pour assurer la combustion de combustible, en passant par le réchauffeur d'air rotatif. Ses caractéristiques sont :

- Type : ventilateur radial
- Débit d'air : 77,9 m³/s
- Vitesse de rotation : 980 tr/min
- Puissance : 1200 Kw
- Tension : 6,3 Kv

4.1.2. Les ventilateurs de recyclage :

Les ventilateurs de recyclage ont pour rôle d'aspirer des gaz chauds de combustion et de les refouler à la base de foyer.

Caractéristiques

- Type : ventilateur radial
- Vitesse de rotation : 992 tr/min
- Puissance : 1280 kW
- Tension : 6,3 kV

Température fumée à l'aspiration : 400°C

4.2. Préchauffeurs d'air à vapeur :

Les préchauffeurs d'air à vapeur, servent à l'augmentation de la température d'air de combustion avant le réchauffeur rotatif.

Le préchauffeur d'air à vapeur est alimenté par les soutirages moyens pression (MP).

Caractéristiques

- Débit d'air: 299700 m³/h
- Entrée d'air : 20°C
- Sortie d'air : 70°C

Volume de vapeur surchauffée : 10019 Kg

4.3. Réchauffeur d'air rotatif :

Le réchauffeur d'air rotatif est un échangeur de chaleur. A pour rôle de récupérer une partie de la chaleur des fumées.

Le réchauffeur rotatif est constitué d'un rotor tournant dans un boîtier autour d'un axe vertical. Lors de la rotation du rotor sont traversées alternativement par les fumées et par l'air, et absorbent de la chaleur des fumées et la rejettent vers l'atmosphère.

Caractéristiques

- Type : LJUNGSTROM
- Surface de chauffe: 31690 m²
- Température maximale de réchauffeur d'air : 330°C
- Puissance : 11,7 kW

- Tension : 380V

4.4. Cheminée :

La chaudière est équipée d'une cheminée d'une hauteur de 60 mètres au dessus du sol. Elle est de construction métallique.

Elle est équipée à son sommet :

- D'une passerelle d'entretien avec échelle d'accès.
- D'un balisage aérien.
- Protection par parfondre

I .5.2. Turbine :

1. Rôle :

La turbine est une machine à une ligne d'arbre composé de corps HP (haute pression), MP (moyenne pression), BP (basse pression). La turbine 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 entraîner l'alternateur.

2. Description :

Turbine à trois corps : HP, MP et BP (haute, moyenne et basse pression).

Nombres de soutirages de vapeur : 06 alimentant trois réchauffeurs BP, la bache alimentaire et deux réchauffeurs HP.

3. Caractéristiques :

- Longueur : 16,125 m.
- Largeur : 13 m
- Poids : 500 t.
- Puissance : 176 MW.
- Pression : 138,3 bars.
- Température vapeur : 535°C.
- Vitesse de rotation : 3000 tr/mn.

✚ Corps HP :

Il est à simple flux avec un soutirage S6 qui alimente les réchauffeurs haute pression (HP₆).

A l'entrée du corps : Pression : 138 bars.

Température : 540°C.

A la sortie du corps : Pression : 40 bars.

Température : 357°C.



Fig. n° (4) : Corps haute pression (HP)

✚ Corps MP :

Il est à double flux avec deux soutirages S5 et S4.

A l'entrée du corps : Pression : 35,9 bar.

Température : 535°C.

A la sortie du corps : Pression : 5,52 bar.

Température : 282°C.

Le soutirage S5 alimente le réchauffeur haut pression (HP₅) avec une température de 423°C, et d'une pression de 16,5 bars.

Le soutirage S4 alimente la bêche alimentaire avec une température de 282°C, et d'une pression de 5,5 bars.

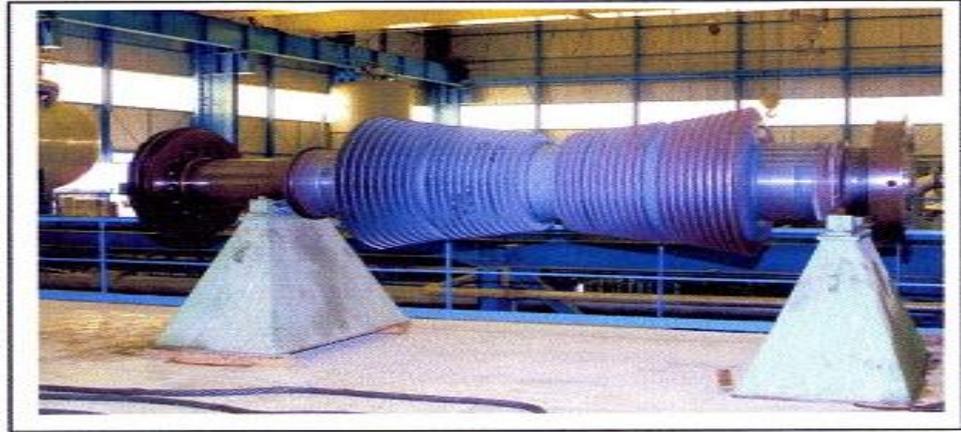


Fig. n°(5) : Corps moyenne pression (MP)

✚ Corps BP :

Il est à double flux avec trois soutirages, l'entrée de ce corps est liée directement avec la du corps MP par une conduit.

Le soutirage (S3) : alimente le 3^{ème} réchauffeur (BP) avec une température de 173°C, et d'une pression de 1,77 bar.

Le soutirage (S2) : alimente le 2^{ème} réchauffeur (BP) avec une température de 89°C, et d'une pression de 0,65 bar.

Le soutirage (S1) : alimente le 1^{er} réchauffeur (BP) avec une température de 56°C, et d'une pression de 0,15 bar.



Fig. n°(6) : Corps basse pression (BP)

I.5.3 Ventilateurs :

02 ventilateurs de recyclage : ont pour rôle en recycler en fonction de la charge, une partie des fumées issues de la combustion afin de régler la température à la sortie du resurchauffeur.

02 ventilateurs de soufflage : ont pour rôle de fournir l'air de combustion nécessaire au générateur vapeur.



Fig. n°(7) : Ventilateur

I.5.4 Alternateurs (SIEMENS) :

Est un générateur d'électricité lié directement avec l'arbre de la turbine, Il transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique. C'est un alternateur à pôles lisses. Parmi ces avantages la faible densité et une grande conductibilité Thermique ce qui permet de réduire les pertes de chaleur lors de la ventilation, ainsi que la chaleur dégagée par courant électrique crée est un courant alternative triphasé.



Fig. n° (8) : Alternateur

Les alternateurs sont à refroidissement à l'hydrogène sous pression de 03 bars en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction.

1. Caractéristique :

- Puissance active : 176 MW.
- Puissance nominale : 220 MVA.
- Tension nominale : 15,5 KV.
- La fréquence : 50 HZ.
- Facteur de puissance : $\cos \varphi : 0,8$
- Excitatrice principale et pilote (Excitation : a diodes tournantes).
- Poids de stator complet 198 tonnes.
- Poids de rotor seul 36,7 tonnes.

I.5.5 poste d'eau :

Le poste d'eau est l'ensemble des appareils qui transfère l'eau d'alimentation du cycle depuis le condenseur jusqu'à la chaudière et qui conditionne cette eau du point de vue de la température et de la teneur en oxygène. IL se compose des éléments suivants :

1. Condenseur :

Le condenseur utilisé dans l'installation est un échangeur à échange par surface. Il est placé sous la Turbine BP.

La vapeur d'échappement de la turbine, se condense au contact extérieur des tubes du faisceau tubulaire parcourus intérieurement par l'eau de circulation, qui est prise à la mer, grâce à une pompe de circulation qui aspire cette eau et la refoule à l'intérieur du faisceau tubulaire et de là elle retourne à la mer.

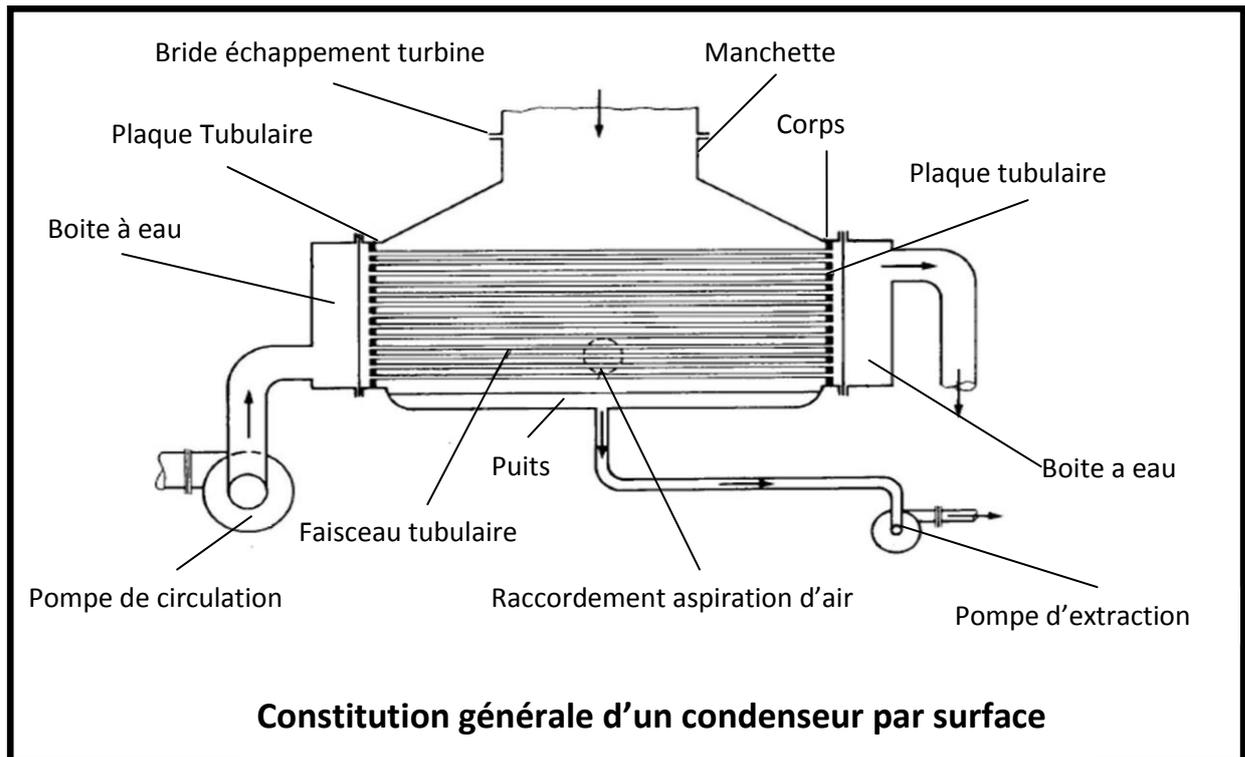


Fig. (9) : Condenseur

Les principales fonctions de condenseur sont :

Assurer la condensation de la vapeur d'eau évacuer du corps BP de la turbine par la circulation de l'eau de mer de refroidissement (débit de $2 \times 12000 \text{ m}^3/\text{h}$), dans les 14850 Tubes en titane contenu dans le condensateur.

Augmenter la chute d'enthalpie de la vapeur détendue en établissant une dépression atmosphérique afin d'améliorer le rendement.

Dégazer le condensat et d'évacuer les incondensables en majorité l'air.

Recevoir également le condensat des réchauffeurs BP.

Caractéristiques du condenseur :

- Pression dans le condenseur : 0,07 bar absolue.
- Capacité du puits entrée/sortie : eau de mer 6° à 8°C .
- Surface d'échange : 10101 m^2
- Masse de condenseur à vide : 258,5 tonnes.
- Matériau de tube : titans.
- Vitesse de l'eau dans les tubes : 1,8 m/s.

- Débit vapeur : 98,25 kg/s.
- Débit d'eau de refroidissement : 6500 kg/s (eau de mer).
- Nombre de tubes : 14850.
- Longueur des tubes : 11490 mm.
- La température de sortie : 32,9°C.
- La pression de sortie : 0,05 bars

2. Bâche alimentaire :

C'est un réservoir qui réserve l'eau en charge au cours de l'aspiration des pompes et assure le dégazage du condensat. Cette dernière joue le rôle d'un échangeur à mélange (Réchauffeur), l'eau est chauffée alors par le soutirage S4 du corps MP de la turbine. En condensant la vapeur qui est prélevée à la turbine.

Elle se caractérise comme ceci :

- La pression = 5bar
- La température = 150°C
- La longueur = 16,5m
- Le diamètre de l'enveloppe = 3,6m
- Le volume = 163m³



Fig. n° (10). : Vue de bâche alimentaire de la centrale.

➤ **Dégazeur:**

Le dégazeur a pour rôle d'éliminer les gaz des eaux. Il contient une chambre de mélange pour les condensats à dégazer, une plaque de dégazeur et un collecteur horizontal, zone de collecte et d'évacuation des incondensables.

➤ **Les Pompes :**

Deux (02) pompes d'extraction :

Ce sont des pompes centrifuges à 4 étages, leurs rôles est d'assurer le transfert d'eau du puits du condenseur jusqu'à la bache alimentaire en passant par les trois réchauffeurs BP avec un débit nominale d'une pompe $415\text{m}^3/\text{h}$.

On trouve 2 pompes par groupe l'une en marche et l'autre en réserve en cas de panne, avec une tension de 6.3 kv et une puissance de 300KW

• **Trois (03) pompes alimentaires :**

L'eau d'alimentation est prise de la bache alimentaire par des pompes d'alimentation, et refoulée vers la chaudière en passant par des réchauffeurs HP.

On distingue deux types de pompes :

Pompes nourricières : ce sont des pompes auxiliaires de type centrifuge à un étage, elles servent à augmenter la pression de l'eau d'alimentation de 4.9 bars à 11 bars avec un débit de $261.6\text{ m}^3/\text{h}$.

Pompes principales : ce sont des pompes centrifuges radiales à 6 étages. Elles sont placées en aval des pompes nourricières, elles augmentent la pression de l'eau de 11 bars jusqu'à 177 bars.

Pour chaque groupe, on trouve trois pompes nourricières et trois pompes principales. Et Chaque groupe de pompes d'eau d'alimentation est commandé par un moteur commun d'une tension de 6.3 kv et une puissance de 300KW [1].

• **Deux (02) pompes de circulation :**

Leur débit est $12000\text{ m}^3/\text{h}$ chacune, et leur rôle sert à refouler 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.

4. Réchauffeurs basses pression (BP) et haute pression (HP) :

✓ **Réchauffeurs basses pression (BP) :**

Le rôle de ces trois (03) réchauffeurs est de réchauffer le condensat lors de son transfert vers la bache alimentaire. Ils sont alimentés par les trois (03) sous tirages (S1), (S2) et (S3) qui viennent du corps (BP) de la turbine.

Les réchauffeurs utilisés sont des échangeurs de chaleurs à échange par surface. Ils sont positionnés horizontalement en tube (en forme U), et l'écoulement de condensât se fait en cascade, dans le coté tube circule le condensât principal et dans le coté enveloppe circule la vapeur, et la température dépasse les 100°C.



Fig. n°(11) : Vue de réchauffeur basse pression (BP).

✓ **Réchauffeurs haute pression (HP) :**

Ils sont de nombre de deux (02), leurs rôle est de réchauffer l'eau d'alimentation lors de son transfert dans la chaudière. Ils sont alimentés par les deux soutirages (S5) et (S6) provenant respectivement du corps Moyen pression (MP) et Haut pression (HP) de la turbine.

Les réchauffeurs utilisés sont des échangeurs de chaleurs à échange par surface. Ils sont positionnés verticalement avec tubes courbés en forme de serpent, dans le coté enveloppe circule la vapeur, et dans le coté tube circule l'eau d'alimentation (condensât) avec une pression de 160 bars et une température de 145 °C.

I.5.6 Auxiliaires électrique :

Les Auxiliaires électrique se situent à l'intérieur, deux bâtiments à 05 niveaux situés entre deux chaudières, on trouve :

- Niveaux 5,15 m : salle de câble.
- Niveaux 8,35 m : tableaux MT, BT.
- Niveaux 11,65 m : salle de câble.
- Niveaux 14,75 m : batteries, redresseurs et salle électrique.

- Niveaux 18,65 m : salle de commande.

I.5.7 Salle de commande :

Les quatre groupes de production d'électricité sont contrôlés et réglés, chacun à partir d'un pupitre dans deux salles de commande climatisées et insonorisées.



Fig. n°(12) : Salle de commande

I.5.8 Transformateur principal d'évacuation d'énergie :

Le courant électrique fournit par l'alternateur est une tension trop pour pouvoir être transporté par les lignes aériennes du transport haute tension.

Des transformateurs ont pour fonction d'élever cette tension jusqu'à 225 ou 338 kv ; C'est l'organe qui adapte la tension alternateur à la tension réseau pour pouvoir évacuer l'énergie produite vers le réseau national à travers des lignes aériennes [1].

Chaque alternateur est raccordé par des gaines à un transformateur élévateur de 15.5 kv à 220 kv d'une puissance de 220 MVA à travers un disjoncteur coupleur.

Les transformateurs élévateurs ont un poids de 140 tonnes (sans les radiateurs) et leur réfrigération est assurée par une circulation forcée d'huile, la quelle est elle-même refroidie par l'air.



Fig. n°(13) : Transformateur principal

I.5.9. Station de filtrage et de pompage d'eau de mer :

Trois conduites de 03 mètres de diamètres sont installées à une profondeur de 06 mètres de la surface de la terre avec une longueur de 900 mètres dans la mer, ce qui permet à l'eau de passer automatiquement vers le bassin par la différence de potentiel (de niveau).

Avant qu'elle soit aspirée, l'eau passe par deux niveaux de filtrage :

Par des grilles à grappins pour empêcher le passage des grands corps.

Par des tambours filtrants pour empêcher le passage des petits corps.

Le pompage s'effectue dans des puits situés après la station de filtrage, par trois groupes de pompes déférents pour les besoins de la centrale.

I.5.10. Station de dessalement et de déminéralisation d'eau de mer :**1. Dessalement d'eau de mer :**

La station de dessalement a pour rôle la production d'eau dessalée à partir de l'eau de mer. Quatre unités de dessalement produisant 500 m³/jour chacune, assurent la production en eau dessalée, stockée dans deux bâches (2 x 2700 m³).

Type de l'installation : Multi-flash qui sert à vaporiser l'eau de mer pour lui enlever le sel puis la condensée pour obtenir de l'eau dessalée.

Trois produits chimiques sont injectés pour le traitement de l'eau qui est les suivants :

Le bégard EVN: Inhibiteur d'incrustation utilisé pour éviter l'entartrage.

Le bélite (M33): Produit anti-mousse utilisé pour éviter la formation de la mousse au niveau des évaporateurs.

Le bisulfite de sodium (NA₂SO₃): Produit permettant l'élimination du chlore dans l'eau pour diminuer la conductivité.

2. Déminéralisation :

Deux chaînes de déminéralisation de 40m³/h chacune parachèvent le traitement d'eau avant son utilisation dans le cycle. Le stockage d'eau déminéralisée se fait dans deux (02) réservoirs de 1500 m³ Chacun. Pour être traité, des pompes de l'eau brute aspire l'eau dessalée de ces réservoirs et la refoule vers filtres à lits mélangé qui est constitué d'un mélange des échangeurs cationique fortement acides et les échangeurs anioniques fortement basiques [1].

3. Electro chloration :

La chloration de l'eau de mer permet de préserver l'équipement traversé par l'eau de mer contre tout encrassement pouvant être causé par les micro-organismes marins.

Elle se fait par de l'hypochlorite de sodium, la production est assurée par une station d'électro chloration (par électrolyse de l'eau de mer d'une capacité de 150 kg/h de chlore actif).

Pompes d'alimentation en eau de mer de refroidissement.

Pompes d'alimentation en eau de mer pour les unités de dessalement.

Pompes d'alimentation en eau de mer pour la station d'électro chloration.



Fig. (14) : Station de pompage

I.5.11 Station de production d'hydrogène :

Son rôle est de produire l'hydrogène nécessaire pour le refroidissement des quatre (04) alternateurs de la centrale.

I.5.12 Poste gaz :

Il est composé de deux (02) lignes de filtration gaz, ainsi que trois (03) lignes de régulation pour la détente gaz, de 60 à 6 bars. [1].

I.5.13 Poste fuel :

Ce sont deux (02) réservoirs d'une capacité de 10000 m³ chacun. Utilisée en cas d'absence de gaz ou en cas d'incidents sur la conduite d'alimentation de gaz.

I.6 Principe de fonctionnement :

Il est basé sur la transformation d'énergie chimique contenue dans un combustible, en énergie électrique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique et mécanique. Cette transformation s'opère dans divers appareils en utilisant les propriétés physiques de l'eau sous ses diverses formes liquides et vapeurs.

En gros, on a trois transformations principales:

Transformation de l'énergie chimique issue du combustible en énergie calorifique (dans un générateur de vapeur), qui est la chaleur nécessaire à la vaporisation et à l'augmentation de la température de l'eau.

L'énergie calorifique obtenue est transmise principalement à l'eau sous formes Liquide et vapeurs (saturée et surchauffée). La transformation de cette énergie en énergie mécanique s'opère dans une turbine à vapeur.

L'énergie mécanique résultant de la deuxième transformation est transmise directement à l'alternateur à travers un accouplement pour la transformer en énergie électrique [7].

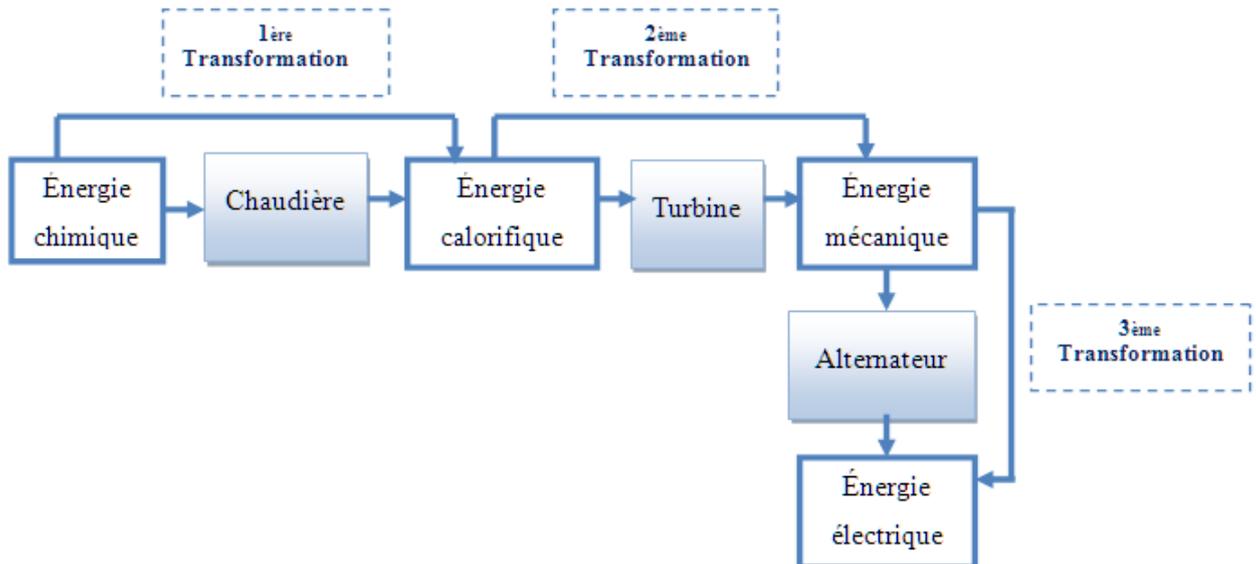


Fig. n° (15) : Organigramme des principales transformations d'énergie.

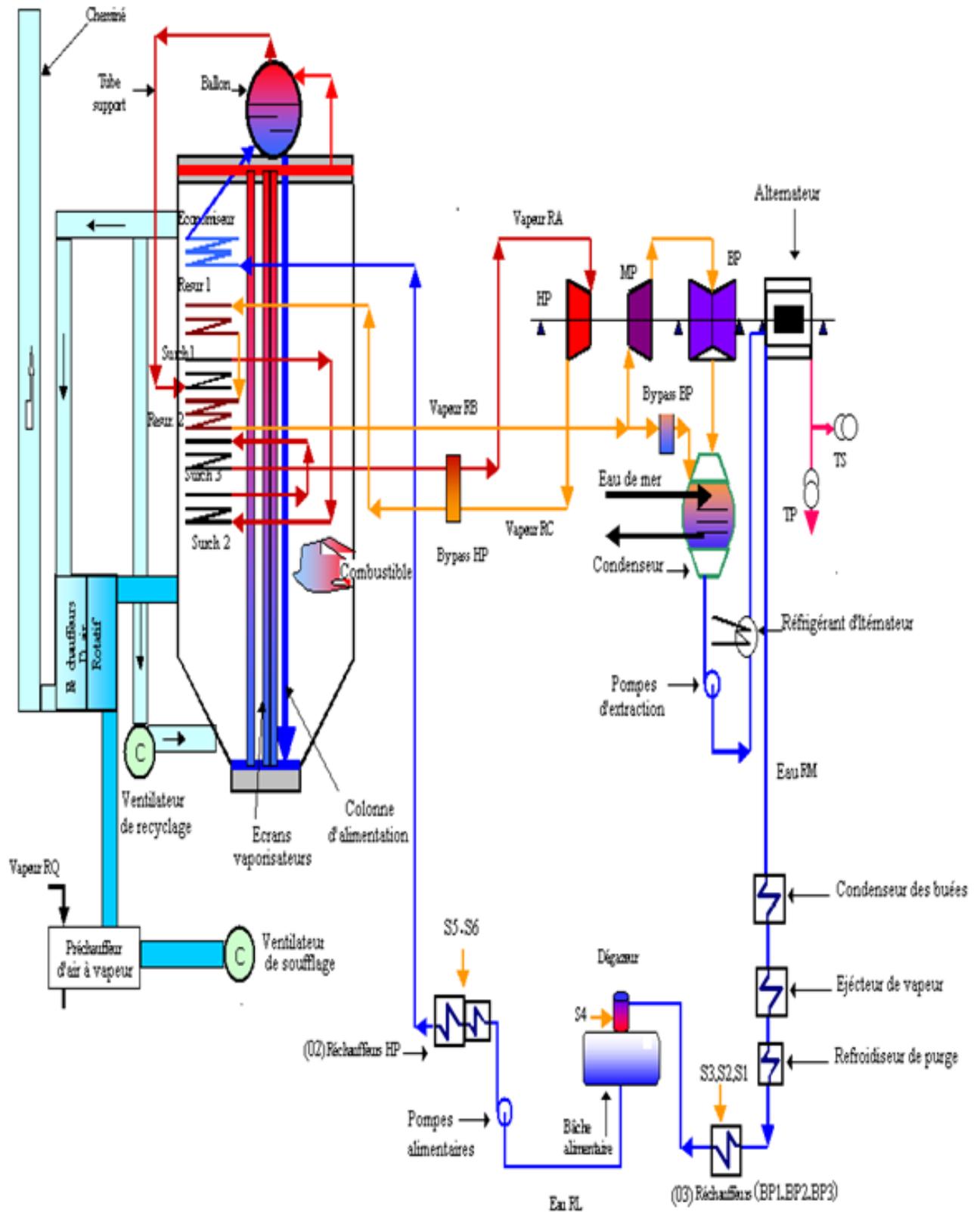


Fig. n°(16) : Schéma synoptique d'une tranche thermique

Conclusion :

La source que la centrale électrique de CAP-DJINIT utilise pour la production d'électricité est l'eau de mer, cette eau doit être traitée avant toute utilisation. Des études montrent que si la centrale fonctionnait directement à l'eau de mer, il suffirait de 9 heures pour que tous les tuyaux de la centrale soient bouchés. En effet, on doit utiliser une eau pure qui ne laisse aucun sel, ni minéraux dans les circuits après sa vaporisation pour ne pas causer de problèmes. Pour purifier l'eau des sels, des minéraux et des calcaires qu'elle contient, elle doit passer de deux stations chimiques : la station de dessalement et la station de déminéralisation. Dans le chapitre suivant nous allons présenter le processus de dessalement au niveau de la centrale Thermique de CAP-DJINET qui se fait par la distillation multi-stage flash (MSF)

Chapitre II :

*Les différentes techniques de
dessalement*

II-1 Introduction :

Le dessalement est un procédé de déminéralisation. Il a pour but l'obtention d'eau de salinité voisine de celle des eaux douces naturelles à partir d'eau de la mer ou d'eau saumâtre.

Dessaler l'eau de mer n'est pas une idée récente. Depuis des temps très anciens, on avait pu constater que si l'on portait à ébullition de l'eau saline ou obtenait, par condensation de la vapeur, de l'eau déminéralisée. Les premiers appareils de distillation sont apparus probablement dans la première moitié de XIX^E siècle à bord des navires à vapeur.

Mais c'est durant la seconde moitié XIX^E siècle que le dessalement de l'eau de mer et des eaux salines est devenu une moyenne industrielle fiable de production d'eau de l'effort de recherche très important initié par les États-Unis à partir de l'année 1950 et suivi par les nombreux pays principalement la France l'ex-URSS, la Grande-Bretagne et le Japon.

L'utilisation et la capacité mondiale des unités de dessalement étaient de 300,000 m³/jour au pré des années 60 elle était passée à 1, 200,000 m³/jour en 1970.

En 2018/2020 environ 15906 usines de dessalement sont installées avec un total capacité de dessalement d'environ 95,37 millions de m³/jour (34,81 milliards de m³/an. Les premières usines de dessalement utilisaient principalement les technologies de chaleur, situées dans des régions riches en pétrole mais pauvres en eau, en particulier au Moyen-Orient. Par exemple, avant les années 1980, 84 % de toute l'eau dessalée mondialement était produite par les deux principales technologies thermiques (MSF, MED). L'augmentation de l'utilisation de la technologie membranaire, avec le développement de l'industrie des membranes après 1980, en particulier l'OI, ont progressivement déplacé loin la domination des technologies thermiques.

En 2000, les volumes de dessalement eau produite par les technologies thermiques (dominé par MSF) et RO étaient approximativement égaux à 11,6 millions de m³/jour et 11,4 m³/jour respectivement, Depuis 2000, le nombre et la capacité des RO centrales a augmenté de façon exponentielle, tandis que les technologies thermiques n'ont connu augmentations marginales.

La production en 2018 de dessalement l'eau issue de l'osmose inverse s'élève désormais à 65,5 millions de m³/jour, représentant 69 % du volume d'eau dessalée produite.

Un grand nombre de dessalement installations sont situées aux États-Unis, en Chine et en Australie et dans les régions d'Europe, d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient.

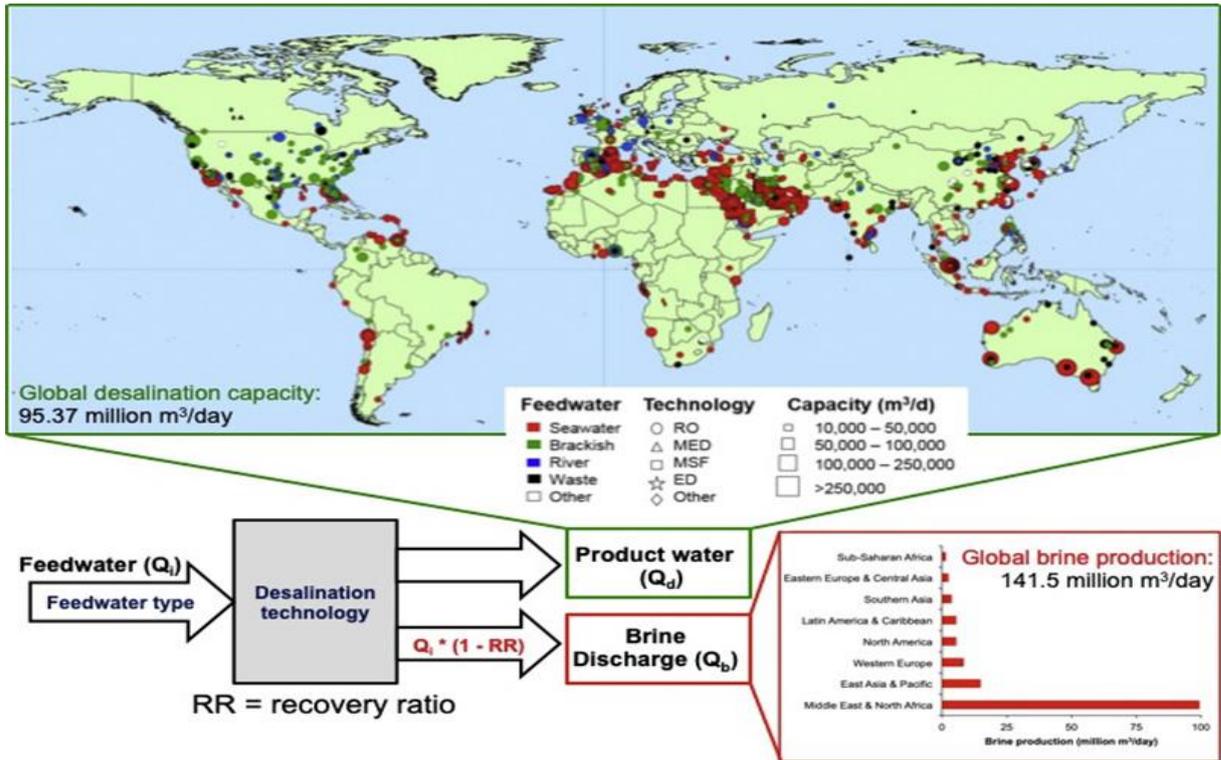


Fig. n° (1) : Répartition et capacités de production de l’eau dessalée et de rejet de saumure des usines de dessalement dans le monde [26]

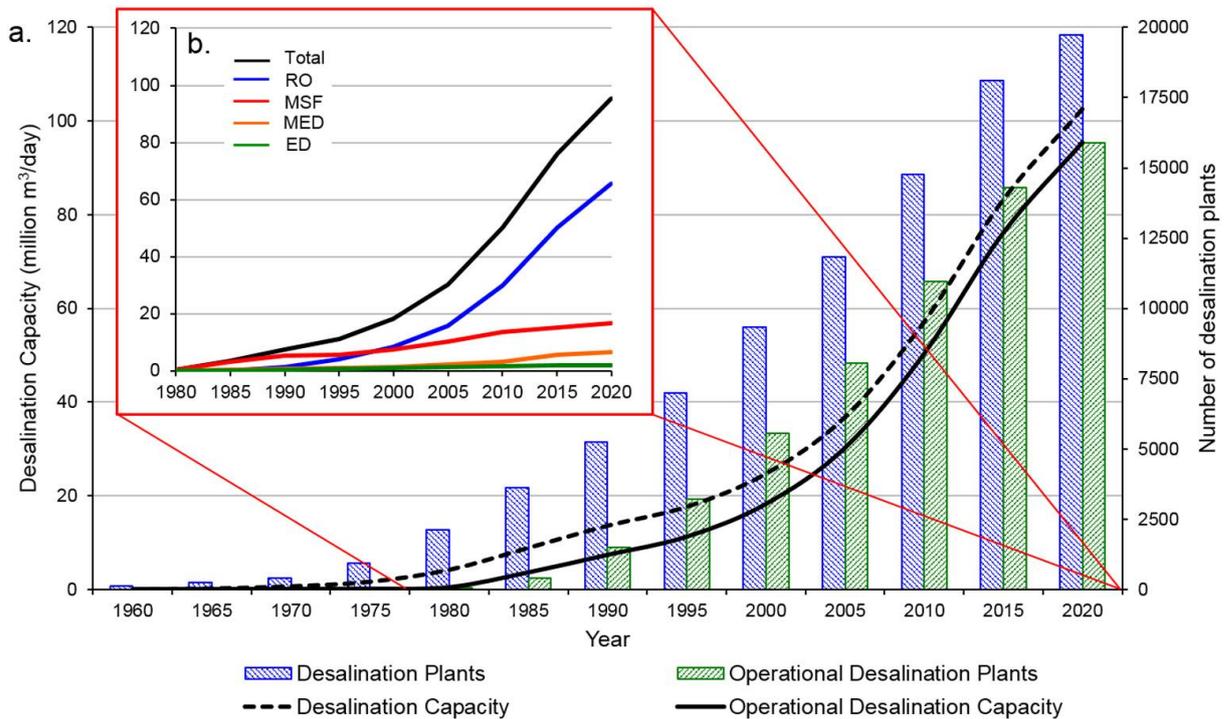


Fig. n°(2) : Tendances du dessalement mondial par (a) nombre et capacité des installations de dessalement totales et opérationnelles et (b) capacité opérationnelle par technologie de dessalement. [26]

Les problèmes de dessalement concernent principalement deux catégories d'eau salée :

- L'eau saumâtre.
- L'eau de mer [47].

II-2 Composition et salinité d'eau de mer et l'eau saumâtre :

❖ Eau de mer :

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques est de l'ordre de 35 g.l^{-1} et c'est valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer, des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existant en fonction du bilan précipitations-évaporation, la salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques :

- Mer Méditerranée : 36 à 39 g/l.
- Mer Rouge : 40 g/l.
- Mer Baltique : 7 g/l.
- Mer Caspienne : 13 g/l.
- Mer Mort : 270 g /l.
- Mer Golfe arabo-persique : 40 à 70 g/l.
- Mer Noire : 20 g/l.

❖ Eau saumâtre:

Généralement en appelle eau saumâtre une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En fait, la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g.l^{-1} . Elles se pressent soi, sous forme d'eau souterraine [1].

Il existe une différence entre l'eau de mer salée et l'eau saumâtre. La distinction s'explique en grande partie par la concentration de sels dans chacune des solutions. L'eau de mer contient plus de 17 éléments chimiques dissouts dont seulement deux (le sodium et le chlore) représentent 85 % du poids total des éléments présents (Figure. n°3). Ainsi elle est caractérisée par la salinité qui est définie comme étant la quantité totale de résidus solides (en grammes) contenue dans un kilogramme d'eau de mer quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, de brome et l'iode remplacé par le chlore et que toute la matière organique ait été oxydée [50]. La concentration en sel de l'eau de mer est généralement d'environ 35 g/L , sachant que cette valeur varie en fonction de la géographie.

Par définition une eau saumâtre est une eau non potable dont la salinité est comprise entre un et dix grammes de sels par litre donc inférieure à celle de l'eau de mer. Les eaux saumâtres regroupent généralement les eaux de surface et souterraines qui en traversant les sols se chargent en sels. Ainsi leur composition dépendra de la nature des sols

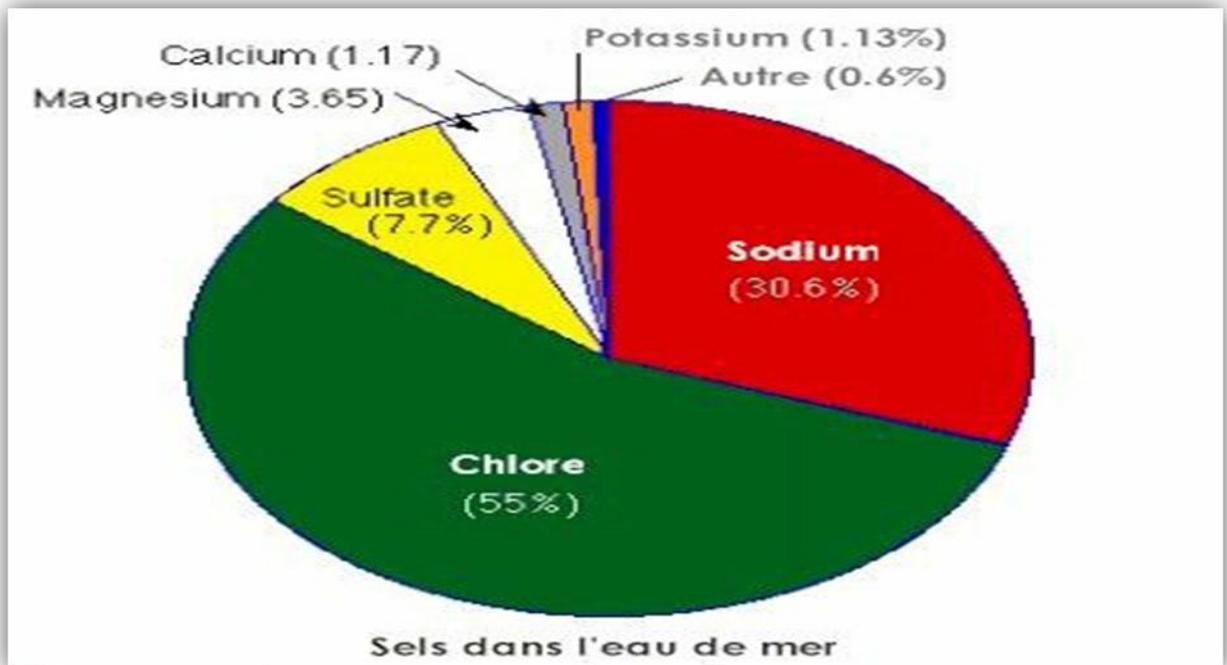


Fig. n° (3) : Les concentrations des sels dans l'eau de mer [50]

II.3. Les différents procédés de dessalement :

De nos jours il existe de nombreux types de technologies pour le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre. Plusieurs de ces technologies sont déjà bien établies et maîtrisées; d'autres se trouvent à des stades avancés de développement, tandis que de nouvelles technologies fondées sur des idées novatrices et de nouveaux développements scientifiques continuent de voir le jour [6].

II.3.1. 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 quatre étapes :

- 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 antitartre.
- Le procédé de dessalement lui-même.
- Le post-traitement avec une éventuelle déminéralisation de l'eau produite.

A l'issue de ces quatre étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre [1].

La première étape du procédé de dessalement est l'alimentation en eau salée ou prise d'eau de mer. Cette étape se fait généralement soit par prise directe ou au niveau des forages côtiers afin d'éviter une eau turbide. Les forages côtiers peuvent être verticaux ou sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité.

L'un des inconvénients liés à ces derniers est le risque de colmatage au cours du temps. La prise directe quant à elle se caractérise par pompage en pleine mer dans une zone profonde éloignée des côtes pour ainsi éviter les eaux polluées [34].

Après la prise d'eau, l'eau de mer subit un traitement composé d'une phase de chloration, de filtration et d'antitartre. Puis elle entre dans une unité de dessalement afin de soutirer. Une quantité d'eau contenue dans le mélange.

Enfin l'eau soutirée de l'unité de dessalement est admise à un post traitement. Durant Cette étape, l'eau est minéralisée afin de la rendre consommable.

