

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université M'hamed Bouguara Boumerdes
Faculté des sciences de l'ingénieur
Département Génie des Procédés



Filière : Sciences et génie de l'environnement

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master
Option : Génie de l'Environnement

THEME :

***TRAITEMENT DE L'EAU DE MER PAR DESSALEMENT ET
EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA
SAUMURE SUR LE MILIEU MARIN.***

Présenté par :
AGOURAR AYOUB
BENGRICHE SOFIANE

Dirigé par :
Mr. M .AMITOUCHE promoteur
Mr. K.MECHAKOU Co-promoteur

Soutenu le 04.07.2018

Devant le jury composé de :

Mr :A.R. YEDDOU	professeure à l'UMBB	Président
Mr : H. BALOUL	MAA à l'UMBB	Examineur
Mr : M. AMITOUCHE	MCB à l'UMBB	Promoteur

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord Dieu qui nous aidé à réaliser ce travail.

Nous remercions sincèrement notre promoteur

Mr. M.HAMITOUCHE maître de conférences à l'UMBB pour nous avoir soutenus et orientés tout au long de ce travail et pour ces précieux conseils.

Ainsi que Mr .K.MECHAKOU, ingénieur en chimie, pour nous avoir aidé à effectuer ce travail au sein de l'entreprise SPE.CAP DJENET.

Sans oublier toute l'équipe de l'entreprise SPE.

Nous remercions également Mr. A.R.YEDDOU et Mr. H.BALLOUL, pour avoir accepté de faire parties du jury.

Nous remercions aussi tous les enseignants qui nous ont accompagnés le long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidé et encouragé à terminer ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A notre père,

A notre mère,

A nos frères et notre sœur

A tous les membres de notre famille et nos proches

A tous nos amis et collègues A mes sœurs.

Résumé :

L'objectif de cette étude est de suivre la chaîne de dessalement (MSF) et déminéralisation de l'eau de mer et le contrôle de l'impact des rejets de saumure sur l'environnement marin.

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

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

Les résultats expérimentaux obtenus, montrent que le rejet de saumure peut être une source de pollution et avoir des effets préjudiciables sur l'environnement marin. La technique de dilution est utilisée au niveau de la centrale, afin de réduire l'impact environnemental de ces effets, par la quelle ce fait un mélange de rejet de la saumure avec les eaux de refroidissements. Les résultats d'analyses de ce mélange sont presque identiques à celles de l'eau de mer.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو اتباع سلسلة تحلية المياه (MSF) وتنقية مياه البحر والتحكم في تأثير تصريف المياه المالحة على البيئة البحرية.

المعالجة المسبقة هي الخطوة الأولى التي تنطوي على الكلور والترشيح. بعد هذه العملية ، نحن مهتمون بعملية تحلية المياه عن طريق التقطير التتابع المتتابع الذي ينتج مياه تحلية أقل تركيزاً في الأملاح ، تليها عملية إزالة المعادن في طبقة مختلطة من أجل القضاء على جميع الأملاح. أخيراً ، نحصل على ماء نقي جداً من المعادن اللازمة لتزويد المساعدين الكهربائيين.

يتم إجراء التحاليل الفيزيائية الكيميائية على الصفات المختلفة للمياه المنتجة وعلى المياه المالحة التي لا يمكن تجنبها والتي يتم تصريفها على مستوى وحدات التحلية نحو البيئة البحرية.

تظهر النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها أن إطلاق المحلول الملحي يمكن أن يكون مصدراً للتلوث وله آثار ضارة على البيئة البحرية. يتم استخدام تقنية التخفيف على مستوى المصنع، من أجل الحد من التأثير البيئي لهذه التأثيرات، والتي هي عبارة عن خليط من تفريغ المياه المالحة بمياه التبريد. نتائج تحاليل هذا المزيج مماثلة تقريباً لنتائج مياه البحر.

Summary:

The objective of this study is to follow the chain of desalination (MSF) and demineralization of seawater and the control of the impact of brine discharges on the marine environment.

Pre-treatment is the first step that involves chlorination and filtration. After this process, we are interested in the process of desalination by successive expansion distillation which produces a desalinated water less concentrated in salts, followed by a mixed bed demineralization process in order to eliminate all the salts. Finally, we obtain a very pure demineralized water necessary for the supply of electrical auxiliaries.

Physico-chemical analyzes are carried out on the different qualities of water produced and on the unavoidable brine discharged at the level of the desalination units towards the marine environment.

The experimental results obtained show that the release of brine can be a source of pollution and have detrimental effects on the marine environment. The dilution technique is used at the plant level, in order to reduce the environmental impact of these effects, by which it is a mixture of brine discharge with cooling water. The results of analyzes of this mixture are almost identical to those of seawater.

Liste des figures :

Parité théorique :

Présentation de la centrale Thermique de Cap Djinet (TV) :

Figure 01 : plan de masse de la central.

Figure 02 : schéma de transformation d'énergie.

Figure 03 : schéma synoptique d'une tranche.

Chapitre I :

Figure 01 : chaine de traitement par dessalement.

Figure 02 : distillation simple effet.

Figure 03 : distillation multiples effet.

Figure 04: Principe de fonctionnement d'un système (MSF) à 3 étages

Figure 05 : principe de l'osmose inverse.

Figure 06 : chaine de traitement par l'osmose inverse.

Figure 07 : principe de l'électrodialyse.

Figure 08 : Ressources en eau naturelles renouvelables par habitant dans les différents bassins méditerranéens élémentaires (entre 1995 et 2005). Source : Diverses/cartographie Plan Bleu, 2010

Chapitre II :

Figure 01 : schéma de déminéralisation totale.

Figure02 : schéma d'élimination du co2.

Figure 03 : Schéma explique comment la résine fixé les ions.

Figure 04 : schéma de régénération à co courant et contre courant.

Chapitre III :

Figure01 : Cymodocea nodosa.

Figure 02 : zostera noltti.

Figure 03 : Amphihalins improvisus.

Figure 04 : Sépia apama.

Figure 05 : Impacts de la Salinité sur La posidonie, Sanchez-Lizaso et al. 2008

Figure 06 : Temps d'exposition maximal d'un organisme dérivant passant à travers le panache de décharge de l'eau de mer concentrée provenant de l'émissaire AES Huntington Beach dans les conditions les plus défavorables

Figure 07 : Moyenne journalière de la salinité du fond pour les mois les plus défavorables et les mois moyens le long de: a) profil de la rive (section A), b) profil de la rive (section B).

Figure 08 : *Dicentrarchus labrax*.

Figure 09: *Mytilus edulis*.

Figure 10 : niveaux de toxicité du chlore pour les espèces marines (Hopnere, et al ;2008).

Figure 11 : niveaux de toxicité de cuivre pour une gamme d'espèces (Hopnere,et al ;2008).

Figure 12: *Synodus*.

Partie expérimentale :

Figure 01 : schéma de traitement de l'eau d'mer au niveau de la centrale.

Figure 02 : Point de captage.

Figure 03: l'installation de filtration de l'eau de mer au niveau de la Centrale.

Figure 04 : schéma simplifié de l'installation d'electrochloration.

Figure 05 : Schéma de différents points d'injection de chlore.

Figure 06 : schéma simplifié de la station de dessalement.

Figure 07: schéma de l'installation de dessalement de la centrale de cap djnet.

Figure 08 : schéma simplifiée de l'installation de déminéralisation

Figure 09 : Schéma de l'installation de neutralisation.

Figure 10 : Variation de la conductivité en 2001.

Figure 11: Variation de la salinité en 20

Figure 12 : Variation de la conductivité en 2002

Figure 13 : Variation de la salinité en2002.

Figure 14 : Variation de la conductivité et de la salinité a l'année 2003.

Figure 15 : Variation de la salinité en2003.

Figure 16 : Variation interannuelle de la salinité.

Figure 17 : Variation de la salinité pendant la période de stage.

Figure 18 : étang solaire peu profond (un module).

Figure 19 : étang solaire stratifié par membranes.

Figure 20 : étang solaire stratifié par membrane.

Figure 21 : structure de l'étang solaire.

Figure 22 : distribution de la température et de la salinité.

Figure 23 : image d'un étang solaire.

Liste des tableaux :

Chapitre II :

Tableau 01 : l'énergie utilisé dans les différents procédés.

Tableau02: Avantages de l'électrodialyse par rapport à l'osmose inverse.

Tableau 03 : Comparaison des procédés de dessalement.

Chapitre III :

Tableau 01 : Les types de résines utilisées.

Tableau 02 : Produits régénérant les plus utilisés.

Chapitre IV :

Tableau 01 : les différents contaminants émergent dans le dessalement.

Liste d'abréviations :

HP : Haute Pression.

MP : Moyenne Pression.

BP : Base Pression.

MSF: Multi Stage Flash.

MED : Distillation à multiple effets.

VTE : Tubes verticaux arrosés.

THE : Tubes horizontaux arrosés.

RO : Osmose inverse.

ED : Electrodialyse.

TAF : Titre d'Acides Fortes.

Cf : Cation moyennement ou faiblement acide.

CF : Cation Fortement acide.

Af : Anion moyennement ou faiblement basique.

AF : Anion Fortement basique.

LM : Lits Mélangés (Mixed-bed).

EIE : Evaluation de l'impact environnemental.

WET : Water Environmental Toxisite.

SWRO : Seawater reversis osmosis

BEE : Bon état environnemental.

MED POL : Programme d'évaluation et de maîtrise de la pollution dans la région méditerranéenne

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'environnement

PNUE/PAM : Programme des Nations Unies pour l'environnement/Plan d'action pour la Méditerranée

EcAp : Approche écosystémique

MTD : Meilleures techniques disponibles

MPE : Meilleures pratiques environnementales

SGSP : Salt Gradient Solar Pond.

CTD : (Conductivity, Temperature Depth)

Protocole « tellurique » : Protocole relatif à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution d'origine tellurique

Sommaire :

Titre	page
Résumé	
Liste de figure	
Liste de tableau	
Listes d'abréviations	
Introduction générale.....	01
Présentation de la centrale thermique de Cap Djinet.	
I. Introduction.....	02
II. Historique.....	02
III. Plan de masse.....	03
IV. Caractéristique de la centrale thermique.....	04
1-1 La chaudière.....	04
1-2 La turbin.....	04
1-3 Le condenser.....	04
1-4 L'alternateur.....	05
1.5. Eau de réfrigération.....	05
1.6. Poste d'eau.....	05
1.7. Auxiliaires communs aux quatre tranches.....	05
1.7.1. Système de traitement des eaux.....	05
a)-Station de dessalement.....	05
b)-Station de déminéralisation.....	05
c)-Station d'électro-chloration.....	05
1.7.2. Station de production d'hydrogène.....	05
1.7.3. Evacuation d'énergie	06

1.7.4. Commande et contrôle.....	06
1.7.5. Système de surveillance, d'alarme et d'analyse.....	06
IIV. Principe de fonctionnement de cycle eau vapeur.....	06
IIV. 1) L'origine d'énergie dans la centrale.....	08
1-1)- L'énergie chimique.....	08
1-2)-L'énergie calorifique.....	08
1-3)-L'énergie mécanique.....	08
1-4)-L'énergie électrique.....	08
IIV.2.Schéma de transformation de l'énergie.....	09

Partie expérimentale :

Chapitre I : Analyse de l'eau d'mer.

Généralités.....	14
I. Procédures Analyses.....	14
I. a. Prélèvements.....	14
I .b. Flaconnage	14
I .c. contamination	14
I .d. Stockage.....	15
II. analyse de l'eau de mer.....	15
II. 1. Mesure de PH.....	15
II .2. Mesure de la salinité.....	15
II.3.Mesure de la conductivité électrique.....	15
II.4.La mesure des matières inhibitrices (mi) en eau de mer.....	18

Chapitre II : dessalement de l'eau de mer.

I. Introduction.....	20
II. Schéma générale d'une installation de dessalement.....	20

III. Techniques disponibles de dessalement des eaux salées.....	20
III.1) - Procédés de distillation.....	21
1.a) Distillation à simple effet.....	22
1-b) distillation à multiples effets (MED).....	23
1-c) distillation (Multi-Stage Flash distillation MSF).....	24
III.2) Les procédés à membranes.....	26
2-a) L'osmose inverse.....	26
2. a.1. Principe du procédé.....	26
2-b) l'électrodialyse.....	28
2. b .1. Application du dessalement.....	28
2. b. 2. Principe de l'électrodialyse.....	28
III.3) Autres procédés.....	30
III.3.1 Congélation.....	30
III.3.2 Humidification solaire.....	30
III.4) Comparaison des procédés.....	31
IV. Situation et tendances du dessalement de l'eau de mer en région méditerranéenne.....	32
IV.1.Évolution du dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens de 1999 à 2013.....	33
Conclusion	33

Chapitre III : Déminéralisation de l'eau de mer.

I. Introduction.....	35
II. Principe de la déminéralisation.....	35
II.1. Déminéralisation totale.....	35
III. L'échange d'ions.....	37
III.1.Historique.....	37
III.2.Les résines échangeuses d'ions.....	37

III.2.1.Les résines échangeurs cationiques.....	37
III. 2.2.Les résines échangeurs anioniques.....	37
III.3.Les caractéristiques des résines échangeurs des ions.....	38
III.4.Les principaux types de résines utilisées dans le traitement de l'eau.....	39
IV. Mode de Régénération.....	39
IV.1.Régénération à co-courant.....	40
IV.2.Régénération à contre-courant.....	40
IV.3.Les réactifs régénérant.....	41

Chapitre IV : l'impact de rejet de dessalement sur l'environnement marin.

Introduction	43
I. Impacts du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement, notamment en ce qui concerne le milieu marin	44
I. 1. Prise d'eau de mer.....	44
I. 2. Rejet de saumure.....	44
I. 2.1. Effets de la saumure (salinité et température) sur le biote.....	45
I.2.2.Études en laboratoire et en mésocosme.....	45
I.3. Effet des produits chimiques utilisés dans le procédé de dessalement et rejetés avec la saumure.....	49
I.3.1. Le chlore.....	49
I.3.2. Les produits de corrosion (métaux).....	50
I.3.3. Le méta bisulfite de sodium.....	51
I.3.4. Contaminants émergents.....	52
II. Évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE).....	53
II.1.Description du projet.....	53
II.2.Sélection de la technologie et caractérisation des rejets.....	53
II.3.Description de l'environnement	54

II.3.1.Description de l'environnement marin.....	54
III. Évaluation des impacts possibles.....	54
IV. Atténuation de l'impact sur le milieu marin après le début des opérations.....	54
IIV. Surveillance de l'environnement.....	55
IIV.1. Surveillance sur le long terme après le début des opérations.....	55
IIV.2. Surveillance en usine.....	55
IIV.2.a) Prise d'eau de mer.....	55
IIV.2.b) Saumure avant rejet.....	55

Partie expérimentale :

Chapitre I : traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap djinet.

I. Introduction.....	58
II. Technologie de traitement de eaux au niveau de la centrale.....	58
II.1. Prétraitement.....	58
II.1.1.la prise d'eau.....	60
II.1.2. Station de pompage.....	60
II.1.3. Filtration de l'eau de mer.....	61
II.1.3.1. Filtration primaire (dégrillage).....	61
II.1.3.2. Filtration secondaire (tamisage).....	61
II.1.4. La chloration.....	62
II.1.4.1. Description du procédé.....	62
a)- Mode de production d'hypochlorite de sodium.....	63
a.1) .Description de l'installation d'électro chloration.....	63
a.2).Réaction chimique et électrochimique.....	64
b)- Les différents points d'injection.....	65
II.2. Présentation de l'installation de dessalement MSF.....	66
II.2.1. Les différents organes de l'installation.....	67

II.2.1.1. L'évaporateur.....	67
II.2.1.2. Le réchauffeur final.....	68
II.2.1.3. La chaudière.....	68
II.2.1.5. Filtre de l'eau de mer.....	68
II.2.1.6. Système d'évacuation.....	69
II.2.2. Injection des produits chimiques.....	69
II.2.2.1. Protection contre l'entartage.....	69
II.2.2.2. Protection contre les salissures.....	69
II.2.2.3. Protection contre la formation de la mousse.....	70
II.2.2.4. Neutralisation au chlore.....	70
II.2.3. les données techniques.....	71
II.2.4. Description du l'installation.....	71
II.3. Présentation de l'unité de déminéralisation à lits mélangées.....	74
II.3.1. Différents organes de l'installation.....	75
II.3.2. Caractéristiques techniques des équipements.....	75
II.3.2.1. Les filtre à lits mélangés.....	75
II.3.2.2. Compartiment de l'acide HCl.....	76
II.3.2.3. Compartiment de la soude NaOH.....	76
II.3.3. Description de l'installation.....	76
II.3.3.1. Le fonctionnement de filtres à lits mélangés.....	76
II.3.3.2. La régénération.....	77
a)- Principe.....	77
b)- Les étapes de régénération.....	78
III. La neutralisation.....	79
IV. Analyse de contrôle d'impact.....	82
IV. a. Mode de prélèvement.....	82
IV. b. Méthodes d'analyses.....	82

IV. c. Représentation graphique.....	82
IV. d. Interprétation des résultats.....	83

CHAPITRE II : Gestion et valorisation des rejets de saumure à forte salinité.

I. Étang solaire à gradient de salinité.....	90
I.1.Historique.....	90
I.2.Définition Étang solaire à gradient de salinité.....	90
I.3.Les types des étangs.....	91
I.3.1.Étangs peu profonds.....	91
I.3.2.Étangs stratifiés par membrane.....	92
I.3.3.Étangs solaires à gel.....	93
II. Structure et principe de fonctionnement du SGSP.....	94
III. Applications des étangs solaires.....	95
IV. Les avantages et les inconvénients d'un étang solaire.....	96
IV. a. Les avantages.....	96
IV. b. les inconvénients.....	96
Conclusion générale.....	97
Références bibliographiques	
Annexe	

Introduction générale :

Les centrales thermiques se trouvent au bord de la mer, vu le besoin important d'une grande quantité d'eau pour le refroidissement de la vapeur dans les condenseurs, en plus de l'eau déminéralisée nécessaire à la production de vapeur qui sera l'élément moteur des turbines pour l'entraînement des alternateurs qui produiront l'énergie électrique. L'eau déminéralisée est produite à partir de l'eau de mer dessalée.

Faire de l'eau douce à partir de l'eau de mer n'est pas une nouveauté. Depuis des temps très anciens on avait pu constater que si l'on portait à ébullition une eau salée, de l'eau de mer par exemple, on obtenait par condensation de la vapeur produite de l'eau déminéralisée. C'est probablement dans la première moitié du 19^{ème} siècle que la distillation de l'eau de mer a pris un aspect industriel à bord des navires à vapeur. [1]

Plus récemment, et jusqu'au développement industriel des résines échangeuses d'ions après la dernière guerre mondiale, la distillation était le procédé employé pour faire de l'eau de haute Pureté pour les chaudières industrielles. [1]

C'est depuis une trentaine d'années que le dessalement de l'eau de mer et des eaux salines est devenu, d'abord exclusivement et encore principalement par distillation, un moyen de plus en plus important de faire de l'eau potable.

Le rejet de concentré (la saumure) appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifique des impacts possibles sur le milieu environnement.

Tous les installations générant des rejets d'effluent liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que les caractéristiques de leur rejet d'effluents ne doivent pas être néfastes sur la vie marine.

I. introduction : [2]

La centrale thermique de Cap Djinet est une centrale de production d'électricité, située au bord de la mer, à l'est d'Alger, près de la ville de Boumerdès. Elle occupe une superficie de **35 hectares**.

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

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

La centrale thermoélectrique de Cap Djinet, dont la construction a été décidée en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays, est composée de quatre groupes mono bloque d'une puissance unitaire de **168 Méga Watts** (borne alternateur) totalisant une capacité installée de **672 Méga Watts** (borne usine).

Les quatre groupes alternateurs sont alimentés par quatre chaudières à haute pression d'environ **160 Bars** et de **530 m³/h** de débit.

II. Historique : [2]

La centrale a été construite par un consortium Austro-allemand (**Kwu** : Kraftwerk-AG de RFA, **SGP** : Semmering GRAZ Pauker d'Autriche et **Siemens** d'Autriche également) qui avait la responsabilité des études, de la supervision du montage et de contrôle de l'ouvrage, ainsi que d'une entreprise espagnole **DRAGADOS** à laquelle a été confiée la réalisation de la prise de l'eau de mer.

De nombreuses entreprises algériennes ont également participé à la réalisation de la centrale, chacune dans son domaine d'activité. Parmi ces entreprises nous pouvons citer : **GENISIDER** (réalisation des terrassements généraux, de tout le génie civil, réalisation de la station de pompage

Et mise en place des tuyauteries de refroidissement), **INERGA** (réalisation du génie civil de la base inter-entreprise), **S.N.L.B** (fourniture et montage de la base inter-entreprise de chantier), **PROSIDER** (fourniture et montage de tous les hangars du chantier), **ENATUB** (fourniture des tuyauteries constituant le circuit de refroidissement), **SNIC** (sablage et peinture), **SONATRAM** (travaux de dragage en mer) et **SOGEP** (travaux de peinture).

Les principaux contrats de réalisation de cette centrale ont été signés en **1980**, les travaux de terrassement ont démarré en **Mars 1981** et le début du montage de la centrale Est effectué le **17 Juin 1986**. La mise en service des quatre groupes s'est effectuée comme suit:

PRESENTATION DE CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET (TV).

- **Groupe 1:** Couplage sur réseau le **17 Juin 1986**.
- **Groupe 2:** Couplage sur réseau le **17 Septembre 1986**.
- **Groupe 3:** Couplage sur réseau le **29 Novembre 1986**.
- **Groupe 4:** Couplage sur réseau le **21 Février 1987**

III. plan de masse : [2]

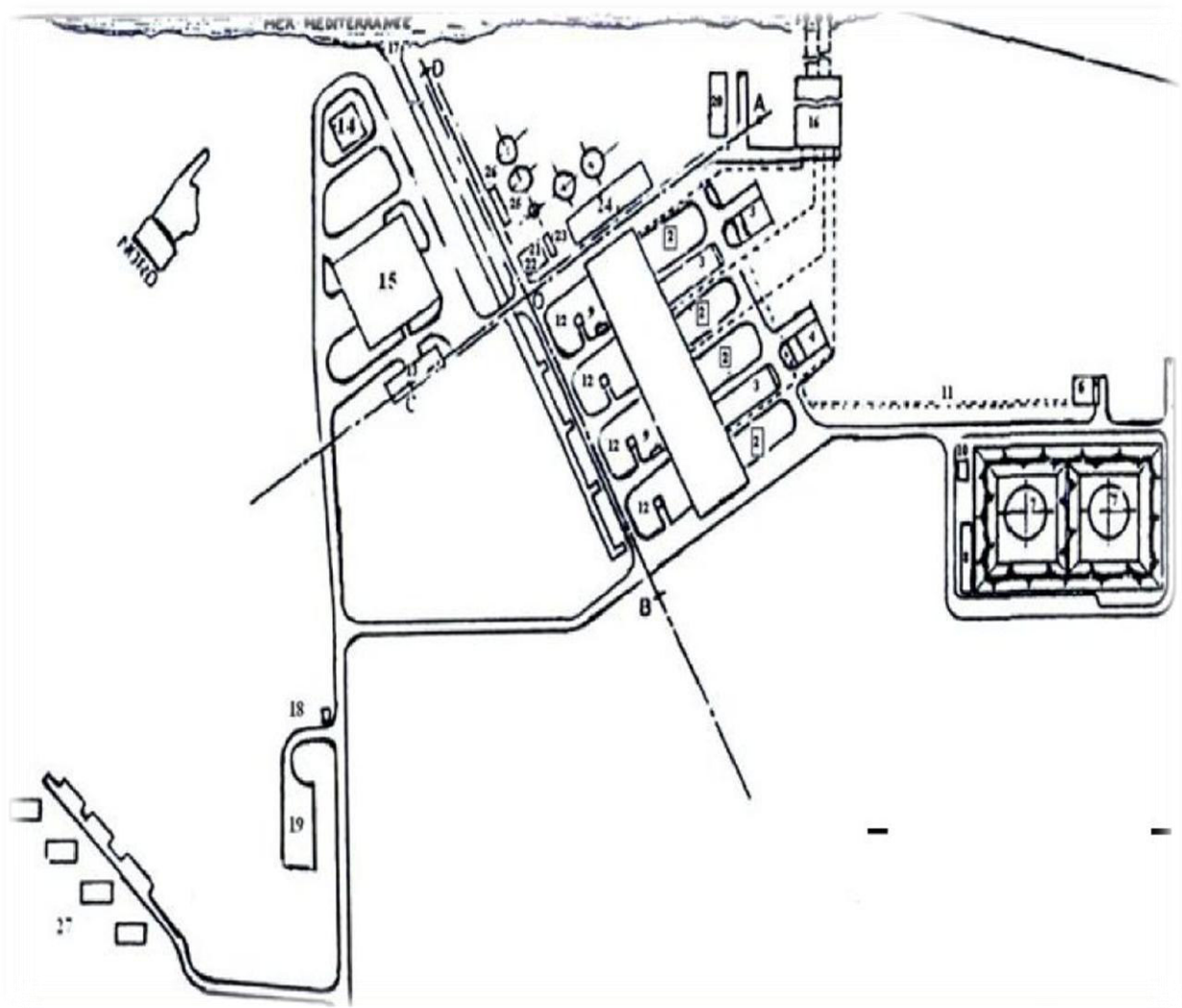


Figure 01 : plan de masse de la central.