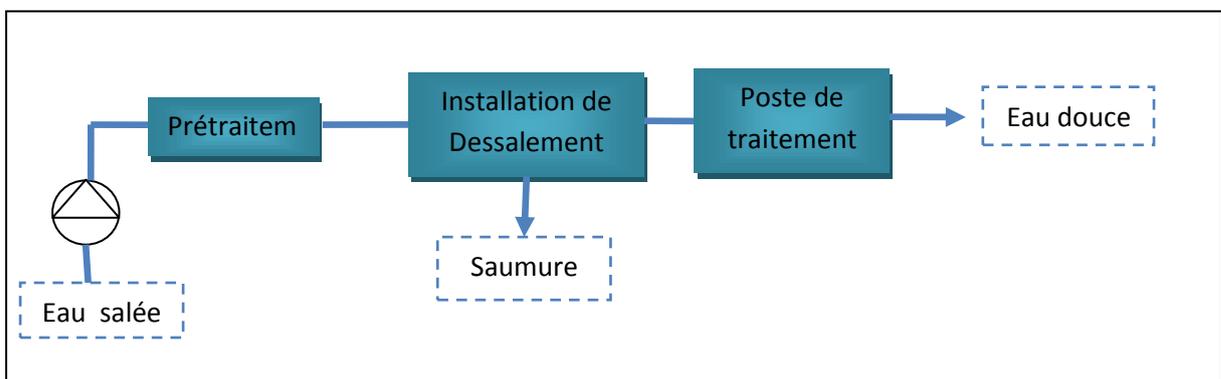


Fig. n° (4) : Schéma général d'une installation de dessalement. [1]

❖ Le choix d'un procédé dépend de plusieurs paramètres :

Le dessalement est un processus très consommateur d'énergie. Pour le MED et les usines MSF, l'énergie principale est sous forme de chaleur, mais un peu d'énergie électrique est exigée pour les pompes et les auxiliaires. L'osmose inverse utilise seulement de l'énergie électrique, plus « noble ». Chaque procédé a une particularité technique qui la fera préférer dans un cas plutôt que dans l'autre.

Ainsi, les techniques thermiques sont adaptées aux fortes Salinités et aux hautes températures alors que les techniques à membranes sont meilleur marché dans des conditions de salinité moyenne et de température peu élevée (autour de 25°C). D'autre part, le coût de l'énergie est très différent d'un pays à l'autre, donc le choix du procédé dépend de : L'utilisation de l'eau (usage domestique ou bien industrielle). L'eau obtenue par distillation est très pure (5 à 30mg/l). Pour la consommation domestique, cette salinité est

très faible et il est nécessaire de l'augmenter aux environs de 300mg/l par rapport à des sels minéraux, donc ce procédé convient pour les usages industriels.

La salinité de l'eau produite par électrodialyse est inférieure à 300-400mg/l, Pour l'osmose inverse, la Salinité de l'eau produite varie entre 100et 500mg/l, Donc ces deux procédés conviennent principalement pour les usages domestiques

- La situation géographique.
- Le cout de l'énergie.
- La disponibilité et le cout des matériaux.
- La capacité désirée pour 'installation.
- La nature de l'eau dessalée.
- La pureté de l'eau que l'on veut obtenir.
- La disponibilité de main d'ouvre pour l'entretien[47]

II-3.2 : Les critères de classification des procédés :

Il existe plusieurs techniques de dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre. Quelle que soit la méthode utilisée, la fonction principale de cette dernière se résume à la production d'eau douce. Les procédés de dessalement peuvent être repartis selon la forme ou phase sous La quelle l'eau douce est extraite, en deux groupes; d'une part selon le principe de Fonctionnement et d'autre part selon la consommation énergétique (principale source d'énergie) [39] et [34]

a. Le principe de fonctionnement :

Selon ce critère les procédés utilisés dans cette catégorie peuvent être classés en trois groupes :

- Les procédés membranaires composés: d'électrolyse, et d'osmose inverse;
- Les procédés agissant sur les liaisons chimiques : principe d'échanges d'ions, Formation d'hydrate, extraction de solvant;
- Les procédés par changement de phase qui comprennent : la distillation à simple Ou multiple effets, simple flash ou multi flash, la compression mécanique de Vapeur, et la thermocompression;

b. Critère énergétique :

La consommation énergétique permet de distinguer deux principales sources :

- Une source thermique nécessaire au fonctionnement des procédés : multiple Effets, simple ou multi flash, compression de vapeur et certaines techniques Membranaires telle que la distillation membranaire;

- Une source électrique ou mécanique pour les systèmes de congélation, Compression de vapeur, osmose inverse, électrodialyse

II.3.3 : Les principales techniques de dessalement :

Il existe aujourd'hui de nombreux systèmes de dessalement de l'eau de mer, dont beaucoup ont atteint le stade industriel [1].

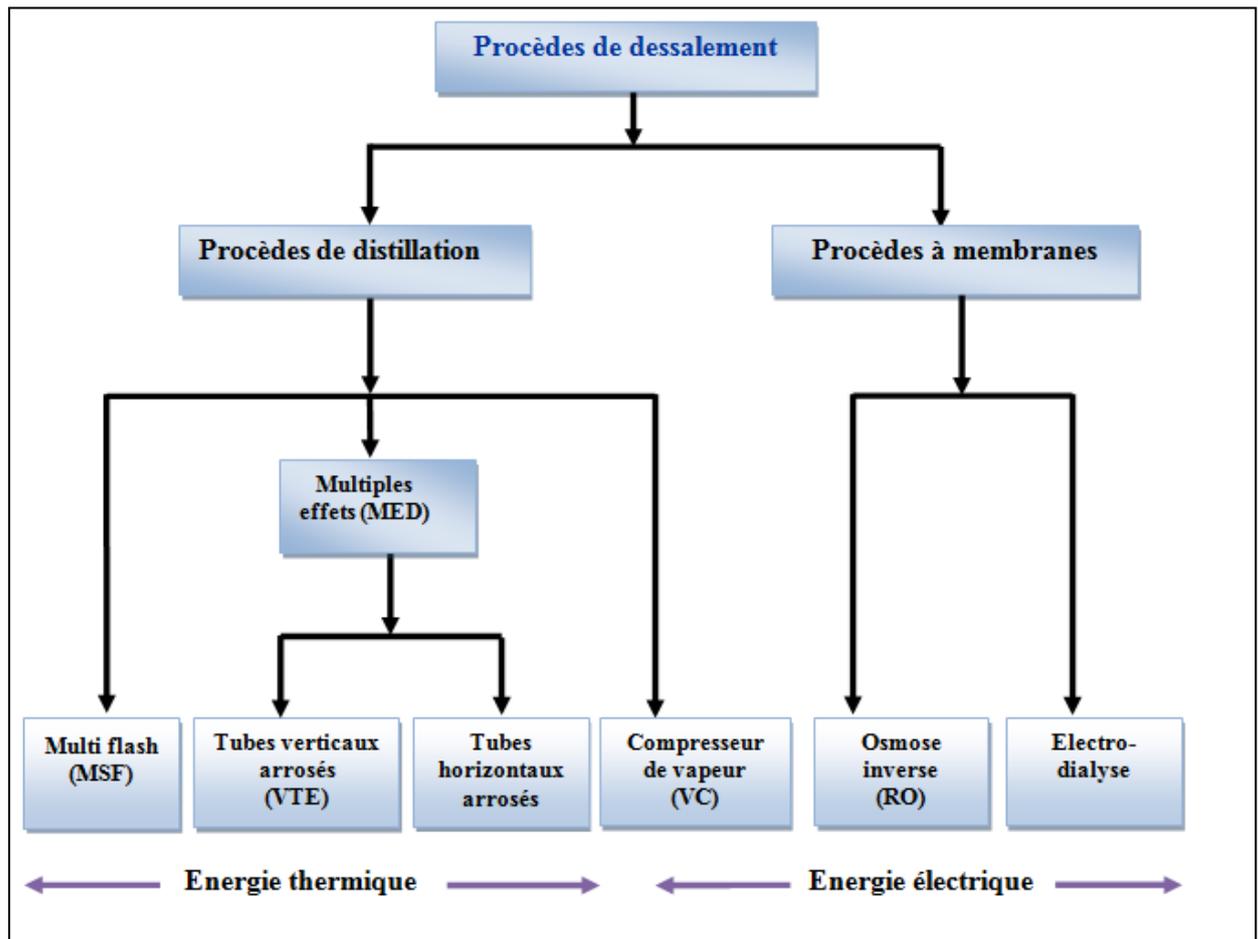


Fig. n°(5) : Organigramme représente les différents procédés de dessalement.

II-3.3.1. Procédés de distillation :

La distillation: La technique de la distillation consiste à faire évaporer de l'eau salée, à récupérer la vapeur d'eau et à la condenser pour obtenir de l'eau douce.

Deux principales techniques de distillation sont employées pour la production de l'eau potable, la technique de Multi Stage Flash (MSF) et la technique Multi Effet Distillation(MED).

I. Prétraitement de l'eau :

L'eau de mer subit des prétraitements avant d'être introduite dans l'unité de dessalement.

I.1. Station de captage (Systèmes de prise d'eau de mer) : [31]

❖ Prise d'eau de mer de surface fixe :

Les grilles de prise d'eau se trouvent à l'extrémité de la tuyauterie, à environ 1-2 m en-dessous du niveau de la mer.

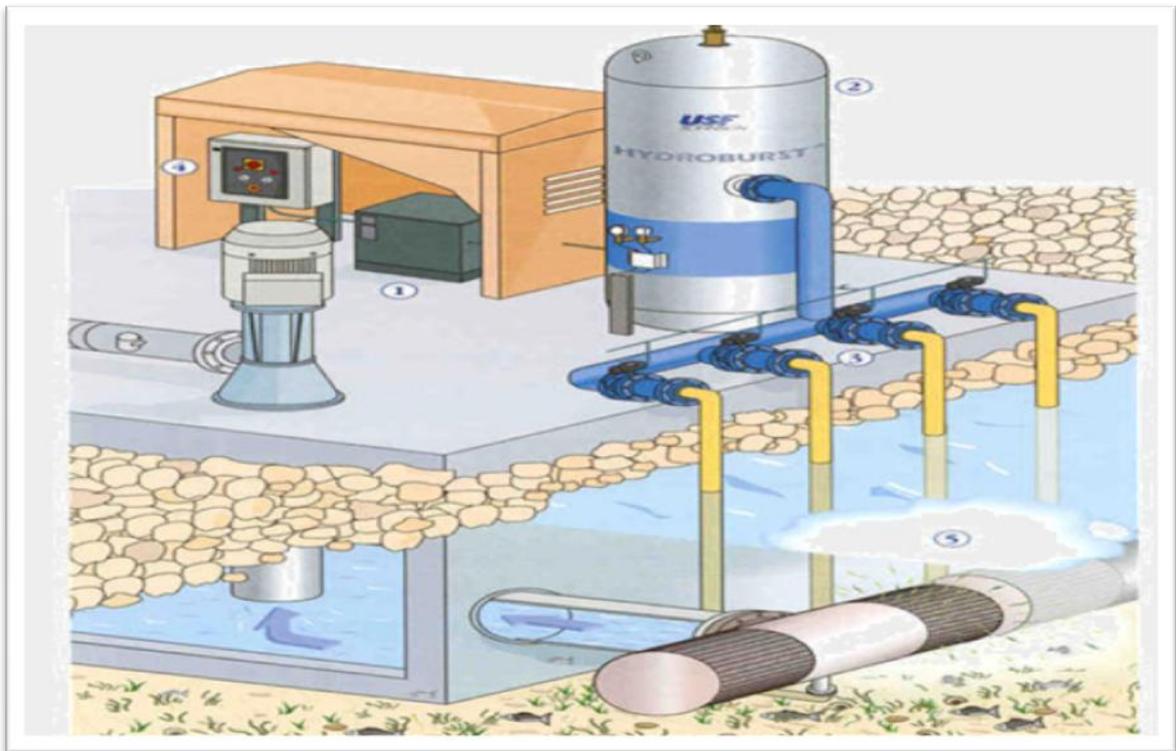


Fig. n°(6) : Schéma de Prise d'eau de mer de surface fixe [31]

❖ Puits côtier :

Les puits côtier sont recommandés lorsque la qualité de l'eau de mer varie suivant les saisons et/ou lorsqu'il est possible d'avoir des pics élevés de turbidité.

Un puits côtier vertical peut tirer jusqu'à 200 m³/h.

Un puits radial peut prendre jusqu'à 1000 m³/hour, en fonction des couches du sol.

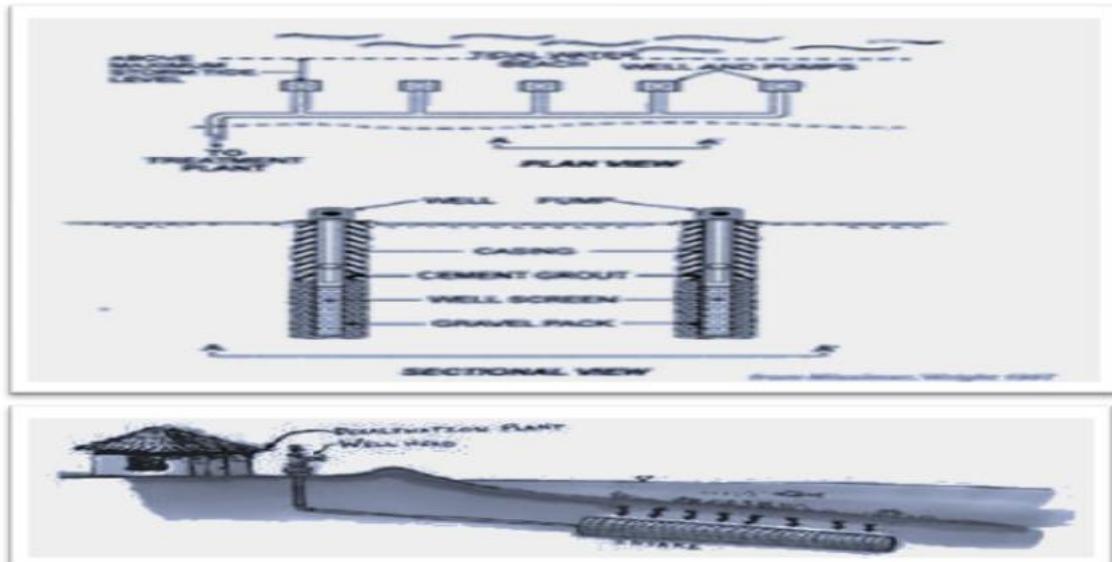


Fig. n°(7) : Schéma de Prise d'eau de mer Puits côtier[31]

❖ Prise d'eau de mer de surface mobile :

Idéal pour des installations temporaires ou lorsque du génie civil est impossible.



Fig. n°(8) : Schéma Prise d'eau de mer de surface mobile [31]

I.2. Filtration de l'eau de mer [1] :

Ce procédé sert à l'extraction par filtrage des impuretés de l'eau de mer utilisée comme eau de circulation principale et au rinçage de détritits afin qu'ils puissent être transportés dans les paniers de récupération. Chaque tranche de la centrale est associée à une voie de filtration qui est équipée d'une grille à grappin, d'un circuit d'arrosage et d'un tambour filtrant.

1. Filtration primaire (dégrillage) :

Une première filtration de l'eau de mer effectuée par une installation composée d'une grille à grappin, entraînée électriquement, cette grille sert à retenir les impuretés de L'eau de grandes tailles. Les matières retenues par la grille sont soulevées jusqu'au niveau d'évacuation de détrit.

2. Filtration secondaire (tamisage) :

La filtration secondaire qui est finale se fait par des tambours filtrants, chaque tambour est constitué par une structure à rotation lente dans laquelle l'eau entre de chaque côté. Les panneaux filtrants sont montés à la périphérie de la structure tournante, et l'eau est refoulée vers l'extérieur depuis le centre du tambour à travers les mailles filtrantes. Tandis que le filtre tourne, le détrit adhérant à l'intérieur des panneaux passe au-dessus des paniers de récupération placés à l'intérieur du filtre.

II-3.3.1.1 .Distillation à simple effet :

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (Figure n°9). La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième, l'eau de mer concentrée ou saumure [14]

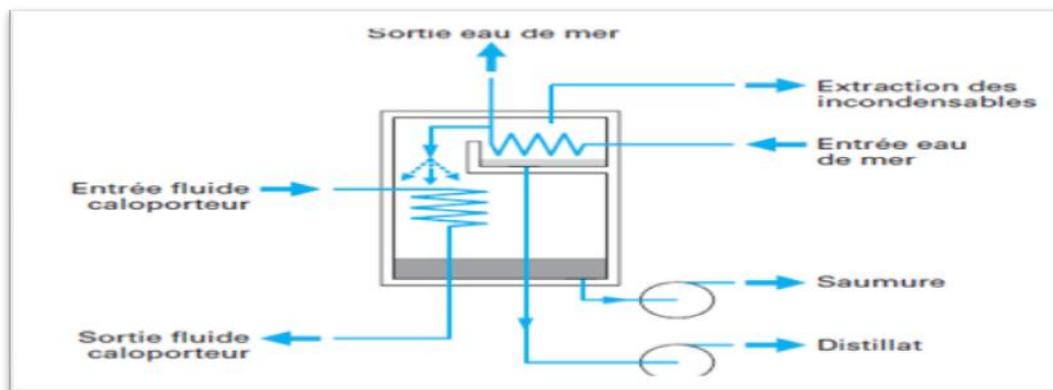


Fig. n° (9): Distillation à simple effet [34]

II-3.3.1. 2. Distillation à effet multiple :

Une installation de distillation à effet multiple est constituée par la juxtaposition de n Cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (Figure n°10). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment

répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide [8]

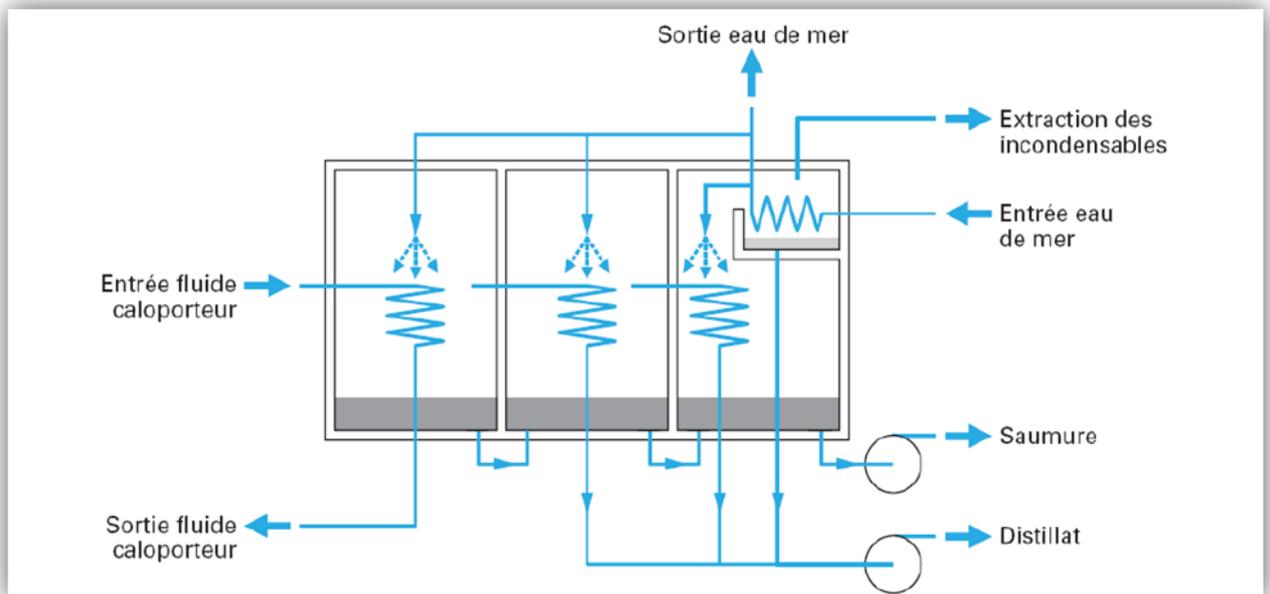


Fig. n° (10): Distillation à multiple effet [7]

II-3.3.1. 3. Distillation avec compresseur de vapeur :

L'eau salée arrive dans un évaporateur, où elle se vaporise aux environs de 100°C grâce à un serpentin auxiliaire de vapeur qui est ensuite mis hors circuit (Figure n°11). La vapeur d'eau à la pression atmosphérique et vers 100°C est alors aspirée par un compresseur qui la porte à une pression relative de l'ordre de 0,2 bar, avec une surchauffe de l'ordre de seulement 6°C , la vapeur surchauffée passe ensuite dans le serpentin principal de l'évaporateur où elle se condense.

Parmi les avantages de la thermo compression c'est son haut rendement, on peut retirer environ $0,8 \text{ m}^3$ d'eau douce de 1 m^3 d'eau brute [2]

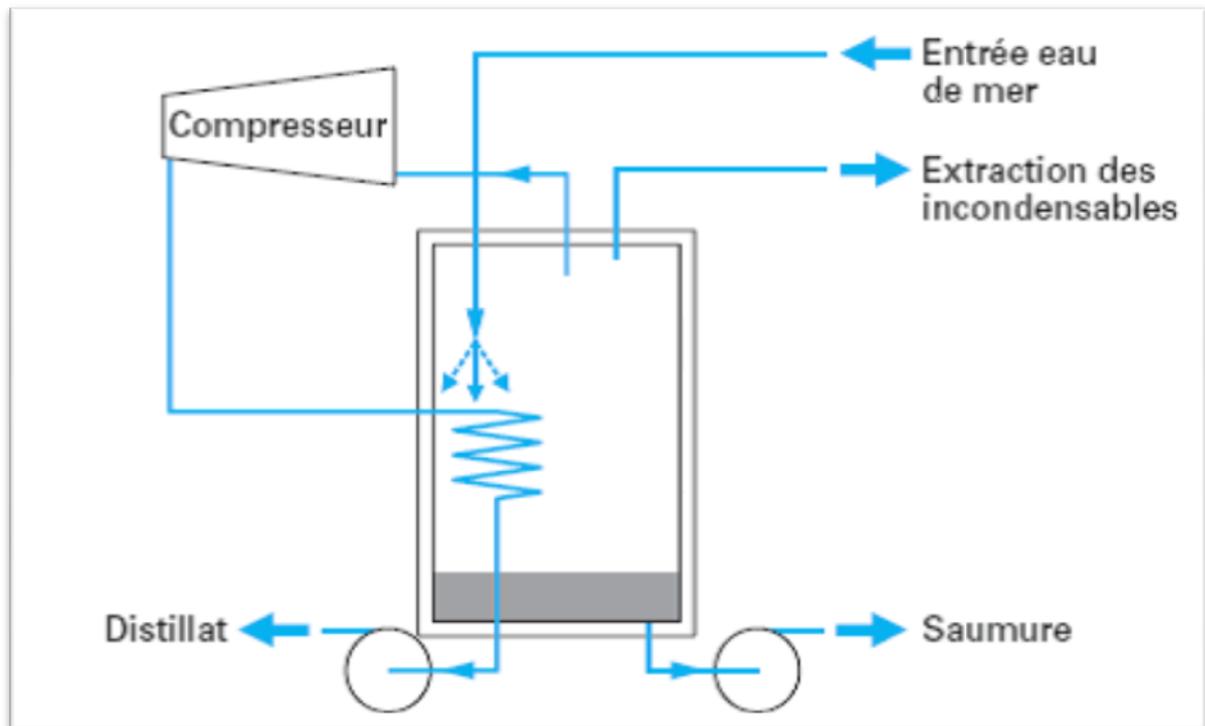


Fig. n°(11) : Distillation avec compresseur de vapeur [14]

II-3.3.1. 4. Multi Stage Flash (Distillation Thermique par Détentes Successives):

Dans le procédé de distillation à détente étagée (multi stage flash), la vaporisation de l'eau de mer est obtenue par une succession de réduction de pression dans chaque étage.

L'eau salée est tout d'abord chauffée puis introduite dans une première chambre à basse pression, de sorte qu'une partie est instantanément vaporisée. La vaporisation d'une partie de l'eau produit une diminution de température de la solution restante. Cette solution est introduite dans la chambre suivante à pression plus réduite et le processus est ainsi répété dans plusieurs étages (50 étages peuvent être installés dans une usine). La vapeur produite est refroidie par échange de chaleur avec l'eau de mer d'alimentation et condensée sous forme d'eau dessalée.

Les unités de dessalement par distillation à détente successive opèrent à des températures entre 120°C et 90°C ce qui tend à augmenter la productivité mais aussi le problème d'entartrage. Pour éviter l'entartrage qui est dû aux ions bicarbonates, l'eau de mer est traitée par l'ajout d'inhibiteur d'entartrage comme des poly phosphates ou bien par neutralisation des bicarbonates avec l'acide sulfurique. La saumure est recyclée dans ce procédé pour réduire le débit de prétraitement de l'eau d'alimentation et par conséquent son coût. Cette technique permet d'atteindre de très grandes capacités (supérieures à 25000m³/j), mais la consommation énergétique est supérieure à celle de la distillation à multiple effet [14]

a. Description de la Technique (MSF) :

L'eau de mer est dans un premier temps chauffée dans les tubes d'acheminement en évitant l'ébullition, et ceci pour réduire les dépôts minéraux à la surface des échangeurs de chaleur.

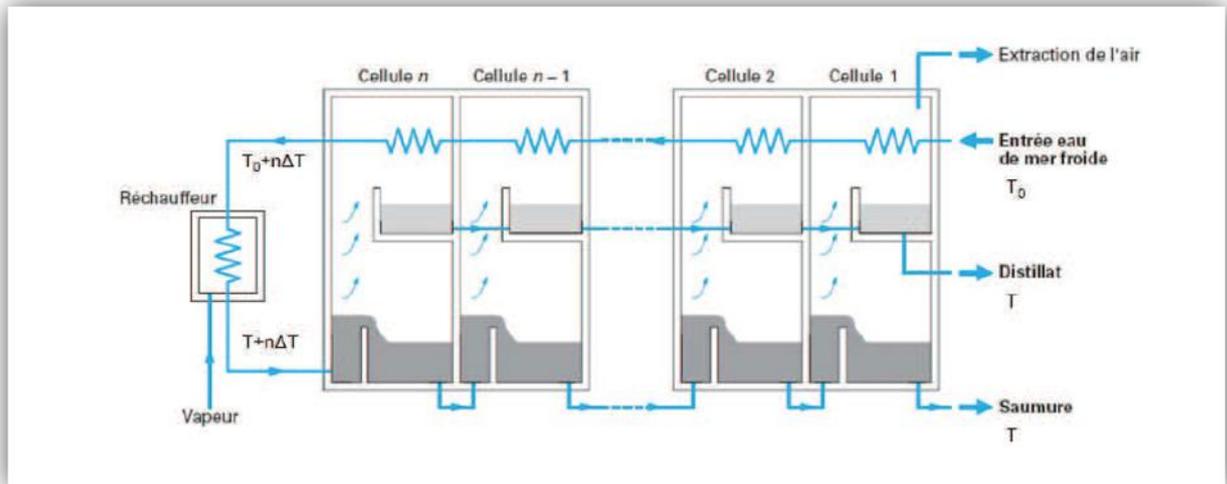


Fig. n°(12) : Distillation à détente étagée [7]

Elle est ensuite transformée en vapeur en séjournant successivement dans des compartiments de moindre pression, suivie d'une condensation sur des tubes dans la partie supérieure d'un compartiment. L'eau salée traverse un ensemble de tubes préchauffés par la vapeur « éclair » (flash) des différents compartiments à travers lesquels passent ces tubes ; après un certain nombre d'étapes de préchauffe, elle passe dans une étape de chauffage qui se fait par de la vapeur fournie extérieurement. L'eau chaude passe d'une façon instantanée dans un compartiment de moindre pression. Une partie de l'eau s'évapore et se condense sur les tubes qui acheminent l'eau de mer vers le chauffage. La température de la saumure quittant le compartiment dépend de la quantité de vapeur qui s'est dégagée. Le degré de chauffe externe requis dépend de la surface d'échange et du nombre d'étages. L'économie de chauffe augmente avec le nombre d'étages.

b. Comparaison des Procédés de Distillation Flash et Multiples Effets :

D'une façon générale, les procédés de type multiples effets présentent divers avantages sur les procédés flash:

Très grande souplesse de fonctionnement; la production d'une unité de distillation à multiples effets peut varier de 15% à 100% du régime nominal sans problème alors que cela est impossible à obtenir économiquement avec le procédé flash. Cette technologie étant maintenant 10 à 20% moins chère que celle du procédé flash, il semble qu'il existe un fort potentiel de développement du procédé à multiple effets pour les vingt à trente ans à venir.

L'exploitation des unités de distillation doit prendre en compte les problèmes d'entartrage. Même si la maîtrise de ces phénomènes a progressé, les unités de distillation nécessitent encore une maintenance rigoureuse et des nettoyages à l'acide, en moyenne tous les 18 à 24 mois.

II.3.3.2. Procédés membranaires :

❖ Qu'est-ce qu'une membrane ?

La membrane est constituée 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.

Dans le cas de l'osmose inverse, l'élimination des éléments physicochimiques et biologiques indésirables est quasiment totale. Les deux principaux procédés membranaires utilisés dans le dessalement sont l'osmose inverse et l'électrodialyse. En amont de ces filières basées sur des membranes, un prétraitement est requis; selon la qualité de l'eau brute et la taille de l'unité, il pourra être constitué du terrain naturel (puits côtiers), de micro ou ultrafiltration, voire d'une étape de Flocculation –décantation

I. Prétraitement :

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car ces membranes sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer des performances stables de ce procédé sur le long terme. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physico-chimiques et les prétraitements chimiques.

- ✚ Les prétraitements physico-chimiques : incluent les prés filtres mécaniques, la clarification (coagulation-flocculation), la décantation, la filtration et la microfiltration.
- ✚ Le prétraitement chimique : consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de désinfectants et acidification et injection de séquestrant [14]

I.1. Prétraitements physico-chimiques :

A. Filtration mécanique :

Pour une alimentation par prise directe en mer, il convient d'éliminer toutes les matières grossières avant qu'elles ne pénètrent dans le système. Pour ce faire, la conduite de prise en mer doit être équipée d'une crépine. Pour ne pas avoir à nettoyer manuellement les crépines, il est préférable de choisir des crépines à fentes, obtenues par enroulement d'un fil de section triangulaire, dont l'angle est orienté vers l'intérieur de la crépine, dans le sens de la filtration, ce qui les rend peu sensibles au colmatage.

B. Coagulation-floculation :

La coagulation permet de favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant les forces de répulsion électrostatique (liées aux charges superficielles). La floculation consiste à agglomérer ces particules en micro flocs puis en flocs plus volumineux décan tables. Les substances les plus couramment utilisées sont :

- ✚ Pour la coagulation : la chaux, l'alun, le sulfate ferrique et le chlorure ferrique,
- ✚ Pour la floculation : les polymères organiques à longues chaînes de masse molaire élevée [10]

C. Filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en les faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'accumulent, il faut donc nettoyer le milieu de façon continue ou de façon intermittente. La filtration, habituellement procédé suivant les traitements de coagulation-floculation et décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la turbidité et de certains goûts et odeurs [12]

D. Microfiltration :

La microfiltration consiste à éliminer d'un fluide les espèces dont les dimensions sont comprises entre 0,05 à 10 μ m. Les espèces sous la forme de solutés ou de particules sont retenues à la surface de la membrane par effet d'exclusion. Les membranes les plus utilisées sont poreuses en polyamides ou polypropylène, ou encore inorganiques (en oxyde métallique ou céramique).

La pression transmembranaire varie environ de 0,05 à 3 bars. La microfiltration se prête non seulement à la séparation solide-liquide mais aussi liquide- liquide des émulsions d'huile dans l'eau [23]

I.2. Prétraitements chimiques :

Les prétraitements chimiques de l'eau d'alimentation du système d'OI ont pour but essentiel de protéger efficacement les membranes contre l'entartrage et le colmatage respectivement par précipitation et dépôts de sels et les matières biologiques

A. Acidification et injection de séquestrant :

L'acidification et l'injection de séquestrant (c'est un produit qui retient dans un milieu une substance fermée) ont pour but d'éviter la précipitation des sels normalement dissous dans la zone alimentaire/concentration des éléments d'OI, Si leur concentration dépasse leur produit de solubilité. Mais il peut apparaître des précipitations ponctuelles même si le produit de solubilité n'a pas été atteint en prenant en considération le système membranaire complet, car à certains endroits la valeur du facteur de conversion peut être très élevée, comme par exemple dans les irrégularités de la surface des membranes. C'est

pour cette raison qu'une marge de sécurité doit être prise. Ainsi, il est à envisager toujours un conditionnement chimique de l'eau d'alimentation pour que la concentration des sels concernés soit au maximum égale à 70% de leur solubilité maximales [23] Pour conditionner chimiquement l'eau afin d'éviter les phénomènes d'entartrage, il est utilisé soit :

- Un acide (acide sulfurique, acide chlorhydrique) qui empêchera la précipitation du carbonate de calcium,
- Un séquestrant, pour les autres sels (sulfate de calcium, sulfate des trontium...etc.),
- Une combinaison de deux produits.

B. Désinfection :

Le but de la désinfection est d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau, afin d'empêcher le développement de maladies hydriques. Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminer Cette définition fait apparaitre trois notions importantes : les désinfectants, le temps de contact et la concentration en désinfectant. Les trois principaux désinfectants utilisés en eau potable sont les suivants : le chlore, l'ozone et le rayonnement par l'ultraviolet.

II.3.3.2.1 Osmose Inverse :

Elle s'inspire d'un phénomène naturel qu'est l'osmose. Ainsi en séparant deux solutions de concentrations différentes par une membrane, l'eau de la solution concentrée migre spontanément vers celle de concentration inférieure. Par contre l'application d'une pression supérieure à la pression osmotique fait migrer le solvant de la solution concentrée vers la solution de moindre concentration c'est l'osmose inverse. L'osmose inverse est un procédé de séparation membranaire à partir du quel, l'eau sous pression est séparée des solutés à travers une membrane. La séparation ne requiert ni changement de phase ni apport d'énergie thermique. L'énergie requise durant le processus de dessalement sert à l'augmentation de la pression d'eau d'alimentation, elle est plutôt mécanique. L'osmose inverse utilise la pression dynamique pour vaincre la pression osmotique de la solution saline permettant ainsi une pénétration sélective avec la saumure d'un côté de la membrane et l'eau douce du côté opposé.

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression. Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose qui tend à transférer le solvant d'une solution diluée vers une solution concentrée mises en contact par une membrane sélective sous l'action du gradient de concentration (Figure n°1 3). Lorsqu'une pression est appliquée sur le compartiment le plus concentré, le flux de solvant diminue jusqu'à s'annuler pour une pression égale à la pression osmotique de la solution. Lorsque la pression appliquée est supérieure à cette pression osmotique, le flux s'inverse c'est le phénomène d'osmose inverse. La pression efficace correspond donc à la pression

de part et d'autre de la membrane (pression transmembranaire, P_{tm}) diminuée de la différence de pression osmotique ($\Delta\Pi$) de part et d'autre de la membrane. [45]

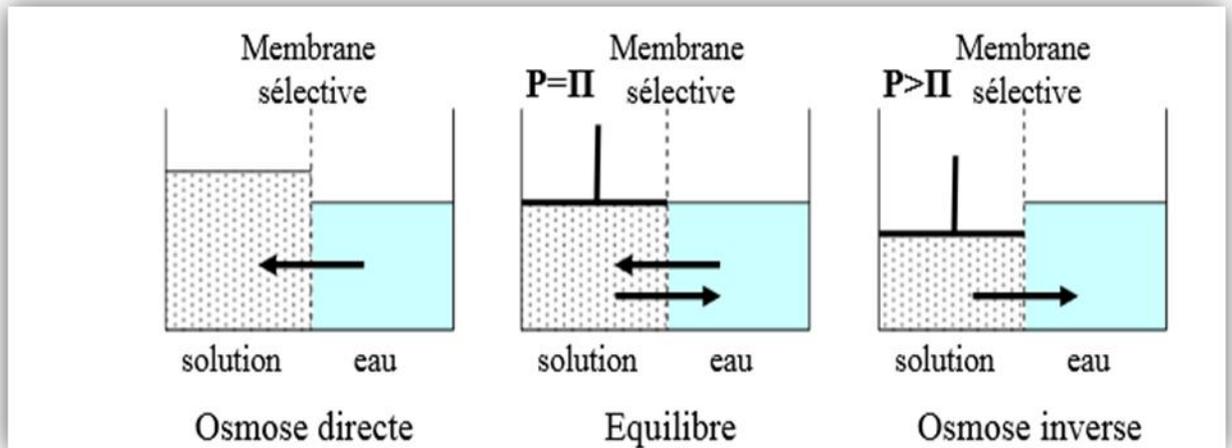


Fig. n°(13) : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse [45]

Pour les solutions diluées, considérées comme thermodynamiquement idéales, la pression osmotique est calculée à partir de l'équation de Van't Hoff : [34]

$$\Pi = C R T$$

Π : pression osmotique de la solution, Pa

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

R : constante des gaz parfait, $8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

T : température, K

Les membranes d'OI sont des membranes denses et pour obtenir des flux de transfert élevés et vaincre la pression osmotique des solutions traitées, des pressions relativement élevées doivent être utilisées. Les applications principales de l'Osmose inverse sont l'élimination de sels organiques ou inorganiques ou des molécules dans l'eau. Les membranes d'osmose inverse se présentent aujourd'hui presque exclusivement sous forme de modules spiralés qui sont des cylindres multicouches constitués d'une superposition de feuillets de membranes enroulés autour d'un tube percé qui collecte le perméat (Figure n°14). Ce dernier s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube central tandis que le retentat circule le long de l'axe dans les canaux formés par les feuillets de membranes.

Il existe également des modules en fibres creuses. Les membranes sont en général en polyamide, aromatique déposée sur un support poly sulfone sur polyester, présentant une meilleure tenue mécanique, chimique et thermique et générant des densités de flux plus élevées. Elles sont donc en général composées de 3 couches (Figure n°15) :

- La base ($\sim 100 \mu\text{m}$), formée d'un matériau inerte type textile tissé ou non (ex : polyester téréphtalique), assure la résistance physique du film. Elle est trop grossière pour permettre le dépôt en couche mince de la partie active.
- Le support ($\sim 50 \mu\text{m}$) est une membrane d'ultrafiltration aux pores plus fins, calibrés (Ex : poly sulfone). Il assure la résistance mécanique de l'ensemble ;
- La couche active superficielle ($\sim 0,1$ à $0,2 \mu\text{m}$) permet la séparation des espèces. Elle est déposée sur le support. Le polymère le plus employé est le polyamide aromatique. Il est traité différemment selon les fabricants et les modèles employés.

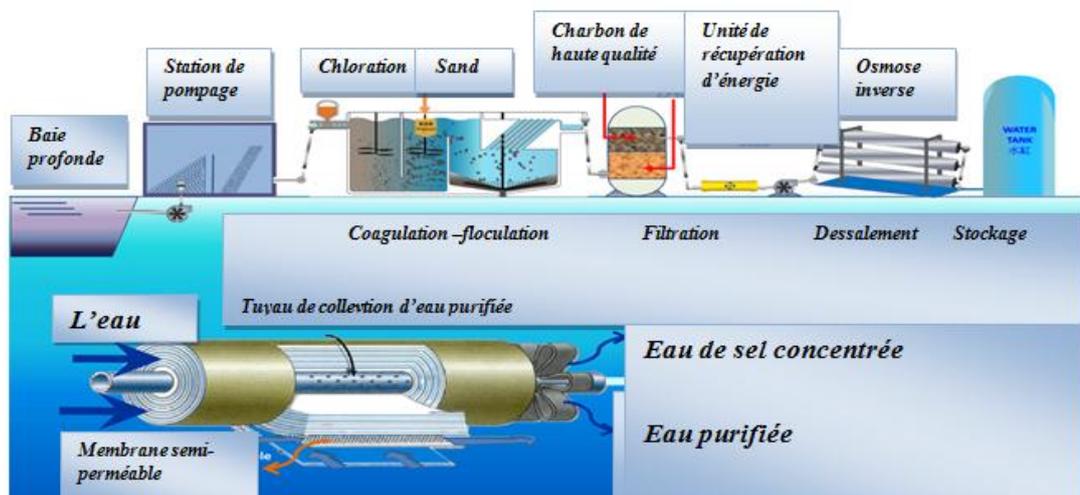


Fig. n°(14) : Schéma de dessalement et le prétraitement d'eau de mer par osmose inverse [58]

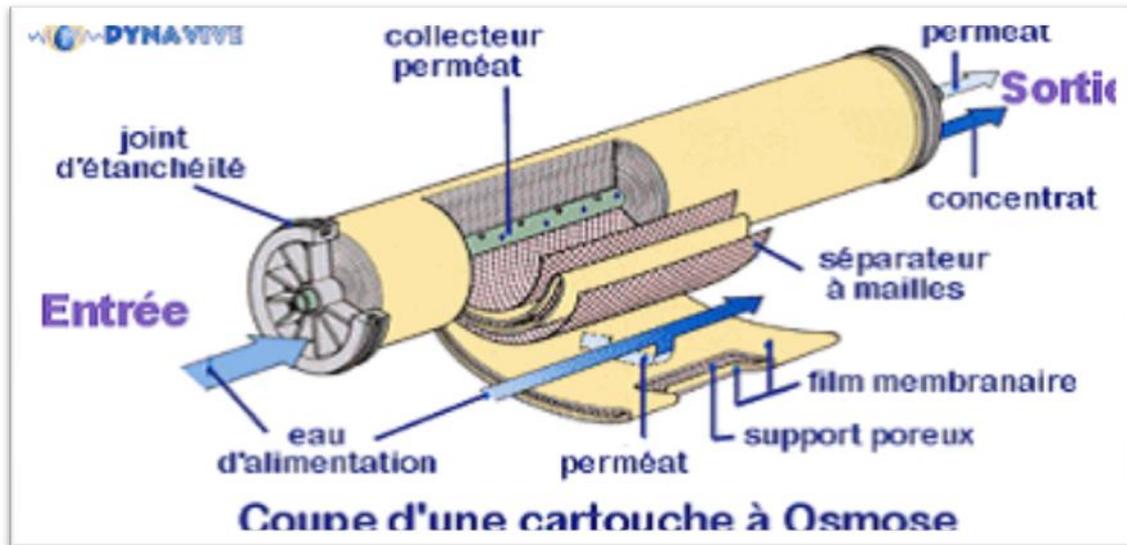


Fig. n°(15) : Module spirale [14]

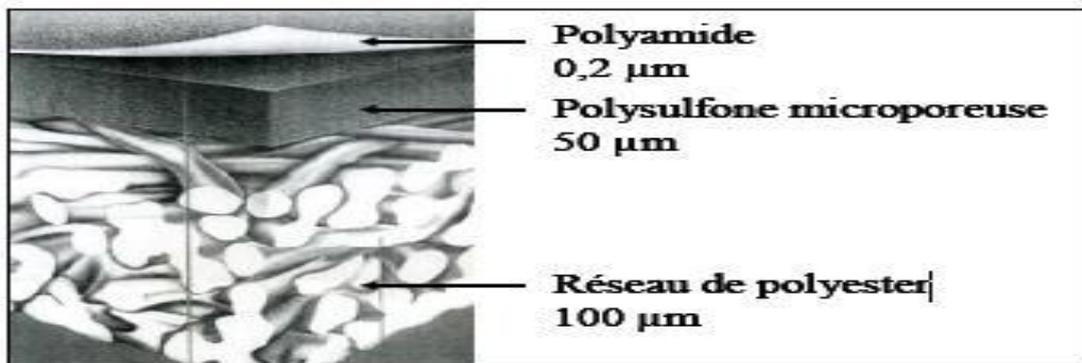


Fig. n°(16) : Structure des membranes d'osmose inverse [34]

II.3.3.2.2 Électrodialyse : [6]

L'idée du procédé d'électrodialyse est d'utiliser des membranes échangeuse d'ions. Chacune de ces membranes permet exclusivement aux cations (membrane perméable aux cations) ou aux anions (membrane perméable aux anions) de passer. Si une solution est placée entre deux membranes échangeuse d'ions et qu'une tension en courant continu est appliquée par des électrodes placées sur les bords extérieurs des membranes, les ions du sel se déplacent vers les électrodes des charges opposées. La partie centrale sera appauvrie en ions et sa salinité diminuera. C'est ce qu'on appelle une cellule à électrodialyse. En pratique, on utilise habituellement, pour augmenter la productivité, une pile d'électrodialyse, obtenue en empilant alternativement des membranes échangeuses d'anions et des membranes échangeuses de cations. Les compartiments appauvris en ions récupèrent le produit faible en sel, tandis que les compartiments adjacents contiennent les ions concentrés qui ont migré des compartiments voisins.