PRESENTATION DE CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET (TV).

1- Salle des machines	14-cantine
2-chaudière	15-atelier magazine
3-locaux des auxiliaires électriques	16-station de pompage
4-locaux des auxiliaires mécaniques	17-canal de rejet d'eau de mer
5-tour de prise d'eau de mer	18-post de garde
6-station de détente de gaz	19-parking
7-réservoir stockage de fuel	20-station de chloration
8-station de pompage de fuel	21-préparation de l'eau potable
9-station de production de H ₂	22-station déminéralisation
10-post d'incendie à mousse	23-fosse de neutralisation
11-rack à tuyauterie	24-station de dessalement
12-air des transformateurs	25-Station des pompes d'incendie.
13-bâtiment administrative	26-pompe de l'eau déminéralisé

IV. caractéristique de la centrale thermique : [2]

1) L équipements principales dans central :

La chaudière, turbin, le condenser, l'alternateur.

1-1 La chaudière :

C'est l'élément qui produire la vapeur pour l'alimentation de turbin. Il est de type pressurisé à circulation naturelle (circulation naturelle de l'eau et de la vapeur, l'eau qui arrive par gravité vers les tubes écrans, sera vaporisée sous l'effet de la combustion, et la vapeur produite, sera acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière par différence de densité avec l'eau).

1-2 La turbin :

C'est l'élément le plus cher et le plus sensible. Elle se compose de trois corps: haute pression (**HP**), moyenne pression (**MP**), et basse pression (**BP**), qui sont liés avec un seul arbre. La turbine transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en mouvement de rotation de l'arbre, le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur.

1-3 Le condenser :

C'est un échangeur thermique qui comprimé de 15000 tubes, à l'intérieur des quels circule l'eau de mer qui va servir de source froide pour la condensation de la vapeur évacuée du corps (**BP**) de turbin. Ce la produira le condensat principal d'un débit (24000 m³/h), qui va être récupéré dans le puits du condenseur.

1.4 L'alternateur :

Est un générateur d'électricité lié directement avec l'arbre de la turbine, sert à transformer l'énergie mécanique produite par la turbine en énergie électrique.

1.5. Eau de réfrigération :

La prise d'eau se situe en mer à **900 m** de la station de pompage et de filtration, après traversée du condenseur, l'eau de réfrigération est rejetée vers le canal de rejet qui aboutit à la mer.

1.6. Poste d'eau :

Est l'ensemble des équipements qui préchauffe l'eau et le transfert du condenseur jusqu'à la chaudière en passant par la bâche alimentaire (dégazeur).

1.7. Auxiliaires communs aux quatre tranches :

1.7.1. Système de traitement des eaux :

a)-Station de dessalement :

Elle a pour rôle la production de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer pour alimenter la chaudière. La centrale a quatre unités de dessalement de débit de **500 m³/h** chacune, assurent la production d'eau pour les appoints au cycle thermique. Ces unités sont de type multi flash. L'eau dessalée est stockée dans deux réservoirs de **2700 m³** chacun avant d'être déminéralisée. (Conductibilité < **30 µs/cm**)

b)-Station de déminéralisation :

Deux chaînes de déminéralisation à lit mélangés de **40 m³/h** chacune, parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le circuit eau-vapeur. Le stockage d'eau déminéralisé se fait dans deux réservoirs de **1500 m³** chacun. (Conductibilité < **0,1 µs/cm**)

c)-Station d'électro-chloration :

La chloration de l'eau de mer permet de préserver les équipements traversés par l'eau de mer contre la prolifération d'organismes marins. Elle se fait par injection d'hypochlorite de sodium. La production de ce dernière en 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.

1.7.2. Station de production d'hydrogène :

L'électrolyseur bipolaire sert à la production d'hydrogène et d'oxygène de grande pureté, l'hydrogène produit sert au refroidissement des quatre alternateurs de la centrale.

PRESENTATION DE CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET (TV).

Sous une pression de **3 bars**, en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction.

1.7.3. Evacuation d'énergie :

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

1.7.4. Commande et contrôle :

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

1.7.5. Système de surveillance, d'alarme et d'analyse :

Pour permettre une bonne conduite du groupe de production, des paramètres d'exploitation (température, pression, niveau d'eau, vibrations, etc.) des différents équipement du groupe, sont indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalés en cas de dépassement de seuil. Pour une meilleure analyse en cas d'incendie un consigneur d'état est installé. Il permet d'enregistrer les alarmes dans un ordre chronologique.

IIV. principe de fonctionnement de cycle eau vapeur : [2]

La vapeur ayant traversée la turbine (corps HP, MP, BP) se retrouve en fin de parcours dans le condenseur situé en dessous du corps BP ; cette vapeur va se répandre sur les 15.000 tubes en titane disposés transversalement dans le condenseur à l'intérieur desquels circule l'eau de mer qui va servir de source froide pour la condensation de la vapeur. Cela produira le condensat principal qui va être récupéré dans le puits du condenseur d'où aspirent les 2 pompes d'extraction (une en service et une en standby). La pompe en service va refouler ce condensat dans le circuit basse pression (circuit d'eau d'extraction) et acheminera l'eau jusqu'à la bache alimentaire où elle subira un dégazage physique. Le niveau dans le condenseur sera réglé par la soupape régulatrice. Lors de son passage dans le circuit d'eau d'extraction, l'eau va être graduellement réchauffée en passant à travers les réfrigérants alternateurs, le condenseur des buées, les éjecteurs de vapeur ainsi que le poste de réchauffage basse pression composé des réchauffeurs BP1, BP2, BP3. Cette eau aura alors une température d'environ 110°C.

Ensuite elle sera admise à la bache alimentaire à travers le dégazeur pour y subir un dégazage (élimination de l'O₂) et un autre réchauffage par mélange. L'eau dégazée et réchauffée à environ 140°C dans la bache alimentaire va être reprise par les pompes alimentaires au nombre de trois (deux en service et une en réserve) pour alimenter la chaudière ou générateur de vapeur en passant par les réchauffeurs haute pression HP5 et HP6 qui élèveront sa température à 240°C avant son admission dans la chaudière (eau d'alimentation).

L'eau d'alimentation passera à travers la soupape alimentaire (vanne de réglage niveau ballon chaudière) pour entrer dans la chaudière au niveau de l'économiseur qui va encore l'élever en température à environ 300°C avant son entrée dans le ballon chaudière.

PRESENTATION DE CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET (TV).

L'eau d'alimentation parvenue au ballon va occuper la partie inférieure et son niveau sera réglé à 50%. Cette eau va ensuite descendre par les colonnes d'alimentation pour rejoindre le collecteur inférieur qui alimentera les tubes vaporisateurs ou tubes écrans qui sont directement exposés aux flammes des huit brûleurs disposés sur une des quatre faces du foyer chaudière. La vapeur produite dans ces tubes (écrans/vaporisateurs) va s'élever vers le collecteur supérieur par différence de densité entre l'eau et la vapeur (la vapeur étant plus légère que l'eau).

Cette chaudière est dite chaudière à circulation naturelle. La vapeur saturée sortira du collecteur supérieur des tubes écrans vaporisateur pour être acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière.

Le ballon chaudière servira donc de réserve d'eau et de vapeur saturée pour l'alimentation des turbines en vapeur surchauffée HP. La pression de la vapeur réglée dans le ballon sera de 160 bars. Cette vapeur humide (contenant des gouttelettes d'eau) devra être séchée avant son admission dans la turbine corps HP turbine. Elle sortira donc du ballon et passera à travers les surchauffeurs N°1,2 et 3 pour être séchée et deviendra alors vapeur vive ou vapeur sèche. Cette vapeur sortira de la chaudière avec une pression de 160 bars et une température de 540°C. Elle se dirigera alors vers la turbine corps HP ou elle subira une détente pour en ressortir sous forme de vapeur moyenne pression à une température avoisinant celle de vapeur saturée. Pour cette raison elle sera réintroduite dans la chaudière pour passer à travers les resurchauffeurs N° 1 et 2 où elle sera resurchauffée.

Nota : les trois surchauffeurs, les deux resurchauffeurs, ainsi que l'économiseur sont disposés au-dessus du foyer chaudière. C'est donc la chaleur contenue dans les gaz de combustion qui servira à sécher et à resurchauffer la vapeur motrice de la turbine.

La vapeur resurchauffée ressortira de la chaudière avec une pression moyenne variant entre 20 et 30 bars selon la charge du groupe (puissance active bornes

Alternateur en MW) à une température de 540°C et alimentera le corps MP de la turbine où elle subira une autre détente pour en ressortir avec une basse pression et température, et se dirigera directement vers le corps BP de la turbine où elle subira sa dernière détente avant de se retrouver dans le condenseur du groupe. Le condenseur est un élément qui se trouve sous vide (vide réalisé au moyen des éjecteurs de vapeurs au nombre de quatre « 2 de service et 2 de démarrage »).

La vapeur ayant rejoint le condenseur va se retrouver en contact avec la surface d'échange des tubes en titane qui sont la source froide dans lesquels circule l'eau de mer qui provient du refoulement des pompes de circulation au nombre de deux se trouvant à la station de pompage. Cette eau de mer qui servira au refroidissement (condensation) de la vapeur va être refoulée de la sortie du condenseur vers le canal de rejet pour retourner vers la mer.

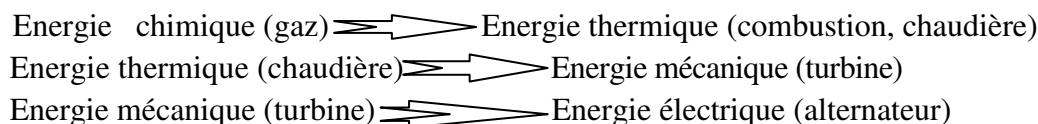
La vapeur au contact des tubes froids va se condenser et sera récupérée à l'état liquide dans le puits du condenseur. Ce liquide constituera le condensat principal qui sera de nouveau aspiré par la pompe d'extraction en service et renvoyé pour refaire le même circuit dans le

PRESENTATION DE CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET (TV).

cycle eau / vapeur. Il y a lieu de signaler qu'il existe des pertes (fuites d'eau et de vapeur) ce qui va se traduire par une baisse de niveau du condenseur qui doit être réglé à un niveau stable de 900mm. Ces pertes seront compensées par des appoints d'eau déminée qui se feront automatiquement à partir de la bache tampon se trouvant à proximité du condenseur. Cette bache sera elle-même alimentée par la station de déminéralisation. L'eau déminéralisée utilisée dans le cycle eau/vapeur pour produire de la vapeur est à l'origine de l'eau de mer prise au niveau de la station de pompage pour passer dans quatre unités de dessalement d'eau de mer qui produiront 500m³/jour chacune. Cette eau dessalée sera stockée dans 2 bâches (2x2700m³) qui alimenteront la station de déminéralisation ou il existe 2 filtres à lits mélange produisant chacun 40m³/h d'eau déminéralisée stockée dans 2 réservoirs de 1500m³ chacun. L'eau déminéralisée va être envoyée jusqu'aux bâches hautes (2x40m³) ; une pour l'alimentation des bâches tampon des groupes 1 et 2 et l'autre pour les groupes 3 et 4.

A partir des bâches tampon de chaque groupe se fera le remplissage des condenseurs et les appoints nécessaires pour compenser les pertes dans le circuit eau /vapeur.

La production d'électricité n'est qu'une résultante de différentes transformations successives de l'énergie chimique contenue dans le gaz naturel provenant des puits de Hassi R'mel :



IV. 1) l'origine d'énergie dans la centrale :

1.1. L'énergie chimique :

L'énergie chimique contenue dans le gaz naturel sera transformée en énergie thermique après la combustion du mélange air/gaz dans les 8 brûleurs de la chaudière.

1-2)-L'énergie calorifique:

La chaleur engendrée par cette combustion va être cédée à l'eau qui circule dans les tubes vaporisateurs ou tubes écrans. Cette chaleur (énergie calorifique) sera véhiculée par l'eau et la vapeur jusqu'à la turbine.

1-3)-L'énergie mécanique :

Le mouvement de rotation de l'arbre tournant à (3000 tr / min) produise une énergie mécanique, équivalent à une fréquence de 50Hz.

1-4)-L'énergie électrique :

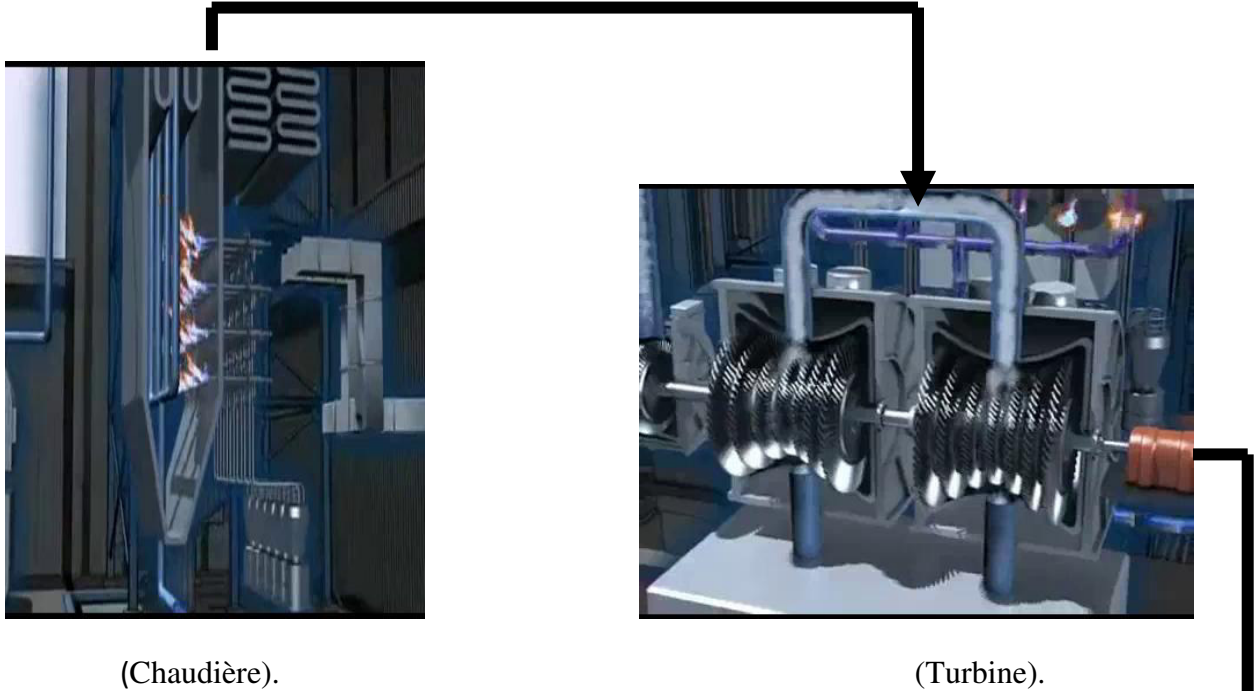
Le rotor de l'alternateur va donc être entraîné par la rotation de l'arbre turbine cela produira alors une énergie électrique à la sortie des trois phases l'alternateur. La puissance active développée aux bornes de l'alternateur (BA) ou charge active de base sera de 176 MW.

PRESENTATION DE CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET (TV).

La tension de sortie alternateur est de 15,5Kv et un ampérage variant jusqu'à 8000A par phase à une fréquence de 50Hz.

IIV.2.Schéma de transformation de l'énergie :

Transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique.



Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

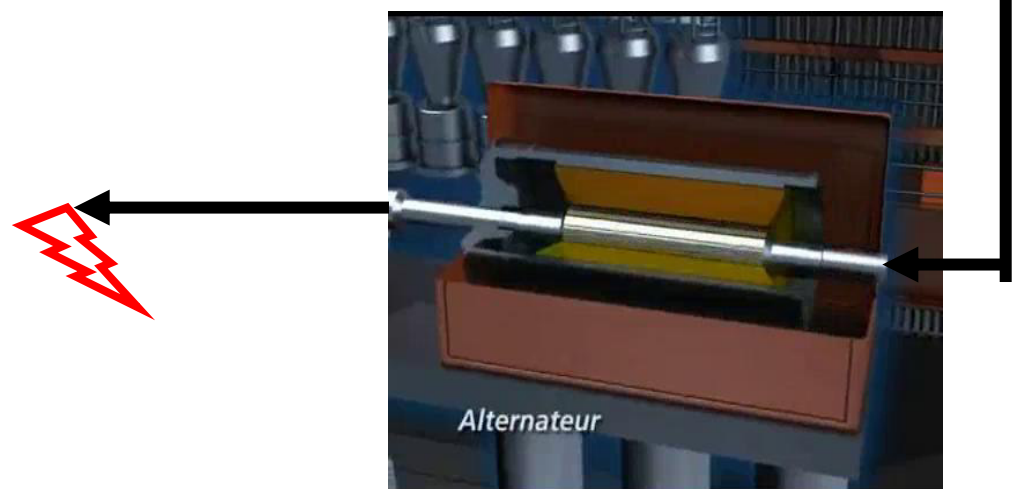


Figure 02 : schéma de transformation d'énergie.

PRESENTATION DE CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET (TV).

L'énergie électrique fournie par l'alternateur va être évacuée à travers le disjoncteur alternateur (BBC) ou disjoncteur groupe pour ensuite aller vers le transformateur principal qui élèvera la tension de 15,5KV à 220KV. Après le transformateur principal TP, l'énergie fournie transitera à travers le disjoncteur ligne (poste blindé SF6) pour alimenter le réseau 220KV au niveau des postes Alger Est et Si Mustapha.

A noter que juste avant le transfo TP, il y a un soutirage d'une partie de l'énergie électrique produite qui ira alimenter le transformateur de soutirage TS pour transformer la tension de sortie alternateur 15,5KV en 6KV et alimenter ainsi les auxiliaires électriques du groupe. C'est une auto alimentation des auxiliaires propres au groupe qui consommeront environ 8MW par tranche. On fournira donc une puissance unitaire BU (borne usine) de 168 MW par groupe. La puissance totale fournie au réseau est de 4x168Mw.

La ligne 63Kv arrive du poste de Si Mustapha au transformateur TR (transfo réseau) pour transformer la tension 63Kv en 6,3Kv et alimenter en secours les 4 jeux de barres 6Kv (BA / BB) des quatre tranches pour alimenter les auxiliaires groupe.

La puissance totale fournie au réseau est de 4x168 MW. Actuellement deux groupes let 2débitent sur le poste 220Kv d'Alger Est, les groupes 3 et 4 débitent sur le poste 220Kv de Si Mustapha.

PRESENTATION DE CENTRALE THERMIQUE DE CAP DJINET (TV).

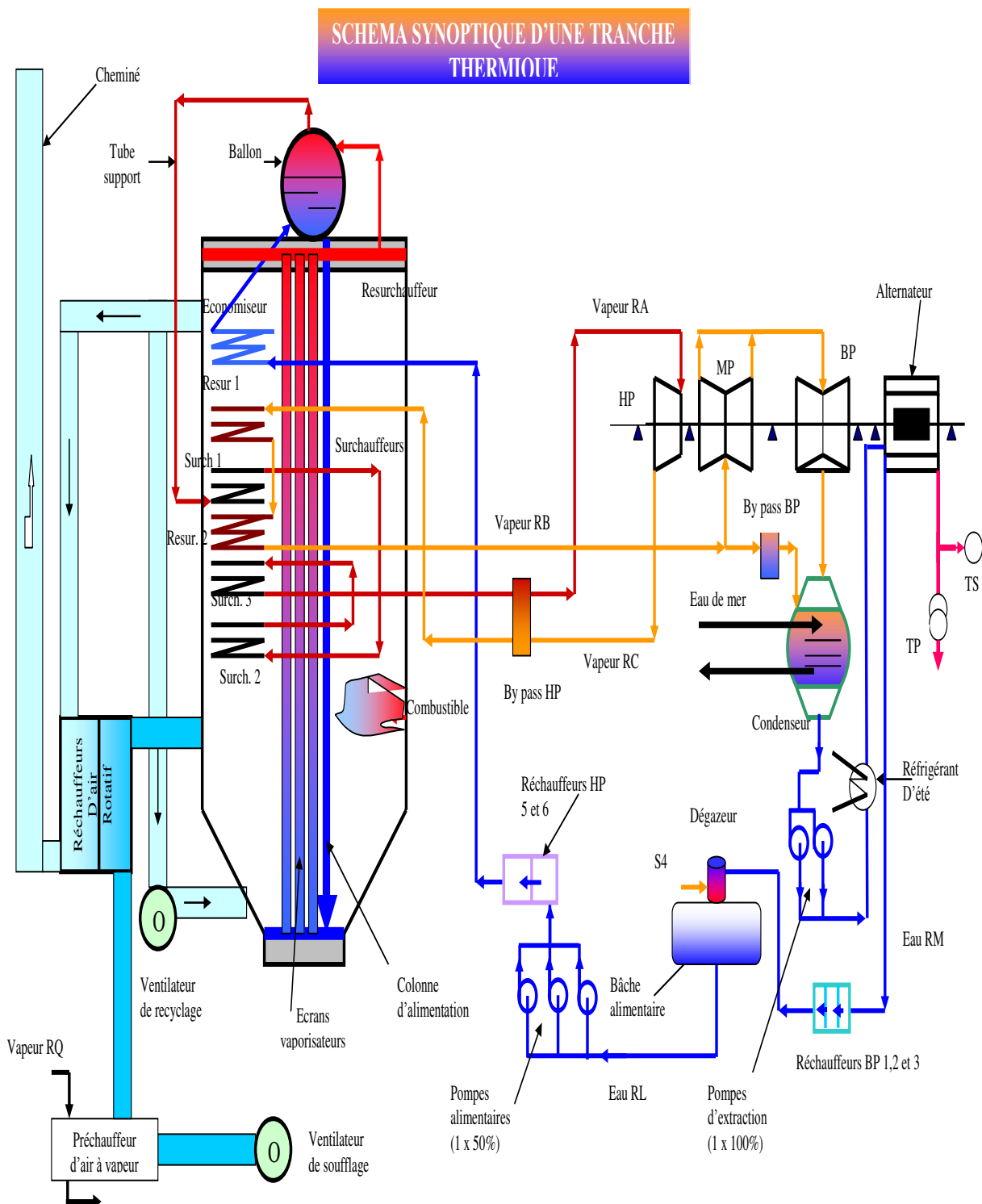


Figure 03 : schéma synoptique d'une tranche.

Partie Théorique

CHAPITRE I :

ANALYSE DE L'EAU DE MER.

Généralités :

Ce terme souvent employé pour désigner une approche physique du milieu marin, prend cependant en compte les propriétés physico-chimiques et chimiques des masses d'eau.