Dans une variante du procédé ED, appelé électrodialyse inversée (EDR) la polarité des électrodes est régulièrement inversée afin d'inverser la direction de la migration,

empêchant ainsi les dépôts de crasse et de tartre et offrant un mécanisme autonettoyant. Le procédé ED est généralement adapté aux eaux saumâtres à salinité faible ou moyenne, et non pour le dessalement de l'eau de mer. Le besoin d'avoir une bonne conductance électrique rend l'ED inadaptée pour traiter l'eau d'alimentation avec une salinité en dessous de 400 mg/l. L'énergie nécessaire au procédé dépend de la salinité. Les procédés ED/EDR sont maîtrisés et bien établis commercialement. Une caractéristique intéressante de l'ED/EDR réside dans le fait qu'il utilise un voltage à courant continu, et qu'il est donc adapté au couplage avec l'énergie PV solaire sans besoin de le transformer en courant alternatif.

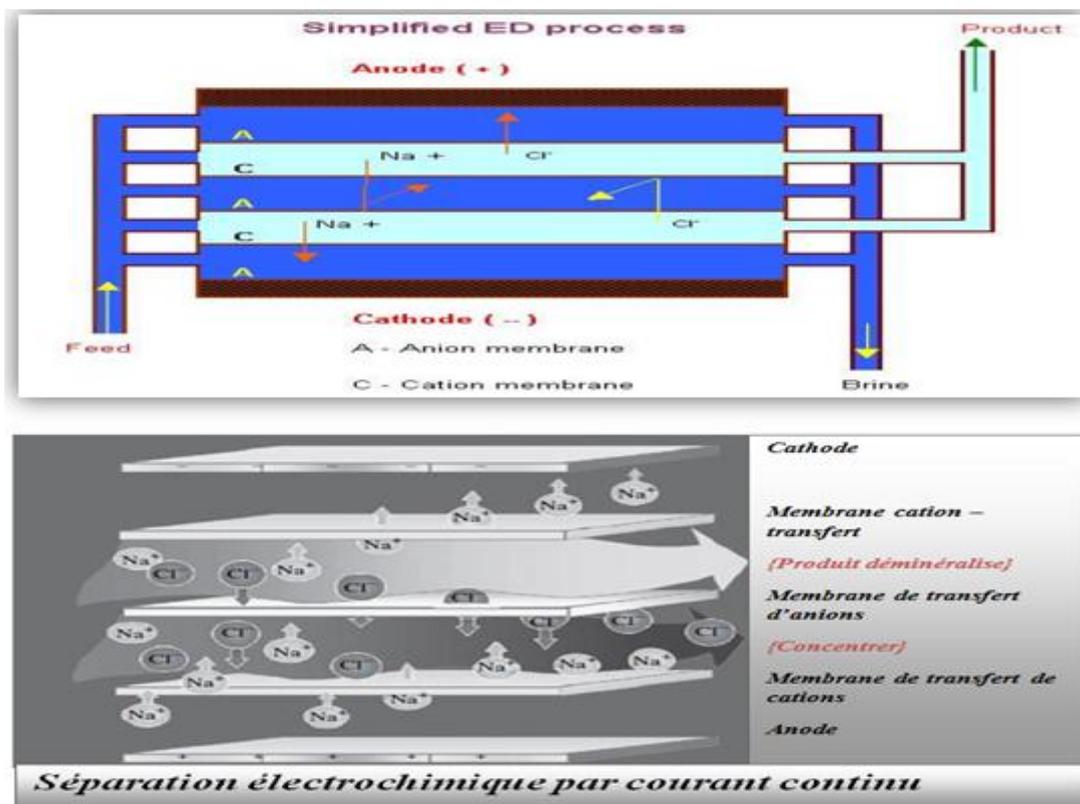


Fig. n°(17): Processus ED simplifié [6]

II.3.4. Principaux avantages et inconvénients de dessalement [32]:

Le dessalement de l'eau présente des avantages mais quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients.

1-Avantage :

Obtention de l'eau douce (potable) à partir d'une eau saumâtre ou eau de mer ;

Alimenter les villes et villages situés près d'une côte ;

L'amélioration de la qualité de l'eau distribuée ;

La sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrielle) des différents Consommateurs, car cette ressource n'obéit pas aux aléas climatique et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues.

2-Inconvénients :

- ❖ Le dessalement de l'eau de mer reste un moyen cher parmi toutes les méthodes de fabrication d'eau potable ;
- ❖ Grande consommation d'énergie ; Les installations de dessalement dégagent des gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement climatique; Elles détruisent les zones côtières ;
- ❖ Le rejet de la saumure très concentrée en sel résultant du dessalement dans la mer détruit les écosystèmes marins (certaines espèces ou végétations sont très sensibles à la Salinité)
- ❖ Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux de nettoyage contaminent le milieu.

Tableau n° (1) : avantages et inconvénients des procédés de dessalement d'eau de mer

	Avantages	Inconvénients
Distillation	<ul style="list-style-type: none"> o Indépendance à la variation de la qualité d'eau brute ; o Utilisation pour des grandes capacités de production d'eau ; o Exploitation relativement aisée ; o Une eau produite présentant un TDS faible requis particulièrement pour les besoins industriels. 	<ul style="list-style-type: none"> o Un taux de conversion bas (inférieur à 35%) o Une consommation spécifique d'énergie relativement élevée (8 à 25 KWh/m³ selon le procédé) ; o Une non flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau ; o Un coût d'investissement élevé.
	<ul style="list-style-type: none"> o Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ; o Une consommation spécifique 	<ul style="list-style-type: none"> o Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions ; o Nécessité d'un personnel qualifié

Osmose inverse	d'énergie basse (3 à 5 KWh/m ³) ; o Un coût d'investissement relativement bas ; o Une durée de mise en œuvre réduite.	; o Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement ; o Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent.
----------------	--	---

II.3.5 : Études comparatives :

❖ Comparaison :

Les systèmes de dessalement présentent souvent des avantages et inconvénients similaires sous certaines conditions de fonctionnement. De ce fait il est difficile de mettre en évidence les différences d'un procédé par rapport à un autre sans avoir recours à d'autres critères de comparaison, parmi lesquels on trouve les critères technique, économique et environnemental. [15]

Le procédé de dessalement par multiple flash occupe 87,3 % du marché du dessalement thermique; alors que les multiples effets et les systèmes à compression de vapeur représentent respectivement 12,5 et 0,3 % des installations de dessalement mises en place d'où l'avantage d'expérience de MSF sur le MEE. Malgré son exploitation massive justifiée par le pourcentage obtenu, le MSF est le type de dessalement le plus énergivore confirmé par plusieurs études le comparant aux systèmes à multiples effets. Maurel [34] énumère quelques avantages du MEE par rapport aux MSF :

Une grande souplesse de fonctionnement avec une variation de la production de 15 à 100 % du régime nominal sans problème ce qui n'est pas le cas avec le MSF.

Pour une même quantité d'eau produite, le MEE avec compression de vapeur consomme parfois la moitié de l'énergie d'un système à MSF. Si le MEE est plus performant que le MSF, il produit par contre deux fois moins d'eau douce que le système à compression de vapeur sur la base d'une consommation de vapeur égale.

Les systèmes de dessalement à multiples effets ont un coût d'investissement faible par rapport aux MSF. Les unités avec compression de vapeur ont un investissement de l'ordre de la moitié du coût du MSF.

Du point de vue thermodynamique et transfert thermique les multiples effets sont plus performants. L'énergie de pompage et la surface de transfert du système à multiple effets (MEE) correspondent respectivement à 20 % et 50 % de ceux des multiples flashes (MSF).

Une installation à multiples effets sans thermocompression produit deux fois moins d'eau à consommation de vapeur égale. La pression de vapeur motrice peut être choisie sur une large échelle allant de 1,5 à 45 bars. Une unité à détentes successives aurait 16 à 20 étages pour obtenir le même rendement qu'un système à compression de vapeur.

Les impacts environnementaux liés aux différents procédés de dessalement concernent généralement les rejets de saumure non diluée qui contiennent des produits corrosifs ainsi que des réactifs. L'impact environnemental d'un procédé est évalué sur la base de l'emplacement de ses rejets et de leur temps de dilution. L'analyse du cycle de vie des systèmes de dessalement thermique réalisée par [43] montre que les MSF et le MEE ont plus d'impacts négatifs sur l'environnement marin que l'osmose inverse avec une domination des MSF par rapport au MEE. Cette différence s'expliquerait par une grande consommation énergétique des unités MSF contrairement aux systèmes multiples effets et à compression de vapeur. Le tableau ci-dessous récapitule les consommations énergétiques, les avantages et inconvénients des différents procédés

Tableau n°(2) : Caractéristiques des différents procédés

Méthodes de Dessalement	Avantages	Inconvénients
Multiple effet	Grande capacité de production Faible coût d'investissement Haut degré de pureté (<30 ppm) L'apport d'énergie indépendant de la salinité Service minimal	Dépendant du type d'énergie disponible Durée de construction longue Le contrôle de la qualité de l'eau difficile Rapport de production (30 % - 40 %) Nécessite de Main-d'œuvre Encombrant
Osmose inverse	Adapté à l'eau de mer et	Basse qualité (250-500 ppm)

	<p>saumâtre</p> <p>Flexibilité par rapport à la quantité et à la qualité d'eau</p> <p>Faible consommation d'énergie par rapport au MED et au VC</p> <p>Non encombrant</p> <p>Souplesse à l'arrêt et au démarrage du système</p>	<p>Nécessite haute eau d'alimentation de qualité</p> <p>Investissement et coût d'exploitation relativement élevés</p> <p>Pression d'alimentation assez grande</p> <p>Durée de construction longue pour une production à grande échelle.</p>
<p>Compression</p> <p>Vapeur</p>	<p>Qualité de l'eau élevée (20 ppm)</p> <p>Haute charge opérationnelle</p> <p>Durée de construction courte</p> <p>Souplesse d'exploitation et de production</p>	<p>Coûts d'exploitation élevés</p> <p>Forte consommation d'énergie</p> <p>Absence de contrôle de la qualité de l'eau</p>
Electrodialyse	<p>Exploitation à faible coût en capital et</p> <p>Source d'énergie flexible</p> <p>Taux de conversion élevé (80 %)</p> <p>Faible consommation d'énergie</p> <p>Faible encombrement et besoins en matériaux</p>	<p>Faible à la capacité de l'eau saumâtre à moyen (3000 ppm)</p> <p>Nécessite un prétraitement avec soin les aliments eau</p> <p>Faible capacité de production</p> <p>Pureté affectée par la qualité de</p>

		l'eau d'alimentation
Multi flash	Flexibilité de la salinité de l'eau d'alimentation La production de haute pureté (<30 ppm) Grande capacité de production Exigences de compétence faible La production de l'eau et électricité Entrée haute énergie	Rapport de production faible (30 % -40 %) Coûts d'exploitation élevés Exigences élevées de construction Potentiellement limité pour l'amélioration

Conclusion:

Le dessalement de l'eau de mer est un procédé qui peut se faire par plusieurs techniques.

Le choix du procédé se fait selon des critères technico économiques bien précis.

L'efficacité de procédé de distillation est de 0,25 et la salinité de la saumure produite à partir du dessalement de l'eau de mer est d'environ 1,5 fois supérieure à la salinité de l'eau de mer et sa température est d'environ 5 degrés plus élevée.

L'efficacité de procédé d'OI est de 0,45 pour l'eau de mer (SW) et de 0,75 pour l'eau saumâtre (Banque mondiale 2012). La salinité de la saumure produite à partir du procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (SWRO) est deux fois plus élevée que celle de l'eau de mer.

La technique d'OI (SWRO) consomment entre 3 et 4 kWh/m³d'énergie et émettent entre 1,4 et 1,8 kg de CO₂/m³et entre 10 et 100 g de NO_x /m³d'eau produite

L'industrie du dessalement a été dominée par des procédés thermiques jusqu'en 2003-2005 lorsque la technologie membranaire et en particulier l'osmose inverse (OI) les a surpassés. L'industrie du dessalement a encouragé la recherche et l'ingénierie pour développer de nouvelles technologies, des technologies hybrides, afin de repenser les composants des systèmes en place pour améliorer l'efficacité, réduire la consommation

d'énergie et de produits chimiques et les rejets (Osmose directe (OD), la distillation sur membrane (MD), le dessalement par adsorption (AD)).

De nombreuses améliorations ont lieu en permanence dans le domaine en constante évolution du dessalement, en particulier dans l'amélioration des rendements et la réduction de la consommation d'énergie et de produits chimiques ainsi que dans le rejet de saumure tel que : Zéro rejet liquide (ZRL) est un procédé qui récupère l'eau des concentrés de saumure pour éliminer les déchets liquides.

L'amélioration des membranes conventionnelles et la conception de nouvelles membranes (ingénierie membranaire) pour accroître le rendement, réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES associées sont en constante évolution.

Énergies renouvelables (RE). Les énergies renouvelables, les énergies solaires (énergie solaire à concentration (CSP)), photovoltaïque (PV), géothermique, éolienne et les énergies marines renouvelables (vagues, marées et courants) finiront par remplacer l'énergie conventionnelle dans le processus de dessalement.

Amélioration de la technologie de diffuseur en vue d'améliorer les procédés de dilution lors du rejet de saumure en mer

Traitement et valorisation chimiques des rejets de saumure (récupération des métaux).

Chapitre III :

*Présentation de l'unit de
dessalement et de
déminéralisation*

Introduction :

Toute centrale, type vapeur dispose généralement d'une installation de dessalement et déminéralisation de l'eau brute (eau de mer) pour alimenter les chaudières. Ce chapitre sera consacré à la description de l'unité de dessalement et de déminéralisation de CAP-DJINET et son fonctionnement.

I. Présentation de l'installation de dessalement MSF:

Les besoins journaliers en eau dessalée de la centrale thermique sont de l'ordre de 1100 m³. L'installation comprend quatre unités (figure n°1) 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 de 2700 m³ [27]

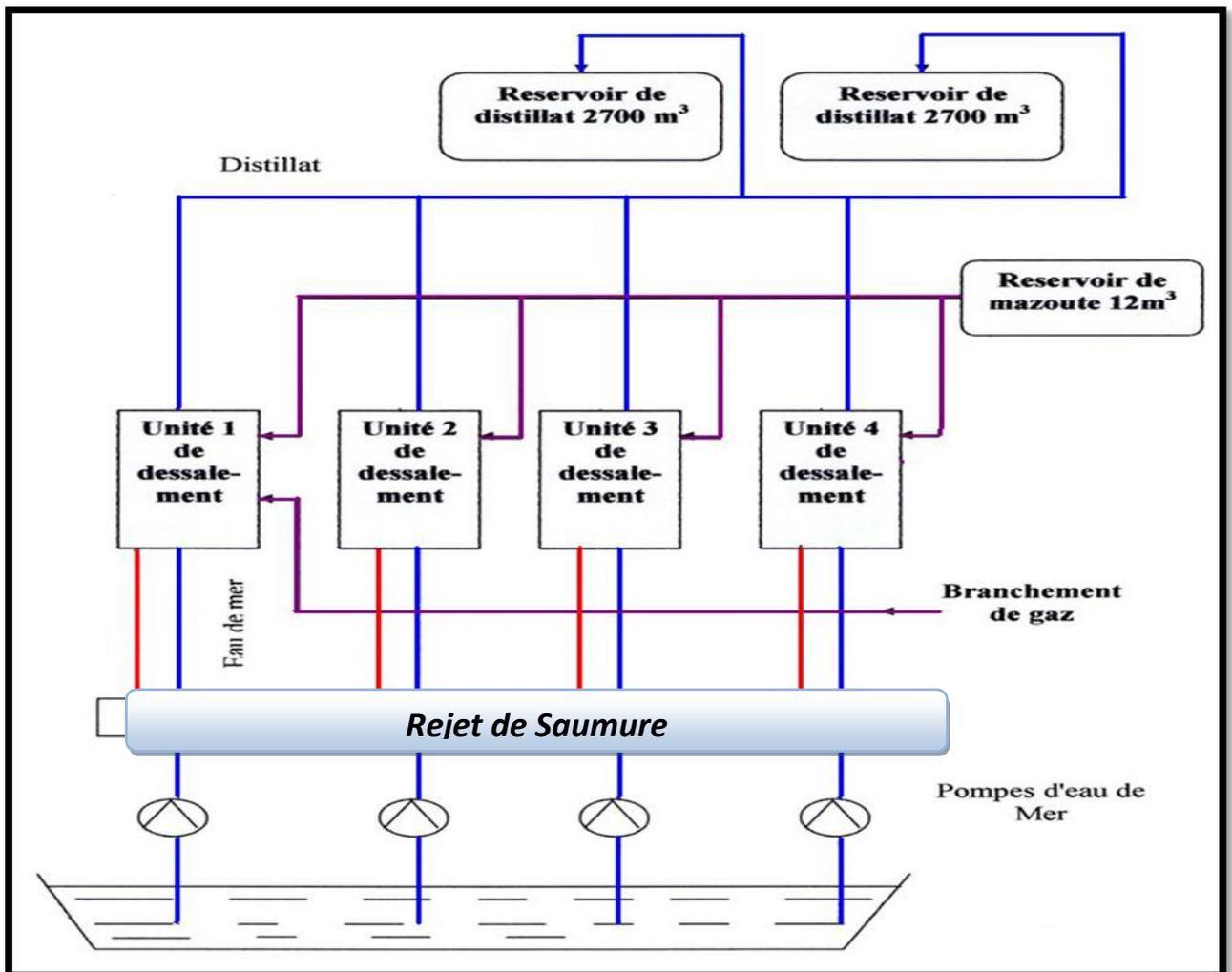


Fig. n°(1) : Schéma simplifié de la station de dessalement

I.1. Les différents organes de l'installation : [27]**❖ L'évaporateur :****L'évaporateur est constitué de 18 étages :**

Trois étages pour la dissipation de chaleur.

Quinze étages pour la récupération de chaleur.

Le faisceau des tubes de condenseur se trouve dans la partie supérieure de chaque chambre. Dans chacun des faisceaux, quelques tubes sont séparés des autres par une chape-tôle. Ce compartiment séparé sert de zone de refroidissement pour les gaz non condensables.

Le dernier étage est muni d'un indicateur de niveau pour le distillat et la saumure. Tous les dispositifs sont prévus pour vider et aérer totalement tous les étages.

Tableau n°(1) : Caractéristiques techniques de l'évaporateur

Zone de dissipation de chaleur	
Liquide du coté tube : eau de mer.	Taux de salinité : 39.4mg/l.
Quantité d'eau de mer : 186m ³ /h.	Nombre d'étage: 03.
Température d'entrée: 20°C.	Perte totale de pression : 8.1mbars.
Réchauffement moyen par étage : 2.5°C.	Température de sortie: 27.51°C.
Zone de récupération de chaleur	
Liquide du coté tube : saumure.	Taux de salinité : 60mg/l.
Température d'entrée: 27, 4°C.	Nombre d'étage: 15.
Réchauffement moyen par étage : 3,2°C.	Perte totale de pression : 32,7mbars.
	Température de sortie : 75,4°C.
Saumure de détente	
Température d'entrée : 83,0°C.	Salinité de saumure : 65,3mg/l.
Pression en première étage : 0.446bars.	Température en dernier étage : 27,3°C.
Chute moyenne par étage : 3.1°C.	Pression au dernier étage : 0,034bars.
Débit de saumure : 36m ³ /h.	Pureté du distillat : 15-20mg/l.
Quantité d'eau d'alimentation : 50m ³ /h.	Nombre d'étage : 18
Salinité a l'entrée : 60mg/l.	Quantité de distillat : 25m ³ /h.

❖ Le réchauffeur final :

La saumure de recirculation coule du dernier étage du condenseur au réchauffeur final pour y être chauffé, ensuite le procédé de détente pourra commencer dans le premier étage d'évaporation.

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 cotés 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.

❖ La chaudière :

C'est une chaudière à eau chaude et basse pression qui combine le principe de retour de flamme et le principe des trois passages. Tel que, 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 caractérisé par:

- Une température de service de 95°C.
- Un débit de 180 m³/h.

❖ Les pompes:

a)- Les pompes de traitement

Tableau n°(2) : Caractéristiques principales des pompes centrifuges de traitement

Pompe	Pompe de recirculation de saumure	Pompe de saumure	Pompe de distillat	Pompe de L'eau mortise	Pompe de recirculation d'eau chaude
Débit(m ³ /h)	258	36	25	103	280
Puissance (KW)	65,8	2,75	4,2	6,9	8,1

b)- 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 2 étages.

Tableau n°(3) : Caractéristiques techniques des pompes de transfert d'eau de mer.

Caractéristique fonctionnelle	Pompe de transfert
Milieu d'alimentation	Eau de mer
Débit (m ³ /h)	289
Rendement (%)	70
Masse volumique/température (Kg.m ⁻³ / °C)	1026 / 27
Hauteur de refoulement (m)	39
Vitesse de rotation (tr/mn)	1450
Puissance nécessaire (KW)	44,8
Liquide d'arrêt	Eau de mer

c) - Les pompes d'éjection:

Tableau n°(4): Caractéristiques techniques des pompes d'éjection.

Caractéristique 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(bars)	1,0133	0,073
Capacité (kg/h)	2,95	Max 15,8

d)- Les pompes doseuses :

Tableau n°(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

❖ **Filtre de l'eau de mer:**

Le filtre utilisé est de type à décolmatage par contre courant (autonettoyant). 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 décolmatage par contre courant se met en marche automatiquement.

❖ **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 amenées 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 à un débit de 103 m³/h.

❖ **Equipment 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.

Des instruments sont placés sur les appareils, tels que indicateurs de pression, de température de niveau, de conductivité ainsi qu'un dispositif de sécurité pour la chaudière.

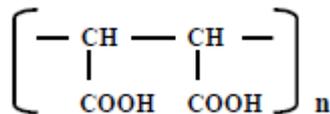
I.2. Injection des produits chimiques:

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. [27]

a-Protection contra l'entartage:

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, [55].

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 a température maximale d'emploi est de 120°C [49]



b-Protection contre les salissures : [27]

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:

La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques.

La mousse produite par l'eau de mer aux étages du procédé de distillation multi flash est imprévisible mais a tendance à poser un problème plus grave quand les séparateurs sont proches de la surface du courant de saumure, ce qui ne permet pas de séparer qu'un volume réduit en phase aqueuse et la phase vapeur, [55].

Une partie de cette mousse peut arriver au distillat et le rendre inutilisable. Dans ce cas, le produit chimique commercial préconisé (Belite M33 à 0.1 mg /l) peut être dissout et dosé avec l'inhibiteur d'incrustation. [27]

d-Neutralisation au chlore : [27]

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 augment, on ajoute le bisulfite de sodium Na_2SO_3 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 :



Tableau n°(6) : récapitulative des ajouts chimiques

Produit chimique	Function (but)	Dose	Remarque
Belite(M33)	Agent anti – mousse	0,1mg/l	
Belgard (ENV)	Agent anti – tarter	3,5mg/l	Inhibiteur d'incrustation
L'acide chlorhydrique (HCL)	Agent anti – salissures	5% environ 290 l	
Bisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)	Neutralisation au chlore		Réduction de chlore

Données techniques : [27]

Tableau n°7 : Caractéristiques techniques de l'installation de dessalement MSF.

Données techniques	
Production de distillat (m ³ /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 (m ³ /h)	239 - 256
Salinité maximale de l'eau de mer (mg/l)	39400
Salinité maximale dans la saumure (mg/l)	65300
Débit de recirculation (m ³ /h)	239 – 256
Débit de saumure (m ³ /h)	31– 37
Débit d'eau d'alimentation (m ³ /h)	52– 62
Matières consommables	
Inhibiteur d'incrustation	BELGARD EVN
Taux de dosage (mg/l)	3,8 -5,8
Consommation (kg/h)	0,2 -0,36
Produit anti – mousse	BELITE M33
Dosage saisonnier(mg/l)	0,1 -1,0
Consommation(g/l)	26
Mazout (kg/h)	202– 250
Gaz de chauffage (m ³ /h)	242 - 300 (15°C- 1,0 bar)

I.3. Description fonctionnement de l'installation de dessalement : [27]

La pompe d'eau de mer (figure 2), refoule le liquide à travers les condenseurs en passant par les filtres. Une partie de l'eau de mer est dérivée avant d'entrer à la chambre d'eau du 18^{ème} étage d'évaporateur pour crier les vides et refroidir le système de recirculation de l'aspiration d'air.

L'eau réchauffer, provenant des étages de dissipation de chaleur 16, 17 et 18, sera retournée à la mer. D'abord une partie de l'eau de mer chaude sera dérivée à la sortie de l'étage 16 pour être amenée au procédé comme eau d'alimentation, elle remplace la saumure. Ensuite elle est dégazée dans le 18^{ème} étage d'évaporation par le vide se trouvant dans celui-ci, pour écouler ensuite dans la tuyauterie coté aspiration de la pompe de recirculation où elle sera mélangée par le réservoir de produits chimique.

La saumure de recirculation est refoulée à travers le faisceau de tubes du condenseur des étages de récupération de la chaleur 1 à 15 de l'évaporateur, et réchauffée par la chaleur d'évaporation de la vapeur condensable de chaque étage. Du dernier condenseur d'évaporateur, la saumure coule vers le réchauffeur final, ou elle est portée à la température maximale prévue.

Le réchauffeur final sera chauffé par l'eau de la chaudière. La pompe de recirculation fait circuler l'eau chaude à travers un circuit fermé.

La saumure chaude de recirculation sera amenée au premier étage d'évaporation, la pression dans la première chambre de détente est un peu plus réduite que la pression de saturation qui correspond à la température de la saumure entrant, de manière qu'une partie de la saumure s'évapore.

La vapeur ascendante coule à travers un séparateur d'humidité et se condense finalement sur les parois des tubes du condenseur dans la partie supérieure de l'étage d'évaporation.

Au fond de l'étage, la saumure coule par des passages spéciaux vers la prochaine chambre de détente où la pression est encore plus réduite que la pression de saturation, qui correspond à la température de saumure ; par ce fait une partie de la saumure s'évapore de nouveau. Ce procédé se répète dans chaque étage. L'évaporateur entraîne une baisse progressive de la température de saumure, alors que la concentration de la saumure de recirculation augmente.

Le distillat goutte des parois des tubes dans les cuves à distillat existant dans chaque étage, ensuite il coule d'un étage à l'autre par les orifices de passage, pour être finalement évacué au dernier étage par la pompe de distillat.

Un système de mesure de conductivité automatique a lieu après la pompe de distillat, tel que :

- Si la conductivité est supérieure à 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$  Rejet de distillat.
- Si la conductivité est inférieure à 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$  Stockage de distillat.

Une partie de la saumure concentrée sera refoulée par la pompe de saumure du dernier étage au canal de saumure tandis que la partie principale de la saumure coule vers la pompe de recirculation. Les gaz non condensables, seront évacués par une pompe d'éjection de vapeur et par une pompe d'éjection d'eau.

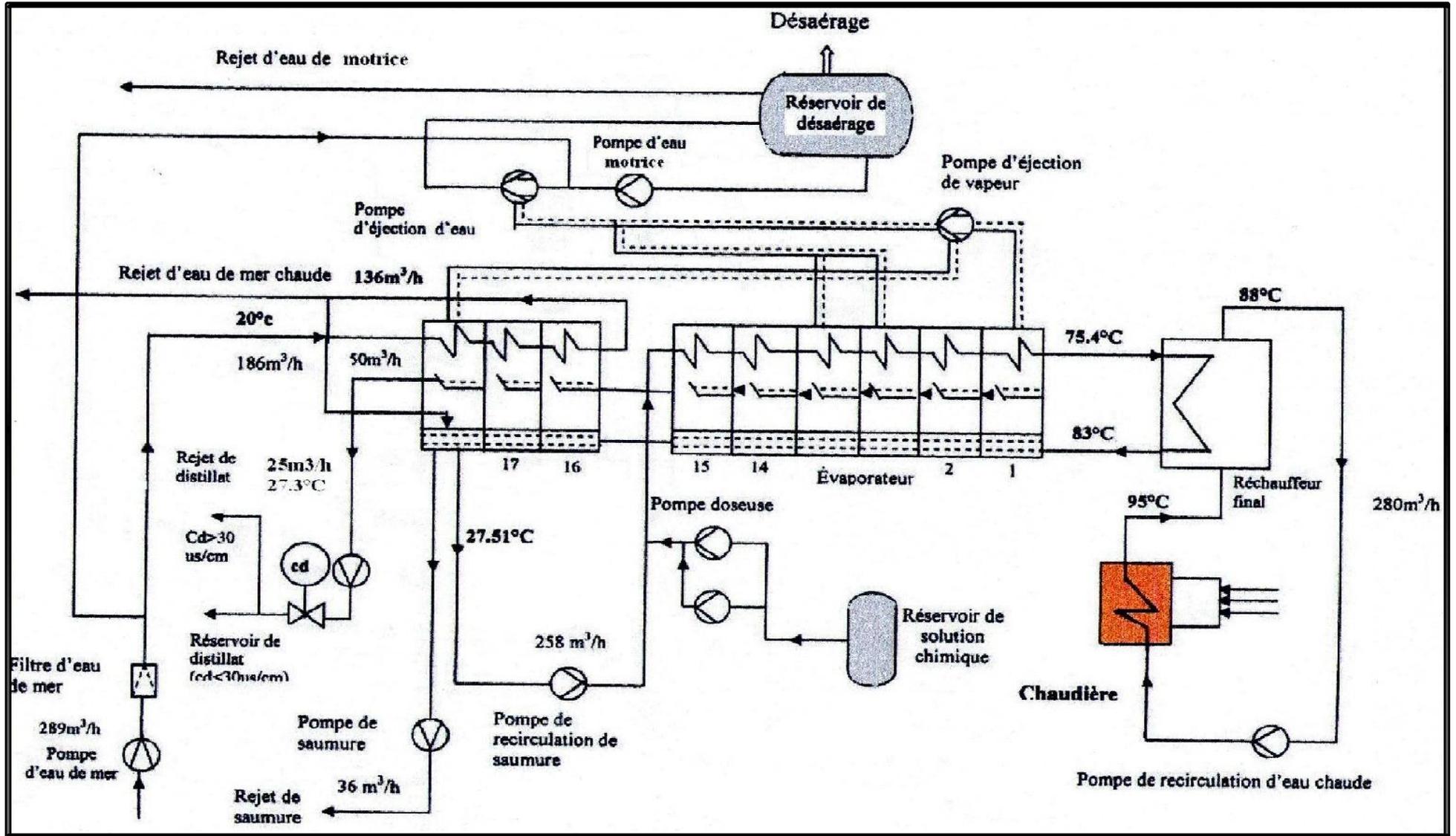


Fig. n°(2): Installation de dessalement de la centrale thermique de Cap Djinet

II. Présentation de l'unité de déminéralisation à lits mélangés:

L'installation de déminéralisation sert au traitement de l'eau d'appoint d'alimentation pour les quatre chaudières.

Comme eau brute, on utilise le distillat des unités de dessalement d'eau de mer qui a une teneur en sel maximum de 20 mg/l comme NaCl et une température maximal de 40°C.

Deux filtres à lits mélangés (figure n° 3) 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 produit est stockée dans deux réservoirs de 1500 m³ de volume pour chacun. Elle doit correspondre dans sa qualité à l'exigence de l'eau d'appoint des chaudières à vapeur à haute pression. [28]

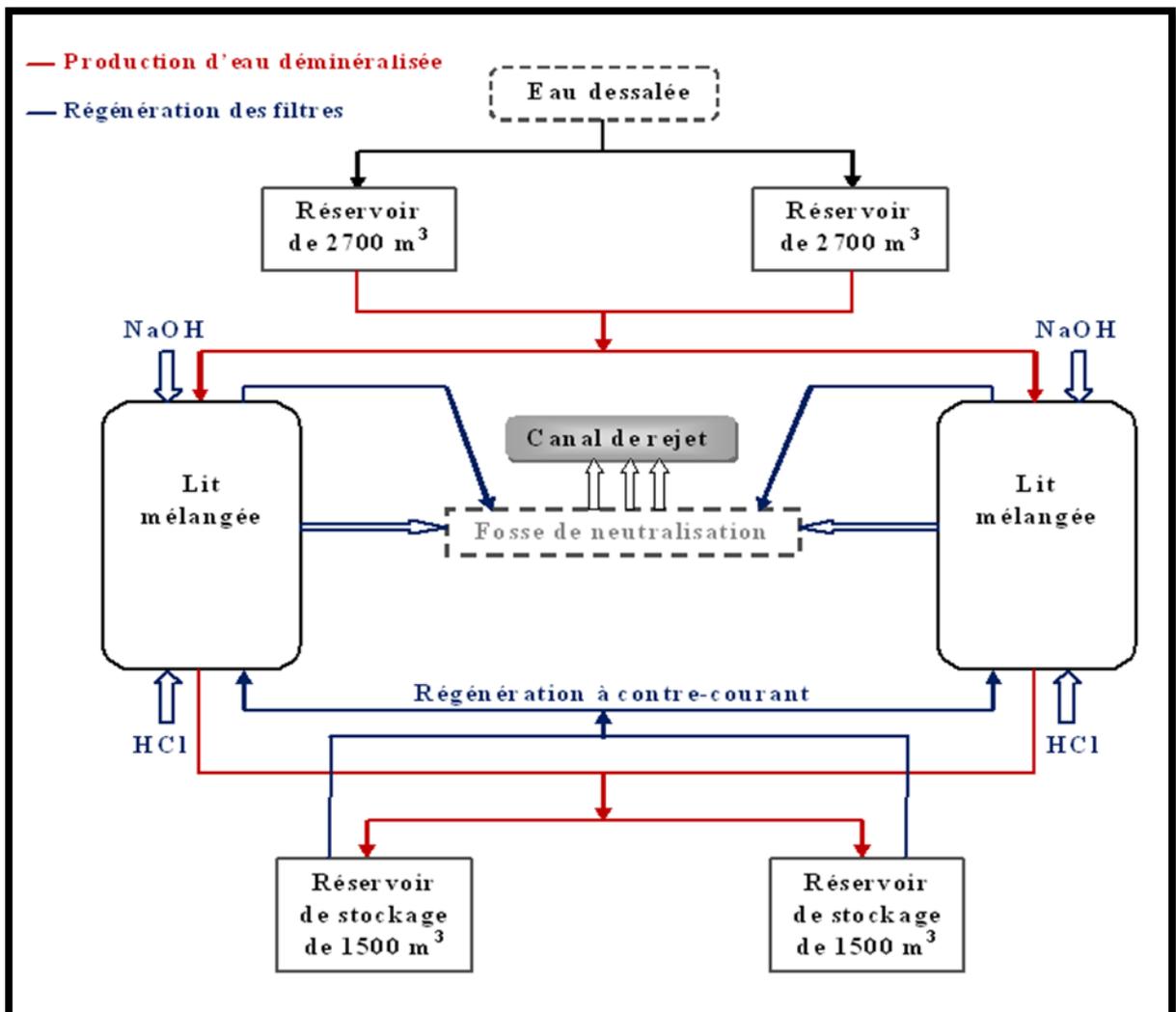


Fig. n°(3) : Schéma simplifiée de l'installation de déminéralisation

II.1. Différents organes de l'installation : [28]

L'installation de déminéralisation se compose des parties suivantes (voir figure 12):

- Trois pompes d'eau brute.
- Deux colonnes à lits mélangés automatiques.
- Deux soufflantes à air pour la régénération.
- Deux réservoirs de stockage d'acide chlorhydrique.
- Deux pompes de remplissage d'acide chlorhydrique.
- Deux pompes de la soude.
- Un réservoir de stockage de la soude.
- Une station de préparation de la soude.
- Une station de préparation de l'acide.
- Deux pompes d'eau de dilution (déminéralisée).
- Fosse et équipement de neutralisation.
- deux soufflantes à air pour la neutralisation.
- Appareils de mesure de débit, pression, conductivité...
- Une armoire de commande.

II.2. Caractéristiques techniques des équipements :[28]

Les Caractéristiques techniques des équipements de la station de déminéralisation sont:

❖ **Les filtres à lits mélangés :**

Tableau n°8: Caractéristiques techniques des filtres à lits mélangés.

Données de puissance	
Nombre de filtre à lits mélangés	2
Débit de fonctionnement pour chaque filtre à lit mélangé (m ³ /h)	40 - 45
La quantité d'eau entre régénération (m ³)	2400 - 2600
Dimension des filtres et capacités	
Diamètre (mm)	1800
Hauteur du cylindre (mm)	3000
Pression de service (bars)	5
Température de service (°C)	40
Surface du lit mélangé (m ²)	2,5
Vitesse du lit mélangé (m/h)	18

Résistance de lit mélangé (bars)	0,7 – 1,5
Durée de marche (heures)	60
Capacité de l'échangeur d'ions : (L)	
Résine cationique	1150
Résine anionique	2400
Consommation de produits chimiques par régénération : (L)	
NaOH à 30%	533,5
HCl à 30%	335

❖ 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%.

❖ 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 (figure 4) 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%.

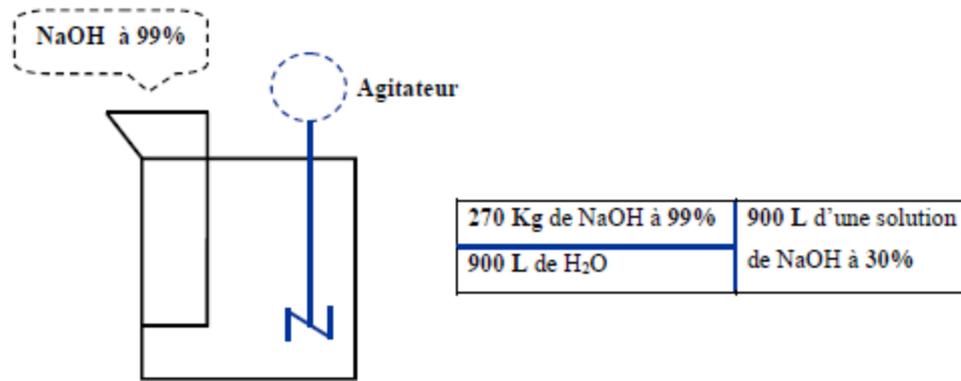


Fig. n°(4) : Préparation d'une solution de NaOH à 30%

II.3. Description de l'installation:

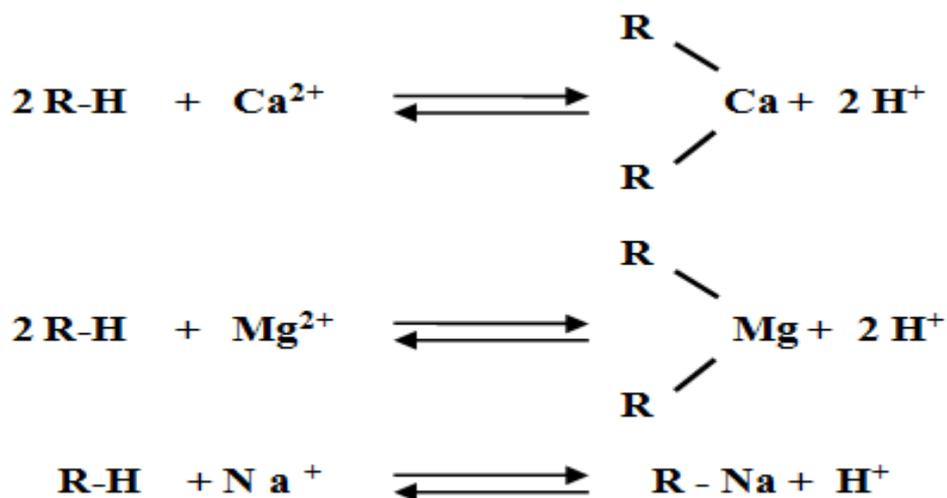
Le distillat de l'installation de dessalement de l'eau de mer qui est stocké dans deux réservoirs de 2700 m³, est pompé à la station de déminéralisation pour être refoulé vers les deux filtres à lits mélangés.

❖ Les filtres à lits mélangés :

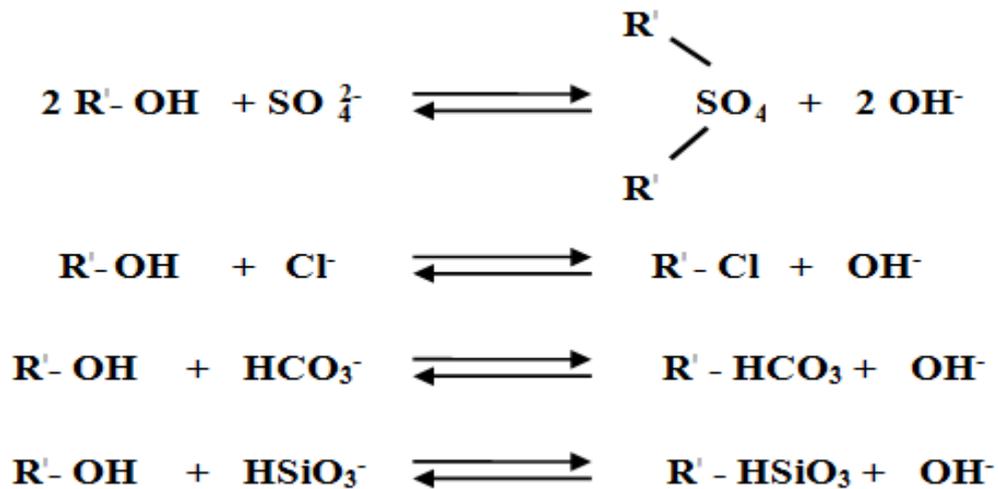
Le système de lit mélangé est le système le plus répandu, il permet d'atteindre la conductivité théorique de l'eau pure (0.055 µs/cm à 25°C) et des fuites ioniques et en silice de l'ordre 1 µg/l, par fois inférieures, [21].

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

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



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



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 NH_3 pour relever la valeur de pH de l'eau déminéralisée à plus de 9,5, [28].

Une fois que les résines sont saturées. Il y a lieu de procéder de régénération.

❖ La régénération :

Si à la sortie des filtres à lits mélangés, la conductivité est importante (supérieure à 0,1 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et l'eau est de mauvaise qualité, ce dernier ne doit pas être utilisée pour les besoins de la centrale et surtout pour l'alimentation du générateur de vapeur.

La mauvaise qualité de l'eau et sa conductivité importante revient principalement à la saturation des résines. Pour régler ce problème, on fait appelle à la régénération.

a)- Principe : [28]

La régénération permet une réactivation des résines saturées. Elle 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%.

Les indices suivants permettent de déceler si la régénération est nécessaire :

- ❖ Si la conductivité à la sortie des lits mélangés est supérieure à 0,1 $\mu\text{s}/\text{cm}$.
- ❖ Si la silice SiO_2 est supérieure à 0,02 mg/l.
- ❖ Si la différence de pression entre l'entrée et la sortie des lits mélangés est supérieure à 1,5 bars. Après un fonctionnement continu de 4 semaines.

b)- Les étapes de régénération : [28]

Au niveau de la centrale, la régénération a lieu en mode à contre-courant. Elle s'effectue en neuf étapes suivantes (voir tableau n°9) :

1^{ère} étape : Détassage :

Elle consiste à effectuer la séparation des résines par l'intermédiaire de l'eau brute qui est introduite par le point bas (figure n° 5), l'eau ressort par la partie supérieure.

Par la différence de poids spécifique, les résines cationiques plus denses retournent dans le bas du réservoir et les résines anioniques occupent la partie supérieure. Cette opération dure 20 minutes.

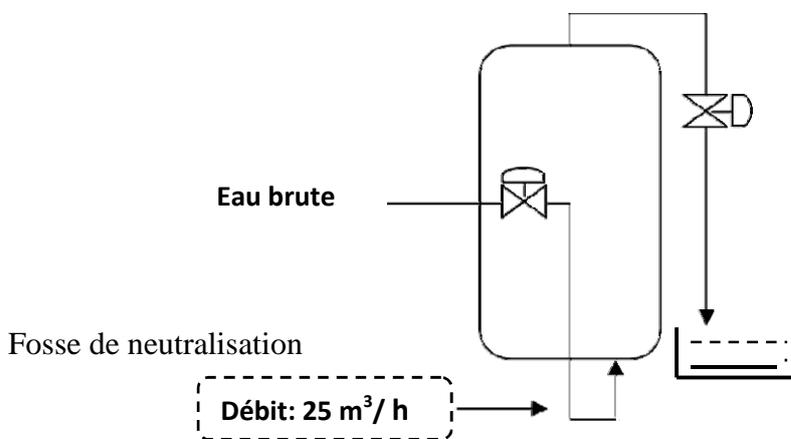


Fig. n°(5) : Etape n° 1 de régénération des lits mélangés

2^{ème} étape : Pause.

Arrêt de l'arrivée de l'eau brute (figure n°6) pour la précipitation complète des résines. Cette opération dure 5 minutes.

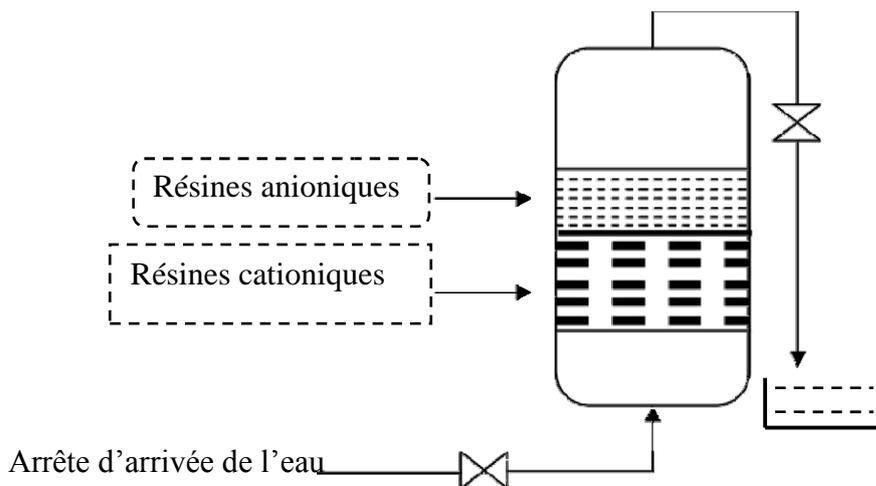
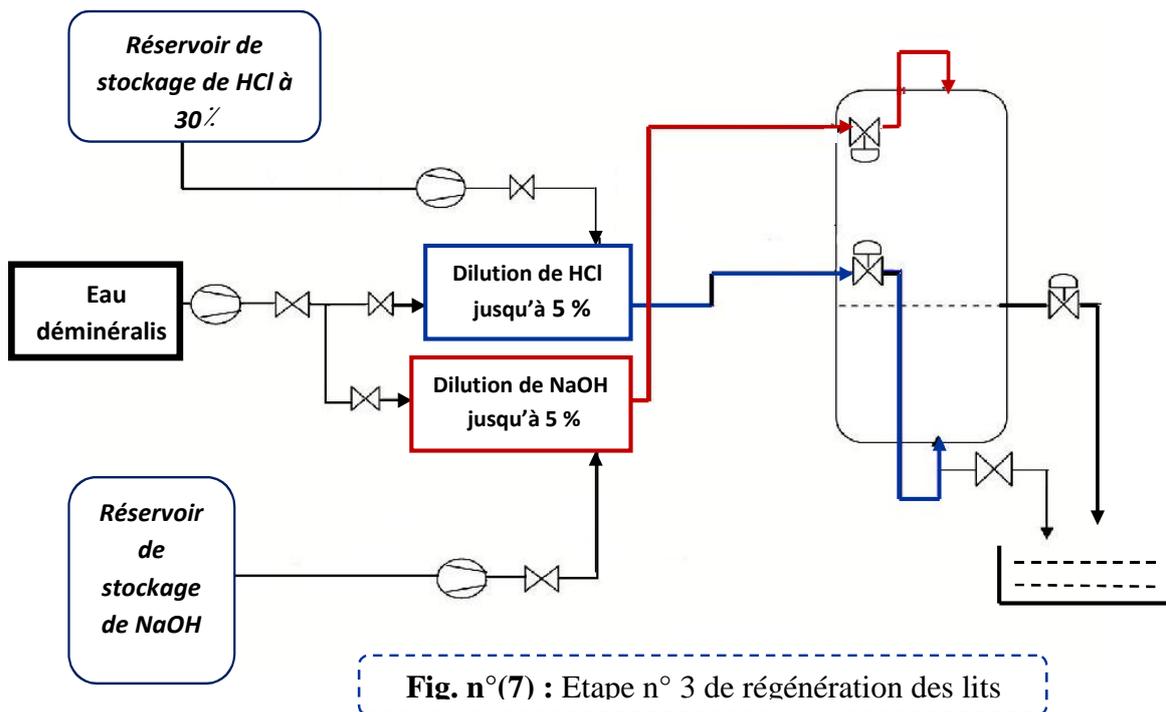


Fig. n°(6): Etape n° 2 de régénération des lits mélangés

3^{ème} étape : Remplissage d'acide et de soude.

Le Remplissage de l'acide chlorhydrique et de la soude (figure 7) s'effectue en même temps. Cette opération dure 30 minutes. La solution HCl à 5% introduit par le point bas du réservoir pour régénérer les résines cationiques.

La solution de soude NaOH à 5% introduite par le point supérieur du réservoir pour Régénérer les résines anioniques

**4^{ème} étape : Rinçage des résines.**

Une fois que l'acide et la soude caustique sont introduits, les pompes doseuses des deux solutions s'arrêtent. La pompe d'eau de dilution reste en service pour effectuer le lavage des résines avec une eau déminéralisée pour enlever les traces de HCl et NaOH. Cette opération dure 80 minutes.

5^{ème} 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.

6^{ème} étape : Abaissement du niveau d'eau.

Le niveau d'eau dans le lit mélangé doit abaisser, pour se stabiliser à 10 cm au dessus des résines (Figure n° 8). Cette opération dure 30 minutes.

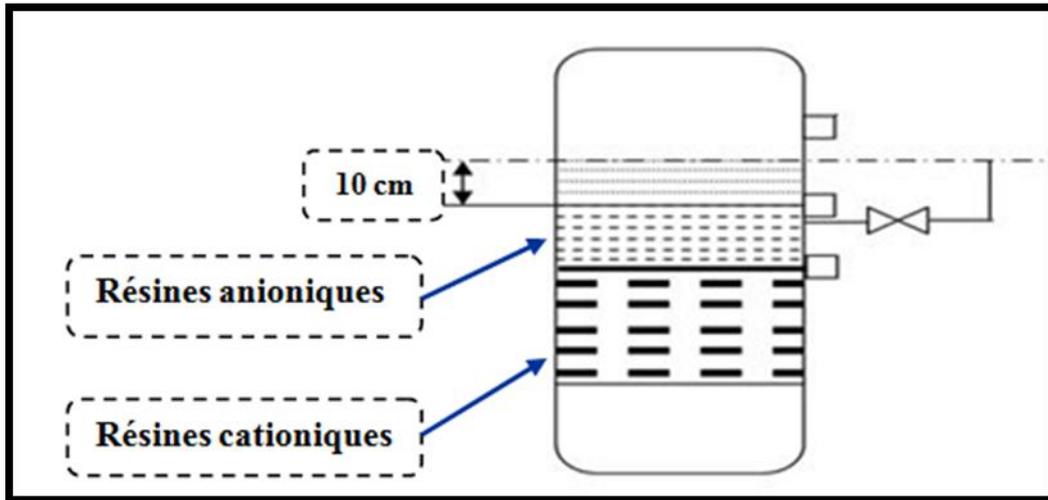


Fig. n°(8) : Etape n° 6 de régénération des lits mélangés

7^{ème} 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 (figure n°9).

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 minutes.

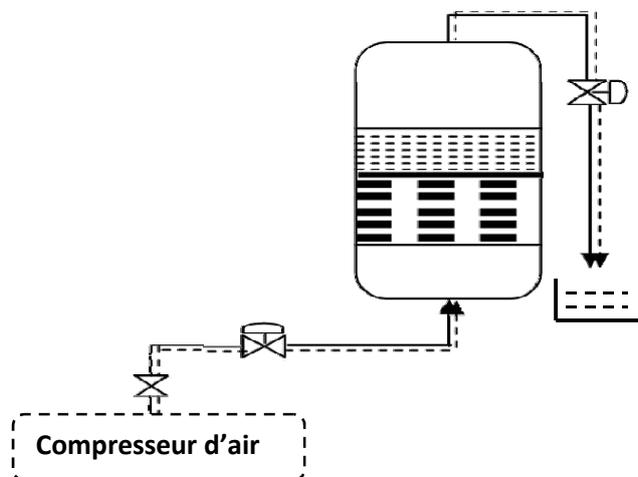


Fig. n°(9): Etape n° 7 de régénération des lits mélangés

8^{ème} étape : Remplissage de l'espace vide.

Dans cette étape (figure n°10) l'espace vide du réservoir des lits mélangés est rempli, jusqu'à ce que l'eau sorte par le point haut. Cette opération dure 5 minutes.

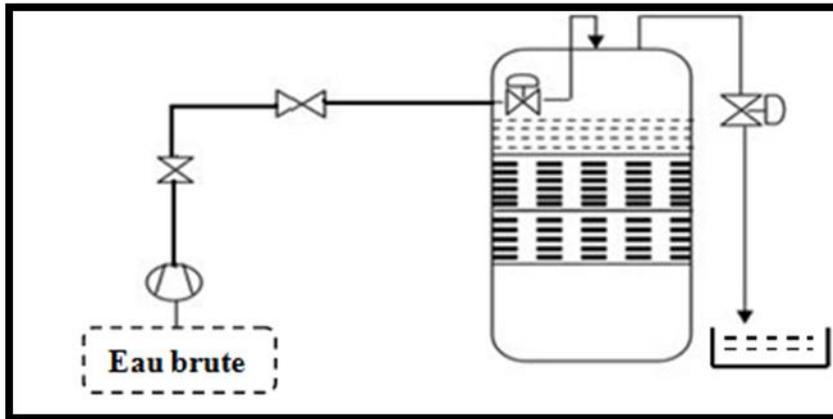


Fig. n°(10) : Etape n° 8 de régénération des lits mélangés

9^{ème} 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 (figure n°11) :

- ❖ Si la conductivité est supérieure à $10 \mu\text{s/cm}$, l'eau est envoyée vers le rejet.
- ❖ Si la conductivité est comprise entre $0.1-10 \mu\text{s/cm}$, la circulation est maintenue pendant

120 minutes. Si la conductivité est inférieure à $0.1 \mu\text{s/cm}$, l'eau déminée est dirigée vers les deux réservoirs de stockage.

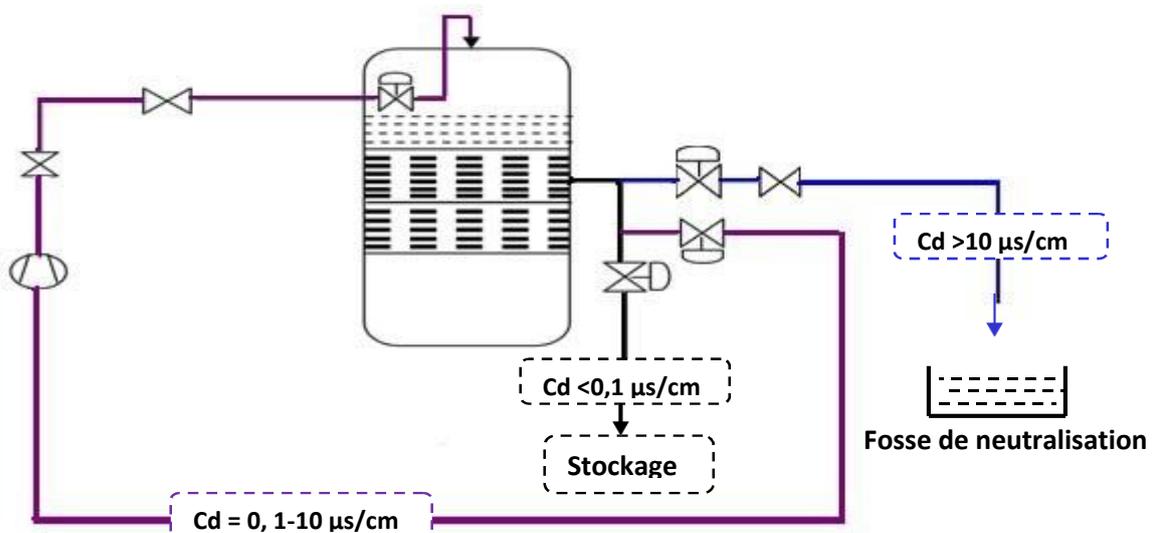


Fig. n°(11) : Etape n° 9 de régénération des lits mélangés

Tableau n°(9) : Les étapes de régénération du filtre à lit mélangée.

Étapes	Temps (min)	Débit de HCl à 30% (L/h)	Débit de NaOH à 30% (L/h)	Débit de H ₂ O(m ³ /h)	Pression d'air (bars)
Détassage	20	/	/	25	/
Pause	7	/	/	/	/
Remplissage	30	670	1067	Dilution de HCl : 3350 Dilution de NaOH: 6400	/
Rinçage	80	/	/	3350 + 6400	/
Pause	30	/	/	/	/
Abaissement du niveau d'eau	10	/	/	25	/
Reconstitution du mélange	7	/	/	/	0,5
Remplissage de l'espace vide	5	/	/	3350 + 6400	/

c)- La neutralisation : [28]

Les traitements de correction de pH souvent désignés par le terme de neutralisation, qui consiste à ramener le pH d'une eau à une valeur définie. Les solutions évacuées au niveau de la centrale ne peuvent pas être directement déversées dans le conduit des eaux résiduaires, car elles sont encore corrosives et pourraient endommager les canalisations et polluer l'environnement, il faut donc neutraliser ces solutions.

Les solutions conduites à la neutralisation viennent :

- De la régénération de l'installation.
- De lavage à contre-courant.
- Des filtres humides du réservoir HCl.
- Des filtres humides du réservoir NaOH.
- Des vidanges (lors de rinçages ou de mise en service).

Les composants principaux de l'installation de neutralisation sont (figure n°12) :

- Un bassin mélangeur.
- Une pompe aspirante.
- Deux ventilateurs à air mélangeurs.

- Deux réservoirs collecteurs.

Le capteur de niveau très haut donne une à larme en salle de commande et met la neutralisation en service automatique. La pompe de recirculation reste en service pendant 20 minutes avant toute injection, afin d'avoir un mélange homogène, et une mesure de pH correcte. Après 20 minutes, si le PH est bas (inferieur à 7), il y a injection de NaOH, s'il est supérieur à 7, injection de HCl

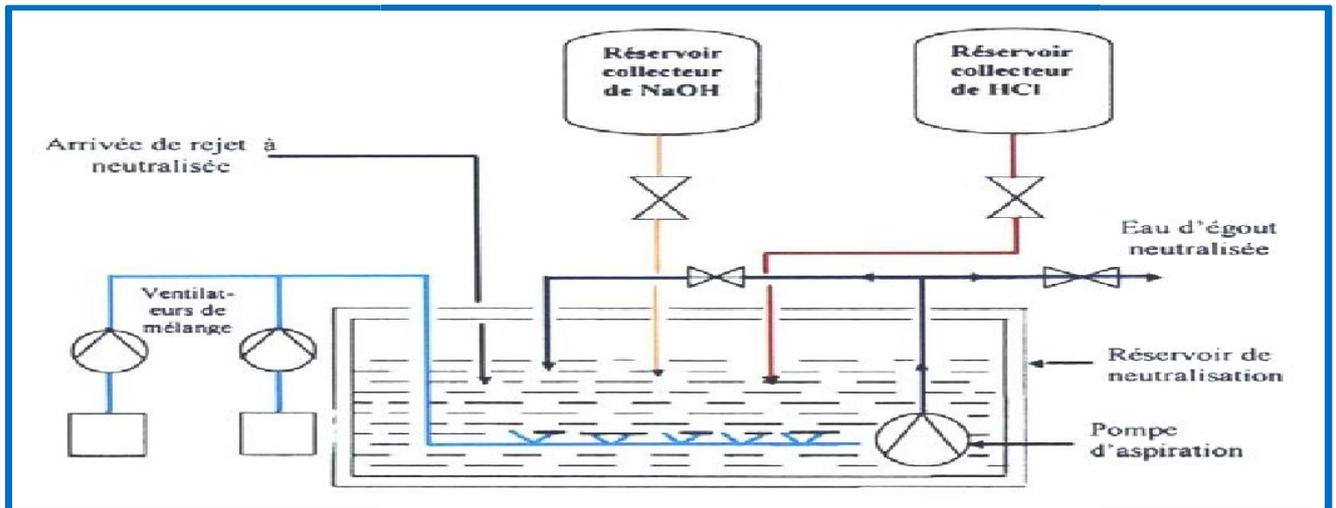


Fig. n° (12): Schéma de neutralisation

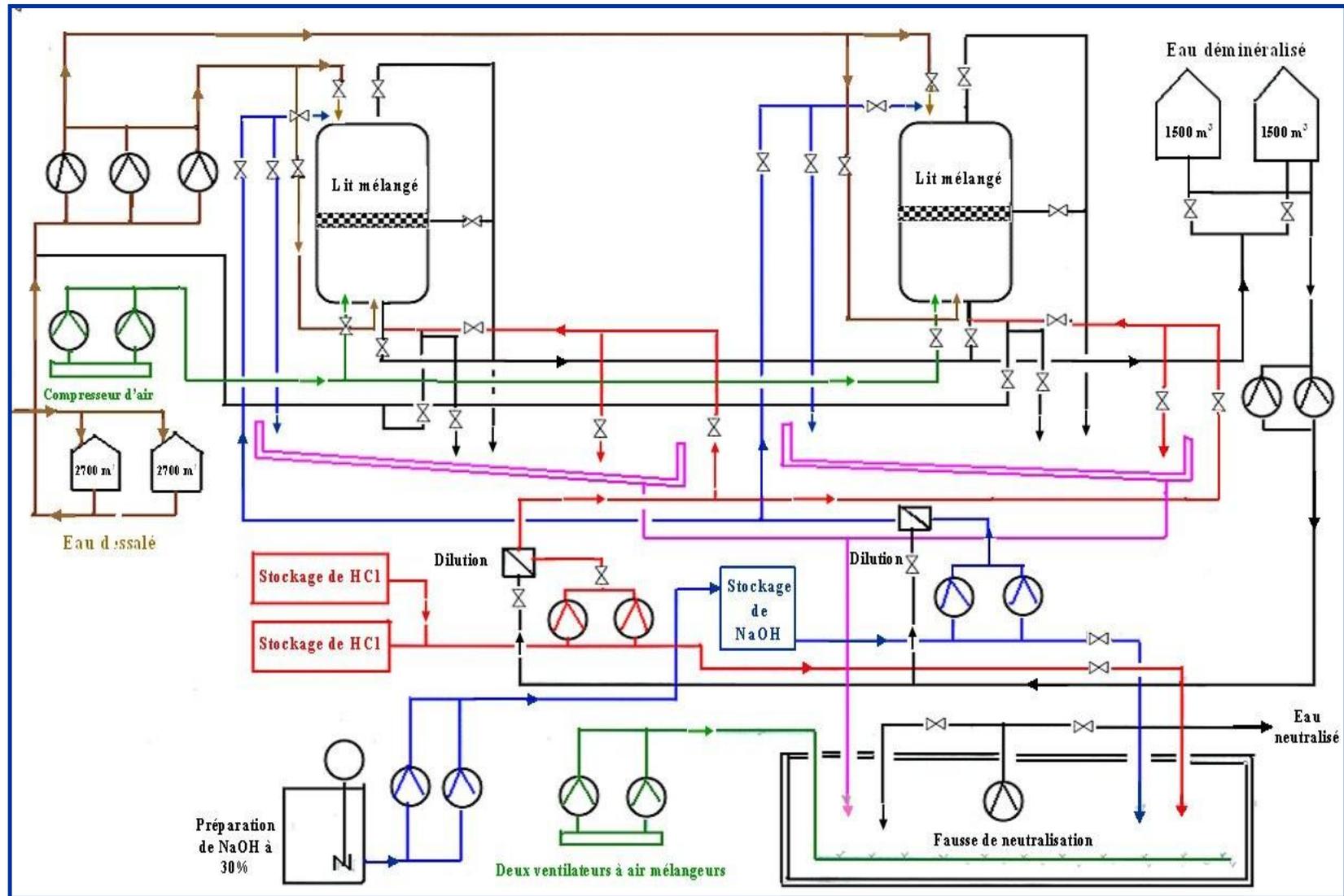


Fig. n°(13): Installation de déminéralisation de la centrale thermique de Cap Djinet

III. L'entraînement dans la vapeur : [18]

L'entraînement de corps minéraux volatils dans la vapeur à la température d'ébullition, dont le plus nocif est celui de la silice (SiO_2) qui se produit au dessus de 250°C . Ces sels se créent des trous sur les ailettes de la turbine entraînant de graves désordres dans leur fonctionnement.

Les entrainements, d'autant plus importants que la pression et la température, sont plus élevées. Ils sont en relation avec la concentration des éléments concernés dans l'eau du ballon.

II-3-1 Lutte contre les problèmes de circuit eau-vapeur:

Afin d'éliminer les problèmes de circuit eau-vapeur, des traitements appliqués en chaufferie vise à maintenir dans la chaudière [35]

- ❖ Un pH alcalin (supérieur à 9).
- ❖ Un excès de réducteur d'oxygène.
- ❖ Une teneur minimale de passivant des surfaces internes.
- ❖ Une viscosité (donc une salinité) aussi faible que possible.

Et chaque fois que l'usage de la vapeur le permet, un pH légèrement alcalin (8,5 à 9) dans la vapeur condensée.

❖ Le dégazage:

L'eau d'alimentation va subir un dégazage avant d'être envoyée à la chaudière. Il y a deux opérations :

a)- Le dégazage physique :

Il se fait à l'aide d'un dégazeur thermique (bâche dégazant). Il présente l'avantage d'éliminer non seulement l'oxygène, mais aussi les autres gaz dissous et particulièrement le gaz carbonique qui est très nocif, [38]

L'eau entre dans la bâche par le haut à l'intérieur de cette dernière, il y a un système de pulvérisation dont le but est d'éviter les chocs thermiques eau-vapeur et augmenter la surface et le temps de contact.

La vapeur entre par le bas avec une température de $282,2^\circ\text{C}$ jusqu'à $151,4^\circ\text{C}$. Cette température permet l'évaporation du CO_2 et O_2 dissous qui causent la corrosion.

La pression à l'intérieur de la bâche est de 0,15 bars. Donc, la bâche dégazant permet aussi un préchauffage d'eau à $151,4^\circ\text{C}$ pour éviter les chocs thermiques à l'entrée de la chaudière, [22].

b)- Le dégazage chimique: [22]

Le dégazage thermique permet une bonne diminution de la teneur en oxygène dissous. Cependant, l'expérience a prouvé que cette réduction n'était pas suffisante pour assurer une protection totale. De ce fait l'utilisation de réducteurs chimique s'est généralisée.

Le réducteur d'oxygène utilisé au niveau de la centrale thermique de Cap Djinet est l'hydrazine ($N_2H_4 \cdot H_2O$).

L'hydrazine réagit avec l'oxygène en ne donnant que des produits volatils non nocifs, théoriquement l'élimination de 32 grammes d' O_2 nécessite 32 grammes de N_2H_4 ou 50 grammes de $N_2H_4 \cdot H_2O$.

**❖ Injection de l'ammoniac (NH_3): [38]**

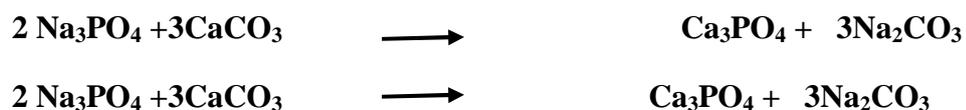
Une correction du pH est envisagée pour l'eau déminéralisée en utilisant l'ammoniac (NH_3). Ce dernier est un agent chimique basique, si on l'ajoute à l'eau, il augmente sa valeur de pH et, de cette manière, il réduit la corrosion sur les surfaces en acier normal. Le pH est maintenu entre 9.5 et 10.

❖ Injection de phosphate trisomiques (Na_3PO_4): [38]

Il garantit les fonctions suivantes :

Il contribue, dans le temps de la première mise en marche à limiter l'entraînement de l'oxyde de silicium vers la turbine et à faciliter son élimination par les soupapes de purge.

En cas de pénétration d'eau de mer, il agit par sa nature basique, contre la réduction de la valeur du pH par hydrolyse des sels de magnésium et calcium selon les deux réactions suivantes:



Et en aura ensuite :



Par conséquent, la dose de PO_4^{3-} diminue et le pH augmente. La soude, qui résulte et qui a une très forte concentration peut causer des inconvénients néfastes pour le rendement de la centrale, est éliminée par Na_2HPO_4 qui est ajouté à l'eau dans la chaudière et en aura :



Il faut donc ajouter 95 g de PO_4^{3-} pour 40 g de NaOH, pour éliminer les boues déposées. On réalisera des extractions de fond avec mise à l'égout

Chapitre IV :

Partie expérimentale

I. Analyses et interprétations des résultats :

Dans cette partie pratique et expérimentale on a effectué une série d'analyses physicochimiques de l'eau au niveau de cinq points de la station (de la centrale):

1°- A l'entrée de la station : c'est l'eau d'alimentation avant dessalement (l'eau de mer).

2°- L'eau dessalée (distillat).

3°- L'eau déminéralisée.

4°- La saumure avant dilution.

5°- La saumure après dilution (au niveau du canal de rejet).

I.1 Prélèvement des échantillons :

C'est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Globalement, il est donc nécessaire de mettre en place une organisation structurée, de développer une méthodologie adaptée à chaque cas, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvements et d'utiliser le matériel convenable. Quelque soit la méthode adoptée, les principes de bases suivants doivent être respectés :

- Localisation des différents points de prélèvement.
- Définir les quantités à prélever : le volume nécessaire pour une analyse complète est de 2 litres. Stabiliser l'échantillon en le conditionnant dans un récipient hermétique approprié. Les prélèvements seront effectués dans des flacons bien propres en polyéthylène ou en verre borosilicaté. Pour une meilleure conservation des échantillons, certains matériels sont à déconseiller comme les bouteilles en plastique ou en caoutchouc, leur réemploi poserait des problèmes de contamination résiduelle, [44]. Dans notre travail on a utilisé des flacons en polyéthylène qui sont lavés et séchés de la manière suivante :
- Lavage au détergent avec de l'eau plusieurs fois.
- Rinçage abondant avec de l'eau distillée, puis séchage.
- Avant remplissage, rinçage des flacons avec l'eau à analyser. Eviter toutes bulles d'air dans les flacons.

Les échantillons soigneusement étiquetés et conservés à 4°C seront transportés jusqu'au laboratoire dans un laps de temps ne dépassant pas 24 heures. Toutefois, un certain nombre d'analyses sont pratiqués sur place tel que la température et le pH, [44]. Etiqueter l'échantillon en précisant l'origine exacte et la date de prélèvement.

I.2 Les méthodes d'analyses :

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

Tableau n° 1 : 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	Complexométrie
Chlorure	Volumétrie

I.3 Analyse de l'eau de mer :

Analyse physico – chimique :

L'estimation de la qualité physico-chimique d'une eau ne peut s'effectuer pas la mesure d'un seul, mais d'un ensemble des paramètres de nature diverses. Des résultats anormaux dans le contrôle de paramètres permettent de déceler et d'évaluer les niveaux des pollutions.

Les pollutions de d'eau est fonction des substances dissoutes susceptibles d'être nuisibles qu'elle contient et, dont la plupart, ne sont décelables qu'a l'analyse.

❖ Analyses et interprétations des résultats:

Les analyses physico-chimiques des différents échantillons :

Les analyses physico-chimiques sont effectuées selon les protocoles expérimentaux présentés en annexe N°1.

Afin d'évaluer l'efficacité et la qualité du traitement des eaux adaptées pour la centrale thermique, il était nécessaire de suivre l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de l'entrée à l'unité de dessalement jusqu'à la phase de déminéralisation.

a)- Les résultats :

Le tableau n° 2 présente les caractéristiques de :

- L'eau de mer (eau brute).

Le tableau n° 3 présente les caractéristiques de :

- L'eau dessalée (distillat).
- L'eau déminéralisé.

Tableau n° 2 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer

Parameters d'analyses	Unites	Eau de mer			
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy
PH	-	7,85	7,81	7,83	7,83
Température	°C	22,72	22,70	22,72	22,71
Conductivité	µs/cm	54 500	55 900	55 100	55166,66
Salinité	mg/l	38750, 41	39825, 30	38812, 44	39129,38
Turbidité	NTU	0,336	0,365	0,315	0,338
TH	mg/l	1963.7	2098.2	2017.5	2033.99
THCa ²⁺	mg/l	420,84	480,96	460,92	454,24
THMg ²⁺	mg/l	1550,1 6	1625,0 4	1564,0 8	1579,75
TA	°F	00	00	00	00
TAC	°F	13,5	12	13	12,83
CO ₃ ²⁻	mg/l	00	00	00	00
HCO ₃ ⁻	mg/l	164,7	146,4	158,6	156,56
Chlorure (Cl ⁻)	mg/l	19 800	21 600	20 400	20 600
Sodium (Na ⁺)	mg/l	12285	12051	11928	12088
Potassium (K ⁺)	mg/l	421	425	416	420,66
2- Sulfate (SO ₄)	mg/l	3190	3250	3060	3166,66
Phosphate (PO ₄ ³⁻)	mg/l	0,41	0,47	0,40	0,42
Nitrite (NO ₂ ⁻)	mg/l	00	00	00	00
Nitrate(NO ₃ ⁻)	mg/l	00	00	00	00
Fer (Fe ³⁺)	mg/l	0,056	-	-	0,056
Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	0,003	-	-	0,003
Silice (SiO ₂ ⁻)	mg/l	0,16	0,14	0,17	0,15

Tableau n° 3 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau dessalée et l'eau déminéralisée.

Parameters d'analyses	Unités	Eau dessalée				Eau déminéralisé			
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy
PH	-	7,76	7,41	7,40	7,52	7,34	7,20	7,26	7,26
Température	°C	26,42	27,26	27,47	27,05	23,24	22,92	23,52	23,22
Conductivité	µs/cm	12,14	10,24	12,06	11,48	0,07	0,05	0,04	0,053
Salinité	mg/l	14,93	13,92	15,11	14,65	0,09	0,06	0,06	0,07
Turbidité	NTU	0,435	0,406	0,439	0,426	0,285	0,322	0,311	0,306
TH	mg/l	2,91	3,27	3,64	3,38	00	00	00	00
THCa ²⁺	mg/l	1,002	0,75	0,98	0,91	00	00	00	00
THMg ²⁺	mg/l	1,158	1,680	1,585	1,47	00	00	00	00
TA	°F	00	00	00	00	00	00	00	00
TAC	°F	1,00	0,75	0,90	0,88	00	00	00	00
CO ₃ ²⁻	mg/l	00	00	00	00	00	00	00	00
HCO ₃ ⁻	mg/l	12,20	9,15	10,98	10,77	00	00	00	00
Chlorure (Cl ⁻)	mg/l	9,20	8,70	8,90	8,93	00	00	00	00
Sodium (Na ⁺)	mg/l	2,83	2,47	2,20	2,50	00	00	00	00
Potassium (K ⁺)	mg/l	0,32	0,27	0,24	0,27	00	00	00	00
2-Sulfate (SO ₄)	mg/l	3,08	2,57	2,68	2,76	00	00	00	00
Phosphate (PO ₄ ³⁻)	mg/l	0,23	0,20	0,21	0,21	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	0,018	-	-	0,018	0,0016	-	-	0,0016
Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	0,045	-	-	0,045	0,003	-	-	0,003
Silice (SiO ₂ ⁻)	mg/l	0,24	0,21	0,21	0,022	0,002	0,002	0,002	0,002

b)- Interprétation des résultats :

Pour une analyse large des résultats, enregistrés dans le tableau précédent, et afin de pouvoir apprécier la qualité de traitement, les histogrammes ci-dessous représentent l'évolution des différents paramètres pour trois échantillons analysés.

❖ Le pH :

La figure n° 1 représente l'évolution du pH en fonction de l'eau traitée.

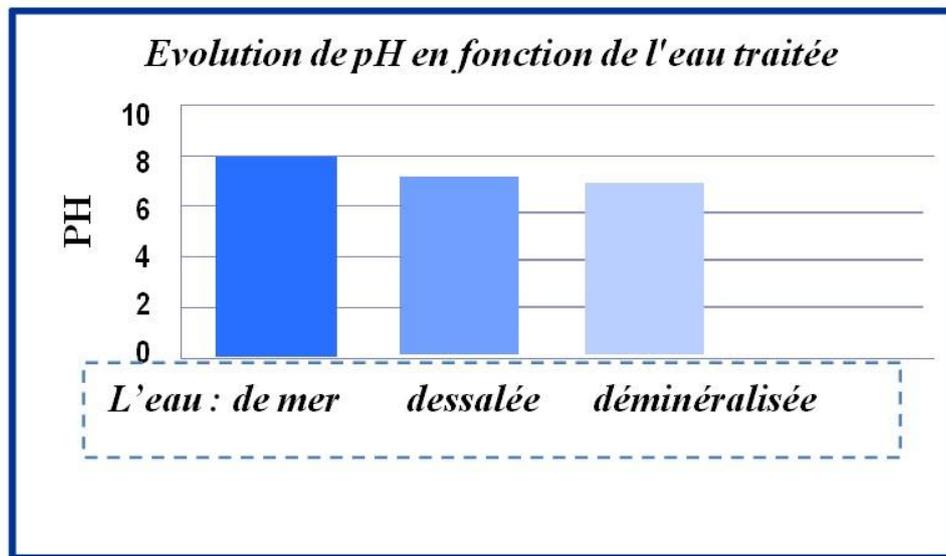


Fig. n°1: Evolution de pH

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 au niveau de la centrale de cap djinet , les procédés de distillation et de déminéralisation n'ont pas d'influence sur le pH.

❖ La température :

La figure n° 2 donne l'évolution de la température durant le traitement.

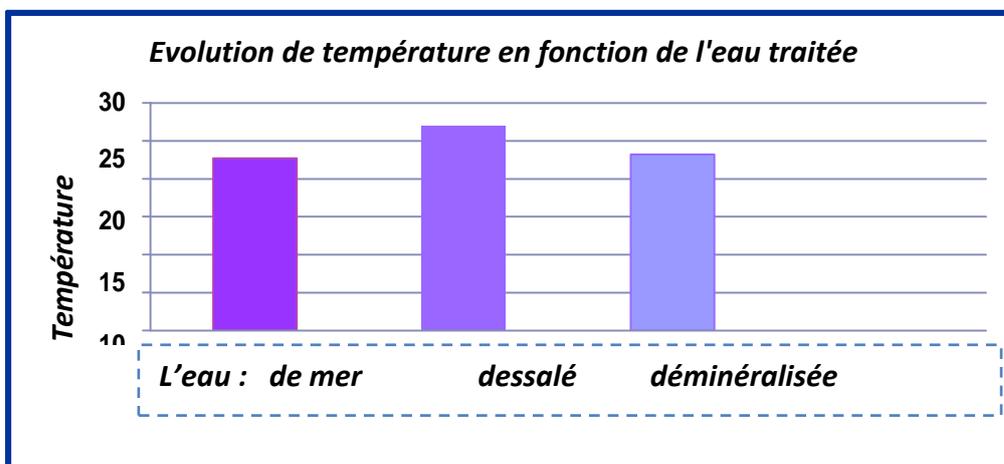


Fig. n°2 : Evolution de la température

D'après les résultats obtenus pour les trois qualités d'eau, on remarque une légère variation entre la température de l'eau de mer et celle de l'eau déminéralisée.

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).

❖ La conductivité et la salinité :

La figure n° 3 et n° 4 représentent respectivement l'évolution de la conductivité et de la salinité de l'eau traitée. La conductivité électrique est proportionnelle à la salinité d'une eau.

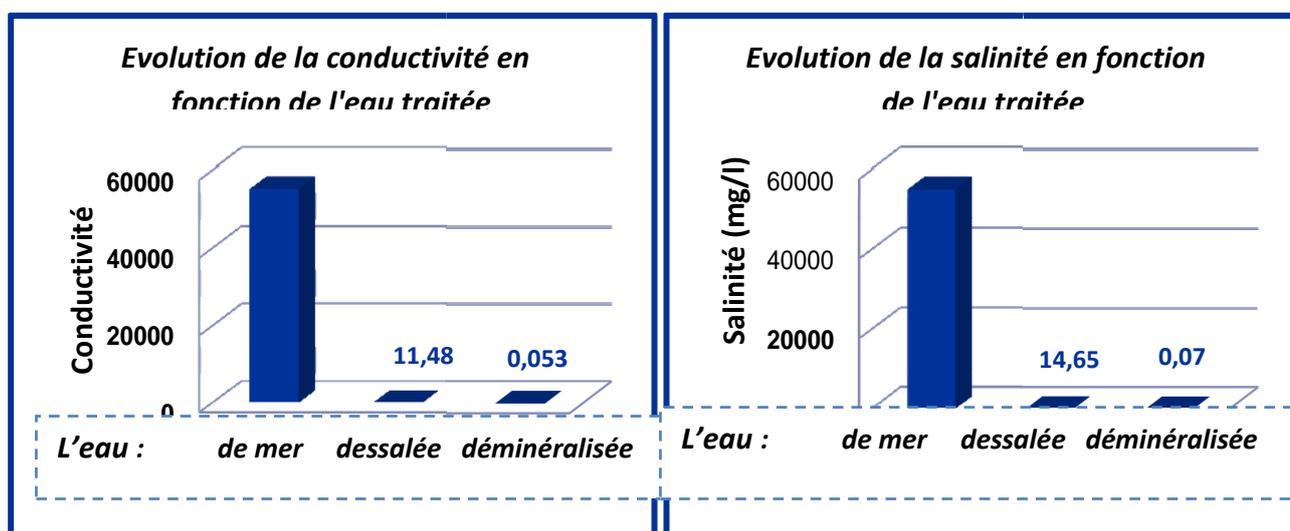


Fig. n°3 : Evolution de la conductivité

Fig. n°4 : Evolution de la salinité

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 55 et 56 ms/cm. Après la distillation, nous constatons une forte diminution, il ne reste que 11 μ s/cm dans le distillat. Enfin, nous obtenons une conductivité résiduelle de 0,05 μ s/cm par traitement sur lit mélangé.

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

❖ La Turbidité :

La figure n° 5 donne l'évolution de la turbidité durant le traitement.

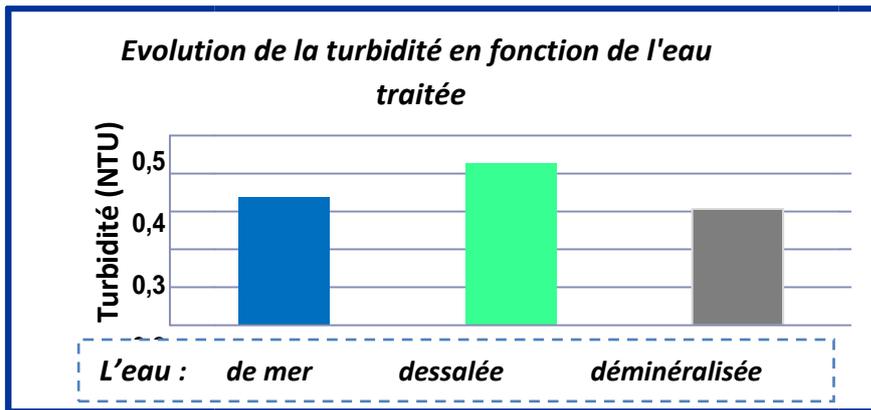


Fig. n°5 : Evolution de la turbidité

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 0,3 NTU c.-à-d elle est négligeable. Par conséquent, nous pouvons affirmer l'absence de matières en suspension.

❖ La dureté totale TH :

La figure n° 6 représente l'évolution de la dureté totale TH, TH Ca^{2+} et TH Mg^{2+} en fonction du l'eau traitée.

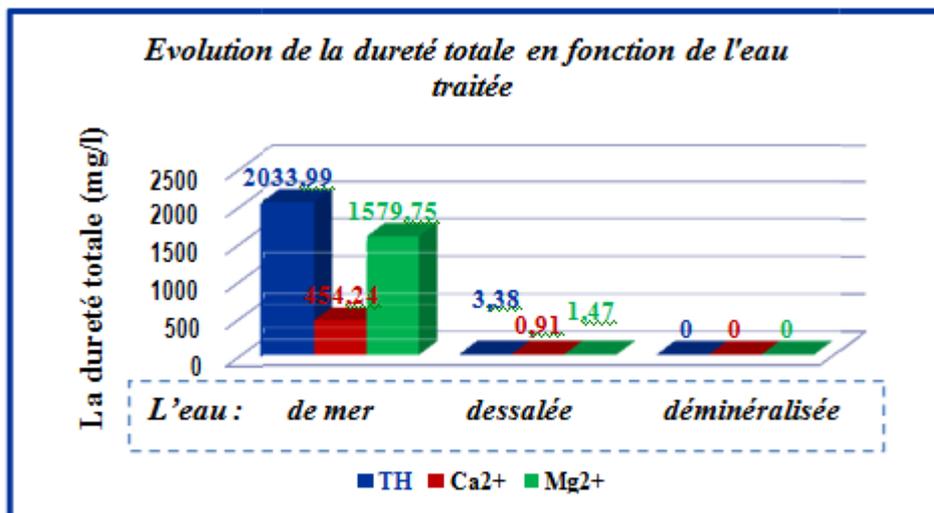


Fig. n°6 : Evolution de la dureté totale

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 3 fois 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.