Comme pour l'analyse des eaux douces, l'hydrologie marine consiste à mesurer des descripteurs caractéristiques de la masse d'eau, soit directement dans le milieu ou bien en laboratoire, à partir de prélèvements. Cependant, en milieu marin, il est essentiel de prendre en compte l'effet du déplacement des masses d'eau et la salinité du milieu.

L'eau de mer est salée ! Cette propriété fondamentale doit être prise en compte dans la stratégie d'étude du milieu ainsi qu'au niveau analytique. Ainsi, la densité des eaux marines est accrue par la présence de sel, il en résulte des gradients salins verticaux et horizontaux dont la formation est fonction du débit des fleuves, de la forme des estuaires, de l'amplitude des marées (marnage).

La qualité de l'eau de mer résulte de processus chimiques et biologiques, eux-mêmes plus ou moins influencés voire altérés par les apports dus à l'activité humaine.

I. Procédures analyses : [3]**I. a. Prélèvements :**

Le prélèvement correspondant à la prise d'un certain volume représentatif du milieu, et l'échantillonnage qui consiste à soutirer des fractions du prélèvement (échantillons) sont des étapes importantes dans l'acquisition de résultats. La chaîne prélèvement-échantillonnage-conservation-analyse doit être cohérente afin de maintenir l'intégrité de l'eau à étudier.

I. b. Flaconnage :

Au regard des paramètres envisagés pour les analyses, il sera important d'utiliser des conditionnements spécifiques pour le flaconnage. Caractéristiques du matériau et type de bouchage peuvent avoir une influence sur l'échantillon et le modifier par adsorption, désorption ou diffusion à travers les parois. De même la vaisselle et le conditionnement du flaconnage doit tenir compte des spécificités analytiques.

I. c. Contamination :

Suivant le type d'étude il faut être conscient que l'ensemble des moyens utilisé peut perturber le milieu. Embarcations, engins et matériels de prélèvement sont des sources de contamination. En eau de mer plusieurs composés sont dans des ordres de grandeur très inférieurs à celles observées en eau douce. L'usage de gants à usage unique s'avère être un réflexe indispensable au cours des différentes manipulations de prélèvement et d'échantillonnage.

I.d. Stockage :

Le stockage des échantillons sera possible après détermination de la teneur en oxygène dissous, du pH et de l'alcalinité, et élimination des matières en suspension qui, dans le cas du dosage des constituants solubles, doivent être séparées aussitôt que possible par filtration sur membrane (0,45 µm) pour éviter la fixation des éléments à l'état de traces sur les particules solides ou la mise en solution d'éléments fixés sur ces particules. La conservation de l'échantillon peut être assurée par réfrigération, congélation ou empoisonnement suivant la situation et le délai avant analyse.

II. Analyse de l'eau de mer :**II. 1. Mesure de PH : [4]**

La mesure sur l'échantillon se réalise de façon classique avec un pH-mètre permettant la lecture au 1/100 d'unité.

Cette méthode ne comporte pas de correction, elle est applicable à l'ensemble des eaux douces et marines. Elle repose sur l'utilisation d'électrodes commerciales et de tampons NIST (National Institute of Standards and Technology ex-NBS, National Bureau of Standards, ancienne organisation de normalisation aux États-Unis).

Le pH est mesuré dans les 2 heures après le prélèvement. Les électrodes utilisées peuvent être combinées ou séparées. L'étalonnage est réalisé en utilisant des solutions étalons commerciales dont les gammes se réfèrent aux normes DIN, NIST, IUPAC. Classiquement les étalons commerciaux utilisés ont des pH voisins de 4, 7 et 9. L'étalonnage est à réaliser avant chaque série de mesures. La mesure du pH des échantillons se fait à 20 °C ±3.

Correction entre le pH mesuré et le pH in situ :

Soit pH_s et t_s le pH et la température de l'eau au moment du prélèvement et pH_m et t_m le pH et la température au moment de la mesure, la relation qui lie pH_s et pH_m est :

$$pH_s = pH_m - \alpha (t_s - t_m)$$

II .2. Mesure de la salinité : [5]

La mesure de la salinité est une variable indispensable à la description du milieu marin, elle est souvent associée à la mesure de la température. Bien qu'elle soit considérée comme représentant le contenu en sels dissous de l'eau de mer, il faut être conscient qu'elle ne correspond pas à la mesure exacte de ce contenu en sels. La salinité doit être considérée comme un concept pratique. La salinité est un nombre sans dimension. À l'origine, elle était exprimée en « pour mille » (‰).

La teneur en sels dissous de l'eau de mer peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps dissous ou seulement les sels dominants.

-Définitions :

La salinité: Théoriquement, la salinité désigne la masse totale de substances solides dissoutes dans un kilogramme d'eau de mer. Devant les difficultés pratiques et le manque de reproductibilité dans les mesures pondérales pour déterminer cette masse, une commission internationale a mis en place un protocole opératoire à l'origine de la définition de la salinité donnée en 1902.

Ainsi selon Sørensen (1902), la salinité est définie comme la masse exprimée en grammes des composés solides contenus dans un kilogramme d'eau de mer, les ions bromure et iodures étant remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée. La salinité était alors notée S et s'exprimait en g/kg ou en ‰.

-Expression de la salinité :

Compte tenu de la difficulté de la mesure directe de la salinité ainsi exprimée, Knudsen a proposé un calcul de la salinité à partir de la chlorinité : $S_{‰} = 0,030 + 1,8050 \text{ Cl }_{‰}$ (Cl ‰ étant la masse d'halogénures, exprimée en chlorures, obtenue à partir de 1 kg d'eau de mer).

Au cours des années 1950, de nombreux travaux ont été menés en vue de relier les grandeurs mesurées. Plusieurs organisme internationaux ont établi et publié en 1956 des tables océanographiques internationales. Depuis 1969 une nouvelle relation empirique, plus précise entre la salinité et la chlorinité est entrée en vigueur : $S_{‰} = 1.80655 \times \text{Cl }_{‰}$.

II.3. Mesure de la conductivité électrique : [6]

La mesure de la salinité par conductimètre est désormais couramment utilisée. Elle s'effectue en laboratoire avec des salinomètres de précision spécialement conçus pour l'eau marine ou bien in situ à l'aide de sondes océanographiques. La méthode est rapide simple, précise et l'utilisation des salinomètres ou des sondes, réduit considérablement le temps d'analyse.

-Mesure en laboratoire :

Deux types de salinomètres se sont généralisés : le salinomètre à électrodes et le salinomètre à induction. Dans le cas du salinomètre à électrodes, celles-ci sont en contact direct avec l'eau de mer, introduite dans une cellule immergée dans un bain thermostat.

Dans le cas de salinomètre à induction, l'eau de mer introduite dans une cellule forme un anneau conducteur mettant en liaison deux transformateurs. L'un crée un courant induit dans l'anneau d'eau de mer. Ce courant crée alors une tension aux bornes de l'autre transformateur qui est amplifiée et mesurée. La température est compensée par une résistance. La gamme de mesure de salinité peut aller de 2 à 42. (PSS78). Une correction de dérive serra, si nécessaire, appliquée aux rapports de conductivité ou aux salinités fournies par le salinomètre. Cette correction est évaluée par la lecture d'étalons à intervalles réguliers. La dérive est calculée sur l'intervalle de temps considéré et reportée linéairement sur les échantillons intermédiaires en arrondissant au dernier chiffre significatif.

-Conductivité et salinité :

La forte concentration en sels dissous confère à l'eau de mer une forte conductivité. Les concentrations des différents ions étant proportionnelles, la salinité peut être mesurée par conductivité avec une grande précision.

-Conductimètre avec conversion en salinité :

Ce type d'appareil mesure simultanément la température et la conductivité. Seule la mention explicite que la salinité est calculée selon les formules océanographiques publiées par l'UNESCO confirme qu'il s'agit bien de la salinité au sens marin du terme.1093

Formule : [7]

$$S = a_0 + a_1.R_t^{0,5} + a_2.R_t + a_3.R_t^{1,5} + a_4.R_t^2 + a_5.R_t^{2,5} + \{(t - 15)/[1 + k(t-15)]\} \times (b_0 + b_1.R_t^{0,5} + b_2.R_t + b_3.R_t^{1,5} + b_4.R_t^2 + b_5.R_t^{2,5})$$

Aminot A., Kérouel R. (2004),

avec	$a_0 =$	0,0080	$b_0 =$	0,0005
	$a_1 =$	-0,1692	$b_1 =$	-0,0056
	$a_2 =$	25,3851	$b_2 =$	-0,0066
	$a_3 =$	14,0941	$b_3 =$	-0,0375
	$a_4 =$	-7,0261	$b_4 =$	0,0636
	$a_5 =$	2,7081	$b_5 =$	-0,0144
	$\Sigma a_i =$	35,0000	$\Sigma b_i =$	0,0000

Données "test" : si $t = 15^\circ\text{C}$ et $C_d = 42,914 \text{ mS/cm}$, la salinité est égale à 35,000

-Mesure in situ :

In situ la salinité est mesurée à l'aide de sondes océanographique ou sonde CTD (Conductivity, Temperature Depth). Elles sont constituées par des cylindres étanches, résistants à la pression, contenant un équipement électronique permettant d'interroger des capteurs situés à l'extérieur du cylindre, en contact avec l'eau. Les sondes sont habituellement équipées d'une jauge de pression, d'un capteur de température et d'un capteur de conductivité. Les données recueillies à partir des capteurs sont codées et transmises par le système électronique vers un micro-ordinateur.

II.4. la Mesure des matières inhibitrices (mi) en eau de mer :**-Notion d'écotoxicité ou l'effet des produits : [8]**

L'écotoxicité est l'étude de l'effet des produits chimiques sur l'environnement.

On distingue les études mono spécifiques (en général en laboratoire) des études pluridisciplinaires (en laboratoire et/ou sur le terrain).

La notion d'écotoxicité recoupe l'approche et l'analyse des effets des produits et, par suite, d'évaluer les risques que représentent pour les espèces vivantes les impacts et modifications sur le milieu naturel, qu'il soit terrestre ou aquatique.

Les systèmes biologiques de référence, utilisés en écotoxicologie, sont des organismes qui vivent dans notre environnement normal.

-Détermination de l'écotoxicité des produits et des eaux :

La toxicité aiguë se détermine par le principe opérationnel général suivant :

L'organisme vivant est mis en présence avec le produit à différentes concentrations, l'observation des effets induits est réalisée sur 24 ou 48 heures : mort ou inhibition à chaque concentration, il est déterminé la concentration qui agit sur 50 % des organismes mis en jeu. On parle de CE 50 (Concentration Efficace) ou de CL 50 (Concentration Létale).

On peut ainsi comparer les produits et les classer d'après les valeurs de CE 50.

La mesure de la toxicité à long terme, ou toxicité chronique à dose sublétales, vise à étudier l'action des produits sur les mécanismes vitaux des organismes d'étude (par exemple la reproduction).

Un produit toxique peut toucher les organismes aquatiques de deux manières Soit par contamination directe (absorption ou adsorption),

Soit par contamination indirecte. Dans ce cas, on peut avoir un phénomène de bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire.

Si donc l'on se réfère à une échelle de temps et d'effets, on peut distinguer plusieurs toxicités

- La toxicité aiguë dont les effets à court terme apparaissent à exposition de durée brève
- La toxicité à moyen et long terme qui apparaît pour des expositions de longue durée à des concentrations faibles.

CHAPITRE II : DESSALEMETE DE L'EAU DE MER.

I. Introduction : [9]

Pour dessaler l'eau d'mer il existe diverses techniques, certaines sont plus adaptées à un environnement donné que d'autres. Actuellement cinq techniques regroupées en deux familles sont utilisées : les procédés de distillation et les procédés membranaires. Les deux fonctionnent selon le même principe général.

II. Schéma générale d'une installation de dessalement : [10]

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes comment représenté dans la figure suivant :

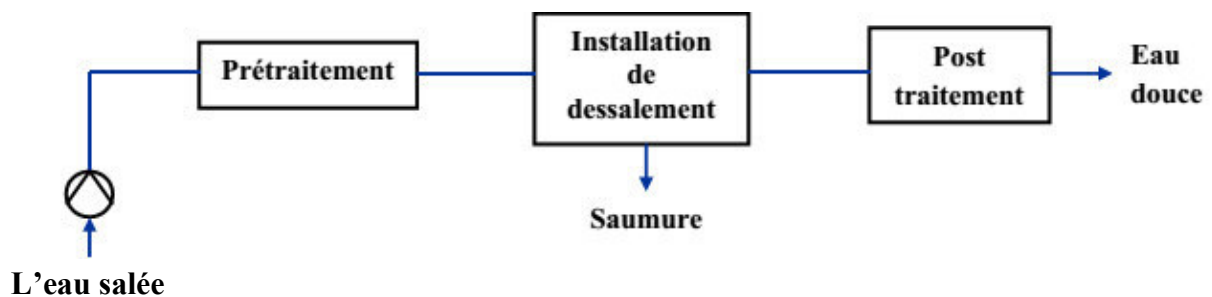


Figure 01 : Chaine de traitement par dessalement.

- une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière.
- un pré- traitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte.
- le procédé de dessalement lui-même.
- le post-traitement avec une éventuelle minéralisation de l'eau produite.

A l'issue de ces étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement.

III. Techniques disponibles de dessalement : [11]

Les différentes techniques actuellement utilisées dans le monde pour rendre les eaux salées sou utilisables dans l'industrie (eaux de procédés, eaux de chaudière, etc.) ont été exposées Par les experts. Elles font appel à des procédés physico chimiques, chimiques, biologiques ou physiques.

1). Procédés de distillation :

L'eau de mer chauffée produit de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau pure :

- a- Distillation à simple effet.
- b-Distillation à multiples effets (MED).
- c- Le procédé MSF avec recyclage.

2). Les procédés à membranes :

L'eau et les sels dissous sont séparés au moyen de membranes sélectives :

- a)- l'osmose inverse.
- b)- Electrodialyse (ED).

Tableau 01 : l'énergie utilisé dans les différents procédés.

Les procédés de traitement		L'énergie à utilisé
Procédé de distillation	Distillation à simple effet. Distillation à multiples effets (MED). Le procédé MSF avec recyclage.	Thermique
Procédé à membrane	l'osmose inverse. Electrodialyse (ED).	Electrique

III.1. Les procédés de distillation : [12]

Dans les procédés de distillation, il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce liquide. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

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

Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique : le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF) et le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED).

1.a) Distillation à simple effet : [13]

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

Un faisceau tubulaire, alimenté par un fluide chauffant est plongé dans l'eau de mer à la partie basse d'une enceinte étanche et sous vide. Le fluide chauffant provoque alors une évaporation de l'eau de mer. La vapeur ainsi formée est condensée sur un faisceau tubulaire, placé dans la partie haute de l'enceinte et dans lequel circule l'eau de mer froide. L'eau distillée et condensée s'écoule du faisceau et est recueillie dans une goulotte d'où elle est pompée pour des usages divers (voir la **figure02**).

Un appoint d'eau de mer, supérieur à la production, est introduit dans l'enceinte, une autre pompe évacue une fraction de saumure de telle manière que la salinité de l'eau de mer reste à une concentration acceptée.

Cette première solution est simple à mettre en œuvre mais n'offre qu'un rendement réduit, aussi elle n'est utilisée que dans les navires disposant d'une source d'énergie thermique.

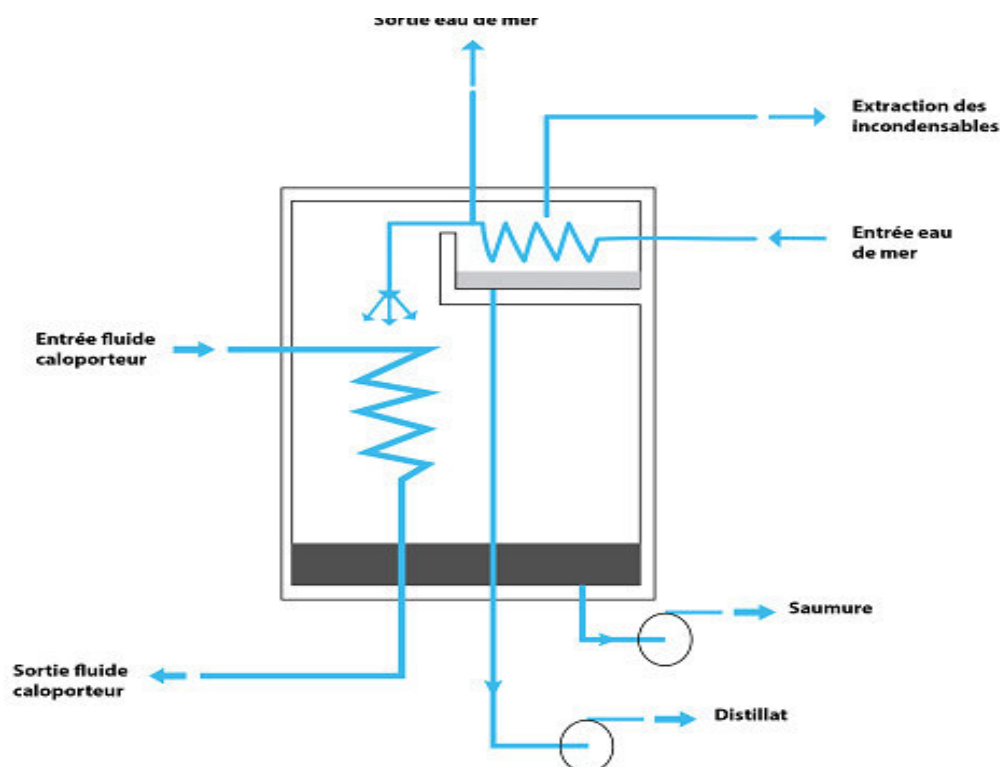


Figure 02 : distillation simple effet.

1.b) Distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED) : [14]

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1er effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2ème effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2ème effet et ainsi de suite (voir **figure 03**). Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (KWh/m³ d'eau douce produite).

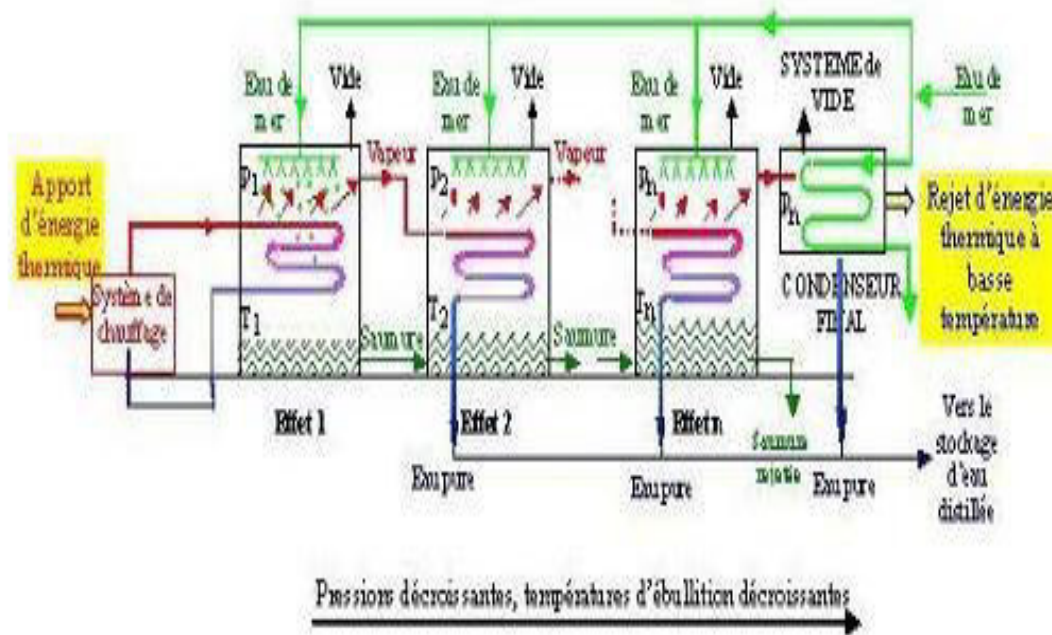


Figure 03 : distillation multiples effet.

Il existe autre système d'évaporateurs multiples effets (MED) :

- Les évaporateurs multiples effets à tubes horizontaux arrosés sont les appareils les plus utilisés actuellement. Dans ces appareils le fluide de chauffage s'écoule dans les tubes horizontaux tandis que l'eau de mer à évaporer est arrosée de façon à s'écouler sous forme de film le plus uniforme possible sur l'extérieur des tubes. La vapeur produite dans la calandre (enceinte cylindrique qui contient le faisceau de tubes) est ensuite envoyée dans les tubes de l'effet suivant où elle cédera son énergie de condensation. Ces évaporateurs présentent un très bon coefficient d'échange grâce à l'écoulement en film de l'eau de mer. C'est la raison pour laquelle ils remplacent actuellement les plus anciens évaporateurs à faisceau de tubes noyés dans lesquels les tubes étaient plongés dans l'eau de mer.

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

Un système compact à bases de plaques EasyMED constitué de cellules élémentaires comprenant une zone d'évaporation et une zone de condensation brevetée en 1998 est également en cours de développement. L'agencement judicieux de cellules élémentaires pour que chaque zone d'évaporation se situe entre deux zones de condensation de l'effet précédent permet d'obtenir un appareil plus compact puisqu'il ne nécessite pas une volumineuse calandre pour chaque effet.

1-c) Distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF): [14]

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (voir **figure04**) puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détente successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites.

On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

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

On remarque lors du phénomène de flash que des gouttelettes d'eau salée peuvent être entraînées avec la vapeur, elles sont séparées grâce à un dévésicu leur constitué par une sorte de grillage qui limite le passage des gouttelettes qui retombent alors au fond de l'enceinte.

L'avantage principal du procédé MSF est que l'évaporation de l'eau de mer ne se produit pas autour des tubes de chauffe puisque le liquide « flashe » ceci limite les risques d'entartrage.

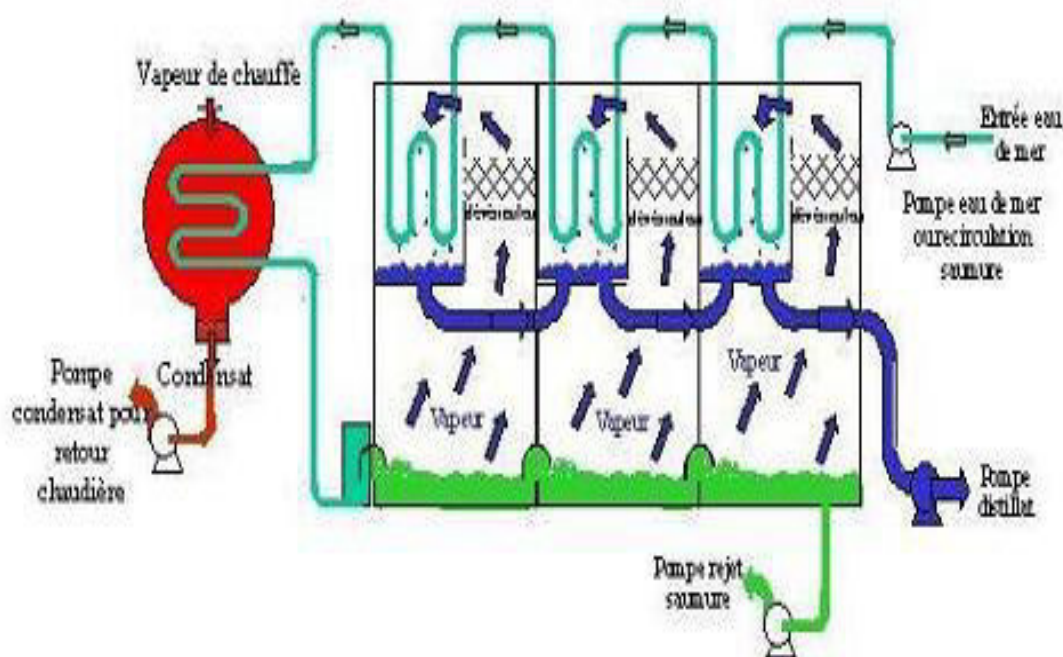


Figure 04: Principe de fonctionnement d'un système par décharges successives (MSF) à 3 étages.

III.2) Les procédés à membranes :

Le procédé membranaire qui repose sur une séparation sel-eau faisant appel à des membranes semi-perméable ou le moteur est soit la pression (l'osmose inverse) soit un champ électrique (électrodialyse).

2-a) L'osmose inverse : [15]

L'osmose inverse est un procédé bien adapté au dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer. Elle permet d'éliminer globalement tous les sels, mais seulement partiellement si l'on désire conserver une certaine minéralisation à l'eau.

Les performances du procédé sont pratiquement indépendantes des variations de salinité de l'eau à traiter, même si elles sont importantes. La consommation d'énergie, pour les eaux saumâtres, est de l'ordre de 1,5 à 2,5 KWh par m³ d'eau produite. Enfin, du point de vue sanitaire, l'osmose inverse est un procédé qui permet d'arrêter les virus et les composés organiques lourds qui peuvent être cancérogènes.

2. a.1. Principe du procédé : [16]

Le phénomène d'osmose est connu de puis long temps. Les membranes dites osmotiques sont perméables à l'eau pure, mais constituent des barrières infranchissables pour tous les corps dissous à l'état moléculaire ou les particules colloïdales; pour cette raison, on dit que ces membranes sont semi-perméables. Dans une cuve Divisée par une membrane semi-perméable en deux compartiments ouverts, si l'un des compartiments contient de l'eau pure et si l'autre contient une solution saline, on constate que l'eau pure traverse la membrane vers la solution saline et que la pression du côté de cette dernière augmente. Quand cette pression atteint une certaine valeur, appelée pression osmotique comment représenté dans la figure suivant :

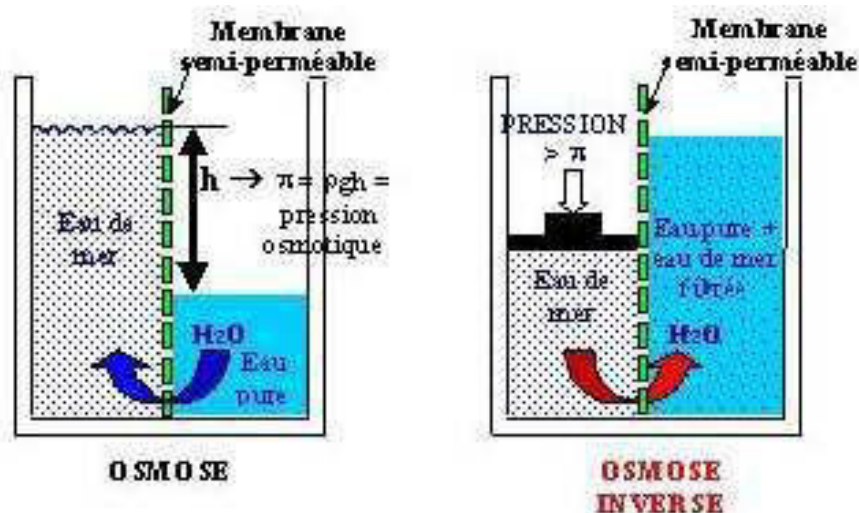


Figure 05 : principe de l'osmose inverse.

La pression osmotique **P** d'une solution est proportionnelle à la quantité de molécules ou d'ions présents :

$$P = N/V \cdot R \cdot T$$

N : nombre de molécules ou d'ions de soluté.

V : volume moléculaire du solvant.

R : constante des gaz parfaits = 0.082 atm .l/mol .K°

T : température absolue.

Ainsi l'eau de mer, contenant dans chaque litre environ 35g de différents sels et principalement du chlorure de sodium, a une pression osmotique de 25 bars, par rapport à l'eau pure, tandis qu'une eau contenant un gramme par litre de sels dissous (par exemple l'eau de forage) a une pression osmotique voisine de 0,7 bar.

Si l'on applique à la solution saline une pression supérieure à la pression osmotique, une certaine quantité d'eau pure filtre en sens inverse à travers la membrane vers le compartiment d'eau pure. On conçoit donc qu'une circulation continue d'eau saline sous une telle pression devant la membrane permette la production continue d'eau pure à travers cette dernière, avec rejet de saumure. Tel est le principe du procédé de l'osmose inverse.

En dehors du dessalement, cette méthode peut aussi rendre de nombreux services à l'industrie alimentaire (par exemple la concentration de jus de fruits, etc.), en tant que technique d'épuration des eaux résiduaires industrielles permettant de recycler l'eau douce (ou même de la rendre potable), comme étape dans la préparation d'eau très pure lorsque l'osmose inverse est suivie, par la suite, d'un processus de déminéralisation (justifiable économiquement seulement lorsque la concentration en sel est inférieure à 200 ppm) et même dans l'industrie chimique a fin d'extraire plus facilement l'eau résiduaire des produits précieux après concentration.

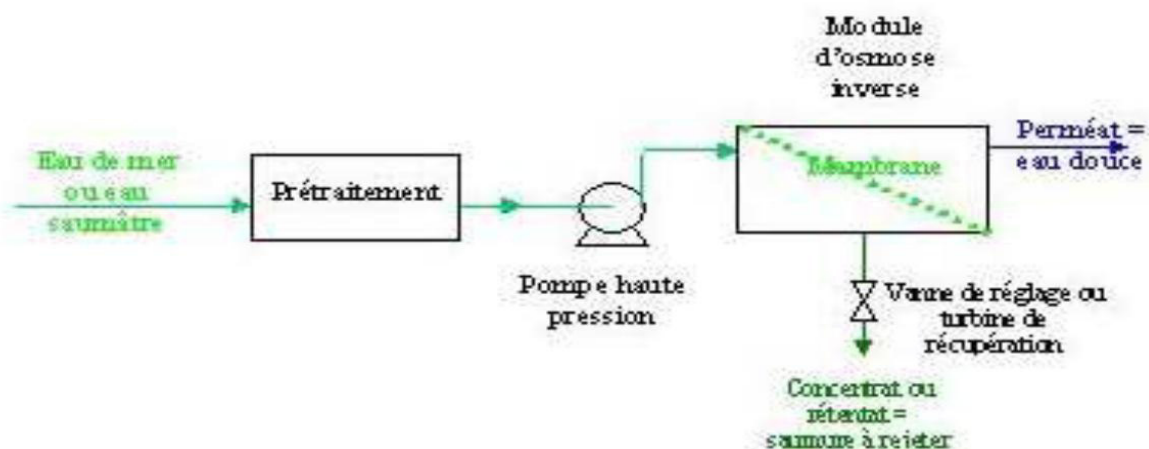


Figure 06 : chaîne de traitement par l'osmose inverse.

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits.

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50 μm selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une pré-filtration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses. Puis un traitement biocide et une acidification sont nécessaires pour éviter le développement de micro-organismes sur la membrane et éviter la précipitation de carbonates. En fin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules de taille de l'ordre de quelques dizaines de μm qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable.

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes.

2.b) L'électrodialyse : [17]

L'électrodialyse est un procédé de dessalement qui consiste à éliminer les sels dissous d'une eau saline par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électrique. La consommation d'énergie et la surface de membranes nécessaires étant proportionnelles à la quantité de sel à éliminer ce procédé est économiquement intéressant pour les eaux saumâtres de faible salinité (quelques grammes/litre), ce qui permet de le situer entre l'échange ionique et l'osmose inverse.

2. b .1. Application du dessalement :

Électrodialyse a été introduite sur le marché au début des années 1960. L'unité électrodialyse de base se compose de plusieurs centaines de cellules reliées entre elles par des électrodes à un bloc extérieur qui constitue la pile.

L'électrodialyse est utilisée pour le dessalement d'eau de mer. Sur le schéma ci-dessous vous est présenté le fonctionnement d'une unité en parallèle de dessalement. En fin de chaîne de traitement l'on récupère à la fois de l'eau douce et du saumure. Il existe également des unités en série et d'autres modèles de système d'électrodialyse.

2. b.2. Principe de l'électrodialyse : [17]

Soit une cellule d'électrodialyse dans laquelle on fait circuler une solution saline: les cations vont se diriger vers la cathode et les anions vers l'anode. Si l'on intercale entre les électrodes des membranes perméables respectivement aux anions et aux cations, il y aura concentration et recombinaison des ions dans certains compartiments où la solution s'enrichira en sels (compartiments de concentration), alors que dans les autres la salinité diminuera (compartiments de déminéralisation). On peut ainsi obtenir, à partir d'une eau saline, une eau à la salinité désirée (500 ppm dans la plupart des cas).

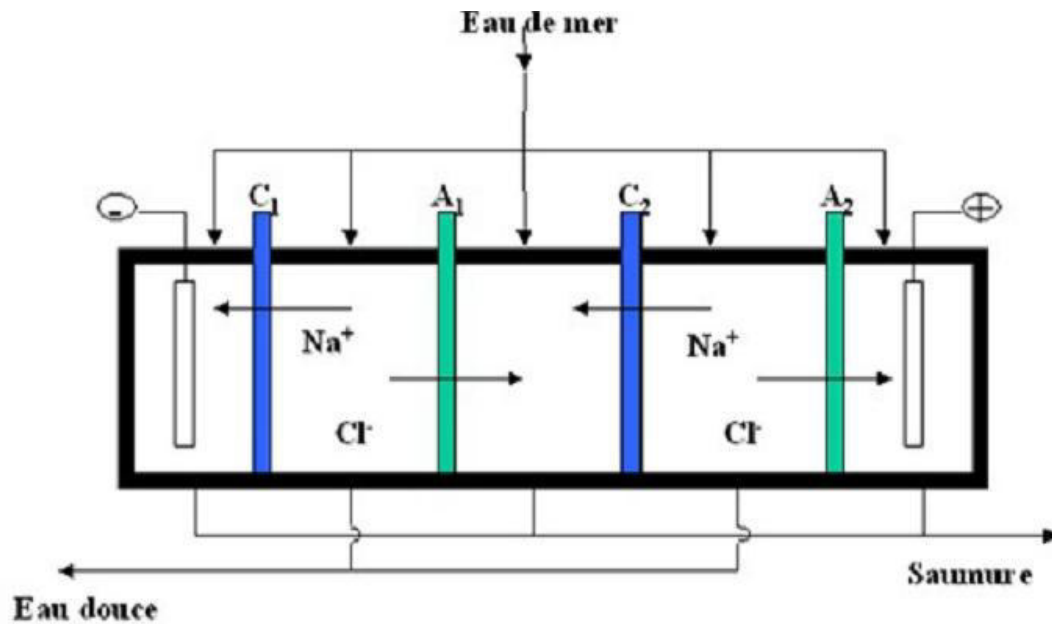


Figure 07 : principe de l'électrodialyse.

Les membranes cationiques sont constituées de polystyrène sulfonâtes, tandis que les membranes anioniques sont constituées de polystyrène avec des ammoniums quaternaires.

Parfois il est nécessaire d'effectuer un prétraitement avant l'électrodialyse.

Les solides en suspension avec un diamètre supérieur à 10 μm doivent être éliminés, sinon ils risquent de boucher les pores de la membrane. Il y a aussi des substances qui sont capables de neutraliser la membrane, comme par exemple les anions organiques de grande taille ; les colloïdes, les oxydes de fer et de manganèse. Ils perturbent l'effet sélectif de la membrane.

Les méthodes de prétraitement, qui aide à empêcher ces effets sont la filtration sur charbon actif (pour la matière organique), la floculation (pour les colloïdes) et les différentes techniques de filtration.

Tableau02: Avantages de l'électrodialyse par rapport à l'osmose inverse. [17]

	Osmose inverse	Electrodialyse
Température de fonctionnement (tenue des membranes)	30°C 35°C maxi	45°C 70°C maxi
Prétraitement de l'eau	Très important (Coagulation _ floculation filtration5u)	Simple (Filtration 50)
Zone de PH d'utilisation des membranes (nettoyage chimique)	Acétate de cellulose 4-7,5 Polyamide aromatique 4-11	1-13
Nettoyage mécanique (démontage du module)	Impossible	Possible
Pression de fonctionnement (matériaux utilisables)	Supérieure à 30bars (Métalliques)	Inférieure 3bars (Plastiques)

III.3) Autres procédés : [18]

Un certain nombre d'autres procédés ont été utilisés pour dessaler les eaux saumâtres ou marines. Ces procédés n'ont pas permis d'obtenir le rendement de la distillation ou de l'osmose inverse, mais ils se sont avérés valables dans certaines circonstances ou appellent encore des perfectionnements.

III.3.1 Congélation :

Lors du processus de congélation, les sels dissous sont naturellement éliminés lors de la formation initiale de cristaux de glace. Le refroidissement de l'eau salée pour former des cristaux de glace sous des conditions bien définies est un moyen de dessaler l'eau de mer. Il existe plusieurs procédés de congélation pour dessaler l'eau de mer, et un petit nombre d'usines ont été installées à cet effet au cours des 50 dernières années.

III.3.2 Humidification solaire :

L'utilisation de l'énergie solaire directe pour dessaler l'eau salée a été envisagée, et divers dispositifs ont été mis au point; ils reproduisent généralement une partie du cycle

hydrologique naturel puisque les rayons du soleil chauffent l'eau salée avec production de vapeur d'eau (humidification). La vapeur d'eau est alors condensée sur une paroi froide et le condensat recueilli sous forme d'eau douce.

III.4.Comparaison des procédés : [19]

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

Tableau 03 : Comparaison des procédés de dessalement. [19]

	MSF	MED	OR	ED
Température fonctionnement (°C)	< 120	< 70	< 45	< 45
Source d'énergie	Thermique	Thermique	Electrique	Electrique
Consommation d'énergie (KWh/m³)	12	06	4-7	1

IV. Situation et tendances du dessalement de l'eau de mer en région méditerranéenne :

Les ressources en eau naturelles renouvelables par habitant dans les pays riverains de la mer Méditerranée vont de la pénurie ($< 500 \text{ m}^3/\text{année-personne}$) au confort et au luxe ($5000 \text{ m}^3/\text{année personne}$) (AQUASTAT, Plan Bleu, 2010).

Il existe un déséquilibre entre la rive nord et la rive sud de la Méditerranée, la deuxième étant considérée comme l'une des régions du monde les plus pauvres en eau. En conséquence, les efforts de dessalement autour de la Méditerranée se concentrent surtout sur ses rives sud et est, ainsi qu'en Espagne. En 2013, plus de 1 532 usines de dessalement d'eau de mer se sont installées autour de la mer Méditerranée avec une capacité totale cumulée d'environ $12 \text{ Mm}^3/\text{jour}$. Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse représentait environ 80 % de la production. Presque toute l'eau dessalée produite est consommée comme eau potable par les municipalités. [20]

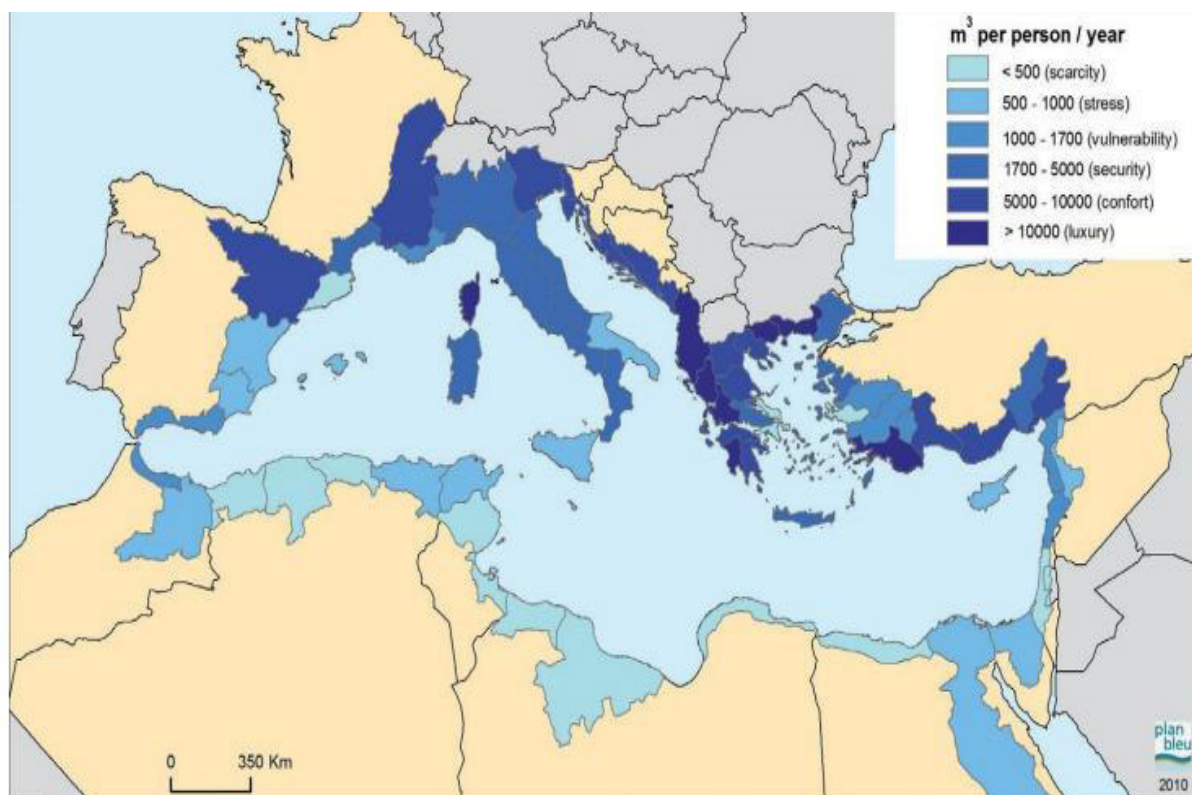


Figure 08 : Ressources en eau naturelles renouvelables par habitant dans les différents bassins méditerranéens élémentaires (entre 1995 et 2005). Source : Diverses/cartographie Plan Bleu, 2010

IV.1. Evolution du dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens de 1999 à 2013 :

En 1970, la capacité totale de dessalement autour de la Méditerranée était de 0,025 Mm³/jour.

Fin 1999, elle s'était accrue de presque 2 ordres de grandeur pour atteindre une capacité totale de près de 2 Mm³/jour, dont 41 % étaient produits par OI (PNUE/PAM/MED POL 2003). L'Espagne était le plus grand producteur d'eau dessalée avec 33 % de la capacité totale, principalement à partir du procédé OI. La Libye suivait avec 30 % de la capacité totale, principalement à partir du procédé MSF. L'Italie, Malte, l'Algérie et Chypre représentaient respectivement 18, 6, 5 et 2 % de la capacité totale (PNUE/PAM/MEDPOL 2003).

En 2007, la capacité totale de dessalement en Méditerranée était de 4,0 Mm³/j, soit 14 % de la capacité totale du globe. L'Espagne était le principal producteur, avec 35 % de la capacité totale en Méditerranée suivie de la Libye avec 20 %. L'Algérie, l'Italie, Malte et Chypre représentaient respectivement 19, 10, 7, 5 et 4 % de la capacité totale (Lattemann et al. 2010b).

Le principal procédé utilisé était le procédé OI.

En 2011, la capacité a été portée à 11,6 Mm³/jour dans les pays méditerranéens, mais cette estimation peut inclure le dessalement de l'eau provenant de l'Atlantique et de la mer Rouge. L'Espagne était le principal producteur (41 % de la capacité totale en Méditerranée), suivie de l'Algérie respectivement 15 et La Libye représentait 7 % de la production totale et l'Italie et l'Égypte, 6 % chacun (Cuenca 2013).

Le procédé OI était la technologie de dessalement la plus répandue dans la région (environ 82 %), suivie des procédés MSF (11 %) et MED (6,5 %). En 2013, l'Espagne a été le principal producteur (31 % de la capacité totale), suivie de l'Algérie, et de la Libye avec respectivement 20, et 11 %.

CHAPITRE III: DEMINERALISATION DE L'EAU DE MER.

I. Introduction:

La déminéralisation est l'une des techniques très largement utilisée pour l'obtention de l'eau pure à partir d'une eau caractérisée par leurs concentrations en sels dissous (eau de mer). Donc, c'est un procédé d'épuration de l'eau destiné à éliminer partiellement ou totalement les sels qui y sont dissous. Elle s'effectue en particulier par échange d'ions.

L'épuration par échange d'ions consiste à fixer les ions en liberté sur des corps doués de propriétés particulières que l'on appelle « échangeurs d'ions » ou « permutates », d'où le nom permutation donné à ce procédé. Ce dernier permet d'obtenir des eaux de très haute pureté chimique caractérisées par leur très faible conductivité, [21].

II. Principe de la déminéralisation : [22]

L'eau traverse successivement un échangeur de cations sous la forme H (régénéré à l'acide), puis un échangeur d'anions sous la forme OH (régénéré à la soude).

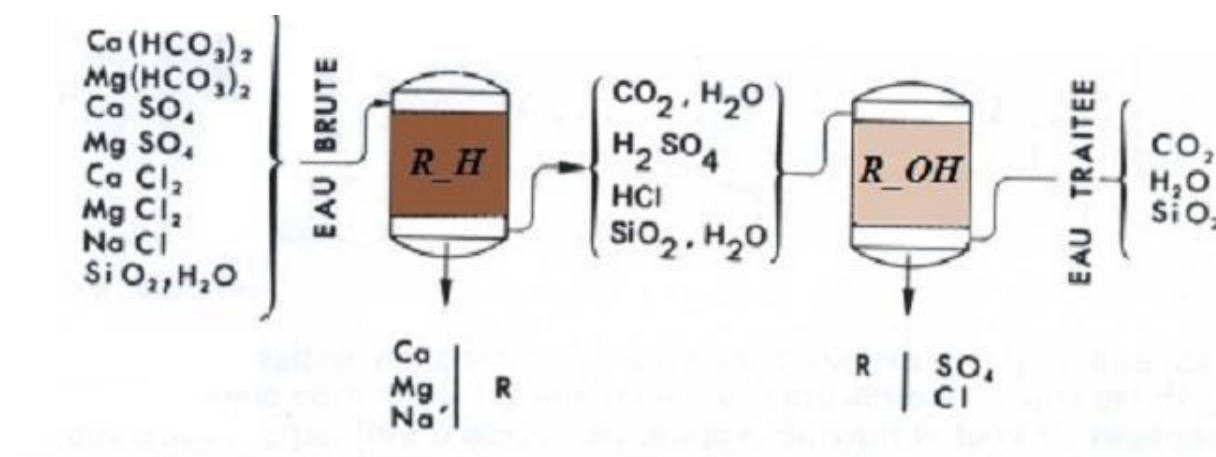
Par passage sur l'échangeur de cations, ces derniers sont retenus par la résine et il ne subsiste plus dans l'eau que les acides des sels présents initialement. L'échangeur d'anions destiné à retenir ces acides peut comporter :

- Soit une résine de faible basicité qui retient les anions forts mais non les anions faibles tels que l'acide carbonique ou la silice.
- Soit une résine à forte basicité qui retient à la fois les anions forts et les anions faibles, y compris le dioxyde de carbone et la silice.

II.1. Déminéralisation totale :

L'ensemble des sels minéraux contenus dans une eau peut être éliminé en utilisant conjointement les résines échangeuses d'ions cationiques et résines (groupe sulfonique) anioniques soit montées en série dans deux réservoirs (groupe ammonium quaternaire) distincts soit mélangées dans un même réservoir.