❖ **Le titre alcalimétrique TA et TAC :**

La figure n° 7 représente l'évolution du TA et TAC en fonction de l'eau traitée.

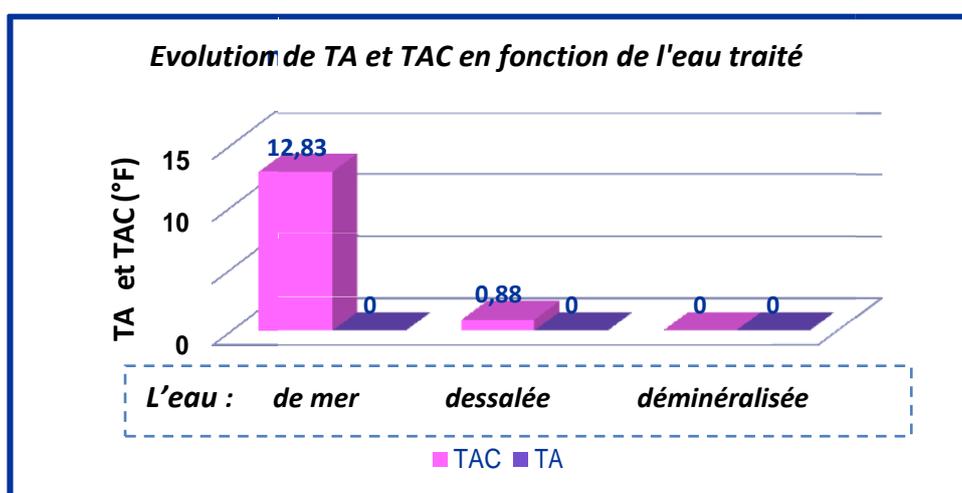


Fig. n°7 : Evolution de TA et TAC

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 hydrogénocarbonates HCO_3^- . La valeur de TAC obtenue pour l'eau brute est de $12,83^\circ\text{F}$. L'alcalinité est presque éliminée totalement par le procédé de distillation. Une valeur résiduelle de $0,88^\circ\text{F}$ 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.

❖ Les chlorures et le sodium :

La figure n° 8 représente respectivement l'évolution des chlorures et de sodium en fonction du l'eau traitée.

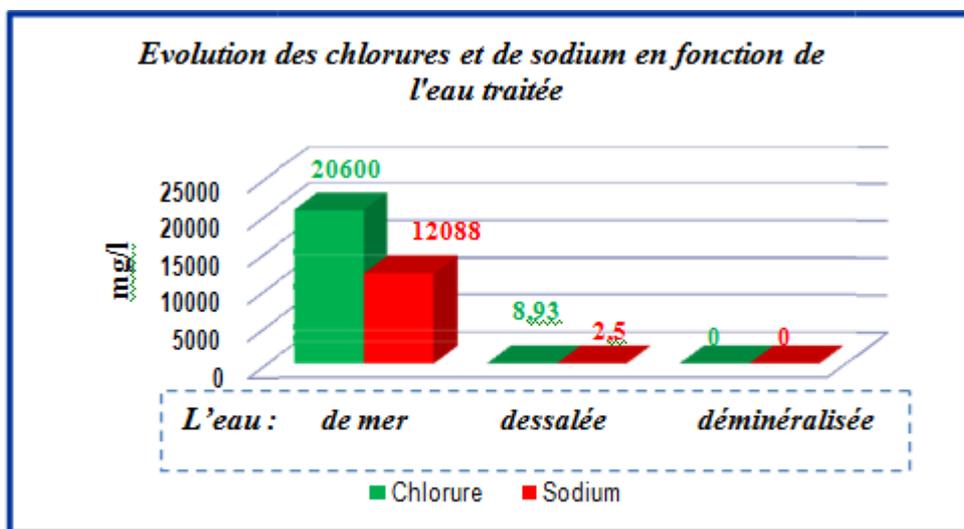


Fig. n°8 : Evolution des chlorures et de sodium

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

❖ Le fer, le cuivre et la silice :

La figure n° 9 représente respectivement l'évolution de fer, de cuivre et de la silice en fonction du l'eau traitée.

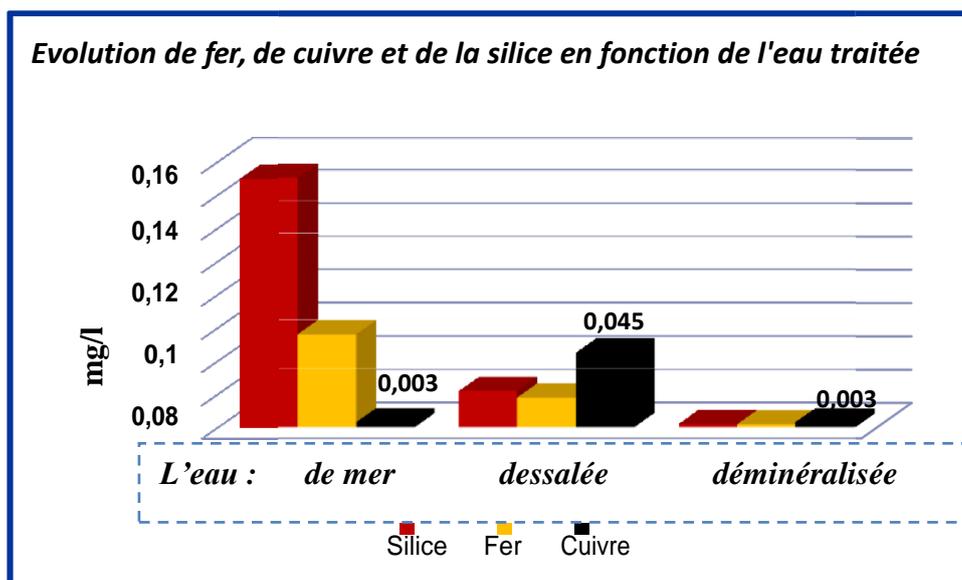


Fig. n° 9 : Evolution de Fer, de cuivre et de silice

L'analyse des ions ferriques et 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, $\text{CuNi}_{30}\text{Fe}$ »).

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 .

Conclusion:

On remarque que la distillation élimine la majeure partie des paramètres de l'eau de mer de leurs teneurs et le reste est 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.

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.

a)- Les résultats :

Le tableau n° 2 présente les caractéristiques de :

Saumure avant dilution.

Saumure après dilution.

Tableau n° 4: Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure avant et après dilution avec l'eau de refroidissement.

Parameters d'analyses	Unites	Saumure avant dilution				Saumure après dilution			
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy
PH	-	8,36	8,39	8,41	8,38	7,87	7,54	7,66	7,69
Température	°C	28,40	29,10	28,60	28,7	21,30	22,40	21,90	21,81
Conductivité	ms/cm	91,40	87,80	85,00	88,06	55,80	54,20	54,26	54,75
Salinité	mg/l	69830	69700	68907	69479	41200	40893	40228	40773
Turbidité	NTU	0,442	0,492	0,375	0,436	0,388	0,442	0,412	0,414
TH	°F	1050	1070	1030	1050	640	600	630	623,33
THCa ²⁺	mg/l	701,40	761,52	721,44	728,12	400,8	440,88	450,90	430,86
THMg ²⁺	mg/l	2133,60	2127,48	2059,56	2106,88	1327,20	1179,12	1250,10	1252,14
TA	°F	2,4	2,9	2,8	2,70	00	00	00	00
TAC	°F	20,20	19,80	19,60	19,86	12,50	12,20	12,40	12,36
CO ₃ ²⁻	mg/l	57,60	69,60	67,20	64,80	00	00	00	00
HCO ₃ ⁻	mg/l	305,00	312,32	307,44	308,25	152,5	148,48	151,28	150,75
Cl ⁻	mg/l	39100	35600	35400	36700	22500	22100	21900	22166
Na ⁺	mg/l	25520	25195	24978	25221	12257	12720	12526	12501
K ⁺	mg/l	870	840	842	850,66	490	486	470	482
2-SO ₄	mg/l	4560	4900	5010	4823	3020	3120	3050	3063
PO ₄ ³⁻	mg/l	0,47	0,45	0,49	0,47	0,34	0,29	0,27	0,30
NO ₂ ⁻	mg/l	00	00	00	00	00	00	00	00
NO ₃ ⁻	mg/l	00	00	00	00	00	00	00	00
Fe ³⁺	mg/l	0,066	-	-	0,066	0,045	-	-	0,045
Cu ²⁺	mg/l	0,067	-	-	0,067	0,01	-	-	0,010
SiO ₂ ⁻	mg/l	0,20	0,22	0,19	0,20	0,14	0,16	0,16	0,15

b) - Interprétation des résultats:

Nous remarquons que la saumure provenant des unités de dessalement sont très chargés en sel (69479 mg /l). Elle est deux fois concentrée par rapport à celle de l'eau de mer .

La conductivité de la saumure atteint une valeur maximale de 88 ms/cm due 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 54 ms/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 trouvées. Les rejets de saumure de la centrale électrique de Cap djinet ont les mêmes caractéristiques du milieu récepteur (eau de mer). Donc on peut dire que ces derniers sont bien dilués et par conséquent les rejets de saumure de la centrale n'ont d'impacts sur l'environnement et sur le milieu marin.

II. 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.

a)- Résultats :

Le tableau n° 3 présente les caractéristiques des différents échantillons d'eau prélevé au niveau de l'unité de dessalement.

Tableau n° 5 : Analyse physico-chimique des différents échantillons.

Echantillon	Mesure	Valeur limite (Annexe N°2)	Valeur mesurée
Eau de mer	pH	7,5-7,8	7,75
	Conductivité (µs/cm)	60	53,5
Eau de Chaudière	pH	9	9,05
	Conductivité (µs/cm)	1000	93,9
Distillat	pH	5-8	7,19
	Conductivité (µs/cm)	30	12,14
	Cuivre (ppm)	0,15	0,017
Saumure de recirculation	pH	8	8,11
	Conductivité (ms/cm)	112	84,6
	TA (°F)	/	5,5
	TAC (°F)	/	14,5
Rejet de saumure	pH	8	7,8
	Conductivité (ms/cm)	120	82,8
	TA (°F)	/	7
	TAC (°F)	/	16

b) - Interprétation des résultats:**❖ 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 9,5. 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 8,11. Cette simple augmentation est due à l'injection des produits chimiques (antitartre et anti mousse).

❖ 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 (53500 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Après la distillation, la majeure partie de cette conductivité est éliminée, il ne reste que 12,14 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 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 $\mu\text{s}/\text{cm}$. L'augmentation de cette dernière jusqu'à 93,9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 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 (82,8 $\mu\text{s}/\text{cm}$) est inférieure à celle de la saumure de recirculation (84,6 $\mu\text{s}/\text{cm}$), 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.

❖ TA, TAC :

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

❖ 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, $\text{CuNi}_{30}\text{Fe}$). La valeur du cuivre relevée est inférieure à la valeur limite, ce qui indique que les conduites ne sont pas corrodées.

III. Contrôle de circuit eau-vapeur :

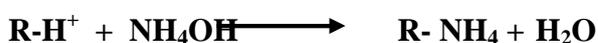
Le but de ce contrôle est de vérifier la pureté de l'eau d'appoint, s'il y a éventuellement une entrée d'eau de mer, ou d'autre impuretés.

❖ Deux mesures de conductivité sont effectuées :

Une dite mesurée, qui représente la conductivité de l'eau avec la présence des ions NH_4^+ qui est du à l'injection de NH_3 (en vue d'élever le pH à plus de 9,5).

L'autre dite corrigée, qui représente la valeur donnée par le conductimètre placé à la prise d'échantillon. Il donne la conductivité de l'eau après avoir débarrassé les ions NH_4^+ .

Les ions NH_4^+ sont éliminés de l'eau au moyen d'une résine cationique (R-H^+). Elles sont retenues par la résine comme suit :



Cette résine est régénérée après saturation avec HCl à 5%. De ce fait, la conductivité peut nous renseigner sur la pureté de notre eau.

Tableau n°6 : Les résultats des analyses effectuées au circuit eau-vapeur.

Point de pris d'échantillon		PH	Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$		TH (°F)	Cl^- (mg/l)	Cu ppm	Fe ppm	SiO_2 ppm
			Brute	Corrigée					
		9,2 - 9,5	/	3	0	1	/	0,02	0,25
		9,44	7,25	0,4	0	0	0,03	0,01 8	0,04 4
Vapeur surchauffé	Consigne	9,5 - 9,8	/	0,2				0,02	0,02
	Mesure	9,62	8,50	0,06				0,01 5	0,01 0
Vapeur Résurchauffeur	Consigne	9,5 - 9,8	/	0,2				0,02	0,02
	Mesure	9,67	8,14	0,06				0,01 4	0,01 8
Vapeur saturée	Consigne	9,5 - 9,8	/	0,2					
	Mesure	9,65	8,63	0,07					
Eau d'extraction	Consigne	9,5 - 9,8	/	0,2					
	Mesure	9,70	8,25	0,18					
Eau d'alimentation	Consigne	9,5 - 9,8	/	0,2					
	Mesure	9,76	8,52	0,15					
Eau d'appoint	Consigne	9,5 - 9,8	/	1					
	Mesure	9,70	8,67	0,68					
Eau de réfri- gération	Consigne	10 - 10,5	/						
	Mesure	10,18	57,92						

b) - Interprétation des résultats:**❖ Les eaux d'extraction (condensées) :**

Les analyses effectuées sur l'eau condensée ont donné des résultats satisfaisants, ils sont conformes aux normes de la centrale.

En effet, la valeur du pH est supérieure à 9,5. Donc, la corrosion est négligeable.

La valeur de la conductivité est légèrement supérieure à zéro, ce qui explique l'absence des charges électriques des ions présents dans l'eau. Donc pas d'entrée d'impuretés.

❖ Les eaux d'alimentation :

Le générateur de vapeur est alimenté par l'eau d'appoint et le retour de condensats. Concernant les valeurs mesurées de pH et de conductivité, ils répondent aux normes exigées. Donc, cette eau ne pose aucun inconvénient sur le circuit eau-vapeur.

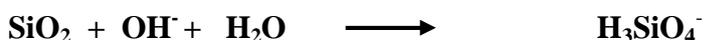
❖ Les eaux du ballon chaudière :

Les valeurs du pH et conductivité, des éléments Cu^{2+} , Fe^{2+} et SiO_2 sont conformes aux normes. En effet, le pH est inférieur à 9,5 du à l'injection de NH_3 .

La conductivité corrigée est légèrement supérieure à zéro ce qui explique l'absence des ions, donc pas d'entrée d'impuretés.

La silice est présente en petite concentration et cela s'explique par sa fixation difficile par les résines, mais ces valeurs restent toujours acceptables puisqu'elles sont inférieures aux normes.

Dans les eaux naturelles, la silice se présente tout comme l'acide carbonique, sous forme non ionique (SiO_2). En milieu alcalin (eaux des chaudières) il se forme des ions d'ortho-silicate primaire d'après l'équation :



Les teneurs élevées de SiO_2 dans les eaux de chaudières ne représentent aucun danger (formation de dépôts), pourvu que l'eau ne soit pas dure. Par contre, le taux de silicates doit être réduit pour des installations à turbines, car sinon il y a danger de formation de silicates sur les pelles des turbines.

❖ La vapeur surchauffé :

Les analyses effectuées sur la vapeur surchauffée (après réfrigération) ont donné des résultats satisfaisants, en conformité avec les normes exigées.

La vapeur est de bonne qualité, elle est pauvre en ions de l'eau et entraîne une faible concentration en SiO_2 qui est négligeable.

❖ La vapeur resurchauffée :

Les valeurs de pH, SiO₂ et de conductivité répondent aux normes exigées pour la centrale, donc elles n'influent pas négativement sur les canalisations.

❖ La vapeur saturée :

Les valeurs mesurées répondent aux normes donc ne pose aucun inconvénient sur le circuit eau- vapeur.

IV. Étude comparative :

Cette étude consiste à suivre l'évolution dans le temps des caractéristiques physico-chimiques de l'eau dessalée, l'eau déminéralisée, l'eau de mer et la saumure avant et après dilution.

Tableau n° 7: résultat d'analyse de l'eau dessalée et déminéralisée des années (2013, 2017, 2021)

Paramètre	Année	Eau dessalée			Eau déminéralisée		
		2013	2017	2021	2013	2017	2021
	Unité						
PH	/	7.51	7.59	7.52	7.20	7.19	7.26
Température	C°	25.53	26.62	27.05	20.26	19.40	23.22
Conductivité	µs/cm	15.43	12.71	11.48	0.06	0.066	0.053
Salinité	mg/l	15.83	17.48	14.65	0.07	0.218	0.07
Turbidité	NUT	0.17	0.336	0.426	0.11	/	0.306
TH	°F	0.91	0.88	0.88	00	00	00
TH _{Ca²⁺}	mg/l	0.86	0.91	0.91	00	00	00
TH _{Mg²⁺}	mg/l	1.69	1.47	1.47	00	00	00
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	8.04	8.98	8.93	00	00	00
TA	°F	0	00	0	00	00	00
TAC	°F	0.66	0.85	0.88	00	00	00
CO ₃ ²⁻	mg/l	0	/	0	00	00	00
HCO ₃ ²⁻	mg/l	8.23	10.37	10.77	00	00	00
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	mg/l	26,25	3.88	2.76	00	00	00
Phosphates (PO ₄ ²⁻)	mg/l	0.024	0.18	2.21	00	00	00
Nitrite (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.017	/	0	00	00	00
Nitrate	mg/l	<1	/	0	00	00	00
Fer(Fe ^{3*})	mg/l	0.001	0.016	0.018	00	0.0012	00
Cuivre	°F	0.034	0.041	0.045	00	0.003	00
Silice	mg/l	0	0.022	0.022	00	0.002	0.0016
Sodium (Na [*])	mg/l	1.835	2.35	2.60	00	00	0.003
Potassium (K [*])	mg/l	1.569	0.26	0.27	00	00	0.002

Variation des caractéristique des caractéristiques d'eau dessaler et déminéraliser :
 Les figures ci-dessous montrent l'évolution des paramètres entre les années 2013,2017 et 2021.

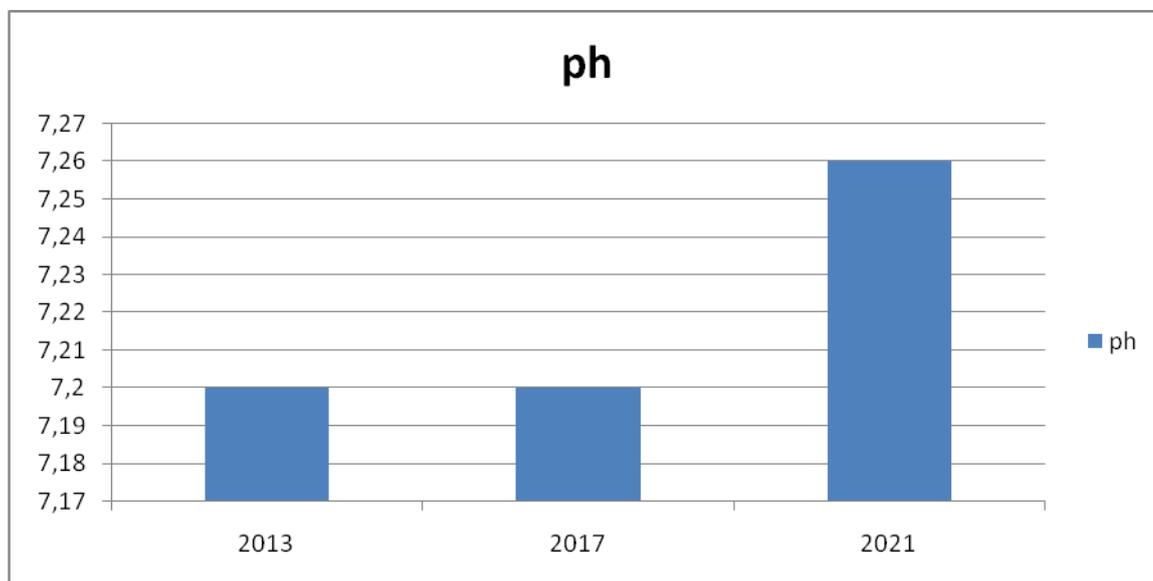


Fig. (10) : évolution du PH de l'eau déminéralisé au cours des années suivantes (2013, 2017,2021)

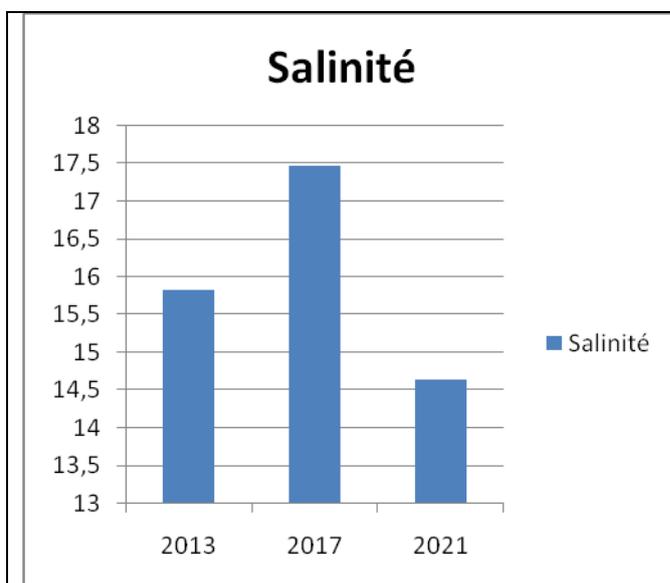


Fig. (11) : évaluation du Salinité de l'eau dessalée à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

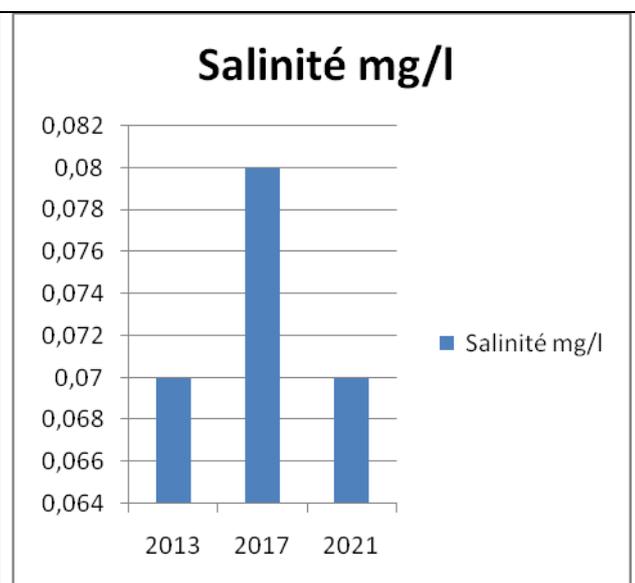


Fig. (12) : évaluation du Salinité d'eau déminéralisée au cours des années suivantes (2013, 2017,2021)

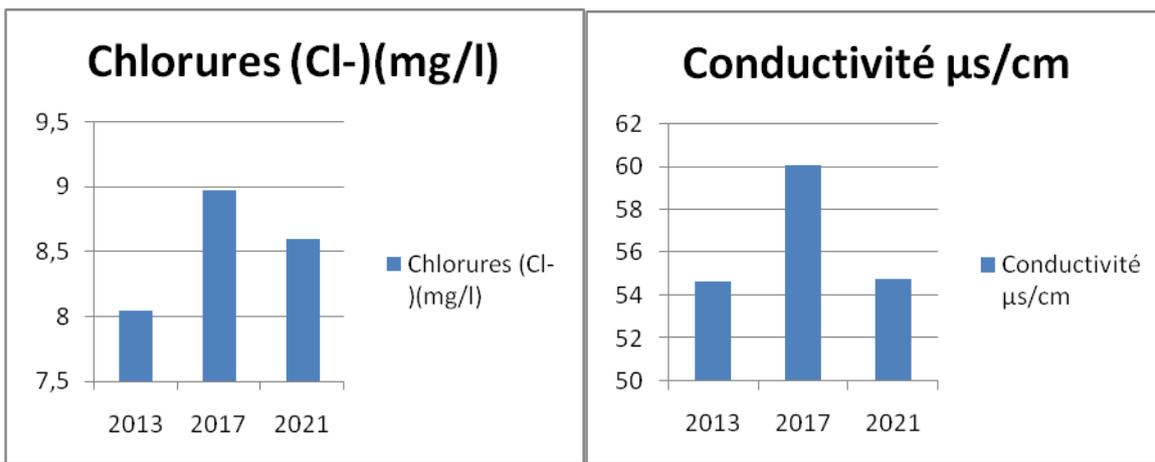


Fig. (13) : évaluation du Chlorures (Cl⁻) de L'eau dessalée à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

Fig. (14) : évaluation du Conductivité de l'eau dessaler à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

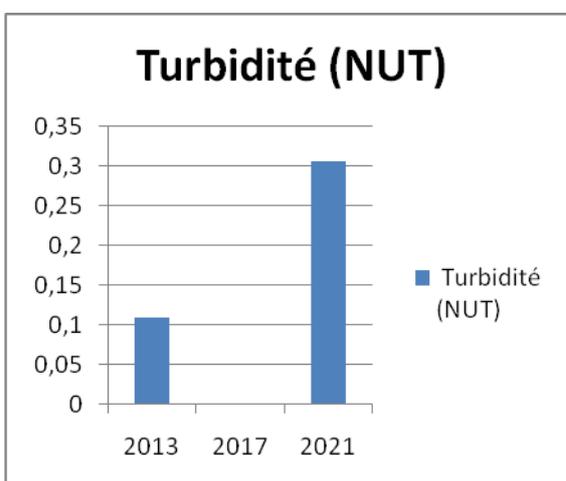


Fig. (16) : évaluation du Turbidité de l'eau déminéralisé à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

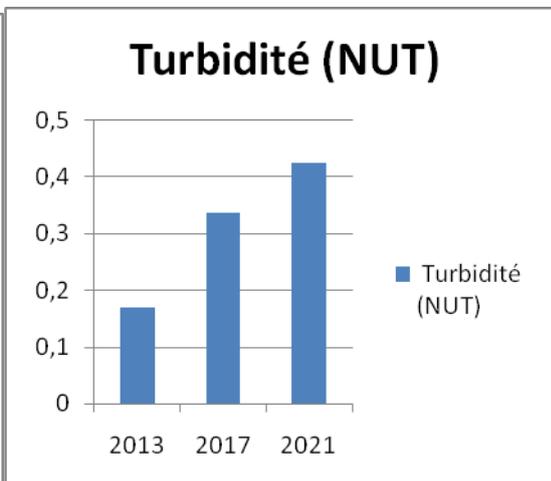


Fig. (15) : évaluation du Turbidité de L'eau dessalée à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

Tableau n° 8 : l'analyse physico-chimique d'eau de mer des années (2013, 2017,2021)

Paramètre	Année	2013	2017	2021
	Unité			
PH	/	8.00	8.02	7.83
Température	C°	18.43	18.16	22.71
Conductivité	µs/cm	52100	46760	55166.66
Salinité	mg/l	3520	3866	39129.38
Turbidité	NUT	0.45	0.444	0.338
TH	°F	708.33	713.33	753.33
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	460	463.33	454.24
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	1482.3	1421.1	1579.75
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	19306	19632	20600
TA	°F	2.33	-	0
TAC	°F	12.33	12.73	12.83
CO ₃ ²⁻	mg/l	56	-	0
HCO ₃ ²⁻	mg/l	93.53	155.34	156.56
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	mg/l	2985.62	3001.73	3166.66
Phosphates (PO ₄ ²⁻)	mg/l	0.124	0.35	0.420
Nitrite (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.017	0.012	0
Nitrate	mg/l	<1	0.8	0
Fer (Fe ^{3*})	mg/l	0.002	0.024	0.056
Cuivre	°F	0.024	0.03	0.03
Silice	mg/l	0.083	0.143	0.16
Sodium (Na [*])	mg/l	13388	13360	12088
Potassium (K [*])	mg/l	425.39	423	421

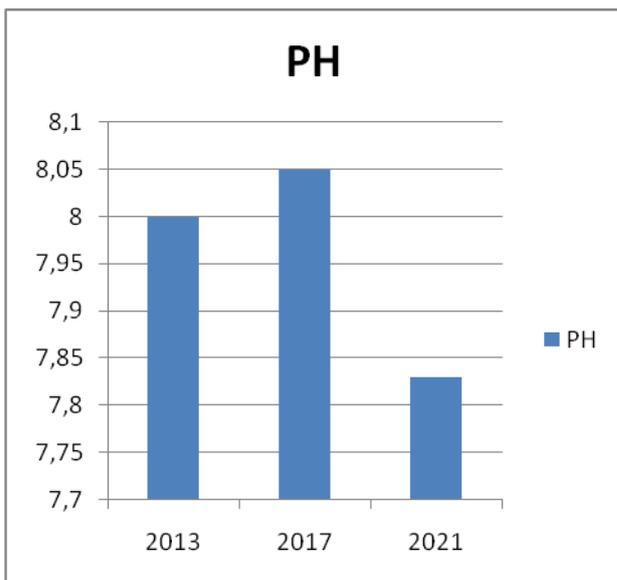


Fig. (17) : évaluation du PH de l'eau de mer à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

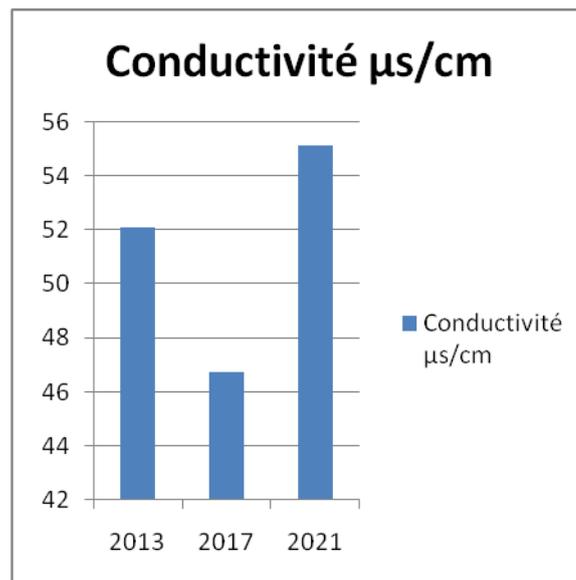


Fig. (18) : évaluation du Conductivité d'eau de mer à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

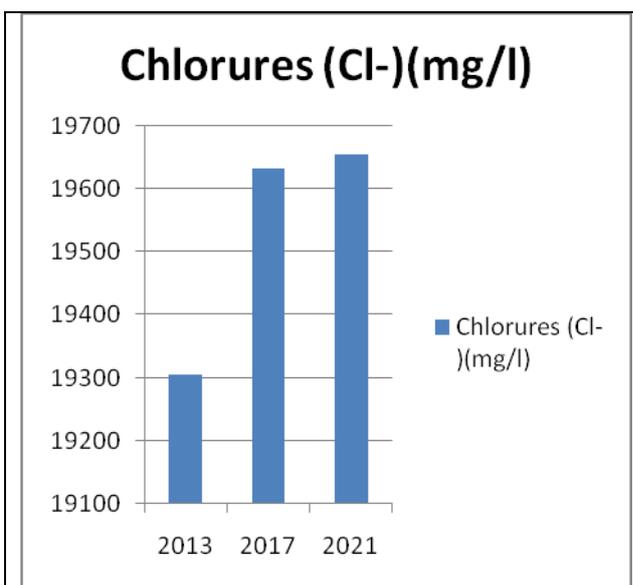


Fig. (19) : évaluation du Chlorures (Cl⁻) de l'eau de mer à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

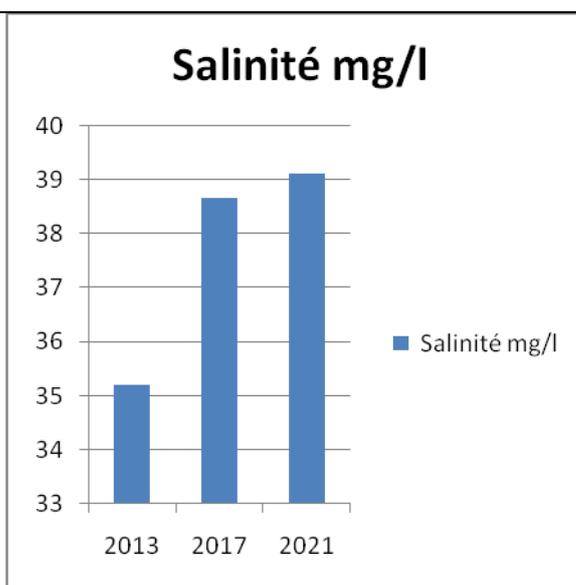


Fig. (20) : évaluation du Salinité de l'eau de mer à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

Tableau n°9 : analysée des saumure avant et après dilution des années (2013, 2017,2021)

Paramètre	Année	Saumure avant dilution			Saumur après dilution		
		2013	2017	2021	2013	2017	2021
PH	/	8.39	8.37	8.38	7.95	7.65	7.69
Température	C°	28.15	28.08	28.7	21.23	21.35	21.81
Conductivité	µs/cm	101	88.43	88.06	54.66	54.69	54.75
Salinité	mg/l	61200	69479	6949	39350	40772	40773
Turbidité	NUT	1.43	0.460	0.436	0.57	0.325	0.414
TH	°F	854.16	1050	1050	687.50	623.33	623.33
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	726.66	728.12	728.1	473.33	430.76	430.86
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	1634.17	2082.56	2106.2	1383.0	1240.1	1252.1
Chlorures (Cl)	mg/l	31831.6	36333.6	3670	21181.6	22037	22166
TA	°F	3.5	2.8	2.70	1.58	0	0
TAC	°F	15.83	19.89	19.86	12.33	12.43	12.36
CO ₃ ²⁻	mg/l	84	67.2	64.80	38	0	0
HCO ₃ ²⁻	mg/l	107.76	174.41	308.2	11383	15168	150.75
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	mg/l	4568.57	4804	4823	3292.5	3075.6	3063
Phosphates (PO ₄ ²⁻)	mg/l	0.042	0.47	0.47	0.091	0.30	0.30
Nitrite (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.017	0.012	0	0.017	0.012	0
Nitrate	mg/l	<1	0.8	0	<1	0.8	0
Fer (Fe ^{3*})	mg/l	0.005	0.066	0.066	0.003	0.045	0.45
Cuivre	°F	0.122	0.061	0.67	0.085	0.012	0.01
Silice	mg/l	0.197	0.20	0.029	0.087	0.16	0.15
Sodium (Na [*])	mg/l	26360	25231	2521	13940	12549	12501
Potassium (K [*])	mg/l	754	850.66	850.6	550	480	482

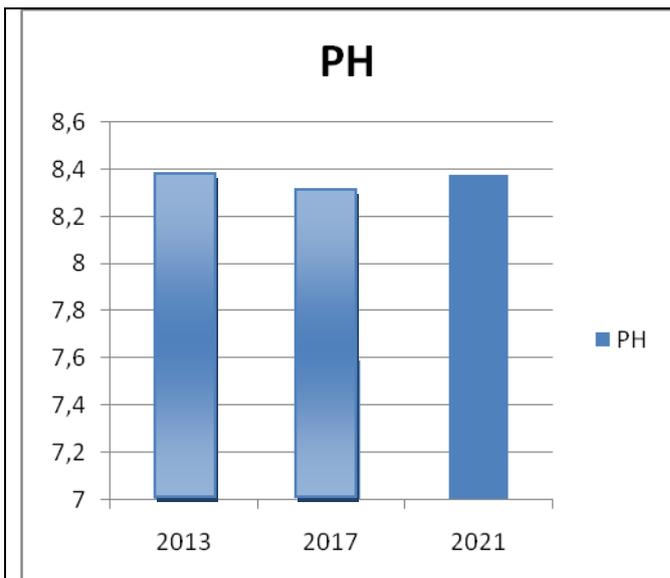


Fig. (21) : évaluation du PH de Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

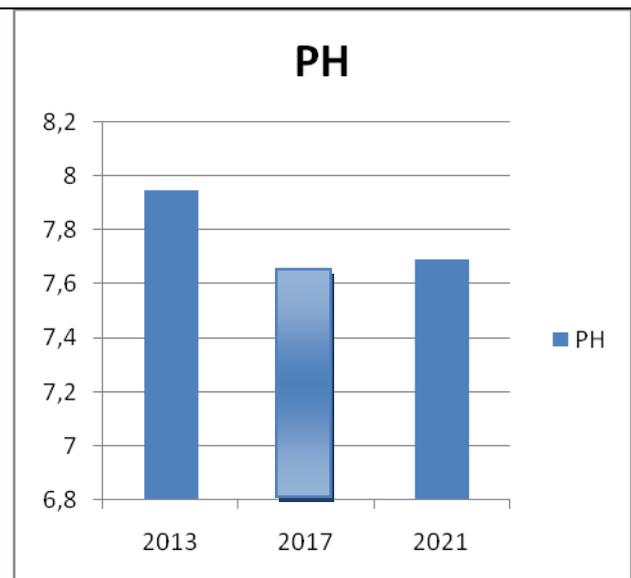


Fig. (22) : évaluation du PH de Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

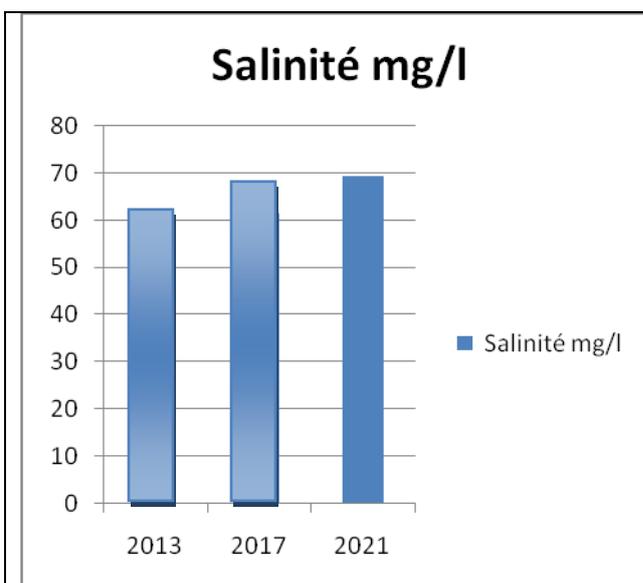


Fig. (23) : évaluation du Salinité de Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

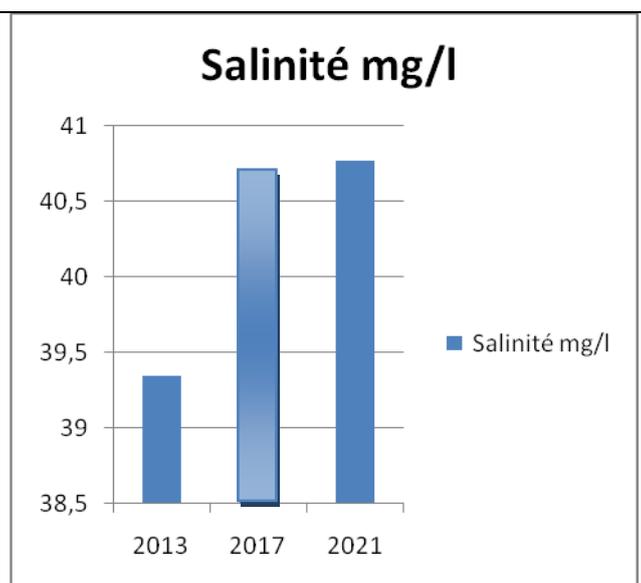


Fig. (24) : évaluation du Salinité de Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

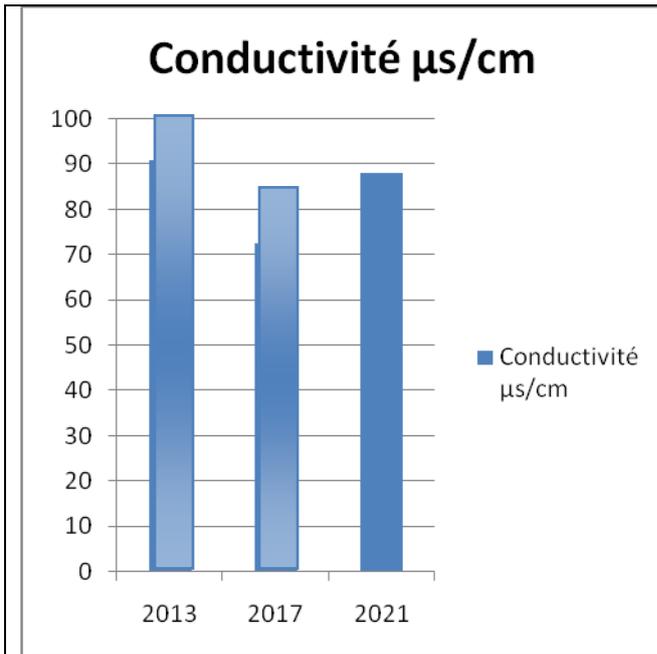


Fig. (25) : évaluation du Conductivité de Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

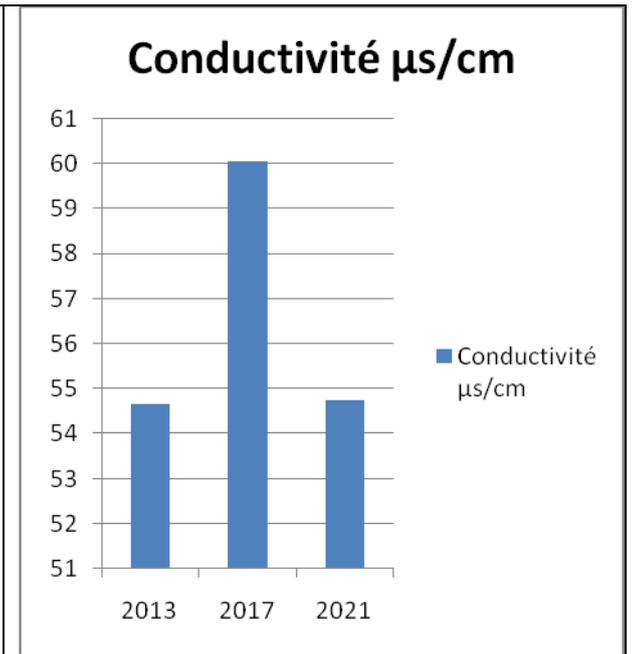


Fig. (26) : évaluation du Conductivité de Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

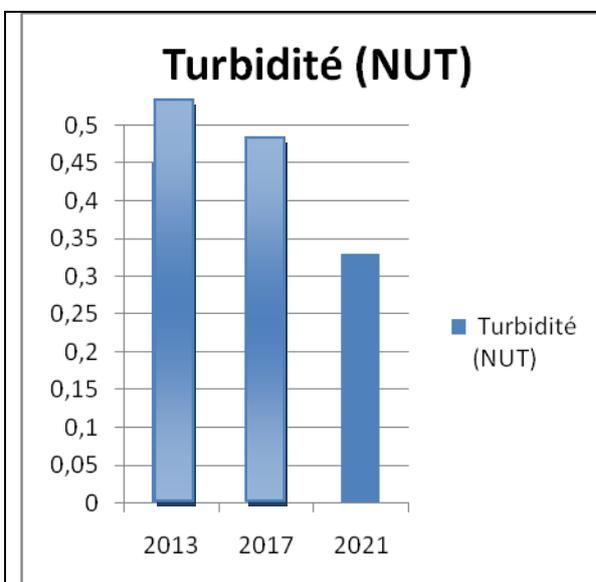


Fig. (27) : évaluation de la turbidité de Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

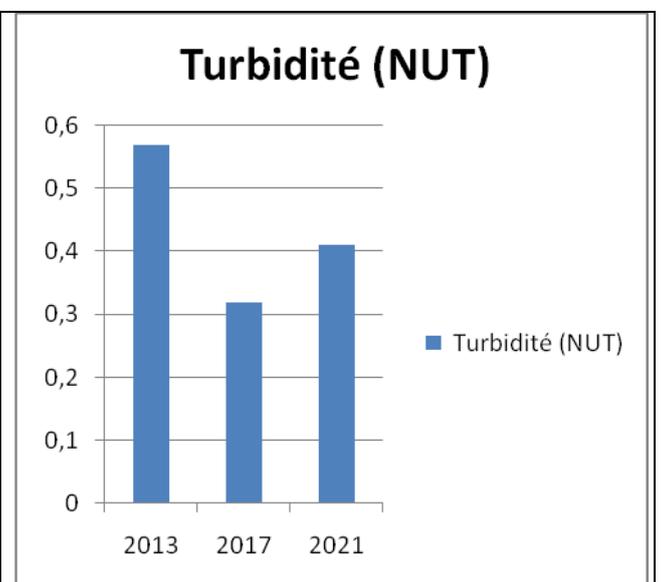


Fig. (28) : évaluation de la turbidité de Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

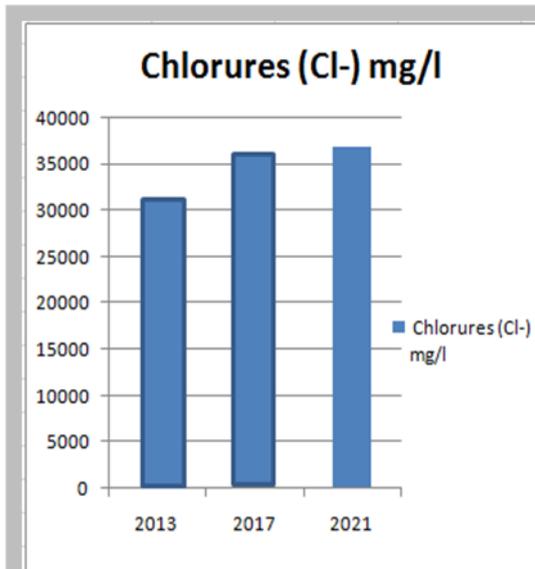


Fig. (29) : évaluation du Chlorures Saumure avant dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

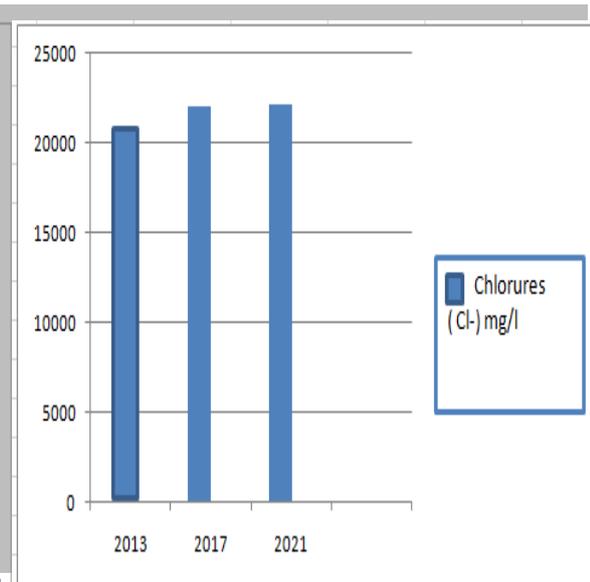


Fig. (30) : évaluation Saumur après dilution à la cour des années suivantes (2013, 2017,2021)

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Un ion est un atome (constituant de base de la matière) ou un groupe d'atomes qui possède une charge électrique positive ou négative. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée.