La figure suivant explique l'étape d'élimination des cations et des anions de l'eau :

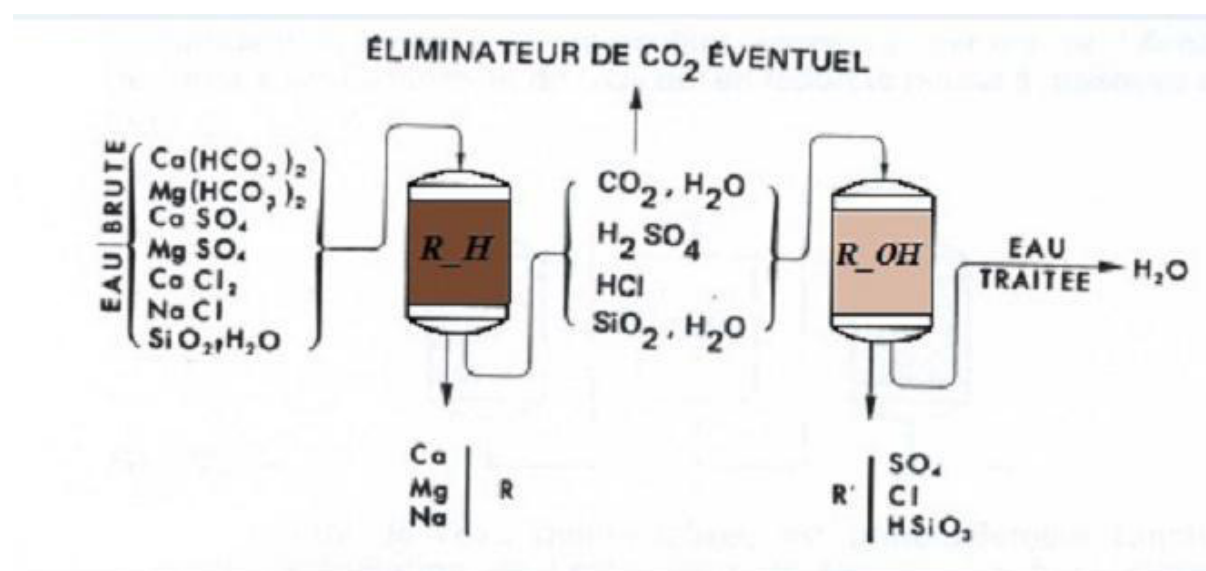


déminéralisation totale

Figure 01 : schéma de déminéralisation totale.

Il est cependant conseillé dans ce cas de procéder à une élimination physique de CO_2 , afin de réduire la consommation de réactif de régénération pour l'échangeur d'anions (au moins dans le cas où la teneur en CO_2 représente une fraction notable de la salinité).

La figure suivant explique l'étape d'élimination du CO_2 :



élimination du CO_2

Figure02 : schéma d'élimination du co2.

III. L'échange d'ions : [23]**III.1.Historique :**

L'échange d'ions est un procédé dans lequel un ion est retiré d'une solution par un absorbât solide et remplacé par un autre de la même charge. Le phénomène fut observé pour la première fois en Grande Bretagne par Thomson, en 1845, et, en 1850, Way détermina les grandes lois qui le gouvernent. En 1905, Gans, en Allemagne, réussit à adoucir l'eau industriellement, en utilisant des zéo-lites naturels et synthétiques.

Ce procédé, utilisé dans le monde entier, demeura la seule application de l'échange d'ions jusqu'en 1934. Cette année-là, deux inventions marquèrent le point de départ d'une industrie nouvelle. La première fut celle du charbon sulfoné, mis au point par Liebknecht, en Allemagne. Ce matériau, physiquement stable et chimiquement résistant, non seulement n'adoucit l'eau, mais, à la différence des zéolites, restait stable au contact des acides et pouvait donc être converti à la forme hydrogène. Tous les cations pouvaient alors être remplacés par des ions hydrogènes, les sels étant converti se na ci des libres correspondants.

III.2.Les résines échangeuses d'ions : [23]

Les résines échangeuses d'ions sont des gels basés sur un Réseau polymérique réticulé au quel des groupes soit acidiquement Soit basiquement actifs sont immuablement attachés. Le polymère modifié qui en résulte est insoluble; il est cependant hydrophile et facilement perméable à l'eau. Quel que soit le procédé, l'échange d'ions se fait en solution dans l'eau de gel des résines. La perle de résine se comporte presque exactement comme s'il s'agissait d'une goutte de solution concentrée entourée d'une membrane demie perméable.

III.2.1.Les résines échangeurs cationiques: [24]

Ces résines ont pour groupements fonctionnels des radicaux acides, fortement acide pour les uns, et faiblement acide pour les autres.

Les résines fortement acides (**FA**) : obtenues par greffage des radicaux sulfoniques, fixent la totalité des cations en solution.

Les résines faiblement acides (**f A**) : obtenues par greffage de radicaux carboxyliques, fixent de préférence les cations de valence multiple.

III. 2.2.Les résines échangeurs anioniques : [24]

Ces résines ont pour groupements fonctionnels des radicaux basiques, fortement basiques pour les uns, faiblement basiques pour les autres. Les résines fortement basiques (**FB**): obtenues par greffage d'ammonium quaternaire, neutralisent tous les anions même d'acide faible (silice) et transforment les sels neutres en bases correspondantes,

III.3. Les caractéristiques des résines échangeurs des ions : [25]

Les principales caractéristiques qui se dégagent entre les diverses qualités des résines d'échangeuses d'ions sont essentiellement :

- La qualité du groupe fonctionnel caractéristique.
- La nature d'un ion mobile.

A travers la connaissance du polymère employé et du groupe fonctionnel présent, il est ainsi possible de caractériser la résine.

Les groupes fonctionnels sont essentiellement de quatre types :

- Résine cationique sulfonique – SO_3H ou – SO_3Na
- Résine cationique carboxylique - COOH ou - COOK
- Résine anionique Amines – NH_2 ; NHR ; - NR_2 .
- Ammonium quaternaire : elles sont généralement en Cl^- qui se transforme sous la forme OH^- .

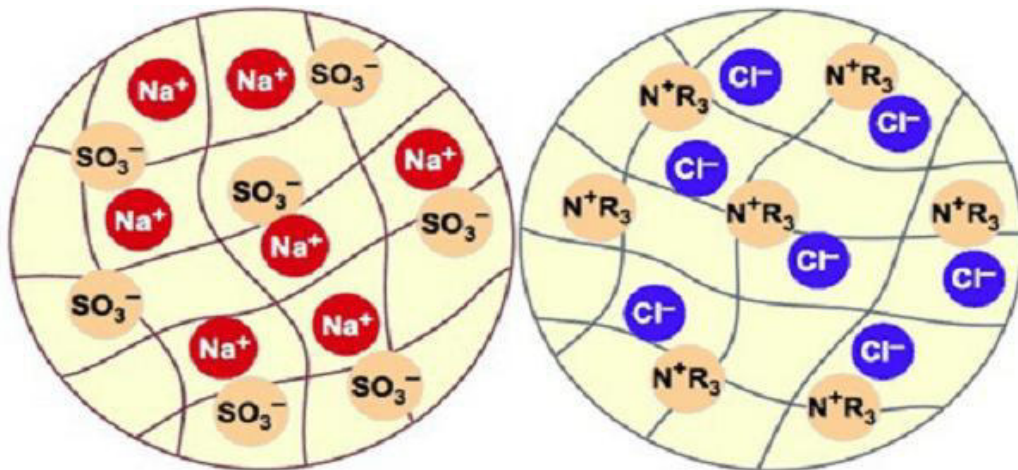


Figure 03 : Schéma explique comment la résine fixé les ions.

III.4. Les principaux types de résines utilisées dans le traitement de l'eau :

Tableau01 : Les types de résines utilisées.

Type	Couplement fonctionnelle	Densité apparente g/ml	régénérant
Résine cationique forte	SO ₃ H sulfurique de polystyrène	0,8	HCl à 10% NaCl à 10%
Résine cationique faible	COOH acide- polyméta-acylique	0,7	HCl à 10%
Résine anionique forte	Ammoniac quaternaire sur polystyrène	0,7	NaOH à 4%
Résine anionique faible	Amines sur polystyrène	0,7	NO ₂ CO ₃

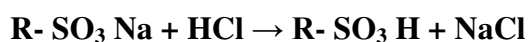
IV. Mode de Régénération : [26]

Les résines épuisées (ou saturées) peuvent être régénérée par le processus inverse de celui qui on vient d'examiner à travers lequel les groupes acides et basiques sont restaurer.

Cette action s'effectue grâce à des dilutions acides (HCl, H₂SO₄) pour les résines cationiques et des dilutions basiques (NaOH) pour les résines anioniques de cette façon pourront restaurer les conditions de la résine.

La régénération consiste à faire traverser la résine par une solution très concentrée en réactifs de manière à inverser la réaction. Cette opération doit être suivie d'un rinçage destiné à éliminer la solution régénérant imprégnant le lit de résine.

- Réaction de régénération cationique :



- Réaction de régénération anionique:



Il existe deux modes de régénérat :

IV.1.Régénération à co-courant: [26]

Dans ce mode de régénération, le flux de régénérant est dirigé au travers du lit de résine dans le même sens que l'eau en cycle de production, c'est-à-dire de haut en bas dans les procédés classiques.

Ce mode de régénération a l'avantage de ne pas exiger un dispositif élaboré de réparations haute des flux puisque le courant de régénérant est automatiquement réparti de façon quasi uniforme par les couches hautes du lit de résine.

IV.2.Régénération à contre-courant : [26]

Dans ce mode de régénération, le régénérant circule à contre-courant par rapport à l'eau traitée en cours de cycle. Pour les échangeurs d'ions classiques traitant l'eau en cours de cycle de haut en bas, l'écoulement du régénérant s'effectue de bas en haut.

Ce mode présente, par rapport à la régénération co-courant, de très nombreux avantages :

- La solution régénérant s'attaque en premier lieu aux couches basses de résine très peu saturées qui sont donc très facilement débarrassées des quelques ions indésirables qu'elles contenaient en fin de cycle.
- La solution régénérant ne s'appauvrit que lentement en ions régénérant et ne s'enrichit que progressivement en ions à éliminer.

La régénération à contre-courant permet donc d'obtenir :

- Un meilleur rendement de régénération.
- Des couches basses très bien régénérées, donc une fuite ionique permanente réduite.

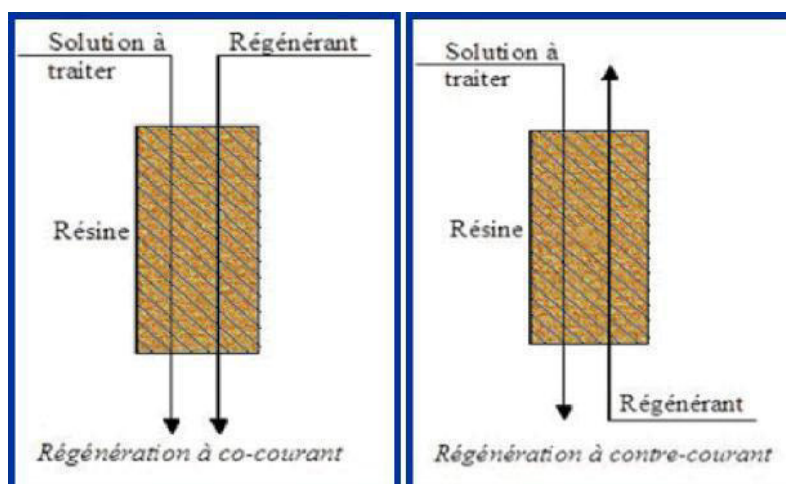


Figure 04 : schéma de régénération à co courant et contre courant.

IV.3.Les réactifs régénérant : [27]

La régénération se fait à l'aide d'un acide pour les résines cationiques (généralement sulfurique ou chlorhydrique) et à l'aide d'une base (soude) pour les résines anioniques.

Tableau 02 : Produits régénérant les plus utilisés.

Produits	Chlorure de sodium NaCl	Acide Chlorhydrique HCl	Acide Sulfurique H ₂ SO ₄	La Soude NaOH	La Acide Carbonique H ₂ CO ₃
Masse molaire (g/mol)	58,5	36,5	96	40	62
Forme Disponible	Pastilles	Solution	Solution	Pastilles Lessive de Soude	Gaz dissous dans l'eau
Solubilité dans l'eau	306 g/l à 20° C	33 à 35 % soit 380 à 410 g/l	92 à 98 % soit 1,7 à 1,8 kg/l	800 g/l (en paillettes)	Solution dans l'eau en fonction de (P)
Emploi avec les échangeurs d'ions	Résines cationiques fortes en Na+ anioniques fortes en Cl ⁻	Résines cationiques fortes en H+ cationiques faibles	Résines cationiques fortes en H+ (Risque précipitation de CaSO ₄)	Résines anioniques fortes en OH anioniques faibles	Résines cationiques faibles
Observation	Sel neutre utilisation non dangereuse	Acide fumant Vapeurs corrosives Utilisation Dangereuse	Acide très dangereux Forte élévation de température à la dissolution	Base très Dangereuse	Acide faible peu dangereux

CHAPITRE IV :

L'IMPACT DES REJETS DESSALEMENT SUR L'ENVIRONNEMENT MARIN.

Introduction :

Depuis 2003, les efforts en matière de dessalement à l'échelle mondiale se sont accrus de façon exponentielle en raison de l'augmentation de la demande d'eau douce et de l'amélioration des technologies ainsi que de la viabilité économique. La région méditerranéenne a suivi la tendance mondiale. La capacité de dessalement installée est ainsi passée d'environ 4 millions de m³/jour (Mm³/jour) en 2003 à 12 Mm³/jour en 2013. Les technologies ont également évolué et se sont accompagnées d'une meilleure prise de conscience des possibles impacts sur l'environnement, notamment sur le milieu marin.

De plus, le cadre juridique de réglementation du rejet de déchets dans la Méditerranée et les Plans régionaux liés à la pollution (dans le cadre des protocoles « telluriques » (LBS) et des Protocoles « immersions » et du PAS/MED) ont évolué pour intégrer les aspects de l'Approche éco systémique (EcAp) en vue d'atteindre et de conserver un Bon état environnemental (BEE).

En particulier, les rejets de déchets dans le milieu marin peuvent altérer la qualité de l'eau et des sédiments. Il s'agit de déchets aux composants multiples qui peuvent contenir des produits chimiques résiduels du prétraitement, de métaux lourds dus à la corrosion ou d'agents chimiques utilisés par intermittence pour le nettoyage, auxquels s'ajoutent l'augmentation de la salinité et de la température. L'altération de la qualité de l'eau de mer et des sédiments peut, à son tour, nuire à la faune et la flore marine et avoir un effet durable sur les écosystèmes côtiers. Il conviendrait donc que les effluents provenant du dessalement de l'eau de mer soient en conformité avec les politiques et protocoles nationaux et régionaux concernant l'environnement. [28]

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

Cette partie traite de l'impact du dessalement de l'eau de mer sur le milieu marin après le démarrage des opérations des usines, selon [29]. 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 (Roberts et al. 2010). 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.

I. 1. Prise d'eau de mer :

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 [30]. 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. [31]

I. 2. Rejet de saumure :

La saumure est définie ici comme le rejet salin d'une usine de type SWRO et comme le rejet salin 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 [32]. 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. [33]

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.[34]

I. 2.1. 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. [35] Ces deux éléments sont donc susceptibles d'affecter le biote à proximité des zones de rejet de saumure de dessalement.

I.2.2.Études en laboratoire et en mésocosme :

Des expériences en laboratoire et en mésocosme sur *Posidonie* océanique, un herbier marin endémique à la mer Méditerranée et d'une importance particulière en matière d'habitat, ont montré que, dans certaines conditions, une salinité accrue affectait sa fonction physiologique, sa croissance foliaire et ses taux de survie. [36]

Deux autres types d'herbiers marins méditerranéens, ***Cymodocea nodosa*** et ***Zostera noltii***, ont été identifiés comme étant sensibles aux augmentations de salinité (Fernández-Torquemada et Sánchez Lizaso 2011), [37]



Figure01 : *Cymodocea nodosa*.



Figure 02 : *zostera noltii*.

Des combinaisons de stress de température et de salinité ont considérablement réduit les performances larvaires et la croissance de la balane ***Amphihalins improvisus***, alors qu'il a été démontré que la salinité affecte la structure de la silice des diatomées. [38] .



Figure03 : *Amphihalins improvisus*.

L'hyper salinité a diminué la survie des embryons de la seiche géante australienne **Sépia apama** et réduit son poids moyen et la longueur de son manteau (Du pavillon et Gillan ders 2009) [39]. Les essais de toxicité de l'effluent entier (WET) réalisés sur des espèces présentes dans la région dans le cadre de l'EIE pour l'usine de type SWRO d'Olympic Dam (Australie) attribuent la toxicité à l'augmentation de la salinité (Hobbs et al. 2008) [40]. D'autre part, aucun effet significatif n'a été trouvé chez 18 espèces communes lors d'une EIE approfondie réalisée pour l'usine de type SWRO de Carlsbad (Californie du Sud) (Le Page 2005) [41].



Figure 04 : Sépia apama.

Récemment, une expérience en mésocosme sur l'impact des salinités élevées (5 % et 15 % plus élevées que la salinité ambiante) sur les populations côtières microbiennes de la Méditerranée orientale a révélé qu'après environ 12 jours d'exposition, la chlorophylle a et la productivité primaire a augmenté et la composition de la population microbienne a évolué. Cette dernière dépendait de la population initiale soumise aux saisons et de l'intensité de l'enrichissement en salinité (Belkin et al. 2015) [42].

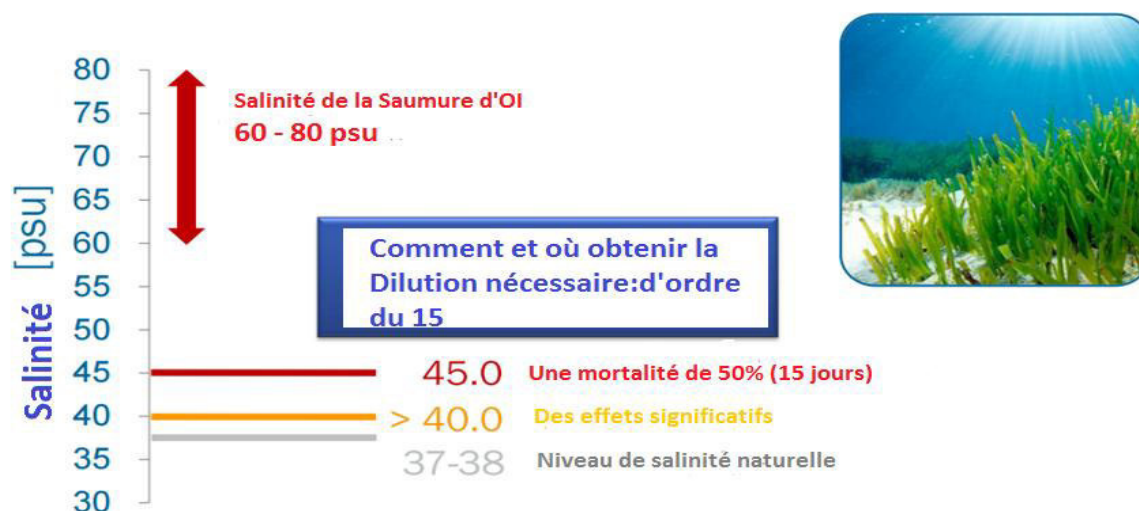


Figure 05 : Impacts de la Salinité sur La posidonie, Sanchez-Lizaso et al. 2008.

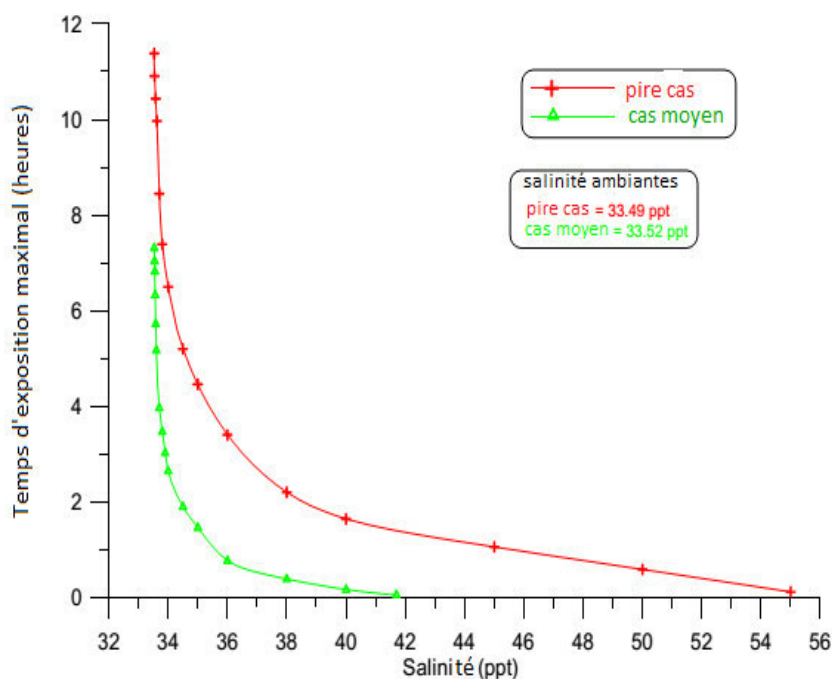


Figure 06 : Temps d'exposition maximal d'un organisme dérivant passant à travers panache de décharge de l'eau de mer concentrée provenant de l'émissaire AES Huntington Beach dans les conditions les plus défavorables (rouge, débit d'usine = 126,7 mg/j) et conditions moyennes (vert, débit d'usine = 253,4 mg/j).

(Seawater Concentrate Management, White Paper
May 2011.)

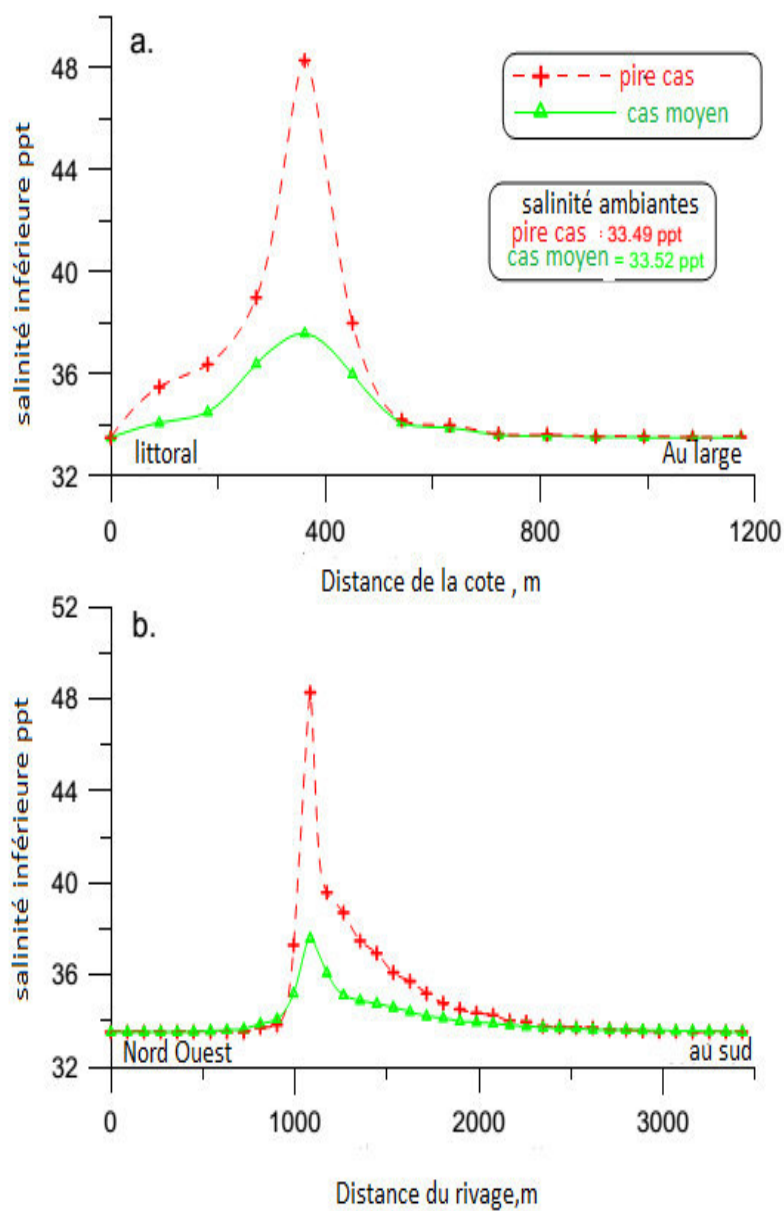


Figure 07 : Moyenne journalière de la salinité du fond pour les mois les plus défavorables et les mois moyens le long de: a) profil de la rive (section A), b) profil de la rive (section B)

(Seawater Concentrate Management, White Paper
May 2011).

I.3. 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.

I.3.1. Le chlore :

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 (Taylor 2006) [42] 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**.



Figure 08 : *Dicentrarchus labrax*.



Figure 09 : *Mytilus edulis*.

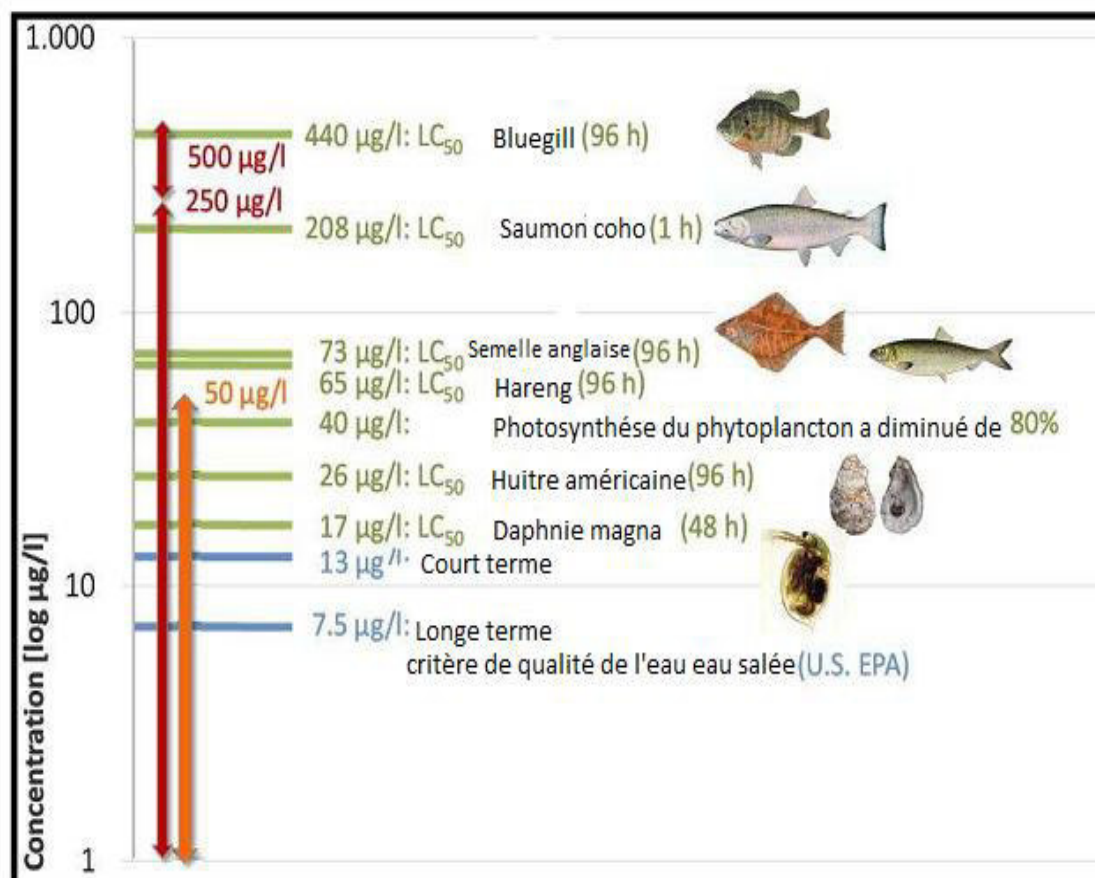


Figure 10 : niveaux de toxicité du chlore pour les espèces marines (Hopner, et al; 2008).

I.3.2. Les produits de corrosion (métaux) :

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 (Lattemann et Hopner 2008) [44]. 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 (Chesher, 1971, Brand et al. 1986) [45]. 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 (Lin et al. 2013) [46].

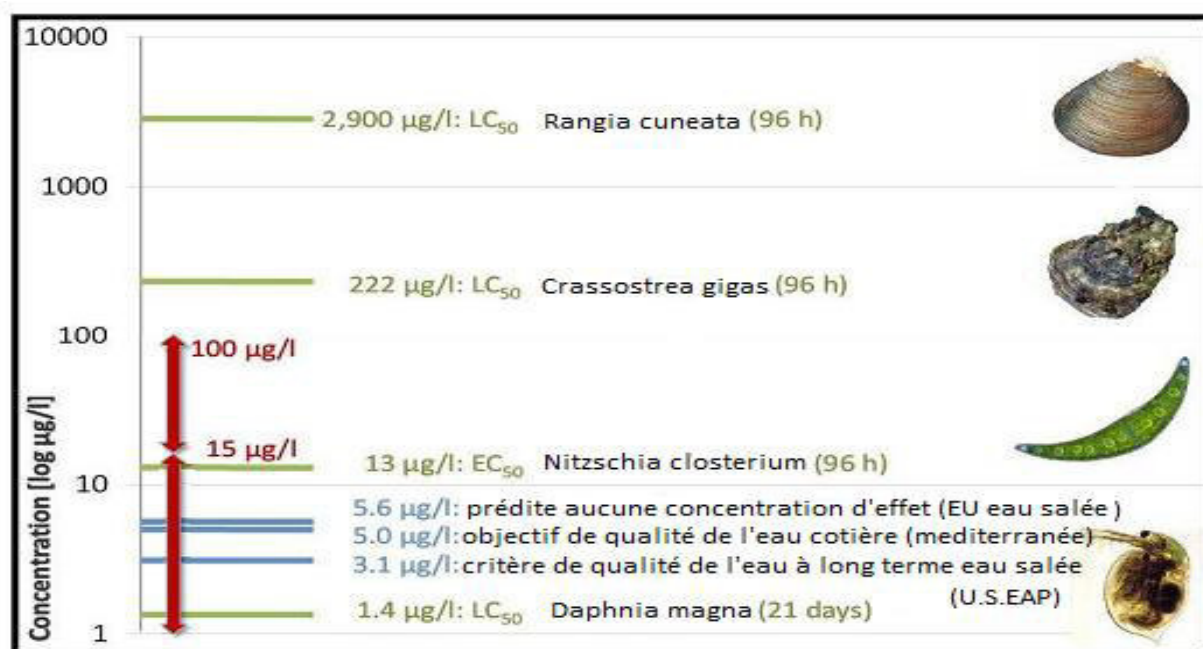


Figure 11 : niveaux de toxicité de cuivre pour une gamme d'espèces (Hopner, et al ;2008).

I.3.3. Le méta bisulfite 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 synodus** dans les 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 élevée [47].



Figure 12: Synodus.

I.3.4. Contaminants émergents : [42]

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.

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 01 : les différents contaminants émergent dans le dessalement.

Contaminants	Utilisation 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
Poly glycol, détergents	Non utilisé	Agent anti-mousse
Détergents, oxydants, agents complexants	Nettoyage de Membranes	Non utilisé
Poly phosphate, Poly phosphonate, polymères organiques (acides poly maléiques et polyacryliques)	Agent antitartre	Agent antitartre
Solutions alcalines	Nettoyage (neutralisé avant élimination)	Non utilisé
Solutions acides	Nettoyage (neutralisé avant élimination)	Nettoyage

Calcaire (CaCO ₃)	Agent d'ajustement du pH et de la dureté de l'eau produite	Agent d'ajustement du pH et de la dureté de l'eau produite
Sel	Saumure	Saumure
Température	Sans objet	Saumure

II. Évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE) :

L'évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE) est un processus par lequel les effets prévus d'une élaboration ou d'un projet sur l'environnement sont identifiés aux étapes de conception et de planification. Si les effets probables sont inacceptables, des mesures de conception ou d'autres mesures d'atténuation appropriées peuvent être prises pour réduire ou éviter ces effets. L'EIE doit être préparée par des professionnels et des spécialistes de façon multidisciplinaire ; elle doit inclure des ingénieurs, des spécialistes de l'environnement, des concepteurs et être réalisée dans le cadre réglementaire en collaboration avec les décideurs. Il convient d'encourager la contribution des parties prenantes. La procédure d'EIE a été largement décrite dans le manuel d'orientation du PNUE publié en 2008 (PNUE 2008).

II.1.Description du projet :

Une description générale de l'objectif et de la nécessité du projet doit être donnée au début du rapport d'EIE. Elle doit inclure les renseignements suivants :

- Emplacement envisagé de l'usine de dessalement
- Co-implantation avec d'autres industries (comme des centrales électriques)
- Composantes terrestres et extracôtières de l'usine (bâtiments, pompes, pipelines, émissaires de saumure), activités de construction prévues et calendrier
- Raccordement au réseau d'eau potable.

II.2.Sélection de la technologie et caractérisation des rejets :

L'EIE doit comporter une description détaillée de la technologie du procédé de dessalement choisi ainsi que la raison de ce choix. Elle doit inclure les renseignements suivants :

- La technologie de dessalement choisie et les spécifications techniques
- La capacité de dessalement de l'usine et les plans d'expansion futurs
- La consommation et la source d'énergie
- Les étapes de traitement de l'eau d'alimentation pendant le procédé de dessalement (entre autres le prétraitement, l'application de biocide, les mesures anti-détartrage, les étapes de nettoyage, le traitement de l'eau dessalée)
- Type de rejets et d'émissions (marin, terrestre et atmosphérique)
- Le volume total des rejets et des émissions (quotidien, annuel)
- Les concentrations et les charges des substances rejetées et leur caractérisation environnementale (persistance, toxicité, bioaccumulation)

II.3.Description de l'environnement :

Les données existantes sur l'habitat terrestre et sur l'habitat marin provenant du site de l'usine de dessalement envisagée doivent être compilées et analysées de façon critique. En l'absence de données disponibles ou en cas de données partielles ou obsolètes, des enquêtes doivent être menées avant la construction du site. Le nombre d'enquêtes et le calendrier (saisonnier) doivent être décidés sur une base spécifique au site. Ces renseignements (compilés et/ou nouveaux) serviront également de référence précieuse (référence) pour la surveillance de l'environnement après le début des opérations. Il est important que la méthodologie utilisée pour entreprendre des enquêtes de base soit documentée afin que les résultats de la dernière surveillance puissent être référencés.

II.3.1.Description de l'environnement marin :

- Conditions océanographiques et qualité de l'eau dans la région
- Composition sédimentaire et bathymétrie
- Biote de l'eau de mer et des compartiments benthiques, y compris les espèces menacées et les espèces exotiques, proximité vis-à-vis de zones protégées.

III. Évaluation des impacts possibles :

L'évaluation des impacts possibles doit être effectuée sur la base des documents existants et, si nécessaire, complétée par des études en laboratoire telles que les essais de toxicité de l'effluent entier (WET) et des expériences en mésocosme. Comme nous l'avons noté à la section 4, les effets du dessalement de l'eau de mer sur le milieu marin ne sont pas bien documentés, bien que le nombre de publications et la sensibilisation aient augmenté ces dernières années. Les impacts émanent des activités de construction à terre (construction d'installations de dessalement, de stations de pompage, de pipelines, de systèmes de raccordement aux infrastructures) et en mer (installation de prises d'eau et d'émissaires).

IV. Atténuation de l'impact sur l'environnement marin après le début des opérations :

- Pipelines de prise d'eau et de déversement au-dessous du fond marin pour minimiser l'altération de l'habitat marin
- Vitesse d'aspiration lente pour éviter des collisions (ou forage de puits)
- Écran de déplacement autonettoyant pour la collecte de débris au niveau du système de prise d'eau et rejet dans des sites autorisés d'élimination de déchets
- Dosage du chlore (traitement de choc) dans la prise d'eau en direction de l'usine en évitant le rejet en mer
- Système de diffuseur d'émissaire pour augmenter la dilution initiale et réduire la salinité et la température, ou en décharge à ciel ouvert, dilution avec rejet concomitant, c'est-à-dire l'eau de refroidissement de l'usine
- Réduction de l'utilisation de produits chimiques dans le procédé
- Traitement terrestre du ressac
- Utilisation de produits chimiques respectueux de l'environnement

- Traitement des réacteurs calcaires en lavage avec les ressacs
- Neutralisation de la solution de nettoyage de membrane inorganique avant rejet.

Il est reconnu que les MTD et les MPE évoluent avec le temps en fonction des avancées technologiques et scientifiques et avec les changements des facteurs économiques et sociaux. Cela est vrai en particulier pour l'industrie du dessalement qui est dans un état constant d'amélioration et de changement rapides en raison des efforts importants en matière de recherche et d'ingénierie déployés dans le développement technologique. Par conséquent, les processus MTD et MPE doivent les suivre de près afin d'appliquer les points suivants :

- Accroître les taux de récupération (efficacité du dessalement)
- Minimiser la consommation d'énergie et de produits chimiques
- Remplacer les produits chimiques par des substances plus respectueuses de l'environnement ou avoir recours à des procédés qui ne nécessitent pas l'utilisation de produits chimiques
- Diminuer les rejets
- Réutiliser la saumure dans de nouvelles technologies de dessalement pour accroître davantage le rendement en eau douce
- Promouvoir une production plus propre

IIV. Surveillance de l'environnement :

IIV.1. Surveillance sur le long terme après le début des opérations :

Un engagement doit être pris sur le long terme quant à la surveillance régulière du milieu marin après le début des opérations de l'usine. Il doit demeurer tout au long de la durée de vie de l'usine de dessalement et quelques années après. Ces séries de données à long terme avec des contrôles appropriés sont essentielles pour normaliser la variabilité temporelle naturelle afin d'éviter des conclusions erronées sur les effets du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement.

IIV.2. Surveillance en usine :

La surveillance en usine doit inclure la qualité de l'eau d'alimentation (prise d'eau de mer) et le volume et la composition de la saumure.

IIV.2.a) Prise d'eau de mer :

Se concentrer sur les paramètres qui peuvent affecter le procédé de dessalement et la qualité de l'eau dessalée.

IIV.2.b) Saumure avant rejet :

Volume de rejet, température, salinité, concentration des produits chimiques utilisés dans le procédé de dessalement et rejetés avec la saumure.

Partie Expérimentale

CHAPITRE : I

TRAITEMENT DE L'EAU DE MER DANS LA CENTRALE DE CAP DJINET.

I. Introduction :

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

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

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

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

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

II. Technologie de traitement d'eaux au niveau de la centrale :

II.1. Prétraitement :

Il est généralement nécessaire pour les centrales électriques se trouvant au bord de la mer, ce qui est le cas pour la centrale thermique de Cap Djinet, une filtration qui faite au niveau de la station de pompage par un ensemble de dé grilleurs et de tambours filtrants suivie par une injection de quelques (ppm) de chlore. Cette dernière peut être faite de façon continue ou intermittente selon les exploitants.

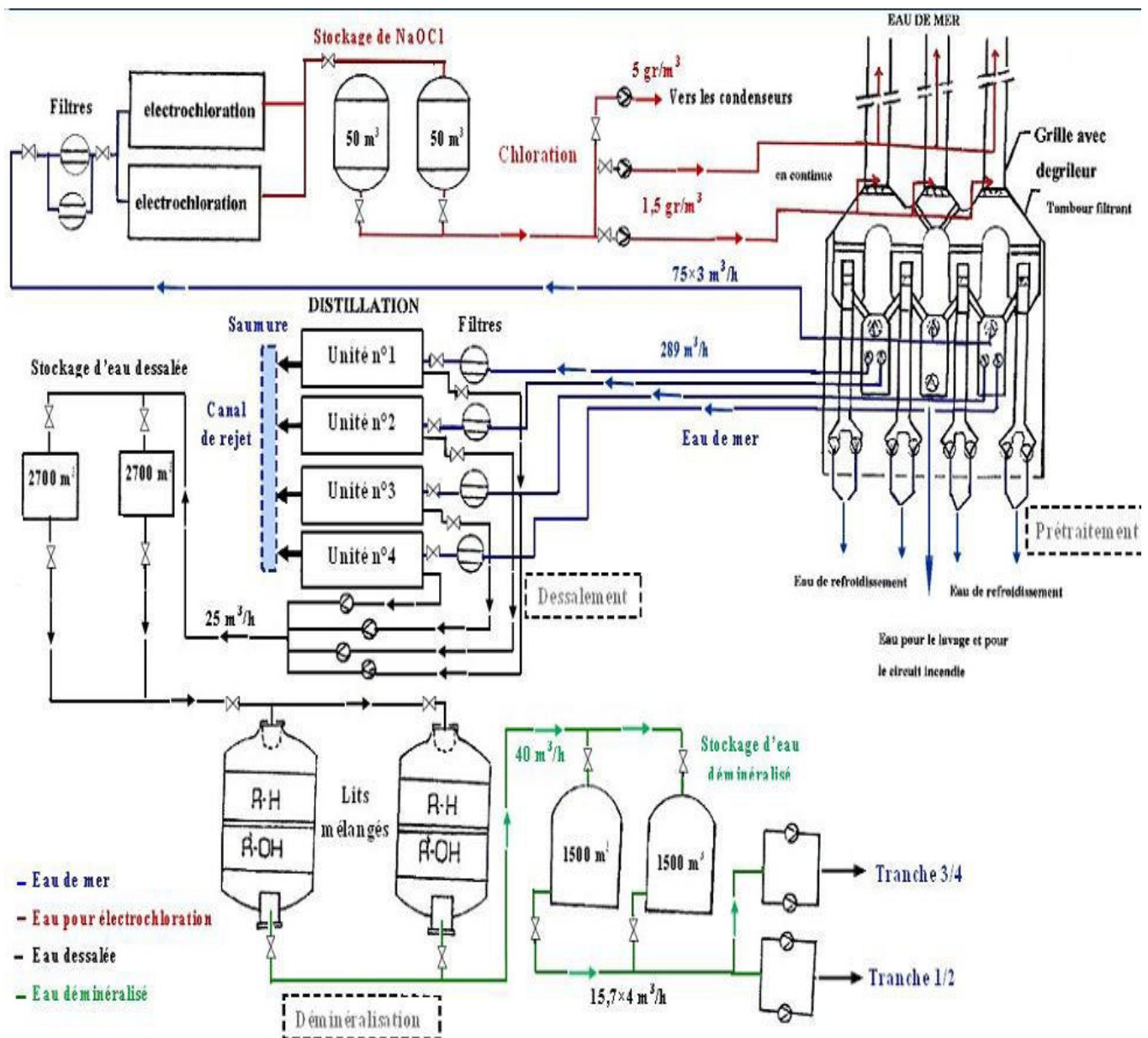


Figure 01 : schéma générale de traitement de l'eau d' mer au niveau de la centrale

II.1.1.la prise d'eau : [48]

Elle à une profondeur d'environ de **7m** et se trouve à **900m** de l'arrivée de l'eau à la station de pompage. Elle se fait par trois canaux en béton d'un diamètre de **2,5m** (figure 01).

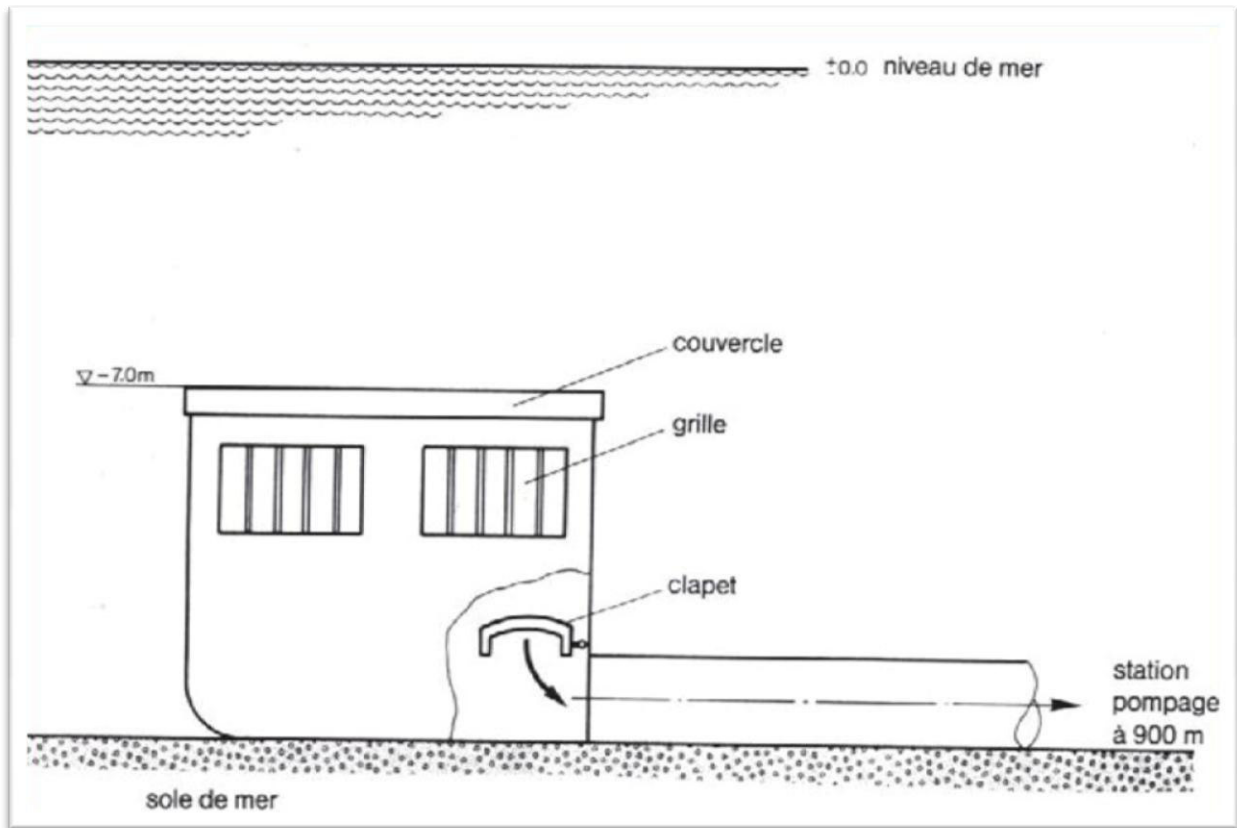


Figure 02 : Point de captage.

II.1.2. Station de pompage : [48]

La hauteur de l'entrée dans la station est de **7,50m** sous le niveau de la mer. A chaque entrée est prévue une fosse de révision, chacun des trios canaux est pourvu d'un batardeau.

La station de pompage est un ouvrage en béton armé étanche avec bord supérieur à plus de **7,5m** du dessus du niveau de la mer se compose d'un bassin d'alimentation, de quatre voies de filtration et des chambres d'aspiration pour les pompe de l'installation de dessalement, de la chloration et pour la pompe d'incendie. Les batardeaux d'arrêt sont installés à l'avant de chacun des **08** pompe de circulation.

La station de pompage est divisée en quatre voies de filtration qui sont chacune équipées d'une grille à dégrilleur. Les matrices retenues par le tambour filtrant et la grille sont amenée par un caniveau de rejet jusqu'au panier de récupération de détrit. Les pompes de circulation principales sont installées à la fin des installations de filtration.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

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

Dans la chambre d'aspiration du milieu est installée la troisième pompe de la chloration et une pompe incendie à eau de mer.

II.1.3. Filtration de l'eau de mer : [48]

La filtration consiste à faire traverser l'eau dans un milieu poreux et perméable qui retient les particules solides (matière organique et sels), de dimensions supérieures à celles des pores du milieu

Ce procédé sert à l'extraction des impuretés de l'eau de mer utilisée comme eau de circulation principale et au rinçage de détritiques 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 avec dégrilleur, d'un circuit d'arrosage et d'appareils de mesure de niveau grille différentiel de l'eau (voir figure 03).

II.1.3.1. Filtration primaire (dégrillage) : [48]

Une première filtration de l'eau de mer est effectuée par une installation composée d'une grille fixe et un dégrilleur entraîné électriquement. Cette grille sert à retenir les impuretés de l'eau de grandes tailles (supérieures à **40 mm**).