Il y a une relation entre les différents paramètres (Conductivité, Salinité, Chlorures...etc.).

Quand on a une augmentation de la salinité \longleftrightarrow une augmentation de la conductivité
 une augmentation des Chlorures \longleftrightarrow



D'après la Fig. (20) on remarque une augmentation significative de la salinité de l'eau de mer au cours des années.

Hypothèse :

Peut –être que cette augmentation est due à l'interaction des rejets de saumure de la station de dessalement de l'eau de mer de CDJ Cap djinet de capacité de production de 100 000 m³/j et un débit de rejet d'environ de 124 000 m³/j et de salinité qui dépasse 67g/l avec les eaux de captage de la centrale électrique.

On remarque sur la figure (18) une augmentation de la Conductivité de l'eau de mer. car il y a une augmentation des ions dans l'eau de mer résultant du rejet qui contient des sels et des ions

Tableau n°10 : Comparaison d'analyse de saumure après dilution avec l'eau de mer de l'année 2013

Paramètre	Année	Saumure après dilution	Analyse de l'eau de mer
	Unité	2013	2013
PH	/	7.95	8.00
Température	C°	21.23	18.43
Conductivité	ms/cm	54.66	52.1
Salinité	mg/l	39.35	35.2
Turbidité	NUT	0.75	0.45
TH	°F	687.50	708.33
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	473.33	460
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	1383.07	1482.3
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	21181.66	19306
TA	°F	1.58	2.33
TAC	°F	12.33	12.33
CO ₃ ²⁻	mg/l	38	56
HCO ₃ ²⁻	mg/l	113.83	93.53
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	mg/l	3292.50	2985.62
Phosphates (PO ₄ ²⁻)	mg/l	0.091	0.124
Nitrite (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.017	0.017
Nitrate	mg/l	<1	<1
Fer (Fe ^{3*})	mg/l	0.003	0.002
Cuivre	°F	0.085	0.024
Silice	mg/l	0.087	0.083
Sodium (Na [*])	mg/l	13940	13388
Potassium (K [*])	mg/l	550	425.39

Tableau n°11 : Comparaison d'analyse de saumure après dilution avec l'eau de mer de l'année 2017

Paramètre	Année	Saumure après dilution 2017	Analyse de l'eau de mer 2017
	Unité		
PH	/	7.65	8.02
Température	C°	21.35	18.16
Conductivité	ms/cm	54.69	46.76
Salinité	g/l	40.77	38.66
Turbidité	NUT	0.32	0.444
TH	°F	623.23	713.33
TH _{Ca} ²⁺	mg/l	430.76	463.33
TH _{Mg} ²⁺	mg/l	1240.14	1421.1
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	22034	19632
TA	°F	0	0
TAC	°F	12.43	12.73
CO ₃ ²⁻	mg/l	0	0
HCO ₃ ²⁻	mg/l	151.68	155.34
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	mg/l	3075.66	3001.73
Phosphates (PO ₄ ²⁻)	mg/l	0.3	0.35
Nitrite (NO ₃ ⁻)	mg/l	0.012	0.012
Nitrate	mg/l	0.8	0.8
Fer (Fe ^{3*})	mg/l	0.045	0.024
Cuivre	°F	0.012	0.03
Silice	mg/l	0.16	0.143
Sodium (Na [*])	mg/l	12549	13360
Potassium (K [*])	mg/l	480	423

❖ Interprétation des résultats :

D'après les tableaux ci-dessus :

On remarque que la T° est élevée et ça est due à la distillation qui produit une eau de rejet (saumure) chaude Et la conductivité augmente avec l'augmentation de la température.

La concentration de Chlorure (Cl⁻) est élevée à cause de l'injection d'eau de javel pour éviter le développement micro organismes.

Chapitre IV :

*Impacts du dessalement et la
gestion de rejet*

Introduction :

Quel que soit le procédé de dessalement utilisé, toutes les stations de dessalement produisent d'importantes quantités de saumure. Les statistiques parlent des centaines des milliers de tonnes de saumure qui sont rejetées quotidiennement dans la mer depuis des stations de dessalement. Ces rejets hypersalins des stations effectués à proximité du rivage risquent de contaminer la nappe phréatique et de causer la perte de la faune et flore marines. Les types de pollution peuvent être causés par le dessalement.

Le premier type c'est un le rejet des saumures concentrées qui s'infiltrent dans le sol entraînant une pollution et perturbe l'écosystème marin.

Le deuxième type, c'est les émissions des gaz à effet de serre découlent de la grande consommation d'énergie, impliquant le réchauffement climatique. La plupart des usines et surtout les plus grandes ont, en effet recours aux énergies fossiles telles que le gaz ou le pétrole pour leur fonctionnement.

Le troisième type de pollution concerne pour les produits chimique utilisée pour nettoyer les membranes des stations de dessalement opérant avec le mode d'osmose inverse, afin d'éviter les bio salissures, la formation de tarte et autre nuisances notamment lors du prétraitement.

I.L'impact de dessalement sur l'environnement :

La construction d'une station de dessalement produit plusieurs impacts sur l'environnement, certaines d'entre eux sont positives et les autres sont négatifs. 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 marines, la perturbation d'écosystèmes importants [24].

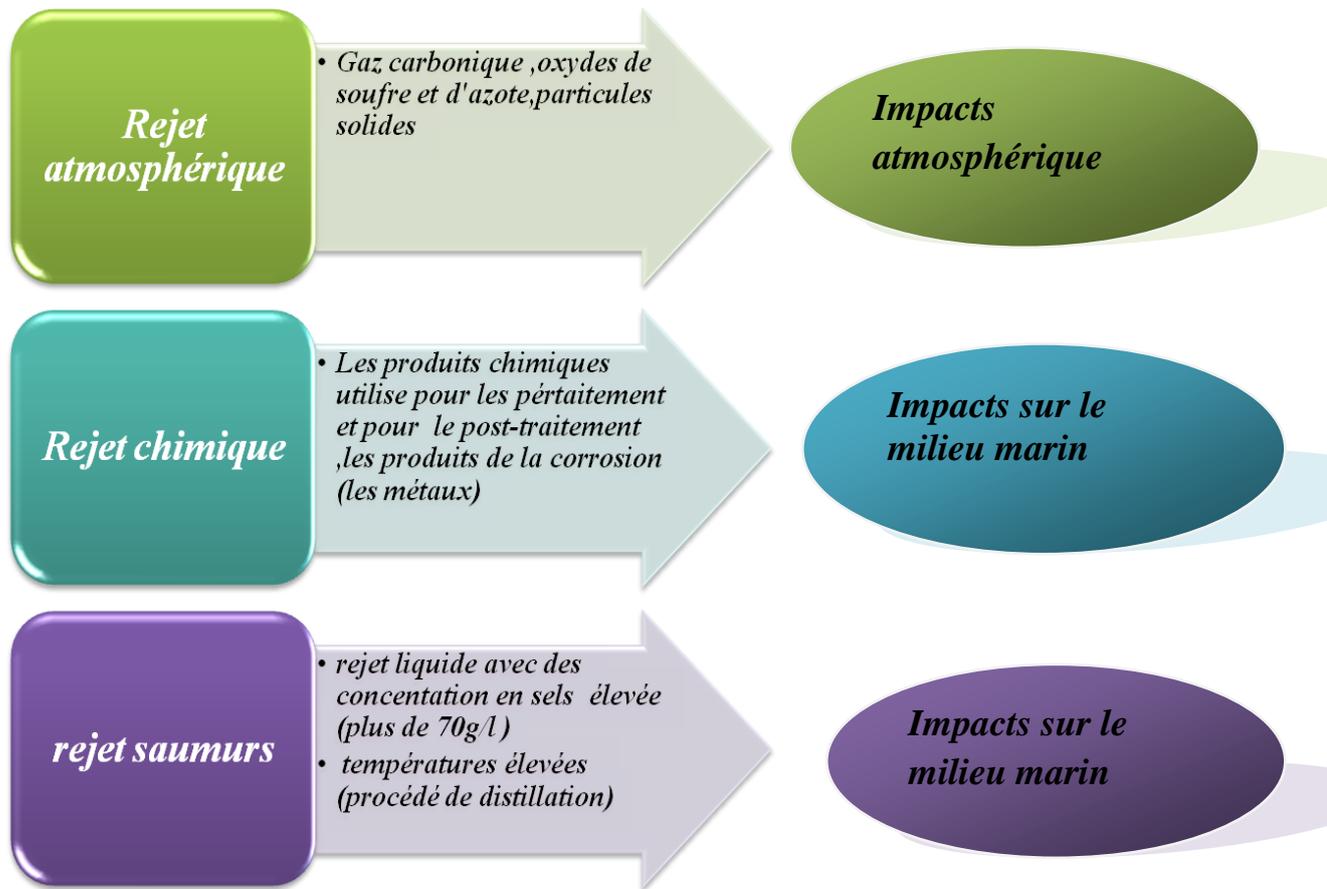


Fig. n°(1) : les différents rejets d'une usine de dessalement

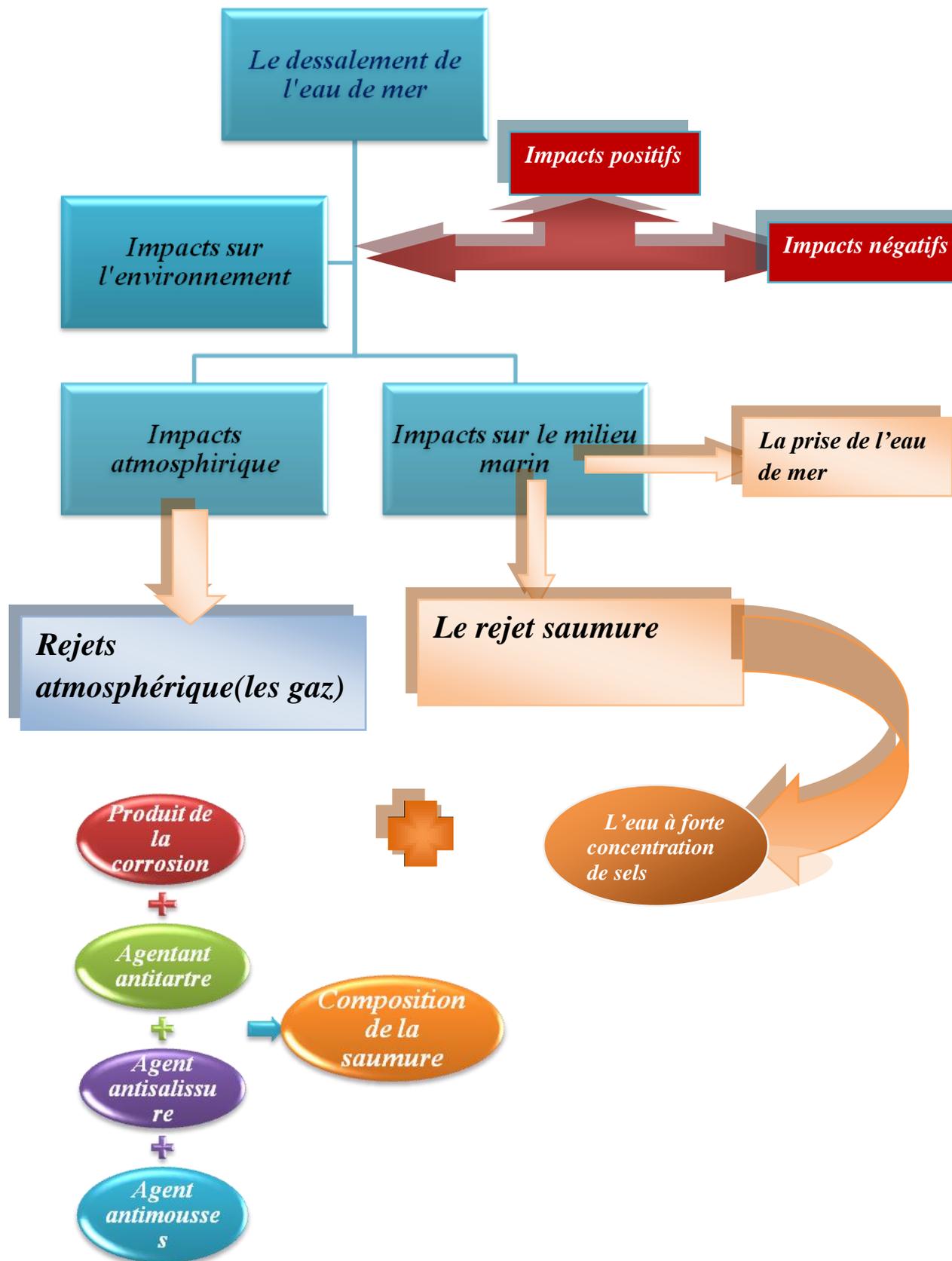


Fig. n°(2) : les impacts de dessalement

A. Impacts négatif :

I.A.1. Impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement, notamment en ce qui concerne le milieu marin : [56]

La présente section traite de l'impact du dessalement de l'eau de mer sur le milieu marin après le démarrage des opérations des usines, et d'autres rapports publiés ainsi que la documentation examinée par les pairs citée dans le présent texte. Les effets possibles pendant les phases de construction et d'exploitation sont décrits aux sections 5 et 6.

Les principaux impacts du dessalement de l'eau de mer sur le milieu marin sont associés à deux composantes :

La prise d'eau de mer (eau d'alimentation) en direction de l'usine de dessalement et le rejet de saumure. Le nombre d'articles publiant des effets quantitatifs in situ ou en laboratoire est toutefois faible et de portée limitée. Ces articles ont néanmoins augmenté au cours des dernières années. Ils nous informent que les effluents de dessalement ont un impact sur le biote marin voisin de l'émissaire, mais il ne s'agit pas de conclusions définitives en raison de résultats contradictoires.

Les résultats sont spécifiques au site et dépendent de la sensibilité de l'environnement récepteur, du procédé de dessalement, de la taille de l'usine et de la composition du rejet. L'absence d'études sur le long terme leur porte préjudice. Les émissions de GES peuvent également affecter le milieu marin par l'acidification des océans. Toutefois, ces émissions ne seront pas abordées dans la présente section.

❖ Prise d'eau de mer

Les principaux effets associés au prélèvement de l'eau d'alimentation (eau de mer) sont l'entraînement et la collision d'organismes marins. Il s'agit également des effets les moins étudiés et les plus connus, en particulier l'impact sur la population.

- L'entraînement est le transport de petits organismes planctoniques avec le flux d'eau de mer vers les usines de dessalement. Il est généralement reconnu que la faune et la flore entraînées qui pénètrent dans l'usine de dessalement périront au cours des différentes étapes du procédé de dessalement, y compris par l'application de biocide. Ceci contraste avec les eaux de refroidissement des centrales électriques, où une mortalité plus faible a été signalée
- ✚ L'entraînement peut être réduit en plaçant les prises d'eau loin des zones biologiquement productives, comme dans les eaux plus profondes au large des côtes, ou en utilisant des puits souterrains côtiers, bien que ces derniers soient difficiles à réaliser pour les usines de dessalement à grande échelle.
- La collision se produit à des prises ouvertes lorsque des organismes suffisamment grands pour éviter de passer par les écrans de prise d'eau installés sont piégés par ceux-ci par la force de l'eau de mer qui entre dans l'usine de dessalement. Il est

reconnu que l'impact des méduses sur le point de prise d'eau bloque celui-ci et réduit la production.

- ✚ La collision peut être réduite grâce à une combinaison d'écrans appropriés et une faible vitesse d'aspiration. Pour l'US-EPA, afin de réduire les collisions, la vitesse du débit d'aspiration selon les MTD doit être de 0,152 m/s..

❖ Rejet de saumure :

1. Dispersion de saumure (impacts abiotiques) :

La saumure est définie ici comme le rejet hypersalin d'une usine membranaire et comme le rejet hypersalin et chaud d'une usine de dessalement thermique sans les produits chimiques utilisés au cours du procédé. La dispersion de saumure peut varier considérablement selon les caractéristiques propres au site, le volume de l'effluent, le mode de rejet et les conditions hydrographiques existantes. Néanmoins, la salinité et la température sont plus élevées que les normes de référence aux sites de rejet, mais comme mentionné, la zone affectée est très variable. Des études sur l'effet du dessalement thermique dans le golfe fermé ont montré un effet sur la température et la salinité de l'eau et une augmentation de la salinité dans la région.

Le rejet de saumure peut augmenter la stratification de l'eau de mer qui, combinée à une salinité et une température plus élevées, peut réduire les niveaux d'oxygène contenu dans l'eau. Cette inquiétude a été soulevée lors de l'EIE de l'usine de type SWRO de Perth (Australie), mais bien que la surveillance ait montré une légère stratification de l'eau près du diffuseur, aucun effet significatif n'a été trouvé sur les concentrations de l'oxygène dissous.

Le rejet de saumure peut avoir un autre impact abiotique du point de vue esthétique du fait du le rejet saumure trouble. Cet effet a été décrit pour l'usine de type SWRO d'Ashkelon (Israël) qui, jusqu'en 2010, a rejeté en impulsions du ressac contenant de l'hydroxyde de fer utilisé comme coagulant dans l'étape de prétraitement. L'hydroxyde de fer formait un « panache rouge » visible.

A.1.1.Effets de la saumure (salinité et température) sur le biote :

La salinité et la température ont longtemps été perçues comme des facteurs environnementaux inhibiteurs pour la survie et la croissance du biote marin [37],[57]. Ces deux éléments sont donc susceptibles d'affecter le biote à proximité des zones de rejet de saumure de dessalement.

A.1.2.Effet des produits chimiques utilisés dans le procédé de dessalement et rejetés avec la saumure :

On en sait peu sur les effets des produits chimiques rejetés avec la saumure dans le milieu marin. La cooccurrence des facteurs de stress : salinité, température, produits chimiques et rejets concomitants d'effluents de déchets (tels que les eaux de refroidissement des

centrales électriques) sèment également la confusion dans la discussion sur les résultats des rares études existantes, empêchant d'établir une relation cause-réponse.

- Le chlore est utilisé à la fois dans les usines de dessalement et dans les centrales électriques pour empêcher la salissure. Dans les usines de type OI, le chlore résiduel est oxydé pour éviter d'endommager les membranes ; dans les usines de dessalement thermique et dans les centrales électriques, la saumure rejetée peut contenir du chlore résiduel. Le chlore résiduel réagit rapidement au contact de l'eau de mer pour former des complexes toxiques tels que le bromoforme [52] qui s'accumule dans le foie du bar européen (*Dicentrarchus labrax*). Dans la même étude, il a été impossible de séparer l'effet du bromoforme de la température sur *Mytilus edulis*.
- Les produits de corrosion (métaux) des usines de dessalement thermique, en particulier le cuivre, un matériau commun dans les échangeurs de chaleur, se sont accumulés à proximité des émissaires. Bon nombre d'études indiquent que cette présence de cuivre ne signifie pas un effet néfaste parce que le cuivre est un composé naturel qu'on trouve dans la nature [29].

Toutefois, des études antérieures ont révélé que le cuivre affectait les échinodermes, les tuniciers et les herbiers marins ainsi que les micro-organismes de Floride [13], [9]. Récemment, des concentrations de cuivre et de zinc plus élevées que celle que l'on retrouve naturellement dans les sédiments et les bivalves ont été signalées lors du rejet de saumure de deux usines de type SWRO à Taiwan. [33]

- Le métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) est habituellement utilisé pour nettoyer les membranes d'osmose inverse. Des impulsions à court terme dans le milieu marin peuvent entraîner une acidification et une hypoxie. Les bio-essais de toxicité sur le poisson-lézard *Synodus* dans les îles Canaries ont révélé une sensibilité élevée à l'exposition à court terme à de faibles concentrations, avec une mortalité totale se produisant à des concentrations plus élevées. [42]
- La toxicité observée lors de l'essai WET sur la diatomée *Nitzschia closterium* a été attribuée à la salinité (70 % des effets toxiques), tandis que 30 % ont été attribués à l'agent anticalcaire polyphosphonate [25]. Au cours d'une étude récente en mésocosme en Méditerranée orientale, l'ajout de phosphonate a libéré immédiatement le stress phosphoreux de la communauté microbienne et, en 10 jours, a réduit la diversité bactérienne et augmenté la diversité eucaryote. [4]
- Les sels de fer utilisés dans des coagulants au stade de prétraitement à l'usine de type SWRO d'Ashkelon et rejetés en impulsions en mer se sont avérés avoir diminué l'efficacité de croissance du phytoplancton à l'émissaire lors d'études in situ alors que pendant une expérience en mésocosme, l'ajout de fer a immédiatement modifié la composition des communautés microbiennes, amélioré la production et l'efficacité des bactéries tout en diminuant la production primaire.

Au bout de 10 jours, la biomasse autotrophe et le nombre d'assimilations ont baissé par rapport au niveau de référence. [20], [4]

A.2. Contaminants émergents : [56]

Comme nous l'avons dit plus haut, l'industrie du dessalement est très dynamique ; elle s'efforce d'améliorer son rendement, de réduire la quantité de produits chimiques utilisés dans ses procédés et rejetés avec la saumure et d'utiliser des substances moins dangereuses (chimie verte). Par conséquent, il est difficile de suivre les changements ; les spécialistes de l'environnement doivent donc travailler en étroite collaboration avec les exploitants d'usines de dessalement pour se tenir informés des changements apportés aux procédés. À titre d'exemple, l'usine de dessalement de la ville Hadera (Israël) utilise à présent la biofloculation plutôt que la coagulation avec des sels de fer comme étape de prétraitement. La saumure rejetée ne contient donc plus de fer.

- Un autre obstacle est que bon nombre des produits chimiques (principalement des Coagulants et des agents anti-tartre) sont protégés par des brevets, leur composition exacte est donc en général une propriété exclusive qui ne peut être divulguée. Dans ce cas, le composé actif doit être identifié et compilé en même temps que ses propriétés toxicologiques. Il convient de mentionner que des polluants connus sont également utilisés dans le procédé : acides, alcalis, solutions de nettoyage, sels métalliques ainsi que des produits de corrosion connus (métaux).
- Sur la base d'un examen des technologies existantes et de l'état d'avancement des travaux, les Contaminants suivants émergent des technologies de dessalement.

Tableau n°(1) : les contaminants émergent des technologies de dessalement. [56]

Contaminants	Utilisée /produits dans le procédé de dessalement	
	Membrane	Thermique
Sels de Fe, sels d'Al, polymères organiques	Coagulant	Non utilisé
Métaux lourds Fe, Ni, Cr, Mo	Corrosion d'acier inoxydable	Corrosion d'acier inoxydable
Métaux lourds Cu, Ni, Ti,	Non pertinent	Corrosion à partir de la chaleur
Chlore, autres oxydants	Biocide, utilisé mais neutralisé avec du bisulfite avant élimination	Chlore résiduel biocide
Bisulfite	Neutralisant de biocide	Non utilisé
Polyglycol, détergents	Non utilisé	Agent anti – mousse

Détergents, oxydants, agents complexant	Nettoyage des membranes	Non utilisé
Polyphosphate, Polyphosphonate, Polymères organique (acides polymaléiques et polyacrylique)	Agent anti –tartre	Agent anti – tartre
Nutriments (phosphore, azote , carbone)	Agent anti – tartre	Agent anti -tartre
Solutions alcalines	Nettoyage (neutralisé avant élimination)	Non utilisé
Solutions acides	Nettoyage (neutralisé avant élimination)	Nettoyage
	Non utilisé	Inhibiteurs de corrosion
Calcaire (CaCO₃)	Agent d'ajustement du PH et la dureté de l'eau produite	Agent d'ajustement du PH et la dureté de l'eau produite
Sel	Saumure	Saumure
Température	Sans objet	Saumure

I.A.2.Impacts atmosphérique (Impacts des gaz) :

Il ne faut pas oublier, lors d'une éventuelle évaluation, l'impact environnemental causé par une station de dessalement, comme les problèmes de dégradation paysagère, bruits, émissions de gaz (CO, NO_x), ou encore les rejets associés comme les eaux provenant du nettoyage (filtres de sable, membranes et dépôts

La pollution atmosphérique est une altération de la qualité de l'air, qui est dû à une ou plusieurs substances gazeux ou matières particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique ou écotoxique. Les contaminants de l'air sont associés à des effets néfastes sur la santé, sur l'environnement et sur le système écologique. Alors, la pollution atmosphérique fait l'objet d'une attention particulière de la part des législations environnementales nationales et internationales.

Les gaz émis par les usines de dessalement d'eau de mer provoquent directement ou indirectement des effets de serre.

Les concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère augmentent depuis le XIXe siècle.[46]

Le phénomène est probablement dû aux activités humaines, comme :

- L'utilisation massive de combustibles fossiles : en quelques dizaines d'années, des quantités importantes de dioxyde de carbone sont rejetées dans l'atmosphère, provenant du carbone accumulé dans le sous-sol depuis l'ère primaire.

- L'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère qui en résulte, peut être un facteur de réchauffement climatique.

En 2007, le GIEC indique que l'homme semble être, avec une probabilité d'environ 90 %, responsable du changement climatique. Mais certains scientifiques et spécialistes du climat, pensent que l'influence de l'homme sur le changement climatique est plus complexe que le seul accroissement du CO₂. Les combustibles fossiles sont :

- **Le charbon;**

- **Les produits pétroliers;**

- **Le gaz naturel;**

- **La déforestation** : une forêt mature est un réservoir important de carbone. La disparition de surfaces toujours plus grandes de forêt au profit de cultures ou de pâturages (emmagasinant une quantité moindre de matière organique), a pour effet d'augmenter les rejets de CO₂ dans l'atmosphère. En effet, la pousse de jeunes arbres ne peut plus absorber autant de carbone qu'en génère la dégradation des arbres morts.

I.A.2.1.Changements climatiques : [46]

Au cours des années 1990, les concentrations en gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique dans l'atmosphère ont atteint les plus hauts niveaux jamais enregistrés.

Ces gaz proviennent principalement de l'utilisation des combustibles fossiles, de l'agriculture et des changements d'usage des terres.

Cette augmentation des concentrations entraîne une hausse de température à la surface du globe et donne lieu à plusieurs modifications au niveau du climat et des phénomènes naturels qui en dépendent. À titre d'exemples, on peut citer l'augmentation en certains endroits de fortes précipitations et la modification du profil de celles-ci, la régression des glaciers, l'élévation du niveau de la mer, la fonte, le réchauffement et la dégradation du pergélisol, etc.

Malgré les programmes mis en place pour réduire les émissions de GES dans plusieurs pays, on prévoit que leurs niveaux vont continuer à augmenter dans les prochaines années à des taux plus ou moins élevés selon les scénarios (concentration de GES en 2100 de 75 à 350 % supérieure à la concentration préindustrielle de 1750). Ces augmentations accentueront encore davantage les impacts du réchauffement climatique que nous observons à l'heure actuelle.

Ce phénomène a des conséquences majeures sur plusieurs composantes de notre environnement. Entre autres, l'augmentation de la fréquence et de la sévérité des catastrophes naturelles, telles les inondations, les tempêtes tropicales et les sécheresses, à divers endroits de la planète.

Ces phénomènes posent un problème sérieux au niveau de la sécurité civile, augmentant les risques de mortalité humaine et les coûts en dommages matériels et d'infrastructures. Ce phénomène contribuera aussi à diminuer la productivité des terres agricoles dans les régions sujettes aux inondations ou à la sécheresse. Aussi, la modification des habitats naturels et de leurs conditions climatiques mènera à l'extinction de plusieurs espèces végétales et animales qui seront dans l'impossibilité de s'adapter aux nouvelles conditions ou à la compétition accrue entre elles.

Enfin, les changements climatiques auront un impact certain sur l'économie mondiale, augmentant les risques liés aux investissements.

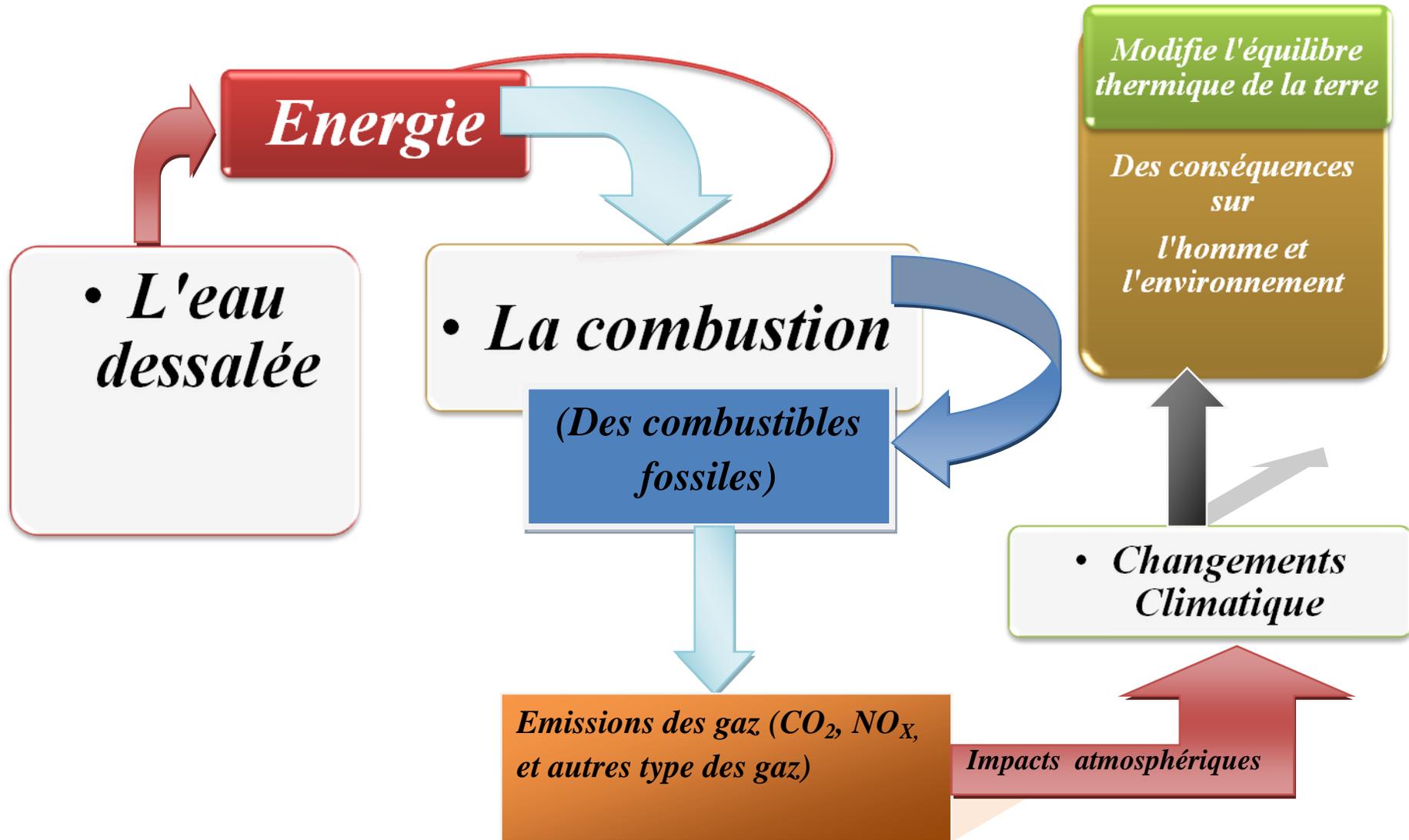


Fig. n°(3) : Impacts de dessalement sur l'atmosphère

I .A.3. Analyse des Emission Atmosphériques

Unité de production RAS DJINET

Centrale électrique RAS DJINET

1. Méthodologie De l'échantillonnage et de Mesure :

Emissions atmosphériques :

Les prélèvements des émissions atmosphériques ainsi les mesures ont été effectuées conformément à la norme ASTM D 6522-2020 relative à la caractérisation et au mesurage des rejets atmosphériques les mesures ont été réalisées à l'aide de capteurs électrochimiques.

Le prélèvement des gaz a été effectué avec une sonde d'une longueur de 1,5m sur une durée de 10 minutes (dix fois une minute) au niveau de l'échappement de groupes 10.

2. Matériels Utilises :

Tableau n°(2) : Matériels Utilises pour l'analyse des émissions atmosphériques

<i>Désignation du matériel</i>	<i>Marque</i>	<i>Type</i>
<i>Appareil de mesure des rejets Atmosphériques</i>	<i>ECOM</i>	<i>Cellules électrochimique</i>
<i>Sonde de mesure d'une longueur de 1,5 m</i>		<i>Bloc infrarouge</i>

3. Synthèse des résultats :**Référentiel Réglementaire :**

Les résultats des mesures des émissions atmosphériques été comparés respectivement aux :

« Décret 06-138 du 15/04/2006 » réglementant l'émission des rejets atmosphériques. Il a été tenu compte des valeurs limites figurant au premier tableau de L'ANNEXE N°01 de décret.

4. Résultats :

Tableau n°(3) : Résultats d'analyse des émissions atmosphériques

<i>Combustible utilise : gaz naturel</i>					
<i>Sortie chemine</i>		<i>Gaz mesure. Unité</i>	<i>Sortie chaudière</i>		<i>Décret 06-138 du 15/04/2006</i>
<i>Puissance en charge (MW)</i>			<i>Puissance en charge (MW)</i>		
<i>1^{ere} charge =153</i>	<i>2^{eme} charge=132</i>		<i>1^{ere} charge =153</i>	<i>2^{eme} charge=132</i>	
<i>11,3</i>	<i>12</i>	<i>O₂ %</i>	<i>9</i>	<i>9,4</i>	<i>–</i>
<i>8,7</i>	<i>8,4</i>	<i>CO₂ %</i>	<i>11,3</i>	<i>11,3</i>	<i>–</i>
<i>171</i>	<i>24</i>	<i>CO mg /Nm³</i>	<i>16</i>	<i>3</i>	<i>Non Spécifié</i>
<i>307</i>	<i>296</i>	<i>NO mg /Nm³</i>	<i>393</i>	<i>409</i>	<i>Non Spécifié</i>
<i>11,1</i>	<i>11,3</i>	<i>NO₂ mg /Nm³</i>	<i>9</i>	<i>6,8</i>	<i>300</i>
<i>480</i>	<i>465</i>	<i>NO_x mg /Nm³</i>	<i>610</i>	<i>632</i>	<i>300</i>
<i>0</i>	<i>0</i>	<i>SO₂ mg /Nm³</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>300</i>
<i>1</i>	<i>0</i>	<i>C_xH_y ppm</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>–</i>
Date d'analyse :		29 / 04 / 2021			

5. Conclusion :

Emissions Atmosphériques :

Les résultats des mesures des émissions atmosphériques émanant du groupe 10 de la centrale de RAS DJINET sont conformes aux exigences du Décret précité hormis les NO_x.

B-Impacts positif :

La disponibilité de l'eau de bonne qualité est préliminaire au développement économique et social des commutés locales.

Le dessalement est une source fiable de l'eau qui n'est pas soumise au changement climatique lié aux sources d'eau douce.

II-Gestion et valorisation de rejet :

Le problème des rejets est un problème dont -il faut le traiter urgence vue la vitesse à laquelle le nombre d'installations de dessalement d'eau de mer en Algérie augmente et par conséquent l'augmentation de la capacité de dessalement et de la quantité de rejet. Les paramètres évalués pour la saumure rejetée en mer ont montrés des valeurs très élevées par rapport à la norme ce qui influe négativement sur l'environnement marin. Les rejets de saumures fortement changées ont pour conséquence la variation de la composition chimique de l'eau de mer qui altère l'équilibre des écosystèmes et l'environnement marin. La diminution de la concentration en oxygène dissous a une conséquence sur la vie des espèces marines.

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

L'emplacement du rejet doit être soigneusement choisi en fonction des flux marins, afin d'éviter les zones biologiques sensibles et de favoriser la dispersion des saumures.

Rejeter saumure à travers un system de diffuseurs, qui permettent de diluer rapidement la salinité et retrouver les concentrations du milieu naturel.

Les eaux rejetées doivent être a la même température qui les eaux naturelles, afin d'éviter la perturbation du milieu aquatique et l'invasion d'espèces indésirables (avantage de l'osmose inverse par rapport au procédé thermique, qui rejette de très gros débits avec un écart de température).

Préférer l'osmose inverse aux procédés thermiques et cela à cause des produits de corrosion et de détartrage (corrosion faible due a la température ambiante et les parties métalliques des installations O.I sont en acier inoxydable)

II-1-Amélioration des technologies actuelles :[56]

De nombreuses améliorations ont lieu en permanence dans le domaine en constante évolution du dessalement, en particulier dans l'amélioration des rendements et la réduction de la consommation d'énergie et de produits chimiques ainsi que dans le rejet de saumure. En voici quelques exemples :

- a) Zéro rejet liquide (ZRL) est un procédé qui récupère l'eau des concentrés de saumure pour éliminer les déchets liquides. En théorie, la plupart des technologies émergentes peuvent s'utiliser dans des schémas de type zéro rejet liquide. Le procédé ZRL est particulièrement important dans le dessalement des eaux saumâtres intérieures et peut se réaliser dans de petites usines de dessalement d'eau de mer
- b) L'amélioration des membranes conventionnelles et la conception de nouvelles membranes (ingénierie membranaire) pour accroître le rendement, réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES associées sont en constante évolution. Ces procédés comptent notamment le développement de membranes biomimétiques, à base d'aquaporines (une protéine canalisatrice d'eau), d'eau synthétique et de canaux ioniques ainsi que de graphène.
- c) Énergies renouvelables (RE). Les énergies renouvelables, les énergies solaires (énergie solaire à concentration (CSP)), photovoltaïque (PV), géothermique, éolienne et les énergies marines renouvelables (vagues, marées et courants) finiront par remplacer l'énergie conventionnelle dans le processus de dessalement lorsqu'elles deviendront économiquement viables. Toutefois, l'AIEA prévoit qu'en 2030, le dessalement alimenté par les énergies renouvelables ne suffira que pour l'approvisionnement en eau domestique, mais augmentera pour répondre à l'offre industrielle d'ici 2050.
- d) Amélioration de la technologie de diffuseur en vue d'améliorer les procédés de dilution lors du rejet de saumure en mer.

II .2.Récupération des métaux et des sels :**1.Caractéristiques de la saumure :**

Le sous-produit du dessalement de l'eau de mer est connu sous le nom de saumure. La saumure est de l'eau de mer extrêmement concentrée qui a des effets néfastes sur l'environnement en raison des éléments suivants.

- Sa forte salinité et la présence de nombreux contaminants.
- Il s'agit notamment de métaux lourds.
- d'éléments nutritifs contenant de l'azote et du phosphore [ammoniac (NH_3), nitrates, (NO_3) et de phosphore (K)], des contaminants organiques.

2. Les métaux lourds :

❖ Définition [48] :

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être définis comme :

- ❖ Tout métal ayant une densité supérieure à 5 [48],
- ❖ Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium ($Z = 11$),
- ❖ Tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques
- ❖ Certains chercheurs utilisent des définitions plus spécifiques. Le géologue, par exemple, considérera comme métal lourd tout métal réagissant avec la pyrimidine (C_6H_5N).
- ❖ Dans le traitement des déchets liquides, les métaux lourds indésirables auxquels on s'intéresse principalement sont : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le sélénium (Se), le zinc (Zn).
- ❖ Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité, sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), le zinc (Zn)
- ❖ Enfin, dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5 (tableau 2), de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement.

Le classement des métaux lourds par ordre de toxicité est le suivant :

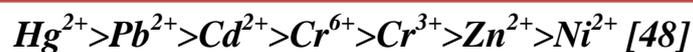


Tableau n°(2): Classification périodique des éléments [48]

Bloc s												Bloc p					
H		■ Métaux lourds de densité > 5															He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Bloc f														
Lanthanides		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Transuraniens		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr		

Tableau n°(4): Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement [48].

Utilisation	Métaux
<i>Batteries et autres appareils électriques</i>	<i>Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,</i>
<i>Pigments et peintures</i>	<i>Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe</i>
<i>Alliages et soudures</i>	<i>Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu,</i>
<i>Biocides (pesticides, herbicides)</i>	<i>As, Hg, Pb, Cu, Zn, Mn, Sn,</i>
<i>Agents catalyse</i>	<i>Ni, Hg, Pb, Cu, Sn,</i>
<i>Verre</i>	<i>As, Zn, Sn,</i>
<i>Engrais</i>	<i>Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Mn, Sn, Ni, Cu,</i>
<i>Matières plastiques Cd, Sn, Pb,</i>	<i>Cd, Sn, Pb,</i>
<i>Produits dentaires et cosmétique</i>	<i>Sn, Hg,</i>
<i>Textiles</i>	<i>Cr, Fe, Al,</i>
<i>Carburants</i>	<i>Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd,</i>
<i>Raffinerie</i>	<i>Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn,</i>

2.1. Récupération des métaux :

Soixante éléments du tableau périodique existent habituellement dans l'eau de mer ; certains d'entre eux sont rares et plus précieux. Les métaux précieux sont des composants précieux de l'eau de mer, et leur récupération à partir de la saumure rejetée est un souci des spécialistes depuis longtemps, pour leurs avantages en raison des niveaux relativement élevés dans la saumure.

En se basant sur plusieurs aspects physico-chimiques, économiques et techniques, Dirach et al, ont proposé un protocole pour récupérer les éléments d'intérêt à partir du concentré. Ce procédé utilise l'évaporation pour augmenter la concentration de la solution jusqu'à environ 200 g/L avant la première étape de récupération. Pour extraire la précipitation du phosphore en utilisant un mélange d'alun de sulfate de fer et de sulfate d'aluminium. [30]

Ensuite, une extraction liquide-liquide est appliquée en ajoutant du HCl pour récupérer le césium de la solution. Une autre extraction liquide-liquide sera effectuée en utilisant une phase organique, composée de trois acides différents pour la récupération de l'indium.

Un processus à contre-courant avec 15 étapes est essentiel pour obtenir une séparation efficace. L'indium avec une pureté de 97,4 % et aussi le gallium avec une pureté de 99,8 % seront récupérés à la suite de ce processus. Le rubidium est ensuite extrait au moyen de résines échangeuses de cations.

Le potassium et le rubidium sont respectivement le premier et le deuxième élément le plus attiré. Pour séparer ces deux éléments de la solution, il est nécessaire d'augmenter la purification. Dans l'étape suivante, on entreprend de produire du germanium qui est cristallisé pour former du dioxyde de germanium (GeO_2). La forme cristallisée du germanium est ensuite exposée à du HCl gazeux pour être oxydée et puis sera réduit en germanium pur par grillage dans une atmosphère réductrice de H_2 . Les principaux composants contribuant à la solution restante sont principalement le magnésium,

potassium, et NaCl. Les différences de solubilité entre ces composés sont utilisées pour les séparer les uns des autres. Le potentiel de récupération des métaux précieux (uranium, rubidium, césium, lithium) à partir de saumure d'osmose inverse provenant d'une usine située à El Prat de Llobregat, en Espagne, en utilisant un certain nombre d'absorbants, a été étudié par Petersková et al. [40]. Il a été conclu que le meilleur absorbant pour le césium et le rubidium parmi tous ceux testés était l'extraction à base d'hexacyanoferrate Cs-Traiter, tandis que tous les absorbants testés étaient suffisamment efficaces pour absorber le lithium. La résine contenant des groupes phosphoniques et sulfoniques a la plus forte tendance à la sorption de l'uranium(VI). Plus important encore, les résultats ont montré que la salinité est un facteur crucial affectant l'affinité de sorption du césium sur le Cs-Traiter. Les systèmes monométalliques sont modérément différents des systèmes bimétalliques sur la base des résultats de sorption, ce qui est dû à l'indépendance de la capacité de sorption par rapport à l'effet des co-ions, et par conséquent le Cs-Traiter était hautement sélectif pour le césium et le rubidium [36].

En utilisant la récupération des métaux, des sources nouvelles et abondantes de nombreux métaux précieux et rares peuvent être fournies dans le monde entier, ce qui peut augmenter considérablement sa rentabilité potentielle [36].

La récupération des métaux fournit des sources nouvelles et abondantes de nombreux métaux précieux et rares dans le monde entier, ce qui rend sa rentabilité potentielle très élevée. Par exemple, la récupération de l'uranium pourrait fournir une source d'énergie sans carbone à de nombreux pays où elle n'est pas disponible avec les procédés conventionnels. D'un point de vue environnemental, la récupération des métaux pourrait éviter l'impact produit par les mines. Cependant, les technologies de récupération des métaux sont encore immatures et loin d'être compétitives par rapport aux procédés traditionnels. Cette technologie nécessite davantage de recherche afin d'améliorer la performance des étapes d'extraction et d'acquies un niveau de développement adéquat pour être construite à l'échelle industrielle.

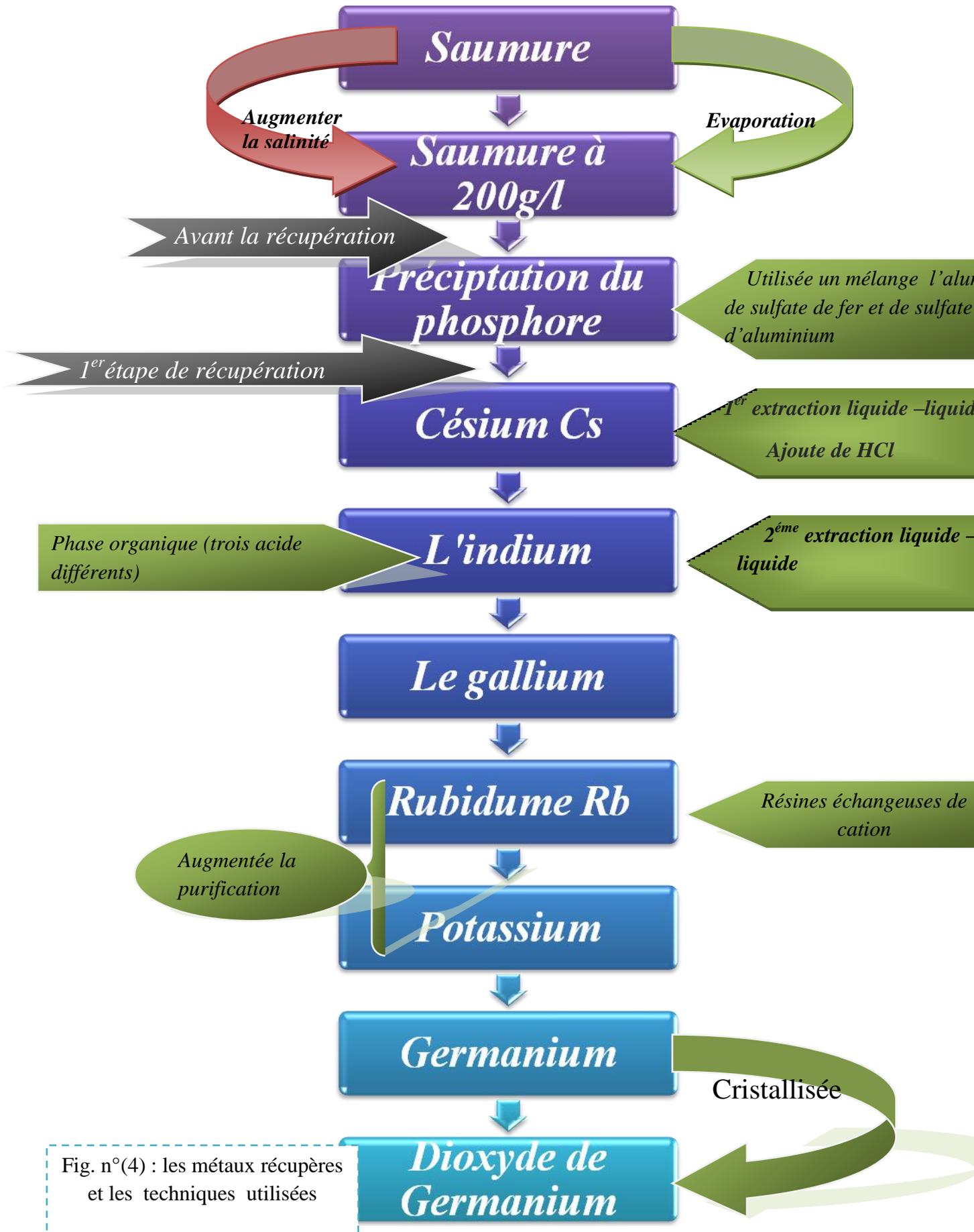


Fig. n°(4) : les métaux récupérés et les techniques utilisées

3. Les différents types de sels dans l'eau de mer :

Le sel récupéré par le paludier est le chlorure de sodium (NaCl) qui est responsable du bon goût du sel marin. Ce goût salé provient essentiellement de l'ion Na⁺. Les autres sels présents ne sont pas nocifs car les doses sont très faibles. Les sels CaCO₃, CaSO₄, MgSO₄, MgCl₂ sont amers et réduisent le bon goût du sel marin. Seul KCl a un goût proche du NaCl. Le but du marais salant est de séparer autant que possible NaCl des autres sels. Les caractéristiques des sels sont représentées dans le tableau 1:

Tableau n°(5) : Caractéristiques des sels. [3]

Sels	Dénomination	Utilisation	Propriétés
NaCl	<i>Chlorure de sodium</i>	<i>Augmente la spidité des aliments conserve les aliments par désinfection et déshydratation</i>	<i>Gout salé, blanc Risques cardiovasculaires à fortes doses</i>
CaCO₃	<i>Carbonate de calcium</i>	<i>Même compostant que le calcaire, la craie, le marbre, coquilles d'animaux marins</i>	<i>Pas de gout ni d'odeur solubilité nulle dans l'eau basique</i>
CaSO₄	<i>Sulfate de calcium</i>	<i>Même composant que le calcaire, la craie, le marbre, coquilles d'animaux marins</i>	<i>Pas de gout ni d'odeur solubilité nulle dans l'eau basique</i>
MgSO₄	<i>Sulfate de Magnésium</i>	<i>Additif alimentaire E18 Engrais Sel d'Epsom (médicament)</i>	<i>Amer et salé</i>
MgCl₂	<i>Chlorure de magnésium</i>	<i>Laxatif, coagulant, médicament Nagari qui permet de coaguler le lait de soja pour faire du tofu E115</i>	<i>Blanc, amer, acre, inodore Peut être dangereux à forte dose</i>
NaBr	<i>Bromure de sodium</i>	<i>Désinfectant</i>	<i>Blanc, Peut être dangereux à fort dose</i>
KCl	<i>Chlorure de potassium</i>	<i>Engrais, médicament</i>	<i>Blanc, toxique à dose saveur équivalente à celle de NaCl Peut se substituer en partie à NaCl</i>

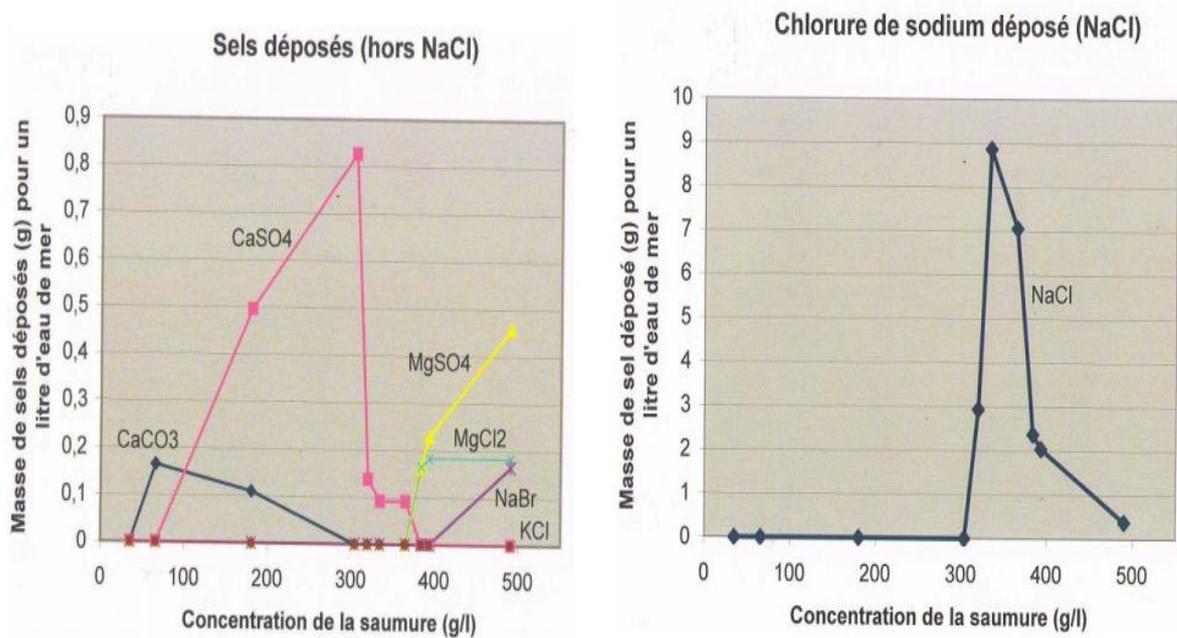


Fig. n°(5): Evolution de la quantité de chaque sel déposé (en masse) en fonction de la concentration de la saumure. [3]

D'après la *figure 5*, le carbonate de calcium cristallise en premier, puis en quantité plus importante le sulfate de calcium puis d'autres sels. Les sels de calcium se cristallisent avant que la saumure n'atteigne les œillets. Par ailleurs, pour éviter de cristalliser les sels de magnésium et de potassium ainsi que le bromure de sodium, **il ne faut pas dépasser une concentration de 380 g/l**. [3]

La cristallisation de NaCl est beaucoup plus importante que celle des autres sels. La part la plus grosse du processus de cristallisation du NaCl s'effectue sur une plage assez étroite de concentration de saumure, entre 300 et 380 g/L. Enfin, en comparant ces deux graphes, on constate qu'il est important de bien contrôler la concentration de la saumure dans les œillets afin de récolter le maximum de chlorure de sodium (NaCl) sans toutefois récolter le sulfate de calcium (CaSO_4) ou les sels de magnésium (MgSO_4 et MgCl_2)

3.1. Sels obtenus

- **Le gros sel ou sel gris**

Le sel cristallise dans les œillets lorsque la concentration atteint 320 g/l (saturation). Plus lourd, ce type de sel se dépose sur le sol argileux de l'œillet et est récolté par un outil qui s'appelle las ou ételle (une sorte de râteau). Le gros sel est gris car de l'argile peut être incluse dans le sel cristallisé ou entraînée lors de la récolte.

- **La fleur de sel**

Dans certaines conditions, une cristallisation particulière se produit, de fins cristaux se forment et s'agglomèrent en surface de l'eau des œillets. Cette mince couche flottante est récoltée délicatement avec une lousse (sorte d'écumoire).

Cette fine couche de sel blanche se crée avant que le seuil de saturation des 320 g/l soit atteint car la fine couche d'eau superficielle est plus chaude et donc l'évaporation est violente : on obtient ainsi une cristallisation en surface. La fine fleur blanche de sel flotte sur l'eau par tension superficielle (effet « membrane » qui permet de faire flotter des choses plus lourdes que l'eau).

3.2. Récupération des sels par technologie de dessalement à Zéro rejet (ZRD) :

3.2.1 : Dessalement à Zéro rejet : [36]

L'université de Caroline du Sud en USA en 2006 [17] a mis au point une technologie appelée Dessalement à Zéro rejet (ZRD) pour le traitement des saumures d'osmose inverse d'eau de mer. Le procédé vise à produire de l'eau douce et des sels de valeur : NaCl, $Mg(OH)_2$ et brome (Br_2). Le procédé présente différentes configurations, toutes basées sur l'ED. Dans la configuration de base (Fig. n°6), le NaCl est récupéré sous forme de sel sec et les flux de déchets de $Mg(OH)_2$ et Br_2 sont rejetés dans la mer

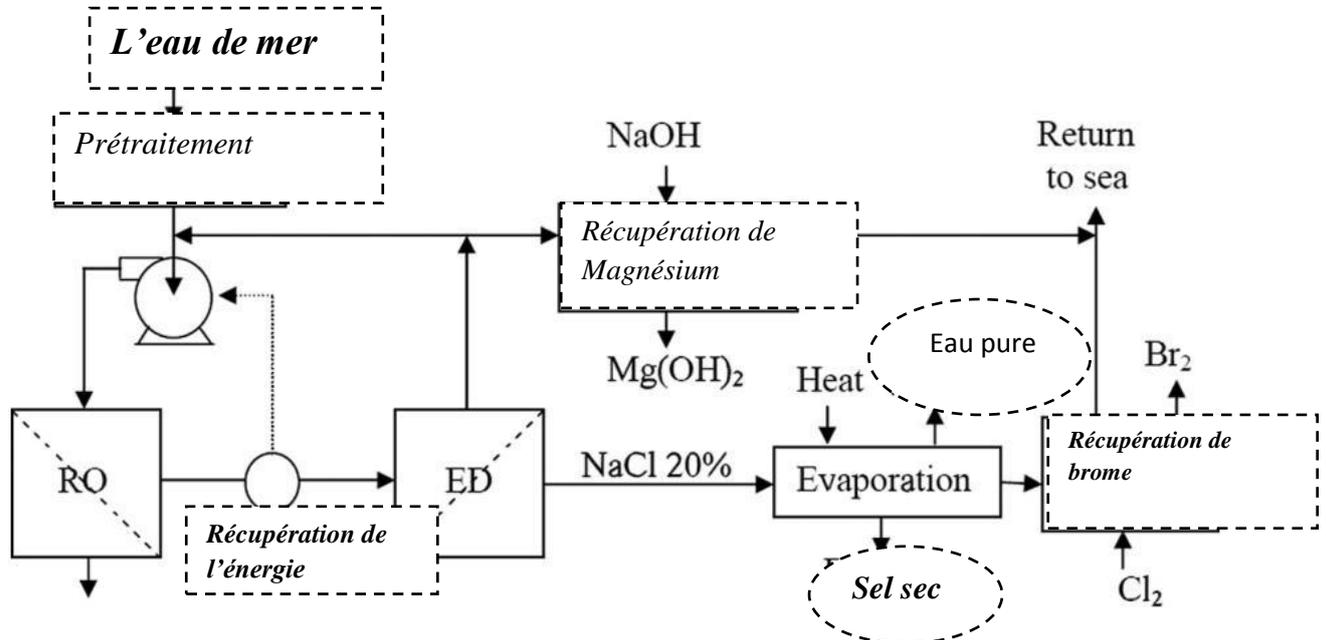


Fig. n°(6) : Schéma du procédé de dessalement sans rejet avec rejet optionnel d'eau de mer.

[17]

Dans la deuxième configuration, le NaCl pur est récupéré par l'ajout d'un cristallisateur, et les flux de déchets qui retournent à la mer dans le premier cas sont traités par évaporation pour le séchage et la production de sel routier (Fig. n°7).

Des expériences menées à l'échelle du laboratoire ont montré qu'environ 75 % du NaCl présent dans la saumure était récupéré sous forme de cristaux de NaCl de haute pureté lors de l'étape d'évaporation-cristallisation. Comme l'ED concentre jusqu'à 20% de NaCl, le NaCl peut être cristallisé avec seulement un tiers de l'énergie thermique qui serait nécessaire si la quantité totale d'eau dans le rejet RO devait être évaporée.

Ces expériences ont mis en évidence que la production de $Mg(OH)_2$ d'une pureté supérieure à 99% était obtenue par un prétraitement au Na_2CO_3 pour éliminer le calcium. Cependant, l'utilisation de Na_2CO_3 précipite également le magnésium et affecte le rendement du procédé. La production de Br_2 a été estimée par un modèle mathématique développé à cet effet. Les simulations ont montré qu'environ 0,38 tonne d'ion brome serait récupérée dans la saumure d'ED associée à 3,79 millions de m^3 de perméat d'OI d'eau de mer, et la totalité de cette quantité pourrait être récupérée sous forme de Br_2 par des techniques conventionnelles.

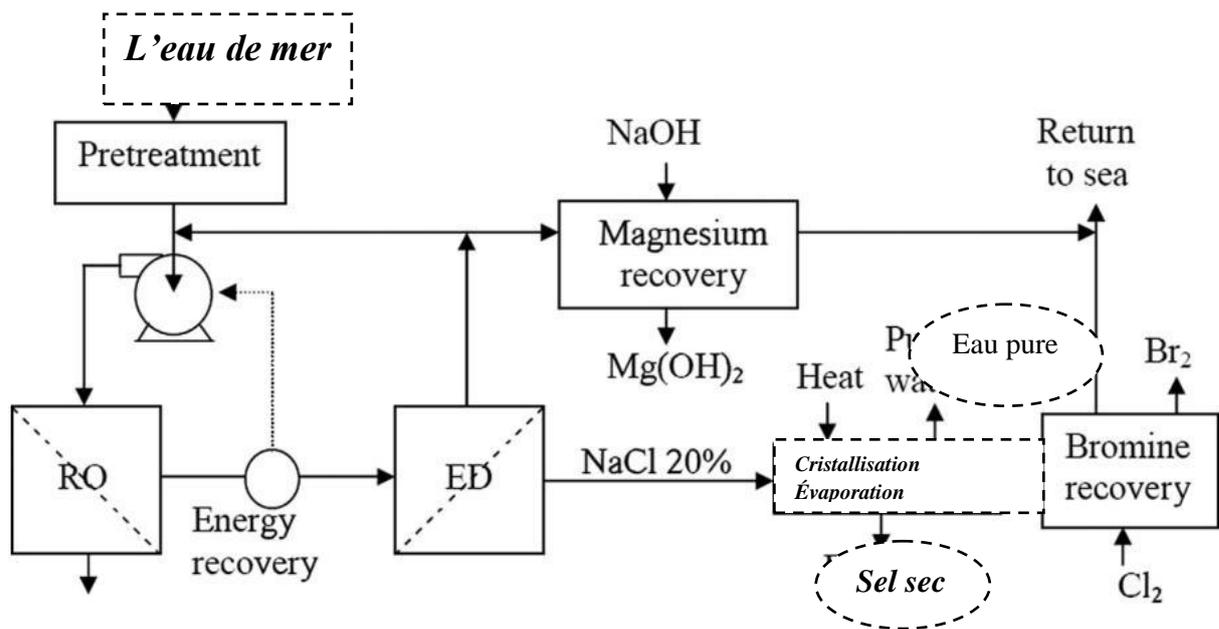


Fig. n°(7) : Schéma du procédé de dessalement sans rejet basé sur l'électrodialyse [17].

L'Université de Caroline du Sud [16] a breveté un autre procédé ZRD, dont la licence a été accordée à Veolia pour une commercialisation internationale. Ce procédé utilise une technologie d'électroséparation appelée métathèse par électrodialyse (EDM) suivie d'un cristallisateur et d'un précipitateur pour traiter la saumure d'eau saumâtre de l'OI.

Les sels concentrés rejetés par l'OI sont acheminés vers le procédé EDM, qui est utilisé pour concentrer davantage les sels en deux flux concentrés : l'un riche en chlorure de calcium et l'autre en sulfate de sodium. La purge des deux flux concentrés peut être

mélangée pour précipiter le sulfate de calcium ou le gypse. Le dilué de l'EDM peut être renvoyé dans l'alimentation de l'OI (Fig. 9).

La différence principale entre l'EDM et l'ED : L'électrodialyse Par métathèse (EDM) est une modification de l'électrodialyse conçue pour augmenter la récupération de l'eau produite et faciliter le développement de produits sales à partir du concentré. La différence principale entre l'EDM et l'ED est le nombre de compartiments dans l'unité comprenant la pile d'électrodialyse. L'unité de base de l'ED est une paire d'éléments formés par deux compartiments remplis de solution séparés par deux membranes échangeuses d'ions. L'unité EDM comprend quatre éléments et quatre membranes : un compartiment de dilution, deux compartiments de concentration, un compartiment de solution NaCl, une membrane échangeuse d'anions, une membrane échangeuse de cations, une membrane échangeuse sélective monovalente d'anions, une membrane échangeuse sélective monovalente de cations.[11]

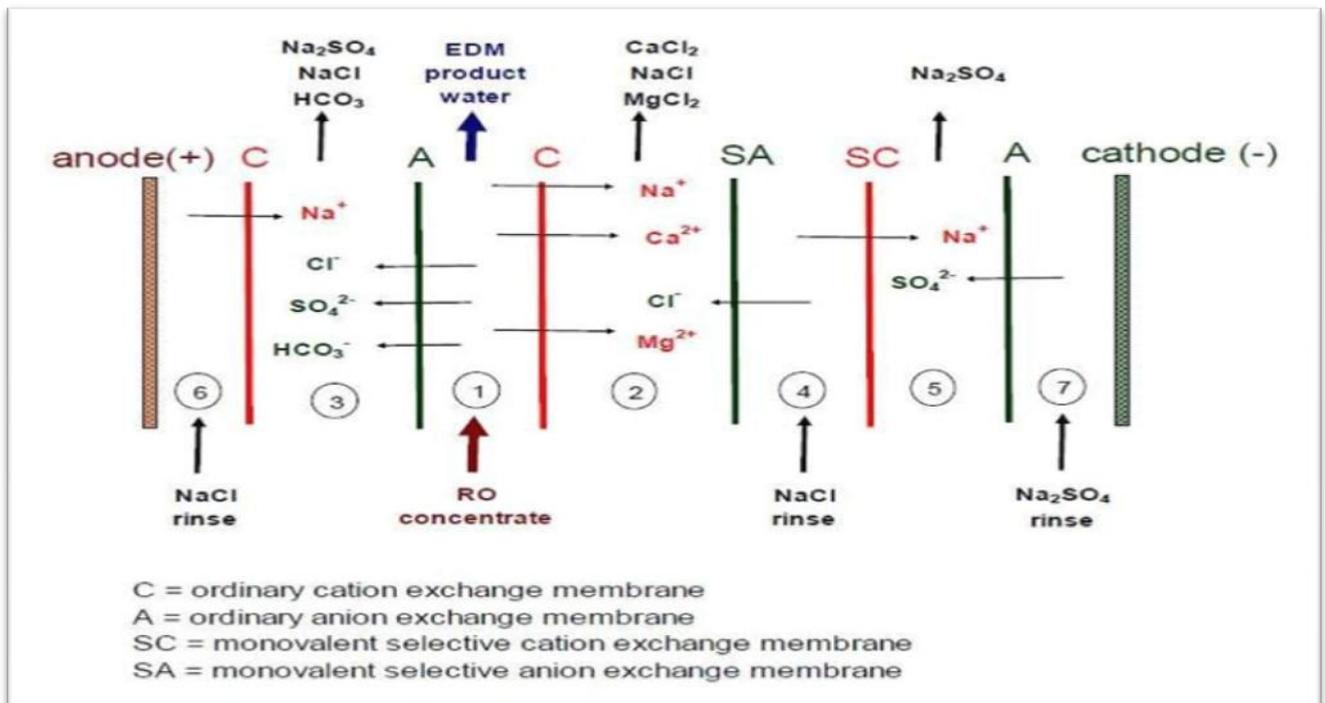


Fig. n°(8) : Schéma de l'électrodialyse par métathèse [11]

❖ Avantages du procédé EDM :[11]

- Version améliorée du processus ED avec récupération plus importante par rapport au procédé OI.
- Utilisable lorsque aucun déchet n'est souhaité. Des produits sales peuvent être développés grâce à ce procédé.

Couplées à l'OI, les deux configurations ZRD peuvent atteindre un taux de récupération de l'eau de 99 % [16], [17]. En outre, la ZRD peut aboutir à une décharge de saumure nulle, ce qui réduit les coûts d'élimination, en particulier dans les usines intérieures, et la mise à l'échelle peut être facilement réalisée car tous les processus de séparation impliqués sont disponibles à l'échelle commerciale.

En outre, les procédés ZRD permettent de récupérer des sels précieux tels que NaCl, $Mg(OH)_2$ et Br_2 dans le cas de la ZRD basée sur l'ED, et Na_2SO_4 et $CaSO_4$ dans le cas de la ZRD basée sur l'EDM. Les estimations de l'Université de Caroline du Sud indiquent que la ZRD est économiquement réalisable grâce à la récupération commerciale des sels. Cependant, les coûts d'investissement de la ZRD sont élevés en raison de la multiplicité des techniques. [36]

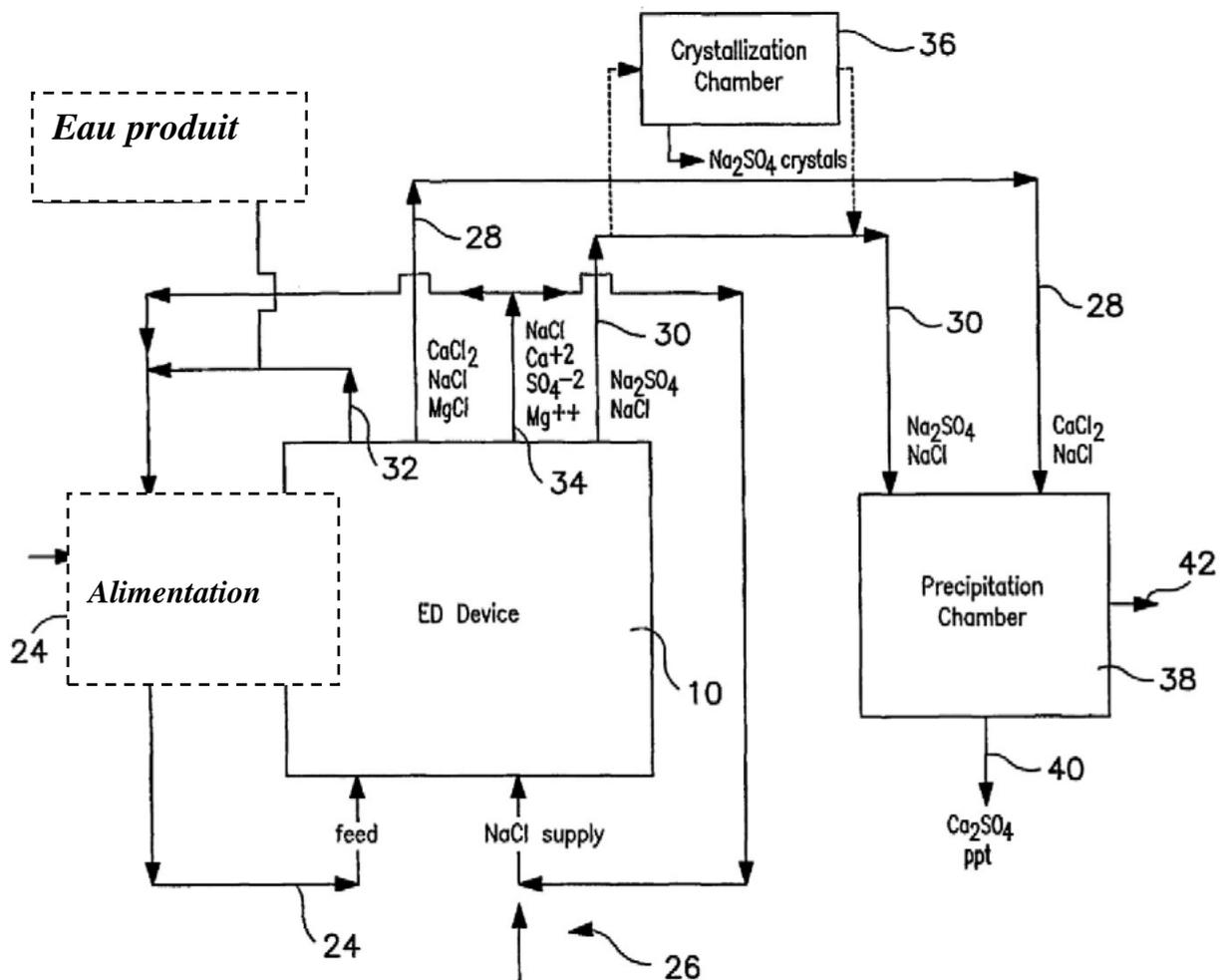


Fig. n°(9) : Schéma du procédé de dessalement à Zéro rejet basé sur la métathèse de l'électrodialyse [16].

3.2.1.1 : Processus intégrés :

Turek [53] a étudié le dessalement de l'eau de mer dans un système ED-Multi-stage Flash (MSF)-Cristallisation (Fig. n°10) dans lequel le système ED (ED suivi par EDR en mode flow à contre-courant) concentrait l'eau de mer à 100 g /L et MSF augmentait la concentration à 300 g /L. La récupération de l'eau du système ED (Fig. n°11) était de 66,4% (73,8% pour le système MSF).

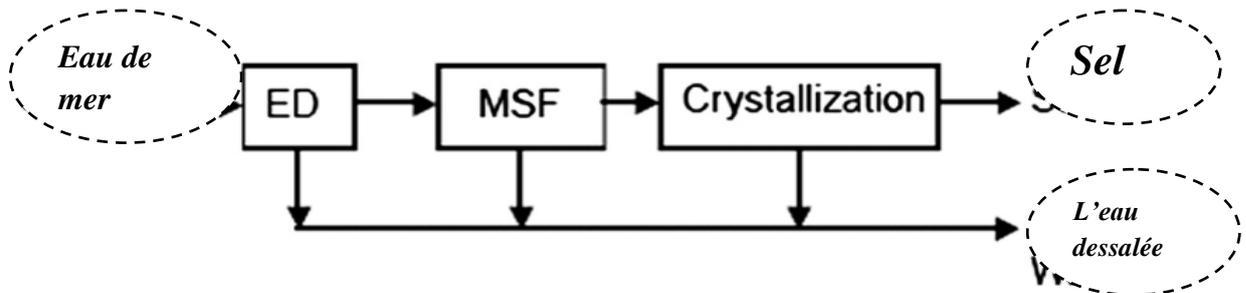


Fig. n°(10) : Schéma du dessalement dans le système de cristallisation ED-MSF [53].

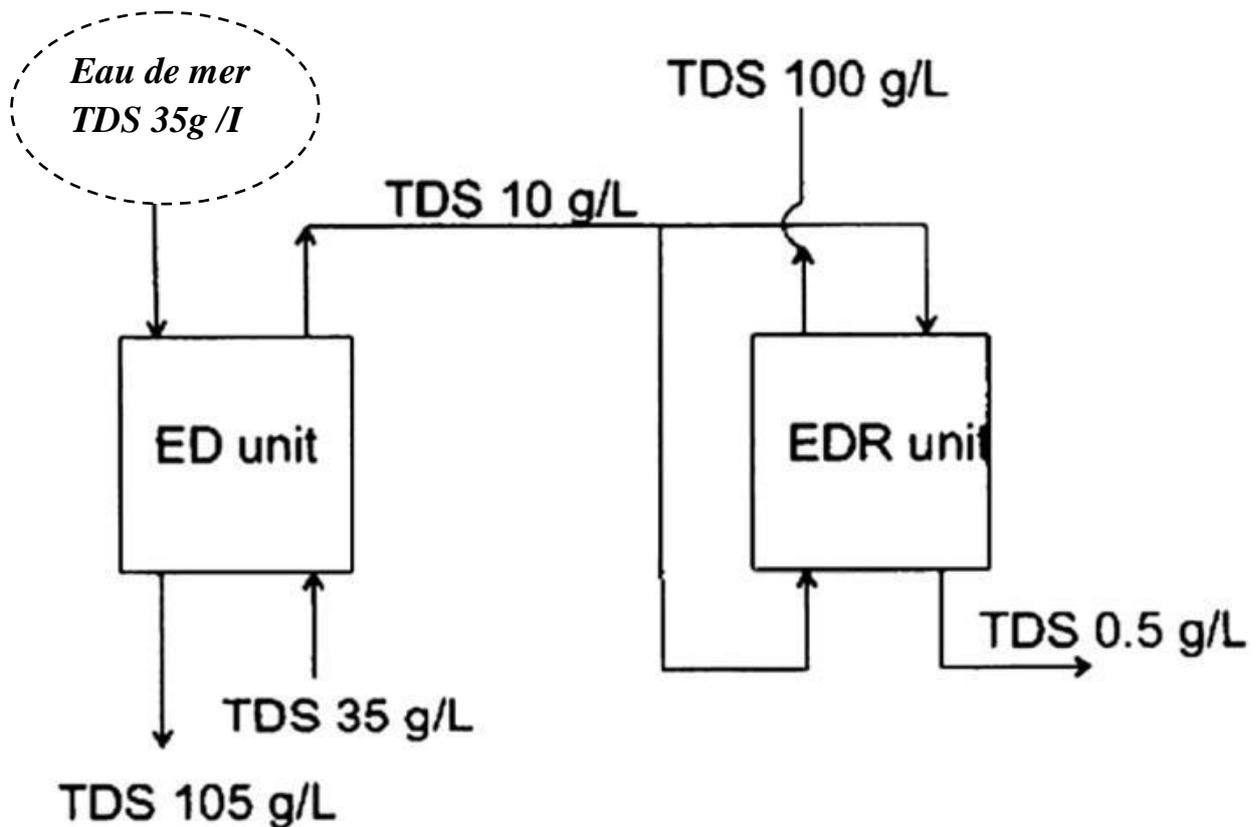


Fig. n°(11) : Schéma du dessalement de l'eau de mer par électrodialyse dans un système de cristallisation ED-MSF [53].

Dans la première étape, les ions monovalents ont été éliminés par des membranes échangeuses d'ions monovalents (membranes ACS et CMS, Tokuyama Co.) produisant un perméat avec une concentration TDS d'environ 10 g/L (0,38 g/L de calcium, 1,26 g/L de magnésium, 4,08 g/L de chlorure et 2,78 g/L de sulfate). L'unité EDR, utilisant des membranes Asahi Glass, a éliminé la plupart des ions, obtenant un perméat de faible salinité. Un mode de fonctionnement à un seul passage et à faible temps de résidence a été appliqué pour éviter la cristallisation du gypse dans le concentré de l'EDR, ce qui a permis d'éviter la cristallisation du gypse dans le concentré de l'EDR malgré une concentration supérieure à la saturation.

Cette enquête [53] comprenait une estimation du coût de l'application de l'ED/EDR pour le dessalement de l'eau de mer. Le coût de l'énergie a été supposé être de 0,06 \$/kWh, l'efficacité des pompes de 0,85 et la durée de vie des membranes de 10 ans. On a supposé que le coût unitaire du MSF était égal à 1,0 \$/m³. Les coûts de l'évaporation supplémentaire accompagnée de la cristallisation du sel ont été estimés sur la base de l'étude de la construction de l'usine et ont été supposés être de 8 \$/t de sel obtenu. La valeur du sel obtenu a été de 30 \$/t tandis que la récupération du sel a été de 1,5 \$/t.

Turek [54] a également étudié deux dispositifs alimentés en eau de mer pour produire de l'eau salée et de l'eau douce : ultrafiltration (UF)-nanofiltration (NF)- MSF-cristallisation (Fig. 12) et UF-NF-RO-MSF-cristallisation (Fig. 13).

La nanofiltration est un procédé sous pression qui se situe entre l'OI et l'ultrafiltration. Ses principaux avantages sont une pression de travail plus faible et un rejet plus important des cations divalents que des monovalents.

Dans tous les systèmes ci-dessus, l'UF et la NF ont été appliquées comme prétraitement et afin d'obtenir une diminution considérable des ions formant le tartre. Une récupération plus élevée peut alors être atteinte lors du dessalage par rapport à l'eau traitée traditionnellement puisque l'entartrage est réduit et que la pression osmotique du perméat de NF est diminuée. Ces caractéristiques suggèrent que ce procédé est intéressant pour le traitement des eaux à forte concentration en ions divalents. Comme l'eau de mer a été considérée à l'entrée, une récupération de 70% a été obtenue en NF. De plus, le coefficient de rejet de la membrane NF a été supposé être de 0,83 pour le calcium, 0,87 pour le magnésium, 0,93 pour le sulfate et 0,1 pour le NaCl. La concentration de NaCl dans le perméat de la NF est de 28,70 g/L. L'estimation du coût pour 1 m³ de perméat d'UF est présentée dans le tableau ci-dessous.

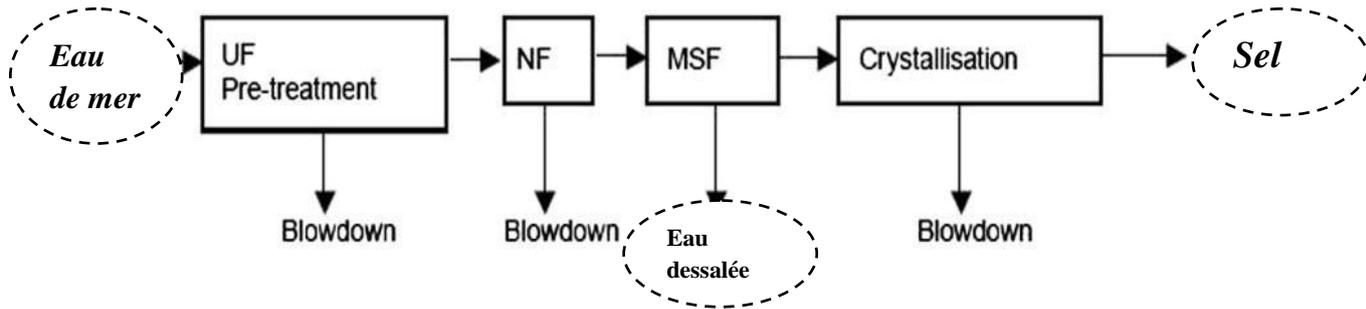


Fig. n°(12) : Schéma du dessalement dans le système UF-NF-MSF-cristallisation [54].

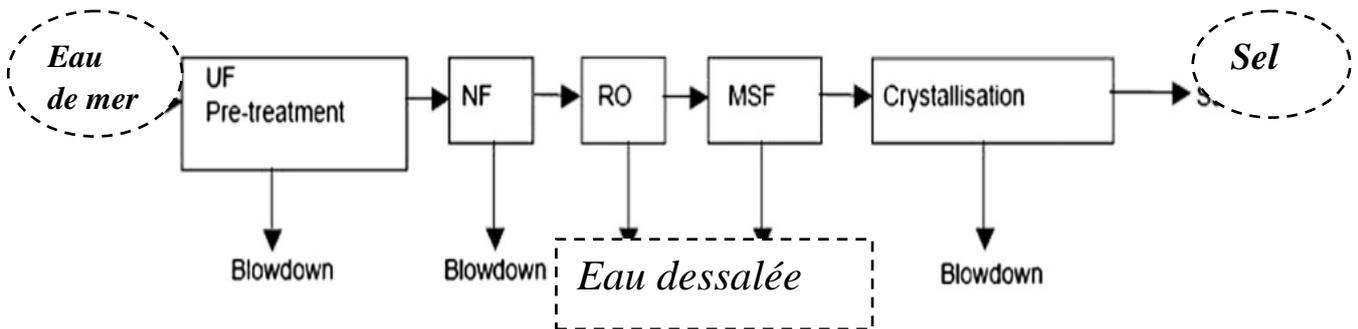


Fig. n°(13) : Schéma du dessalement dans le système UF-NF-RO-MSF-cristallisation [54].