Les matières retenues par la grille sont soulevées jusqu'au niveau d'évacuation de détritiques. Le débit d'eau dans cette étape est 12 500 m³/h.

II.1.3.2. Filtration secondaire (tamisage) : [48]

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 de tambour à travers les mailles filtrantes.

Tandis que le filtre tourne, le détritiques adhérent à l'intérieur des panneaux passe au-dessus des paniers de récupération placés à l'intérieur du filtre. Lorsque les panneaux arrivent au-dessus des paniers, ils passent au-dessous des géoleurs d'eau situé à l'extérieur du filtre.

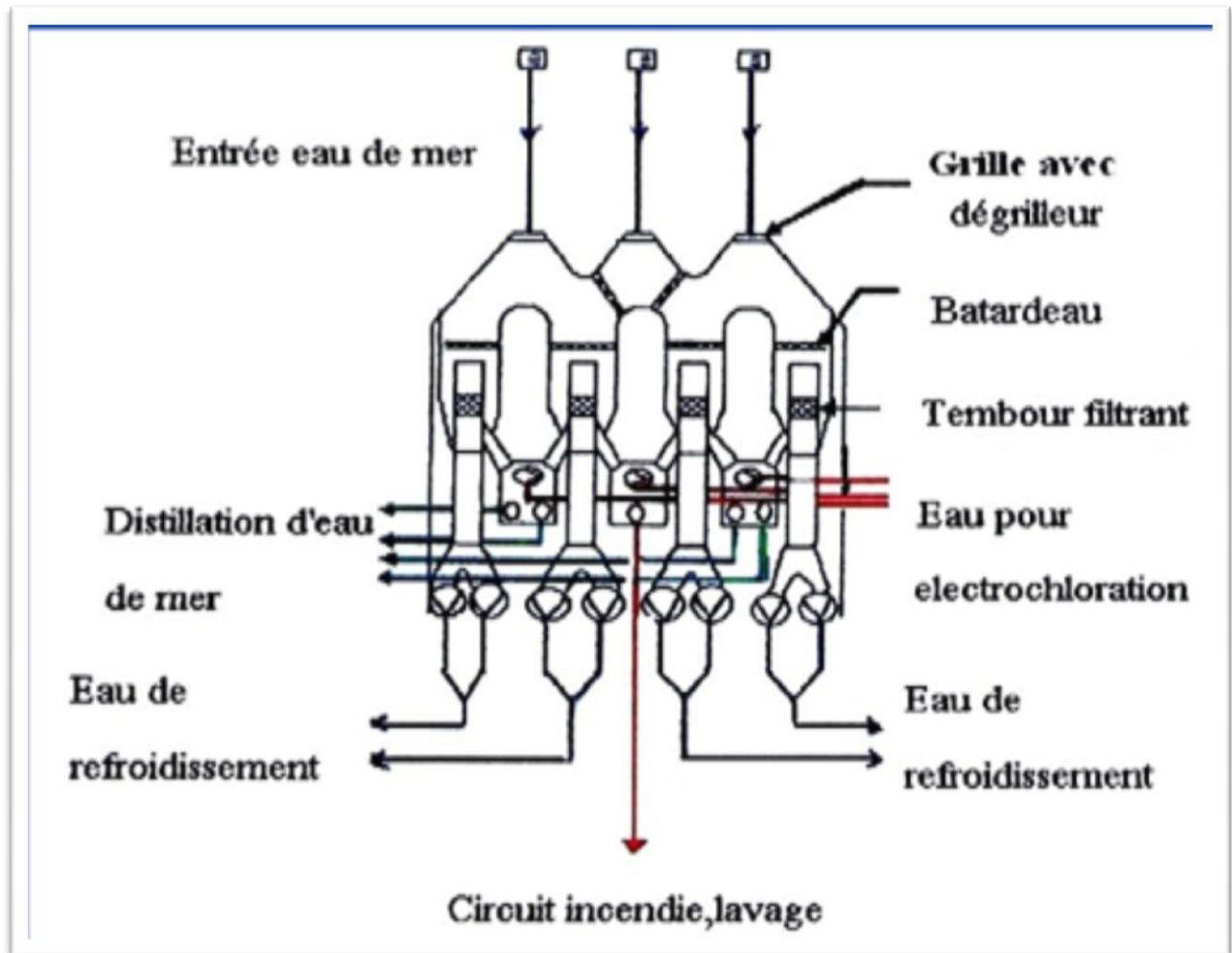


Figure 03: l'installation de filtration de l'eau de mer au niveau de la Centrale.

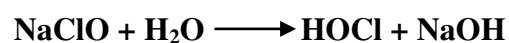
II.1.4. La chloration : [48]

Dès la prise d'eau de mer, il faut bloquer la prolifération des organismes vivants. Sinon, on devra faire face à toute une série d'incidents tels que la réduction des échanges thermiques et l'obstruction partielle ou même totale des conduites.

Le procédé le plus répandu consiste à injecter du chlore, réactif dont le stockage et la manipulation exigent des précautions strictes. Pour éliminer le danger lié au chlore, on peut le substituer par l'hypochlorite de sodium (eau de javel).

II.1.4.1. Description du procédé :

La chloration est un procédé appliqué de préférence pour éviter ou réduire les impuretés biologiques gênantes dans les installations de la centrale. Elle s'effectue par l'ajout d'hypochlorite de sodium qui réagit dans l'eau comme suit :



CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

Le **HOCl** réagit comme étant un oxydant fort. Pour cela, il est efficace à l'oxydation des microorganismes présents dans l'eau, son action biocide s'explique par la destruction des enzymes indispensables à la vie de ces derniers, [48]

a)- Mode de production d'hypochlorite de sodium :

Au niveau de la centrale, la production sur place d'hypochlorite de sodium est possible par électrolyse de l'eau de mer. Cette production est assurée par une installation d'électro chloration.

a.1) .Description de l'installation d'électro chloration : [48]

L'installation est prévue pour produire **2 × 150 kg/h** de chlore actif avec deux unités. La production de chaque unité est obtenue avec quatre électrolyseurs connectés hydrauliquement et électriquement en série en opération à **3400 A**. Le chlore actif est produit sous forme d'hypochlorite de sodium à **2000 ppm**.

La production de ce dernier est assurée à partir des opérations suivantes (voir figure n°4):

- Filtration de l'eau de mer et alimentation des électrolyseurs.
- Electrolyse de l'eau de mer.
- Stockage de l'hypochlorite de sodium.
- Nettoyage des électrolyseurs.

Les filtres d'eau de mer sont de type autonettoyant actionné par une mesure de la perte de charge dans le filtre et une alarme de haute pression. Tel que, l'opération de filtrage limite à **0,5 mm** de dimension des matières en suspension dans l'eau de mer.

Les électrolyseurs « **seaclor** » se composent de cellules électrolytiques en construction modulaire, connectées électriquement et hydrauliquement de façon telle à former un ensemble électrode. Les cathodes sont en titane tandis que les anodes sont DSA (dimensionnelle stable anodes), qui gardent leurs caractéristiques géométriques et mécaniques.

Le séparateur d'hydrogène installé entre le deuxième et le troisième électrolyseur a pour but de séparer la plupart des gaz produit dans les deux premières cellules d'électrolyse afin d'alimenter les deux autres électrolyseurs de l'eau de mer essentiellement dégazée.

Concernant le nettoyage des électrolyseurs, après de longues périodes de fonctionnement d'à peu près six mois, les électrodes deviennent de plus en plus incrustées de carbonates et d'hydrates.

Pour éliminer ces incrustations, les électrolyseurs doivent être lavés périodiquement avec de l'acide chlorhydrique diluer à **5%** avec un débit de **75m³/h**.

Le cycle de nettoyage dure à peu près une heure et la solution d'acide récupérée de nouveau dans le réservoir de **HCl** peut être employée pour plusieurs cycles de nettoyage. La concentration faible de **HCl 2,5%** à **3%** est remontée à **5%** en ajoutant une quantité suffisante d'acide chlorhydrique à **30%**.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

Lorsque le nettoyage des électrolyseurs est terminé, l'unité est soumise à un lavage d'eau de mer pour quelques minutes.

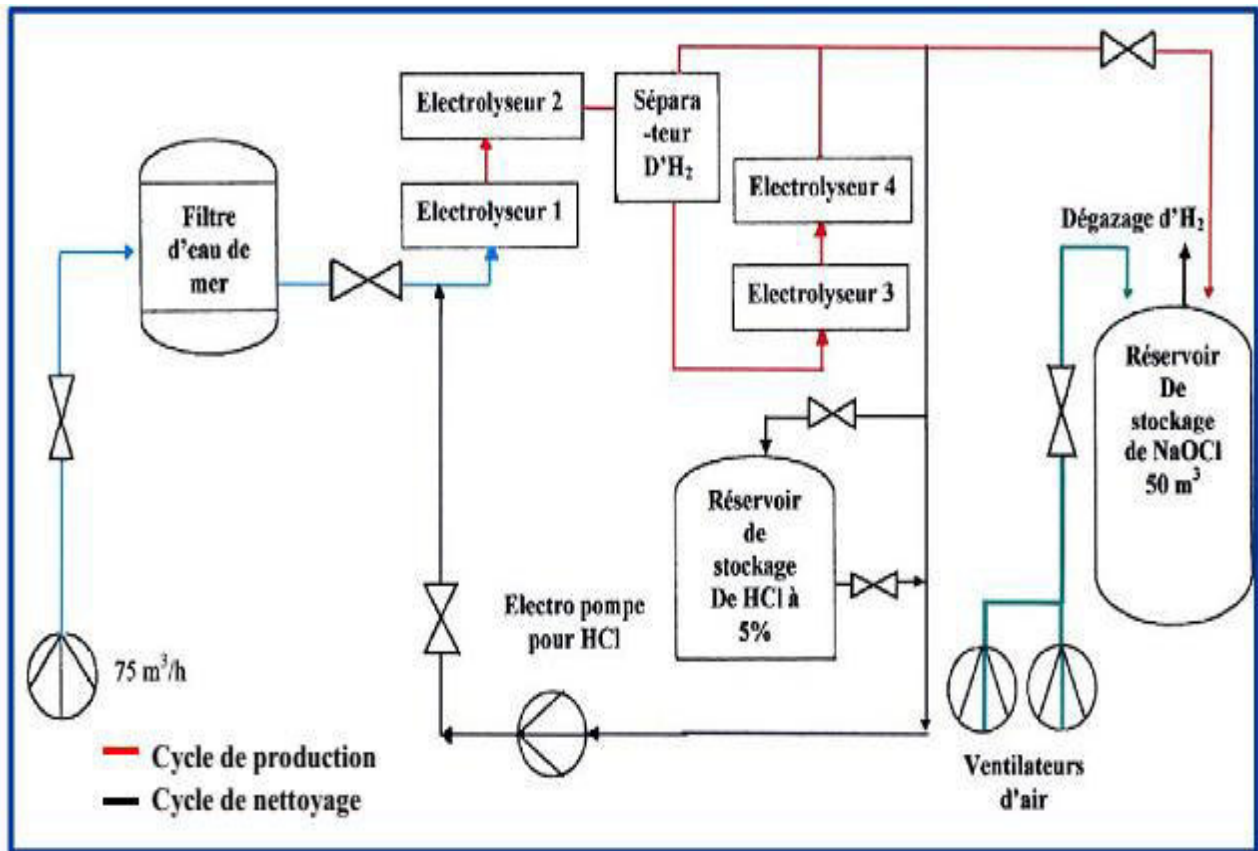


Figure 04 : schéma simplifié de l'installation d'électrochloration.

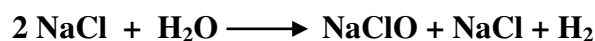
a.2). Réaction chimique et électrochimique :

Le procédé consiste en une électrolyse partielle du chlorure de sodium dissous dans l'eau de mer qui est forcée à travers des couples d'électrodes (anodes et cathodes) assemblées en un électrolyseur connecté à une source de courant continu, [48].

Des réactions électrochimiques et chimiques se développent successivement à l'intérieur des électrolyseurs. Parmi les produits de l'électrolyse :

- Le chlore gazeux se développe à l'anode.
- L'hydrogène gazeux se développe à la cathode avec formation des ions d'hydroxyle.
- Le chlore et les ions hydroxyles se combinent chimiquement pour produire des ions de chlorure et d'hypochlorite.

Donc, la formation d'hypochlorite de sodium à partir de chlorure peut se résumer suivant la réaction globale :



CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

Généralement, l'hypochlorite de sodium est défini sous le terme de chlore actif libre. Aussi, l'hypochlorite produit par voie électrochimique est suffisamment stable. Donc, les périodes de stockage de longues durées

b)- Les différents points d'injection : [48]

Le système de distribution de l'hypochlorite de sodium est prévu pour un :

- **Dosage continu** : environ $1,5 \text{ g/m}^3$ d'eau de circulation. Ce dosage a lieu à la prise d'eau de mer et à la station de pompage.
- **Dosage de choc** : environ 5 g/m^3 d'eau de circulation pendant 15 min, toutes les trois heures de service. Ce dosage a lieu à la prise d'eau de mer et aux entrées des condenseurs.

La **figure n°5** représente les différents points d'injection de chlore au niveau de la centrale. supérieures à **48 h** doivent être évitées.

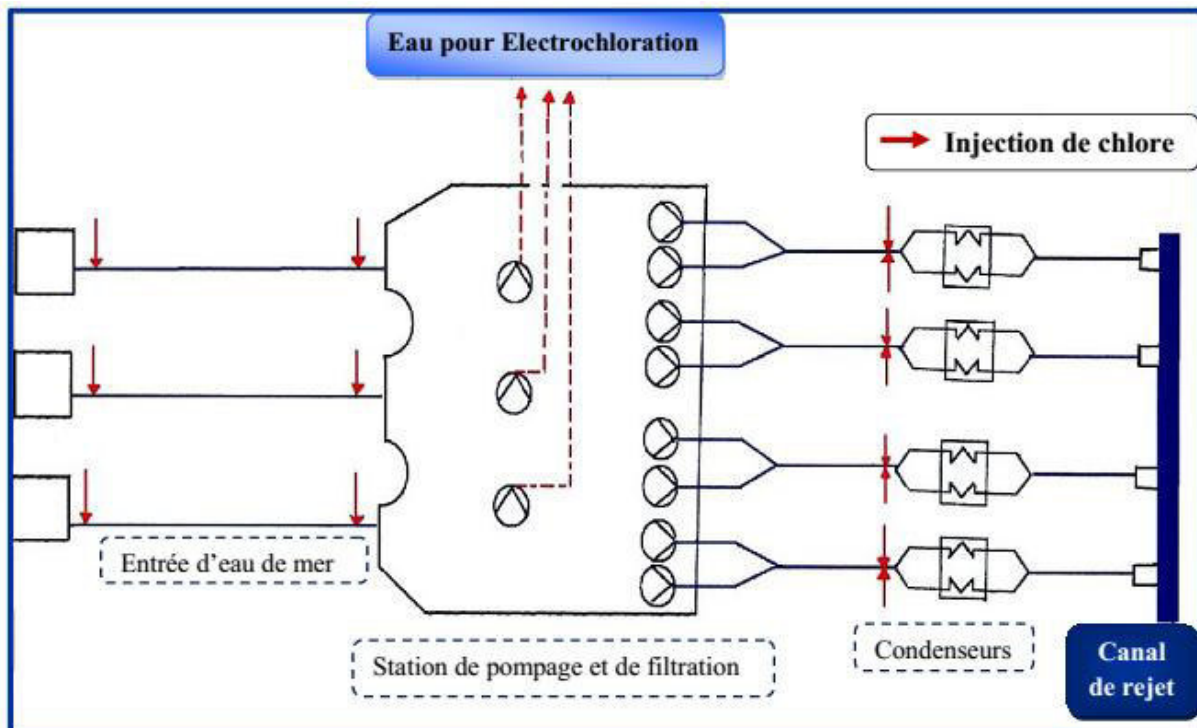


Figure 05 : Schéma de différents points d'injection de chlore.

II.2. 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°6) indépendantes les unes des autres (trois unités sont en service et la quatrième est désinstallée), fonctionnant selon le principe de la distillation par détentes successives à 18 étages. Chaque unité produit **500 m³** d'eau dessalée par jour qui est stockée dans deux réservoirs de **2700 m³**, [29].

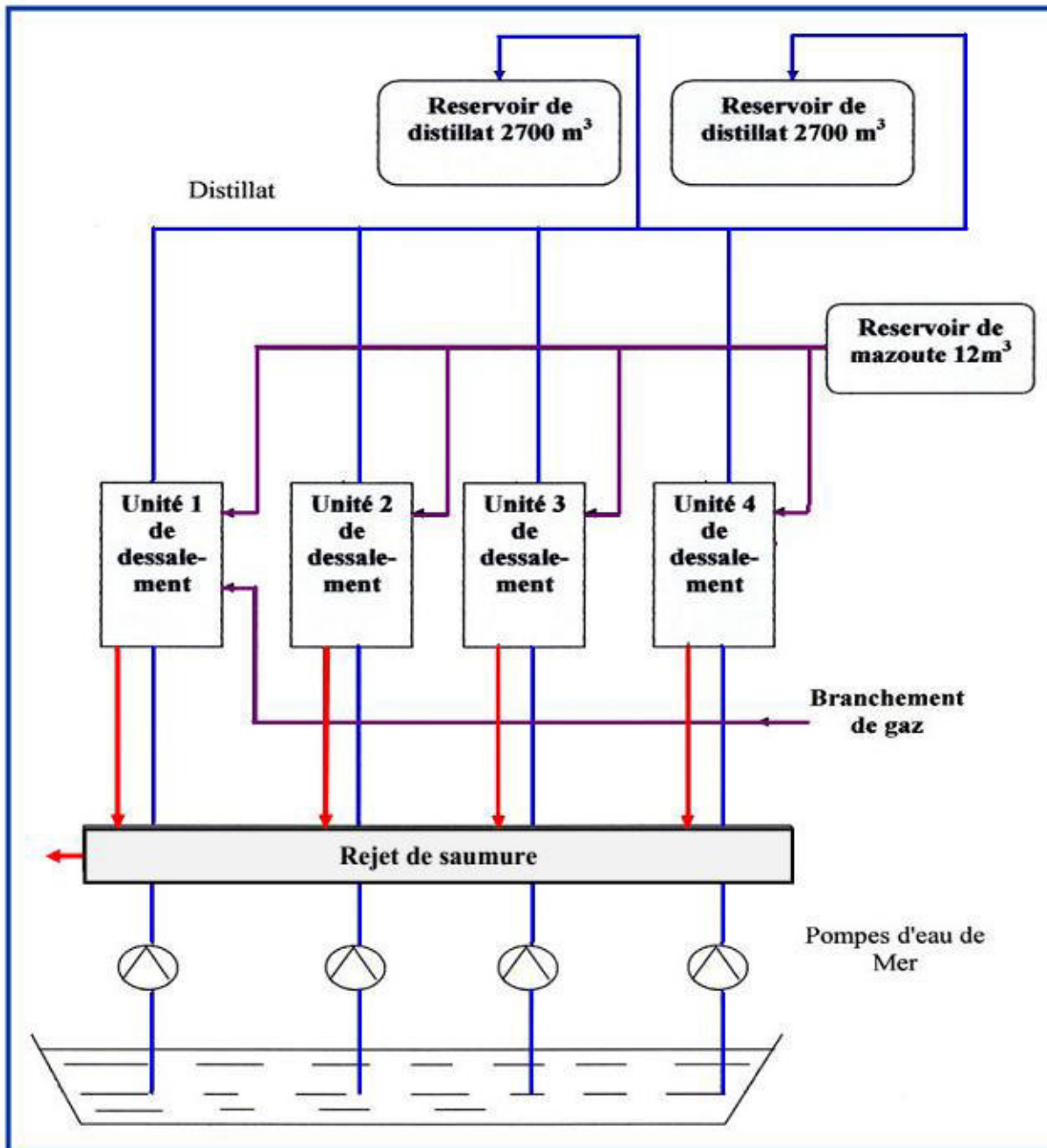


Figure 06 : schéma simplifié de la station de dessalement.

II.2.1. Les différents organes de l'installation : [49]

II.2.1.1. 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.

Caractéristiques techniques de l'évaporateur :

Zone de dissipation de chaleur :

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| ➤ Liquide du coté tube : | eau de mer. |
| ➤ Quantité d'eau de mer : | 186 m³/h. |
| ➤ Température d'entrée : | 20 °C. |
| ➤ Réchauffement moyen par étage : | 2.5 °C. |
| ➤ Taux de salinité : | 39.4 mg/l. |
| ➤ Nombre d'étage : | 03. |
| ➤ Perte totale de pression : | 8.1 m bars. |
| ➤ Température de sortie : | 27.51 °C. |

Zone de récupération de chaleur :

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| ➤ Liquide du coté tube : | saumure. |
| ➤ Température d'entrée : | 27,4 °C. |
| ➤ Réchauffement moyen par étage : | 3,2 °C. |
| ➤ Taux de salinité : | 60 mg/l. |
| ➤ Nombre d'étage : | 15. |
| ➤ Perte totale de pression : | 32,7 m bars. |
| ➤ Température de sortie : | 75,4 °C. |

Saumure de détente :

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| ➤ Température d'entrée : | 83,0 °C. |
| ➤ Pression en première étage : | 0.446 bars. |
| ➤ Chute moyenne par étage : | 3.1 °C. |
| ➤ Débit de saumure : | 36 m³/h. |
| ➤ Quantité d'eau d'alimentation : | 50 m³/h. |
| ➤ Salinité a l'entrée : | 60 mg/l. |
| ➤ Salinité de saumure : | 65,3 mg/l. |

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

- Température en dernier étage : **27,3 °C.**
- Pression au dernier étage : **0,034 bars.**
- Pureté du distillat : **15-20 mg/l.**
- Nombre d'étage : **18**
- Quantité de distillat : **25 m³/h.**

II.2.1.2. 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 côtés enveloppe. Il consiste à chauffer la saumure sortant des zones de récupération de chaleur à une température de 83°C avec un débit de 280 m³/h (coté enveloppe).

Il est caractérisé par :

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

II.2.1.3. 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 caractérisée par :

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

II.2.1.5. 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.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

II.2.1.6. 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 désaérage 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.

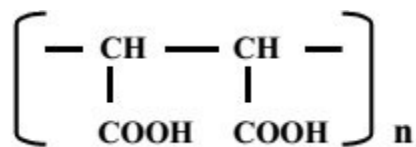
II.2.2. Injection des produits chimiques:

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, [49].

II.2.2.1. Protection contre l'entartage :

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement. La présence de tartre entraîne inmanquablement des difficultés d'exploitation et/ou de perte de rendement.

Afin de minimiser l'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 ;



Sa température maximale d'emploi est de 120°C, [5].

II.2.2.2. Protection contre les salissures : [49]

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

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

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.

II.2.2.3. 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.

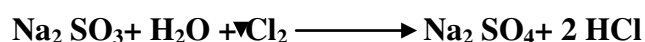
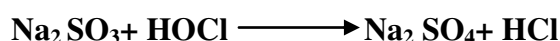
Une partie de cette mousse peut arriver au distillat et le rendre inutilisable. Dans ce cas, le produit chimique commercial préconisé (**Belite M33à 0.1 mg /l**) peut être dissout et dosé avec l'inhibiteur d'incrustation, [49].