Drioli et al. [19] ont développé un système membranaire intégré afin de récupérer le CaCO_3 , le NaCl et le sulfate de magnésium heptahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) à partir du retentat de la nanofiltration de l'eau de mer (Fig. n°14). Dans ce travail, les ions calcium du retentat de nanofiltration ont été précipités sous forme de carbonates par réaction avec des solutions de bicarbonate de sodium (NaHCO_3) et de Na_2CO_3 . Ces solutions ont été précédemment produites par transfert réactif de CO_2 dans des solutions de NaOH dans un contacteur à fibres creuses avec une surface de contact de $1,4 \text{ m}^2$.

La solution alcaline était alimentée en mode continu du côté de la coquille à contre-courant du flux de CO_2 gazeux qui coule à travers les fibres. La quantité de CO_2 transférée de la phase gazeuse à la phase liquide a été calculée en utilisant le bilan massique du flux gazeux. Le diagramme de flow a été complété avec un système de cristallisation basé sur un procédé à membrane qui permet la sursaturation. Dans tous les essais, la solution a été introduite dans le cristallisateur et recirculée à travers les fibres membranaires avec un débit de 120 L/h .

Les températures mesurées à l'entrée du module du côté du retentat et du distillat étaient de 15 et $35 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivement. Le PH de la solution de cristallisation a été ajustée à 5 par addition d'acide chlorhydrique (HCl) afin d'éviter la précipitation de $\text{Mg}(\text{OH})_2$, favorisant la formation de cristaux de sulfate de magnésium [19].

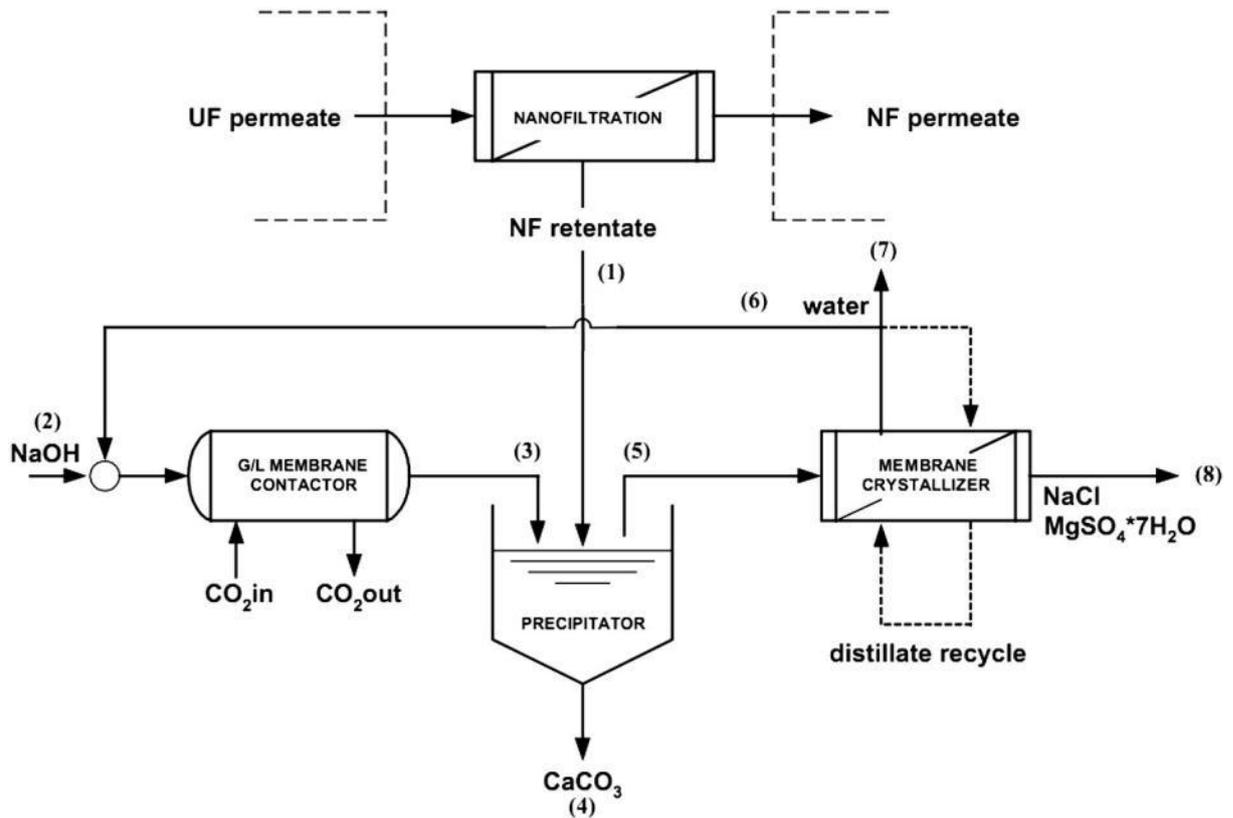


Fig. n°(14) : Schéma du système membranaire intégré pour la récupération des sels dissous dans le retentât de la NF de l'eau de mer [19].

Les processus intégrés permettent une récupération élevée de l'eau et le rendement est indépendant des conditions climatiques, contrairement aux bassins d'évaporation. De plus, les processus impliqués sont développés à l'échelle industrielle.

Cependant, les procédés intégrés sont complexes et les coûts sont élevés par rapport aux autres options en raison du coût d'investissement pour l'achat du matériel nécessaire à chaque traitement et des coûts d'exploitation. En raison des différents traitements, les processus sont énergivores et nécessitent de l'énergie sous forme de chaleur et d'électricité, ce qui complique l'utilisation de sources d'énergie renouvelables. Néanmoins, la production de sel contribue à compenser les coûts.

Tableau n°(6) : Procède de dessalement à Zéro rejet ZRD

Technologie de dessalement à zéro rejet (ZRD)	
pour le traitement des saumures d'osmose inverse(OI)	
ZRD de Différentes configurations.	
toutes basée sur l'ED	
Configuration de base : Fig. (6)	But de l'utilisation d'ED
(RO+ED+Evaporation) Avec un rejet optionnel.	l'ED concentre jusqu'à 20% de NaCl
Le NaCl est récupéré sous forme sels secs.	La cristallisation du NaCl se fait par l'utilisation de l'énergie thermique
Mg(OH)₂ et Br₂ des déchets (rejetée dans la mer).	
Deuxième configuration : Fig. (7)	
(RO+ ED+ Evaporation+Cristallisation) Sans rejet	
NaCl pur est récupéré par l'ajout d'un cristallisateur.	Etape Evaporation-Cristallisation :
les flux de déchets qui retournent à la mer dans le premier cas sont traités par évaporation pour le séchage et la production de sel routier.	Récupéré 75 % de NaCl sous forme des cristaux de haut pureté
ZRD pour une commercialisation internationale	
EDM	
Technologie utilise :	L'électroséparation appelée métathèse par électrodialyse (EDM).

EDM	concentrer les sels en deux flux concentrés : l'un riche en NaCl l'autre riche Na ₂ SO ₄ .	Mélangé pour précipiter le CaSO ₄ ou le gypse
Couplage (OI) avec		
Couplage OI + ED	Couplage OI + EDM	
Sels récupère		
NaCl, Mg(OH)₂ Et Br₂	Na₂SO₄ Et CaSO₄	
Processus intégrés	Avantage Inconvénients	
Système de cristallisation ED-MSF	Récupéré bonne quantité de l'eau Meilleur rendement Sont complexes et couts (deux type de l'énergie utilisée thermique et électrique)	
Système de cristallisation ED-EDR-MSF		
Système UF-NF-MSF-Cristallisation		
Système UF-NF-RO-MSF-Cristallisation		
Système membranaire pour la récupération des sels dissous dans la retentât de la NF de l'eau de mer		

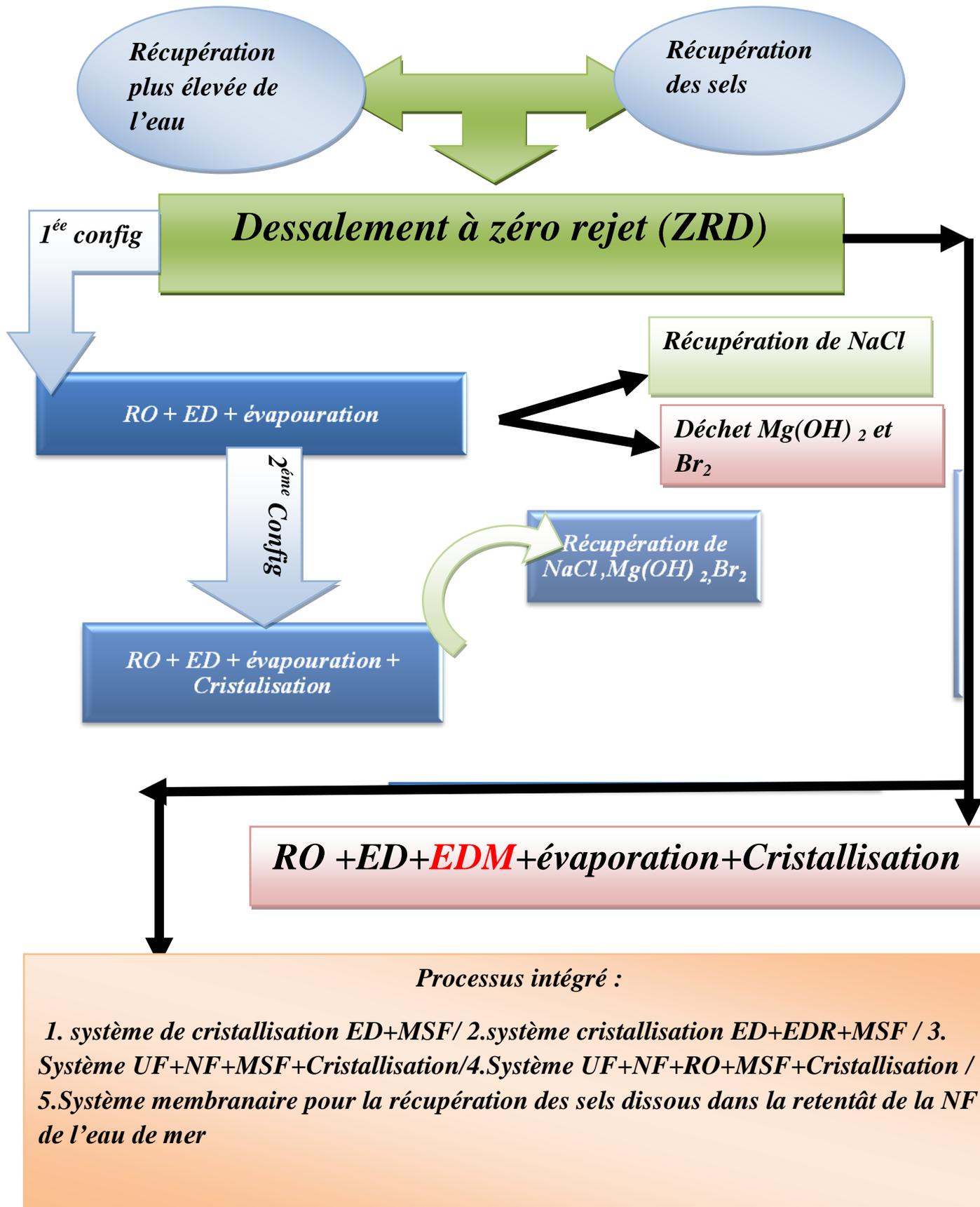


Fig. n°(15) : Dessalement à zéro rejet (ZRD)

Conclusion :

D'après le fonds mondial pour la nature (WWF): « Dessaler l'eau de mer est un procédé qui coute cher, consomme beaucoup d'énergie et rejette dans l'atmosphère des tonnes de gaz à effet de serre et des millions de mètres cubes de saumure (rejets liquides). » de ce fait, WWF craint que le dessalement de l'eau de mer soit une solution de facilité et détourne l'attention des solutions de recharge moins couteuses et moins agressives pour l'environnement comme l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau ou le recyclage des eaux usées .

Cette organisation estime que les activités intensive de dessalement peuvent provoquer le développement de saumures et entrainer la destruction de précieuses régions côtières et, ainsi, contaminer la vie marine, les cours d'eau , les zones humides , les eaux souterraines et plus généralement les écosystèmes qui assurent l'épuration de l'eau et la protègent contre les catastrophes .

Mais malgré tout cela, le meilleur moyen de réduire les effets de la saumure est de traiter cette saumure avant son rejet à la mer. Une sérieuse réflexion doit être engagée en Algérie et dans tous les pays producteurs de l'eau par dessalement dans cette thématique de valorisation et de traitement des rejets de dessalement.

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 de 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 et de l'environnement.

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, 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 montrent que cette dernière a des caractéristiques proches de ceux de l'eau de mer, donc sur la base de ceci on peut dire que ces rejets n'ont pas d'impacts sur le milieu marin.

Enfin, on a conclu que l'utilisation de l'eau comme fluide moteur pour la production d'énergie électrique présente l'avantage d'exploiter un corps très répandu dans la nature, à condition de bien gérer et valoriser les rejets émis par la station de dessalement propre à la centrale

Références
bibliographiques

BEBLIOGRAPHIE

- [1] AROUSSI .N et BRAHIM..S , Etude et suivi de fonctionnement de l'unité du dessalement dans la centrale thermique de CAP-DJINET ».PFE, université m'hamed bougara Boumerdes 2008-2009.
- [2] BECHKI. D.,Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes, Thèse de doctorat en génie mécanique, Université Hadj Lakhdar Batna,2011
- [3] BEI ERE. Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement [http://www.shpr.fr/IMG/pdf/Garzettespeciale9Chimimaraissalantb9dec2012C .pdf](http://www.shpr.fr/IMG/pdf/Garzettespeciale9Chimimaraissalantb9dec2012C.pdf)
- [4] BELKIN. N.et al, The effect of coagulants and antiscalants discharged with seawater desalination brines on coastal microbial communities: A laboratory and in situ study from the southeastern Mediterranean. Water Research 2017,110:321-331.
- [5] BOND.R et al, Zero liquid discharge desalination of brackish water with an innovative form of electrodialysis: electrodialysis metathesis,Florida Water Resour. J. (2011) 38–42
- [6] BOSSY. P et al, « Le GRAFCET ». Edition EDUCALIVRE. PARIS 1979.
- [7] Documentations internes de CAP-DJINET.
- [8] BOULNOUAR. N., Etude d'alimentation de rendement du procédé de dessalement à thermo compression au niveau du complexe d'ammoniaque sorfert, Mémoire de fin d'études, Master,Université Mohamed Boudiaf Oran, 74 pages, 2014.
- [9] BRAND L. E., SUNDA, W. G. and GUILLARD. R. R. L.. Reduction of marine phytoplankton reproduction rates by copper and cadmium. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 1986, 96:225-250.
- [10] BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (BRGM). Quelles techniques pour quels traitement- analyse coûts, bénéfices, Rapport BRGM/ RP-58609-FR, Orléans, France, Juin 2010.
- [11] BUSHNAK .A, Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales, Gestion Intégrée Durable de l'Eau – Mécanisme de Soutien (SWIM - SM) Projet financé par l'Union européenne, Rapport final
- [12] CASTAING. J. B., Procédés de traitement de l'eau de mer en conchyliculture pour la sauvegarde et le maintien de la qualité des mollusques bivalves, Thèse de doctorat, Université de Nantes, septembre 2011.
- [13] CHESHER, R.,Biological impact of a large-scale desalination plant at Key West, Florida. Elsevier Oceanography 1971, Series 2:99-164.

[14] DANIS. P., Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'ingénieur, Traité génie des procédés référence ; Technique de l'ingénieur J 2700-18, 2003.

[15] DARWISH, M.A. et ALSAIRAFI, A., (2004). Technical comparison between TVC/MEB and MSF. Desalination, 170(3), pp.223–239.

[16] DAVIES.T.A, Water Desalination Process and Apparatus, PCT/US2005/032419, 2005.

[17] DAVIS.T.A et . RAYMAN.S, Zero discharge seawater desalination: integrating the production of freshwater, salt, magnesium, and bromine, USBR Desalin. Water Purif. Res.Dev. Progr. Rep., 2006

[18] DEGREMONT. « Mémento technique de l'eau ». Edition Paris-1995.

[19].DRIOLLE et al, Integrated system for recovery of CaCO_3 , NaCl and $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ from nanofiltration retentate, J.Membr.Sci.239(2004) 27-38.

[20] DRAMI, D et al, Seawater quality and microbial communities at a desalination plant marine outfall. A field study at the Israeli Mediterranean coast. Water Research 2011, 45:5449-5462.

[21] FRANÇOIS .D. « Echange d'ions (Technologies d'applications) ». Technique de l'ingénieur, Doc. J2784, Septembre 1998.

[22] GHERSALLAH.A ET SAADA.D « Exploitation d'une tranche de production ». Formation en milieu de travail, Etape II, Module VII.Rapport internr de la centrale.

[23] HADJALL.Y, Impact des stations de dessalement de l'Eau de mer sur le littoral cas de la station plage El Hilel Ain Timouchent, Mémoire de fin d'études, Master, Université bou Bekr belkaid Tlemcen, 91 pages, 2012.

[24] HAMITI. O, L'influence des paramètres physico-chimique sur la performance de la station de dessalement de GHAZAOUET ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen 2010.

[25] HOBBS. D et al, Ecotoxicity of effluent from the proposed Olympic Dam Desalination Plant. Final Report. Hydrobiology Pty Ltd. Aquatic Environmental Services 2008.

[26] JONES.E et al., The state of desalination and brine production: A global outlook , Science of the Total Environment 657 (2019) 1343–1356

[27] KWU. « Circuit de dessalement d'eau de mer ». Service de formation professionnelle Référence N°5515]

[28] KWU. « Traitement des eaux ». Service de formation professionnelle, Référence N°5504.

[29] LATTEMANN. S., et HOPNER. T. Impacts of seawater desalination plants on the marine environment of the Gulf. Protecting the Gulf's Marine Ecosystems from Pollution. Ed A.H. Abuzinada, H.J. Barth, F. Krupp, B. Böer and T.Z. Al Abdessalaam Birkhäuser Verlag/Switzerland: . 2008, 191-205.

[30] LE DIRACH J, NISAN S, POLETIKO.C.,Extraction de matériaux stratégiques à partir de la saumure concentrée rejetée par les systèmes intégrés de dessalement nucléaire. Desalination.,2005;182:449-460.

[31] LENNTECH

<https://www.lenntech.fr/procedes/dessalement/prise/dessalement/prise-eau-de-mer.htm#ixzz6yFLAHT00>

[32] Les perspectives du dessalement d'eau de mer.<http://www.wikiwater.fr>.
Date de mise en ligne : mercredi 8 février 2012.

[33] LIN, Y.C et al , Potential impacts of discharges from seawater reverse osmosis on Taiwan marine environment. Desalination2013,322:84-93

[34] MAUREL, A., (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Paris 2006 : Éditions Tec & Doc, ed., P.

[35] MAYET.J « La pratique de l'eau ». 2^{ème} édition, 1994

[36] MORILLO .J et al., Comparative study of brine management technologies for desalination plants, Desalination 336 (2014) 32–49

[37] MURRAY. J. B., and WINGARD. G. L. Salinity and temperature tolerance experiments on selected Florida Bay mollusks. U.S. Geological Survey Open-File Report 2006, 1026:59 pp.

[38] Notice technique sur les centrales thermiques. « Le traitement des eaux ». Fascicule N°10, 2^{ème} édition, Avril 1970.

[39] PATRICK.D, (2003). Dessalement de l'eau de mer. *technique de l'ingenieur*.

[40] PETERSKOVÁ.M, et al, Extraction d'ions métalliques précieux (Cs, Rb,Li, U) du concentré d'osmose inverse à l'aide de sorbants sélectifs. Desalination. 2012;286:316-323.

[41] PNUE Plan d'action, 2003. Plan d'action pour la méditerranée, Réunion des Coordonnateurs nationaux pour le MED POL, San Gemini, Italie, 27 - 30 mai 2003, PNUE, Athènes

[42] PORTILLO. E. et al, Venturi diffusers as enhancing devices for the dilution process in desalination plant brine discharges. *Desalination and Water Treatment* 2013, 51: 525-542.

[43] RALUY, R.G. et al (2004). Life-cycle assessment of desalination technologies integrated with energy production systems. *Desalination* 167(0), pp.445–458.

[44] RODIER. J, L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ». 7^{ème} édition, Edition : Dunod, 1984.

[45] SAGNE. C., Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse, Thèse de doctorat, Spécialité génie des procédés, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), 2008.

[46] SARL ASMA Environnement, ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE Réalisation d'un Centrale combiné de 1131 MW Ras Djinet ,Rapport final 2013

[47] SAOU. R, « Commande par automate programmable S5-110s de l'unité de dessalement de CAP-DJINET ». Université m'hamed bougara Boumerdes 2009-20010

[48] SEDIRA .N , Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes Par : Melle Nora SEDIRA , Univ. Mohamed-Chérif Messaidia Souk Ahras (2012-2013)

[49] SIMON. N. « Dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires ». Document interne de la centrale. 2007

[50] SPIEGLER, K.S et EL-SAYED, Y.M., (2001). The energetics of desalination processes. *Desalination*, 134(1–3), pp.109–128.

[51] TANSAKUL. C., Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 182 pages, 2009.

[52] TAYLOR.C. J. L. The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin* 2006, 53:30-48.

[53] TUREK .M ,Dual-purpose desalination-salt production electro dialysis, *Desalination* 2003,153,377-381.

[54] TUREK.M , Seawater desalination and salt production in a hybrid membrane-thermal process,*Desalination*153(2003)173-177.

[55] UNEP/MAP, United Nations Environment Programme – Mediterranean Action Plan MED POL. « Sea Water Desalination in the Mediterranean: Assesment and Guidelines ». Map Technical Raports series No.139, UNEP/MAP, Athens, 2003.

[56] UNEP , Programme des nations unies pour l'environnement plan d'action pour la méditerranée, UNEP(DEPI)/MED WG.439/7 12MAI 2017

[57] WILTSHIRE,K. et al. Helgoland Roads, North Sea: 45 Years of Change. Estuaries and Coasts 2010, 33:295-310.

[58]<https://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/Desalination%20Process%20figure.jpg>

Annexe

Annexe N°1

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 :

Définition :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de **1 cm²** de surface et séparées l'une de l'autre de **1 cm**. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro-siémens par centimètre (**μS/cm**).

Principe :

Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine

(Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

Si **R** est la résistance de la colonne d'eau en **ohms**, **S** sa section en **cm²** et **l** sa longueur en **cm**, la résistivité électrique en **ohms. cm** est :

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 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4)- Mesure de la salinité :

Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de la salinité, la placer cette électrode dans l'eau à analyser.

La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise; le résultat est donné en (mg/l).

5)- Mesure de la turbidité : 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 (**400 NTU**), on prépare une solution fille à **40 NTU** et on effectue la mesure.

b)- Dosage de l'échantillon :

Remplir une cuvette de mesure propre avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé 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**.

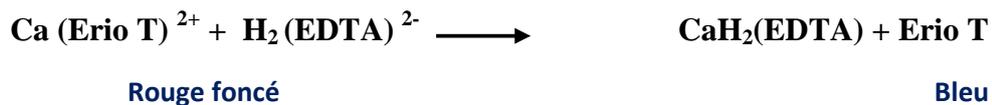
6)- Détermination de titre hydrotimétrique TH : Définition :

La dureté totale d'une eau ou titre hydrotimétrique **TH** est la somme des concentrations calcique et magnésienne.

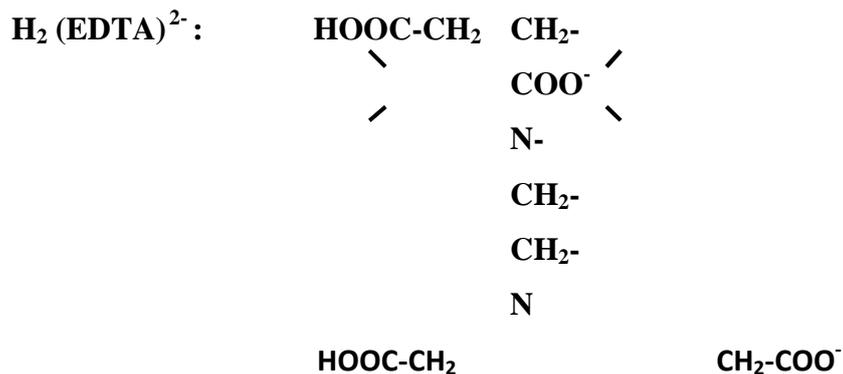
Principe :

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type « chélate » par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA), désigné sous le nom de « Complexon III ». Les dernières traces d'éléments libres à doser sont décelées par le virage d'un indicateur spécifique de la dureté totale, le Noir Eriochrome T (**NET**). La méthode permet de doser les ions calcium et magnésium selon l'équation suivante:

ANNEXE



Ca (Erio T)²⁺ : Complexe coloré du Ca²⁺ avec le Noir d'Eriochrome T.



Na₂H₂ (EDTA) : Complexon III.

Appareillage :

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

Réactifs :

- Solution volumétrique de Complexon III « **Na₂H₂ (EDTA). 2 H₂O** » à 0,01 M.
 - ♦ Complexon III..... 3,722 g.
 - ♦ Eau distillée..... 1000 ml.
- Solution tampon pH = 10.
- Indicateur Noir d'Eriochrome T.

Mode opératoire :

On opère sur 100 ml d'eau à analyser en ajoutant **3 à 5 ml** de solution tampon de **pH = 10** et une pincée d'indicateur **NET**, on titre avec l'EDTA (**0,01 M**) jusqu'au virage du rouge foncé au bleu et on lit le volume V utilisé ; on répète 3 fois l'analyse et on calcule la moyenne.

Expression des résultats :

Lorsqu'on emploie une solution de **0,01 M** de Complexon, **1 ml** utilisé correspondant à **1°fH** de dureté.

7)- Détermination de titre hydrométrique calcique $TH_{Ca^{2+}}$: Principe :

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

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

Appareillage :

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

Réactifs :

- Solution volumétrique de Complexon III « **Na₂H₂ (EDTA). 2 H₂O** » à 0,01 M.
 - ♦ Complexon III..... 3,722 g.
 - ♦ Eau distillée..... 1000 ml.
- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH à 2 N.
 - ♦ NaOH (pastilles)..... 80 g.
 - ♦ Eau distillée..... 1000 ml.
- Indicateurs colorés : Murexide (mélangé 1 :100 avec NaCl) **Mode**

ANNEXE

opérateur:

A l'aide d'un cylindre gradué, introduire 100 ml de l'échantillon à analyser dans un bécher de 250 ml. Ajouter 2ml de la solution de NaOH et environ 0,2g de l'indicateur Murexide. Mélanger et doser immédiatement.

Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter. Verser lentement. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA. Soit V le volume d'EDTA versé.

Expression des résultats :

1 ml de Complexon III utilisé correspond à **4 mg/l** de Ca^{2+} ou **1°f** de dureté calcique ou **0,2 méq/l**.

8)- Détermination de titre hydrométrique magnésium $\text{TH}_{\text{Mg}^{2+}}$:

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

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

9)- Détermination de l'alcalinité : Définition :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogencarbonates HCO_3^- , carbonates CO_3^{2-}

et hydroxydes OH^- .

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

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 méthylorange 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 (**0,1 N**) versés depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume **0,1 ml**, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur.

ANNEXE

Expression des résultats : a)- Pour TA :

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

- (V - 0,1) exprime le titre alcalimétrique complet en milliéquivalent par litre.

(V - 0,1).5 exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français

10)- Détermination des HCO₃⁻ et CO₃²⁻ :

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

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

Si le TA et le TAC sont égaux, toute l'alcalinité est due aux hydroxydes.

Si le TA est inférieur au TAC, des carbonates et des hydroxydes sont présents. Ceci veut dire que le TA est égal à tous les hydroxydes, plus la moitié des carbonates, et que le TAC est égal à tous les hydroxydes et tous les carbonates. Par conséquent :

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

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 :

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

ANNEXE

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 > ½ TAC	2 TA - TAC	2 (TA - TAC)	0
TA = ½ TAC	0	TAC	0
TA < ½ TAC	0	2 TA	TAC - 2 TA
TA = 0	0	0	TAC

11)- Détermination des chlorures : Principe :

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

Appareillage :

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

Réactifs :

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

Mode opératoire :

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

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

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 100 ml :

- $V \times 10 \times 3,35$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

12)- Détermination de sodium et de potassium : Principe :

Le photomètre de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalino-terreux.

Les éléments à analyse (sodium, potassium lithium...etc.) sont généralement sous forme de sels.

L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

Appareil :

- Photomètre à flamme.

Réactifs :

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

Mode opératoire :

Il faut le suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert.
- Allumer la pompe.
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz propane.
- Allumer la flamme.
- Aspirer de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Appuyer sur la touche KONTROLL.
- Appuyer sur la touche Null-Zéro et attendre **5 à 10** minutes.
- Appuyer une **2^{ème}** fois sur la même touche (Null-Zéro) pour qu'elle s'allume.

ANNEXE

- Retirer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de (Na^+) ou de (K^+) à **10 mg/l**.
- Appuyer sur la touche STANDARD.
- Attendre qu'elle s'allume.
- Appuyer une **2^{ème}** fois sur la même touche et attendre qu'elle s'allume.
- Ensuite, appuyer sur la touche Analyse (il faut que la lecture donne une valeur de **10**).
- A la fin passer aux échantillons à analyser et appuyer seulement sur la touche Analyse
(3 essais pour chaque échantillon).

A la fin du dosage et par mesure de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en **mg/l**.

Rq : Avant de doser le sodium (Na^+), il faut toujours vérifier les valeurs de la conductivité car cette dernière est proportionnelle à la dilution, c'est-à-dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du Na^+ est grande et vice versa. Alors pour le cas de K^+ , on ne fait pas la dilution sauf si la conductivité est grande.

13)- Détermination des sulfates : Principe :

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

Appareil :

- Spectrophotomètre.

Réactifs :

- Solution étalon de sulfates de sodium à **150 mg/l** de SO^{2-} :
 - ◆ Solution de sodium anhydre Na_2SO_40,221 g.
 - ◆ Eau distillée..... 1000 ml.

ANNEXE

- Acide chlorhydrique à **10%**.
- Chlorure de baryum stabilisé :
 - ♦ Chlorure de baryum..... 10 g.
 - ♦ Solution de Tween 20 à 25%..... 20 ml.
 - ♦ Eau distillée..... 80 ml.

Mode opératoire :

- Dans les fioles, introduire 39 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique à 10%.
- Ajouter 5 ml de la solution de chlorure de baryum stabilisé.
- Agiter et laisser reposer pendant 15 mn.
- Agiter à nouveau et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda = 650$ nm.

Faire une gamme d'étalon de la solution mère de sulfates [0-11] ml.

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 39 ml, la courbe donne directement la teneur en sulfates exprimée en milligrammes de SO_4^{2-} par litre d'eau.

14)- Détermination des phosphates : Principe :

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

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

Appareil :

- Spectrophotomètre.

Réactifs :

- Acide ascorbique à **10 g/l**.
 - ♦ Acide ascorbique..... 10 g.

ANNEXE

- ◆ Eau distillée.....100 ml.
- Solution mère étalon à **50 mg/l** de PO_4^{2-} .
 - ◆ KH_2PO_4 après séchage à 105°C 0,2197 g.
 - ◆ Eau distillée..... 800 ml.
 - ◆ Acide sulfurique à 7,5 mol/l..... 10 ml.
 - ◆ Eau distillée..... 190 ml.
- Solution fille étalon à 1 mg/l.
 - ◆ Solution mère..... 20 ml.
 - ◆ Eau distillée..... 980 ml.
- Réactif mélangé :
(Réactif 1+ Réactif 3) + Réactif 2 = 500 ml (stable 2 mois).

Reactive 01

- ◆ Heptamolybdate d'ammonium.....13 g.
- ◆ Eau distillée.....100 ml.

ANNEXE

Réactif 2 : Tartrate de potassium et d'antimoine

- ♦ Hemihydraté..... 0,35 g.
- ♦ Eau distillée..... 100 ml.

Réactif 3 :

- ♦ Acide sulfurique 9 mole/l.....150 ml.
- ♦ Eau distillée.....150 ml.

Mode opératoire :

a)- Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Introduire dans une série des fioles jaugées de 25 ml :

Numéro des fioles	T	1	2	3	4	5
Solution étalon de phosphore à 1 mg/l (ml)	00	01	05	10	15	20
Eau distillée	20	19	15	10	05	00
Correspondance de mg/l de phosphore	00	0,05	0,25	0,50	0,75	1

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter puis ajouter 4 ml de réactif combinée, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml, attendre 30 min pour la stabilisation de la coloration, et effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 nm, et on construit la courbe d'étalonnage.

b)- dosage de l'échantillon :

Dans un Erlenmeyer introduire :

- 40 ml d'eau à analyser.
- 1 ml d'acide ascorbique
- Ajouter 2 ml du réactif mélangé

ANNEXE

- Laisser au repos pendant 10 minutes
- Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 nm

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

15)- Détermination des nitrites : Principe :

Les ions nitrites réagissent en milieu acide (**pH= 4,9**) avec le réactif amino – 4 benzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque donnant un complexe de coloration rose avec le dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$) qui est dosé par spectrométrie à la longueur d'onde $\lambda= 540\text{nm}$.

Appareil :

- Spectrophotomètre.

Réactifs :

- Acide ortho phosphorique H_3PO_4 (d=1,7).
- Solution d'acide phosphorique (utilisée si l'échantillon est coloré).
 - ♦ Acide phosphorique (**80%**)..... 25 ml.
 - ♦ Eau distillée150 ml.
 - ♦ Après refroidissement à la température ambiante, on complète avec l'eau distillée jusqu'à 250 ml.
 - ♦ Conserver cette solution dans un flacon en verre brun.
Elle est stable pendant 6 mois.
- Réactif coloré (réactif dangereux).
 - ♦ Amino-4 benzène sulfonamide20 g.
 - ♦ Mélange H_3PO_4 (d= 1,7)..... 50 ml.
 - ♦ Eau distillée.....250 ml.
 - ♦ Di chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino 1,2 éthane.....1 g.
 - ♦ Eau distillée..... 500 ml.
 - ♦ Conserver cette solution dans un flacon en verre brune.
Elle est stable pendant 1 mois, si elle est conservée

ANNEXE

entre 2 et 5°C.

- Solution mère étalon en d'azote nitreux (NO_2^-) à **100 mg/l**.
 - ♦ Nitrites de sodium (NaNO_2)..... 0,492g.
 - ♦ Sécher à 150 °C pendant 2 heures.
 - ♦ Eau distillée..... 1000 ml.
 - ♦ Conserver cette solution dans un flacon en verre brun.
elle est stable pendant 1 mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

- Solution fille étalon d'azote nitreux (NO_2^-) à **1 mg/l** (préparer cette solution chaque jour avant emploi).
 - ♦ Solution mère1 ml.
 - ♦ Eau distillée.....100 ml.

- Solution de nettoyage (toute la verrerie doit être soigneusement lavée avec une solution d'acide chlorhydrique (d= 1,12 mg/l, à 25%) et rincée abondamment à l'eau distillée).

Mode opératoire :

a)- Etablissement de la courbe d'étalonnage :

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

Numéro de fiole	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Solution étalon fille à 1mg/1 (ml)	0	0,4	0,8	1,2	2	4	6	8	10
Eau distillée (ml)	40	39,6	39,2	38,8	38	36	34	32	30
Réactif coloré (ml)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/1 D'azote nitreux	0	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25

Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 540 nm, et construire la courbe d'étalonnage.

ANNEXE

b)- dosage de l'échantillon :

Dans un Erlenmeyer introduire :

- 40 ml d'eau a analysée.
- Ajouter 1ml du réactif coloré.
- Homogénéiser immédiatement en faisant tourbillonner et compléter à 50ml. Le pH doit être égale **1,9**.
- Laisser repose 20 mn.
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda=540$ nm.

Expression des résultats :

Expression donnée la teneur en azote nitreux **N-NO₂** exprimée en **mg/1**.

Pour obtenir la teneur en nitrite **NO₂**, multiplier ce résultat par **3,29**.

16)- Détermination des nitrates : Principe :

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

Appareil :

- Spectrophotomètre.

Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à **0,5 g** dans 100 ml.
- Solution d'hydroxyde de sodium **30 g** dans 50 ml.
- Acide sulfurique concentré H₂SO₄.
- Tartrate double de sodium et de potassium :
 - ♦ Hydroxyde de sodium NaOH.....80 g.
 - ♦ Tartrate de sodium et de potassium.....12 g.
 - ♦ Eau distillée..... 200 ml.
 - ♦ Laisser refroidir avant de compléter à 200ml, cette solution doit être conservé dans un flacon de polyéthylène.

ANNEXE

- Solution mère d'azote d'origine nitrique à **100 mg/1**.
 - ♦ Nitrate de potassium anhydre..... 0,722 g.
 - ♦ Eau distillée.....1000 ml.
 - ♦ Chloroforme.....1 ml.

- Solution fille d'azote d'origine nitrique à **5 mg/1**.
 - ♦ Solution mère 50 ml.
 - ♦ Eau distillée..... 1000 ml.

Mode opératoire :

a)- Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Dans une série de capsule de 60 ml, introduire successivement :

N° de capsule	1	2	3	4	5
Solution étalon 5mg/1 (ml)	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de sodium (ml)	1	1	1	1	1
Correspondant en mg/1	00	0,5	1	2,5	5

Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm, et construire la courbe d'étalonnage.

b)- dosage de l'échantillon :

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser. Dans une capsule de 60 ml, ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30%. Ensuite 1 ml de salicylate de sodium. Evaporer à sec au bain marie ou dans une étuve **75 – 88 °C** (ne pas surchauffer ni chauffer très longtemps). Laisser refroidir à température ambiante, puis reprendre le résidu pour 2 ml de H₂SO₄.

Ajouter successivement 15 ml d'eau distillée. Ajouter 15 ml de tartrate double (qui développe la couleur jaune) puis passer au spectrophotomètre. Effectuer la lecture des absorbances à la longueur d'onde de $\lambda = 415 \text{ nm}$.

ANNEXE

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

17)- Détermination du fer : Appareil :

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mm.

Réactifs :

- **Réactif A** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - ♦ Acétate d'ammonium..... 40 g.
 - ♦ Acide acétique..... 50 ml.
 - ♦ Eau distillée.....50 ml.

- **Réactif B** : Dans une fiole de 100 ml mettre:
 - ♦ Chlorure d'hydroxyde ammonium..... 20 g.
 - ♦ Eau distillée..... 100 ml.

- **Réactif C** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - ♦ Chlorure de phénantroline..... 20 g.
 - ♦ Eau distillée..... 100 ml.

- **Réactif D** : Acide chlorhydrique à 25 %.

Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer de 100 ml mettre :

- 20 ml d'eau à analyser.
- 0,1 ml d'acide chlorhydrique HCl à 25%.
- 2 ml de réactif A.
- 1 ml de réactif B.
- 2 ml de réactif C.

Mélanger et laisser 15 minutes puis passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda = 500 \text{ nm}$ et un facteur de **2,00**. Pour l'échantillon témoin : 20 ml d'eau déminéralisée + les réactifs.

ANNEXE

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

18)- Détermination du cuivre : Appareil :

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mm.

Réactifs :

- **Réactif A** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - ♦ Acide ascorbique..... 20 g.
 - ♦ Eau distillé..... 100 ml.
- **Réactif B** : Ammoniaque 10 %.
- **Réactif C** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - ♦ Chlorure d'ammonium..... 20 g.
 - ♦ Eau distillé..... 100 ml.
- **Réactif D** : Chloroforme.
- **Réactif E** : Dans une fiole de 100 ml mettre :
 - ♦ Diethyl-dithiocarbanat de sodium 1 g.
 - ♦ Eau distillé..... 100 ml.

Mode opératoire :

Dans une ampoule à décanter mettre :

- 100 ml d'eau à analyser.
- 1 ml de réactif A.
- 2 ml de réactif B.
- 0,5 ml de réactif C.
- 10 ml de réactif D.

Agiter pendant 5 minutes et jeter la phase organique. Ajouter ensuite 1 ml de réactif E et 10 ml de réactif D, agiter pendant 5 minutes et filtrer la phase organique et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda = 435 \text{ nm}$

ANNEXE

et un facteur de **1,33**. Pour l'échantillon témoin : réactif D.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

19)- Détermination de la silice : Appareil :

- Spectrophotomètre.
- Cuve de 10 mm.

Réactifs :

- **Réactif A** : Dans une fiole de 250 ml mettre :
 - ♦ Molybdate d'ammonium..... 6,75 g.
 - ♦ Acide sulfurique pur..... 13 ml.
 - ♦ Eau distillée..... 237 ml.
- **Réactif B** : Dans une fiole de 250 ml mettre :
 - ♦ Acide oscalique ($H_2C_2O_4$)..... 25 g.
 - ♦ Eau distillée..... 100 ml.
- **Réactif C** : Dans une fiole de 250 ml mettre :
 - ♦ Sulfate de fer ammoniacal..... 3 g.
 - ♦ Acide sulfurique pur..... 3 ml.
 - ♦ Eau distillée..... 247 ml.

Mode opératoire :

Dans une éprouvette en polystyrène mettre :

- 25 ml d'eau à analyser.
- 1 ml de réactif A, attendre 10 minutes.
- 1 ml de réactif B, attendre 2 minutes.
- 1 ml de réactif C, attendre 2 minutes.

Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de $\lambda = 800 \text{ nm}$ et un facteur de **3,50**. Pour l'échantillon témoin : 25 ml d'eau déminéralisée + les réactifs.

ANNEXE

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l

Annexe N°2 :

**LES VALEUR DE CONSINGEN DE CONTROLE D'UNITE DE
DESSALEMENT (document de la station)**

ANNEXE

الشركة الجزائرية للإنتاج الكهربائي
 Sociétés Algériennes de Production de l'Électricité
 Pôle TV-TG Centre
 CENTRALE THERMIQUE DE RAS-DJINET

FICHE DE CONTROLE DES UNITES DE DESSALEMENT D'EAU DE MER

Date : 09/09/12
 Unité : III

ECHANTILLON	MESURE	VALEUR DE CONSIGNE	VALEUR MESUREE
Eau de mer	PH	7.5 - 7.8	8,15
	Conductivité	60 ms/cm	46
Eau de chaudière	PH	9	8,20
	Conductivité	1000 µc/cm	74
Distillat	PH	5 - 8	7,90
	Conductivité	30 µc/cm	12
	Cuivre	0,15 ppm	
Saumure de recirculation	PH	8	7,90
	Conductivité	112 ms / cm	66
	TA		3,6
	TAC		22
Rejet de saumure	PH	8	8,50
	Conductivité	120 ms / cm	76
	TA		21,6 °F
	TAC		24 °F
Observations			
Opérateur			