II.2.2.4. Neutralisation au chlore : [49]

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 **Na₂SO₃** 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 :



CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

II.2.3. les données techniques: [49]

➤ 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)

II.2.4. Description du l'installation : [49]

La pompe d'eau de mer (figure n°7), 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 18eme 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, 17et 18, sera retournée à la mer. D'abord une partie de l'eau de mer chaude sera dérivée à la sortie de l'étage 16pour être amenée au procédé comme eau d'alimentation, elle remplace la saumure. Ensuite elle est dégazée dans le 18emeétage 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.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

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

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

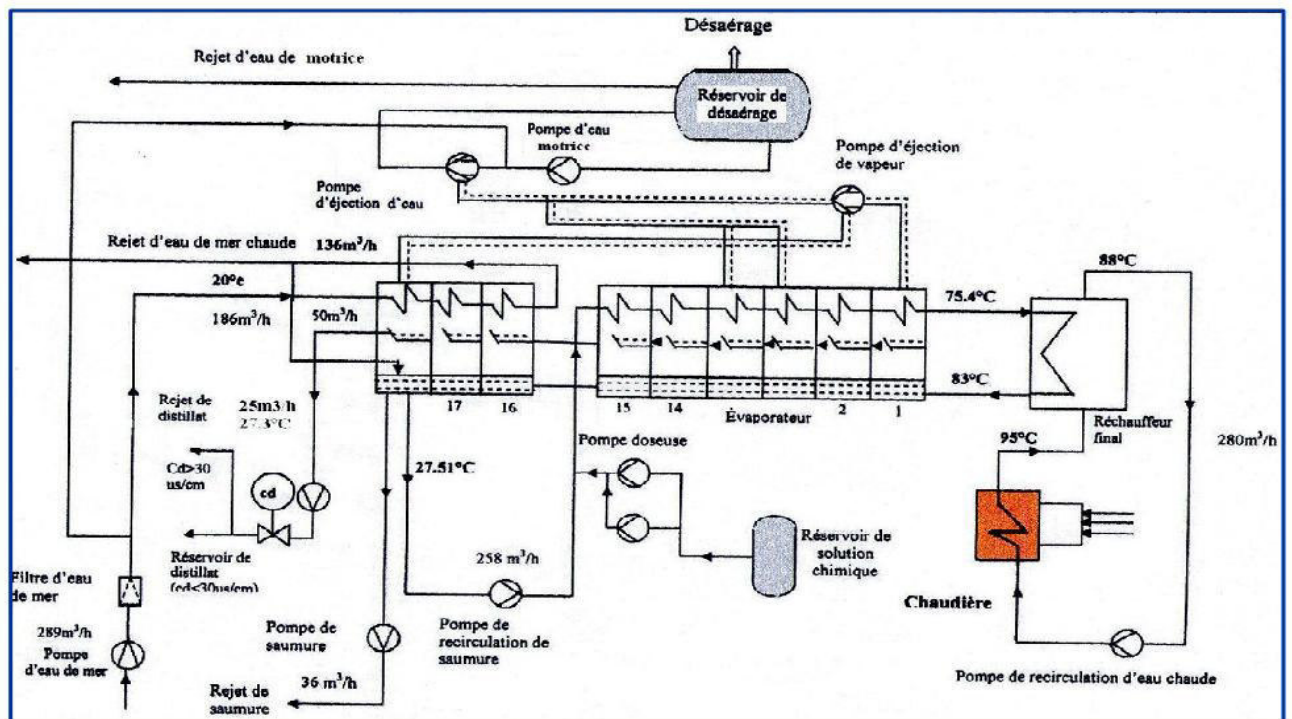
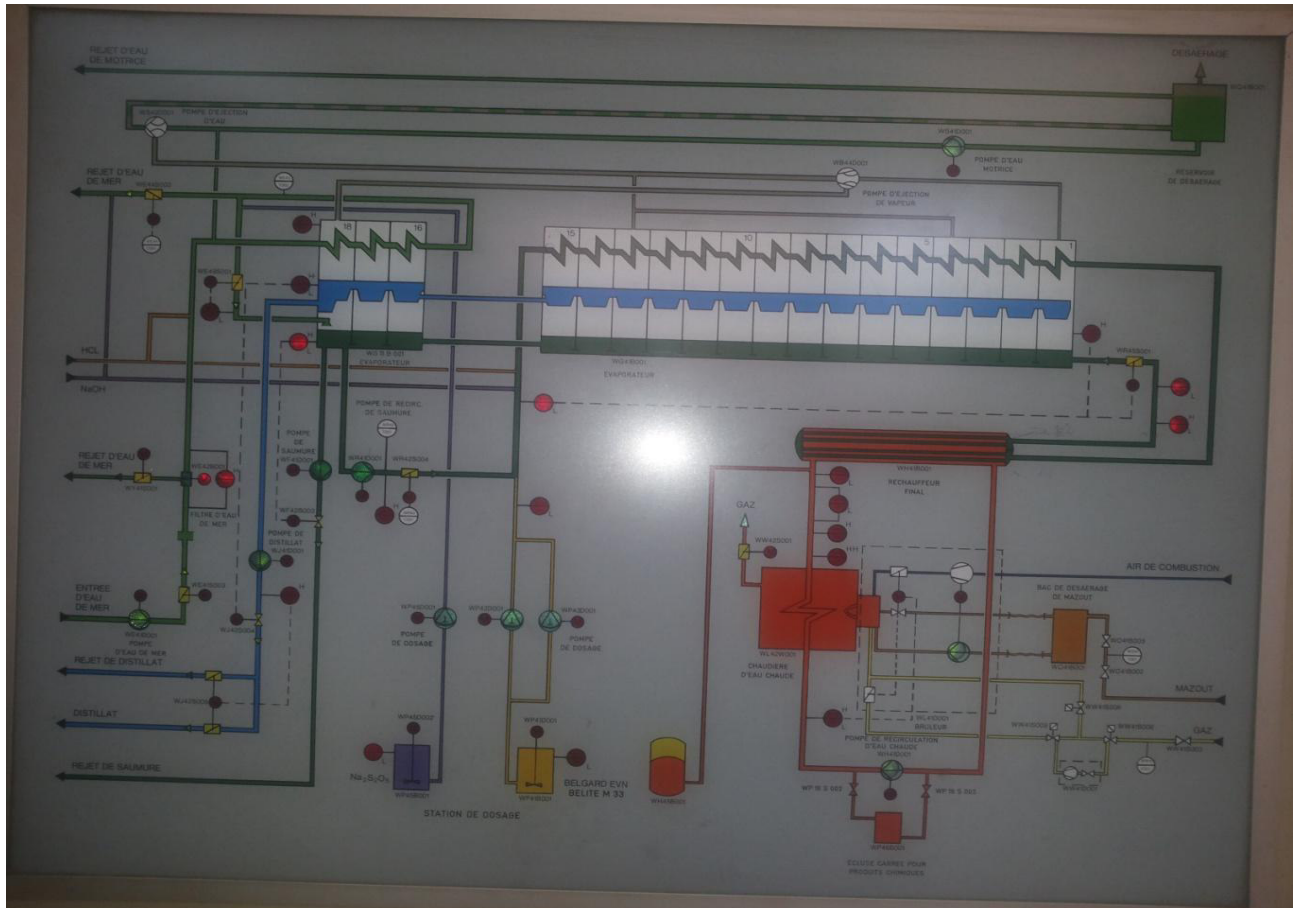


Figure07: schéma de l'installation de dessalement de la centrale de cap djnet.

II.3. Présentation de l'unité de déminéralisation à lits mélangés : [50]

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°8) 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.

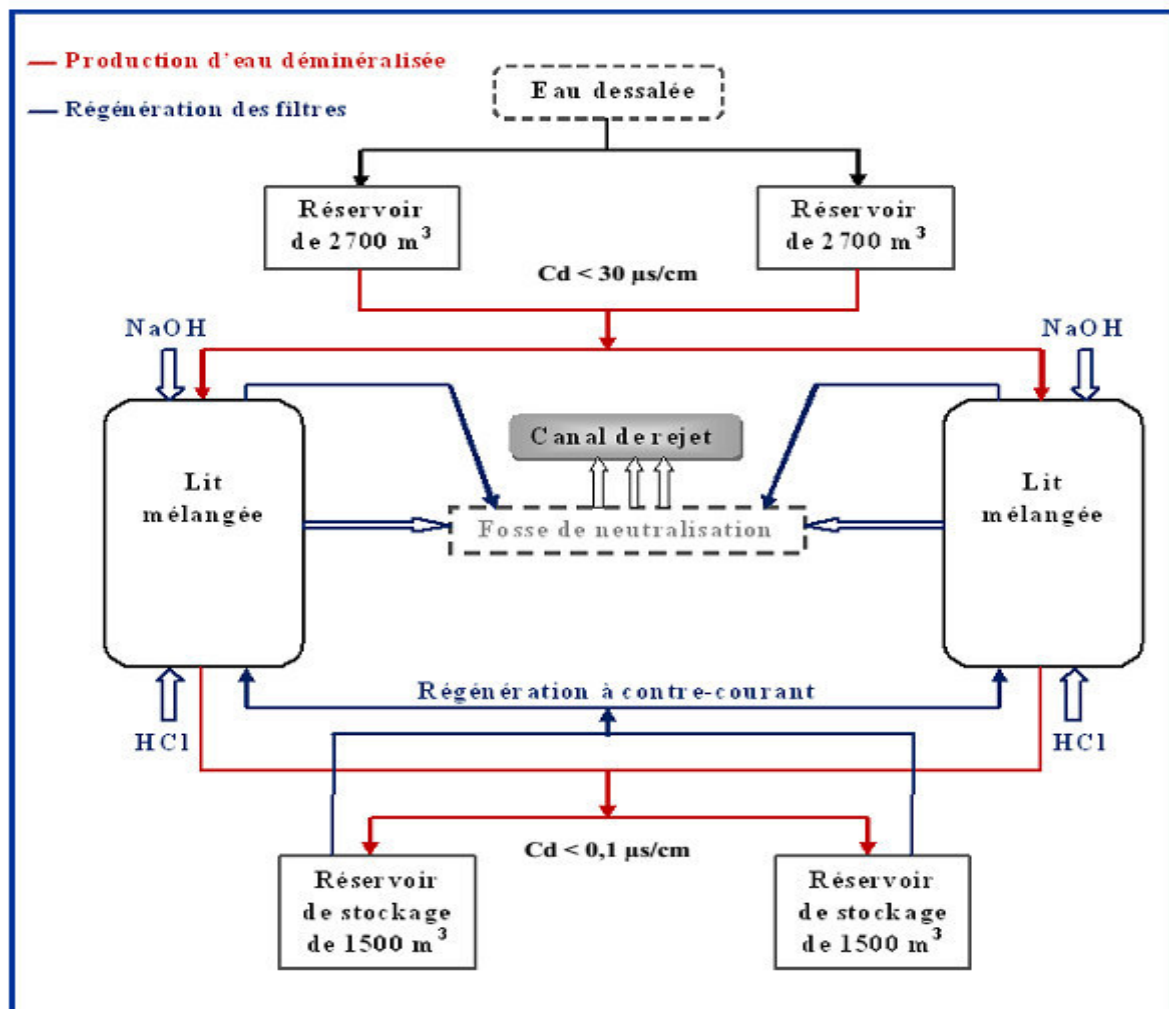


Figure 08 : schéma simplifiée de l'installation de déminéralisation.

II.3.1. Différents organes de l'installation : [50]

L'installation de déminéralisation se compose des parties suivantes:

- 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.3.2. Caractéristiques techniques des équipements : [50]

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

II.3.2.1. Les filtre à lits mélangés :

Caractéristiques techniques des filtres à lits mélangés :

Données de puissance :

- | | |
|---|-------------------|
| ➤ Nombre de filtre à lits mélangés : | 2. |
| ➤ Débit de fonctionnement pour chaque filtre (m³/h) : | 40 – 45. |
| ➤ La quantité d'eau entre régénération (m³) : | 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 (m²) : | 2,5. |
| ➤ Vitesse du lit mélangé (m/h) : | 18 |

II.3.2.2. 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%**.

II.3.2.3. Compartiment de la soude NaOH :

La soude caustique à **99%** qui est livrée en forme solide (flacons, feuillets), est dissoute dans une Cuve de dissolution équipée d'un agitateur à une concentration de 30%, puis pompés par deux pompes de remplissage jusqu'au réservoir de stockage de **1800 L** de volume.

La quantité nécessaire à la régénération est aspirée par deux pompes doseuses et diluée avec de l'eau déminéralisée jusqu'à une concentration de **5%**.

II.3.3. Description de l'installation :

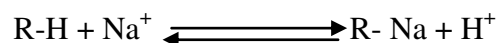
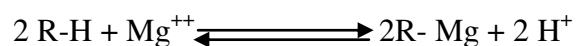
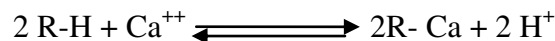
Le distillat de l'installation de dessalement de l'eau de mer qui est stocké dans deux réservoirs de **2700 m³**, est pompé à la station de déminéralisation pour être refoulé vers les deux filtres à lits mélangés.

II.3.3.1. Le fonctionnement de 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C) et des fuites ioniques et en silice de l'ordre 1 $\mu\text{g}/\text{l}$, par fois inférieures.

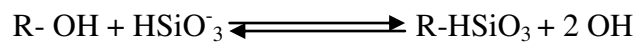
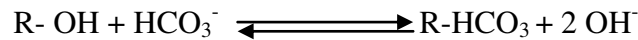
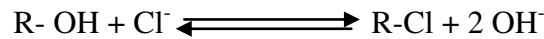
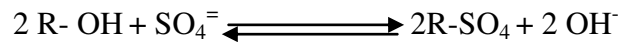
Un filtre à lits mélangés comprend le mélange d'échangeurs cationiques fortement acides, et les échangeurs anioniques fortement basiques. En service normal, l'eau à déminéraliser s'écoule de haute en bas à travers la couche des résines tel que :

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



CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

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



L'eau déminéralisée est envoyée vers les deux réservoirs de stockage de **1500 m³** pour chacun. On injecte dans la conduite d'arrivée des deux réservoirs de stockage de l'ammoniac **NH₃** pour relever la valeur de **pH** de l'eau déminéralisée à plus de **9,5**, [50].

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

II.3.2.2. La régénération :

Si à la sortie des filtres à lits mélangés, la conductivité est importante (supérieure à 0,1µs/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 : [50]

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 0,1µs/cm.
- Si la silice SiO₂ est supérieure à 0,02mg/l.
- Si la différence de pression entre l'entrée et la sortie des lits mélangés est supérieure à 1,5bars.
- Après un fonctionnement continu de 4 semaines.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

b)- Les étapes de régénération : [50]

Au niveau de la centrale, la régénération a lieu en mode à contre-courant.

1ère étape :

Détassage :

Elle consiste à effectuer la séparation des résines par l'intermédiaire de l'eau brute qui est introduite par le point bas, 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 20minutes.

2ème étape :

Pause :

Arrêt de l'arrivée de l'eau brute pour la précipitation complète des résines. Cette opération dure 5minutes.

3ème étape :

Remplissage d'acide et de soude :

Le remplissage de l'acide chlorhydrique et de la soude s'effectue en même temps. Cette opération dure 30minutes.

- La solution HCL à 5 % introduit par le point bas du réservoir pour régénérer les résines cationiques.
- La solution NaOH à 5% le point supérieure du réservoir pour régénérer les résines anionique.

4ème 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.

5ème 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.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

6ème 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. Cette opération dure 30 minutes.

7ème étape :

Reconstitution du mélange de résines :

Cette étape consiste à une reconstitution du mélange des résines. L'air fourni par le compresseur est introduit par le bas du réservoir des lits mélangés et ressort par la partie supérieure.

Lors de cette opération, le volume à l'intérieur du filtre augmente avec l'apport d'air pour reconstituer le mélange des résines. Cette opération dure 10 minutes.

8ème étape :

Remplissage de l'espace vide :

Dans cette étape 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.

9ème 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 :

Si la conductivité est supérieure à 10 us/cm, l'eau envoyée vers le rejet.

Si la conductivité est comprise entre 0,1-10 us/cm, la circulation est maintenue pendant 120 minutes.

Si la conductivité est inférieure à 0,1 us/cm, l'eau déminée est dirigée vers les deux réservoirs de stockage.

III. neutralisation:[50]

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 résiduelles, car elles sont encore corrosives et pourraient endommager les canalisations et polluer l'environnement, il faut donc neutraliser ces solutions.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

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 :

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

Le capteur de niveau très haut donne une alarme 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 (inférieure à 7), il y a injection de NaOH, s'il est supérieur à 7, injection de HCl.

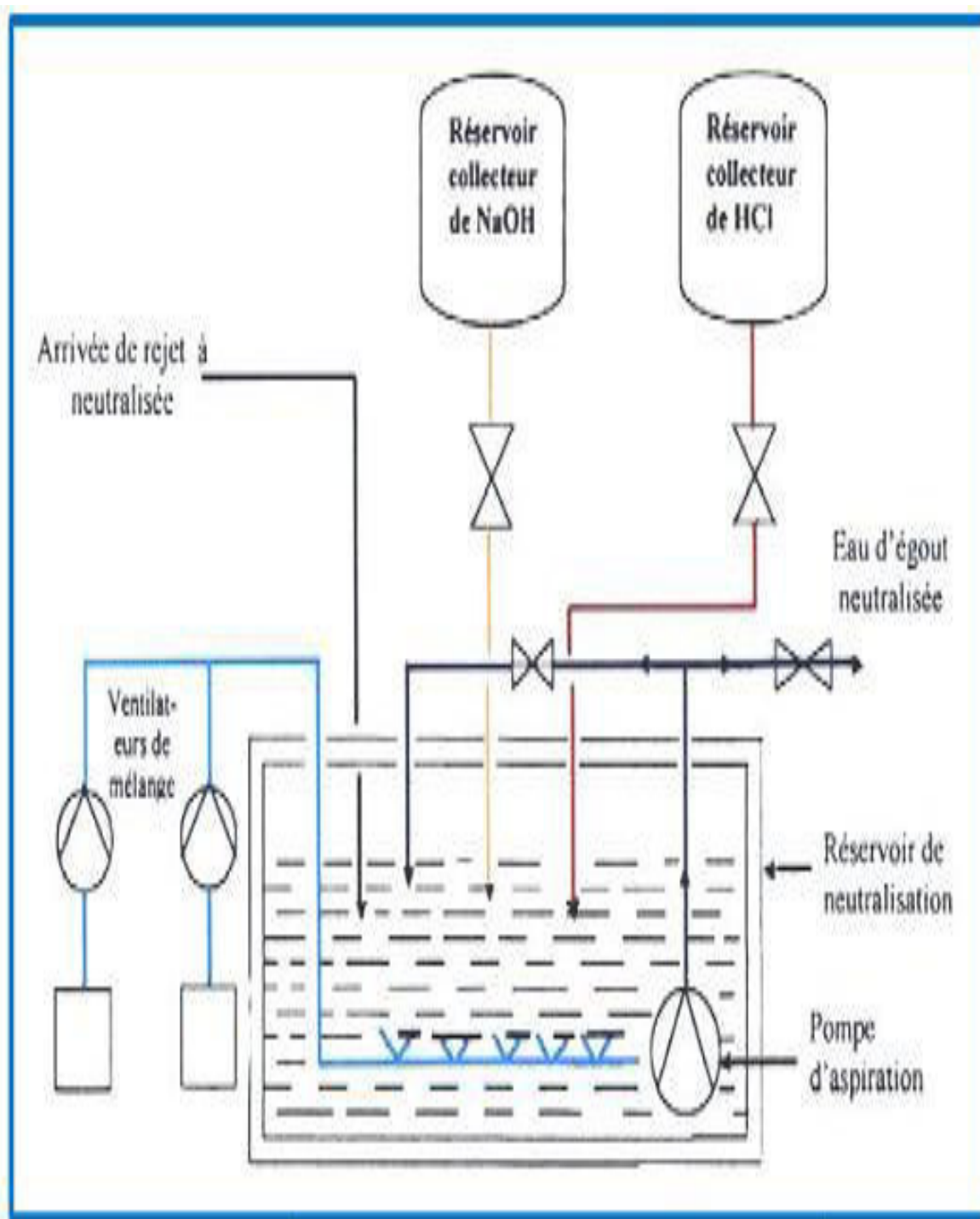


Figure09 : Schéma de l'installation de neutralisation.

IV. Analyse de contrôle d'impact :

Dans cette partie pratique et expérimentale on a effectué une série d'analyses physico-chimique de l'eau au niveau de deux points de l'unité de dessalement :

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

2°- A la sortie de l'unité : c'est l'eau des rejets après dessalement (la saumure).

IV. a. Mode de prélèvement :

Les échantillons d'eaux traitées ont été prélevés en vue de l'analyse physico-chimique. Le prélèvement d'un échantillon d'eau pour l'analyse physico-chimique est soumis à la

Procédure suivante :

- Le contenant doit être propre, mais ne doit pas être nécessairement stérilisé, on a utilisé des bouteilles en plastique de 500 ml et de 1 litre et parfois des bouteilles en verre qui sont au préalable rincées avec de l'eau distillée au moins trois fois.
- Ouvrir l'emballage, le remplir et le fermer immédiatement.

Nous avons effectué des échantillons dans des dates différentes au cours de mois de février, mars et avril 2018 et Nous avons pris les résultats pour des analyses antérieures remontant à des années 2001, 2002 et 2003. Sont effectuées des analyses des paramètres physico-chimiques au niveau de laboratoire de la centrale électrique de **Cap Djnet**.

IV. b. Les méthodes d'analyses :

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

Tableau 01: Différents méthodes d'analyse utilisées à la centrale.

Paramètres d'analyse	Méthodes d'analyses
Conductivité	Conductimètre
Salinité	TDS

IV. c. Représentation graphique :

La conductivité et la salinité :

Les graphes suivants représentent respectivement l'évolution de la conductivité et de la salinité en fonction de temps.

IV. d. Interprétation des résultats :

Pour une analyse large des résultats, enregistrés dans le tableau précédent, et afin de pouvoir apprécier la qualité de l'eau de mer ,de la saumure et des eaux de rejet (saumure + eaux de refroidissement) , on a eu recours au tracé des courbes déterminant les différents paramètres des différentes qualités d'eaux analysées.

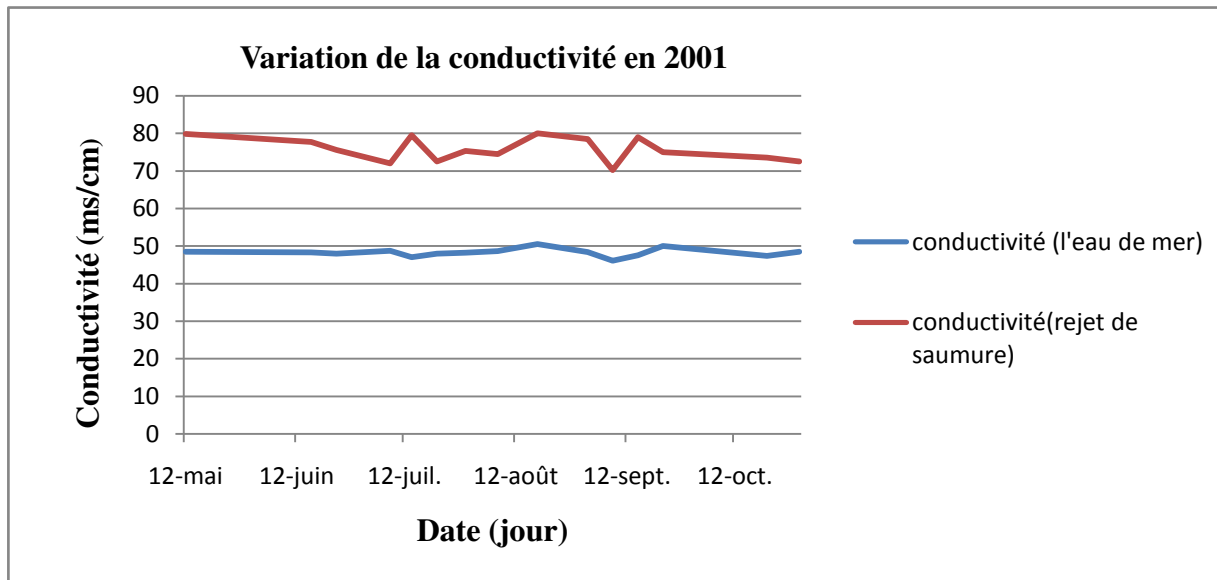


Figure 10: Variation de la conductivité en 2001.

La (figure10) montre que la conductivité de la saumure variée entre (70-80 **ms/cm**) elle est plus grande que la conductivité de l'eau d' mer qui est moine de 50 **ms/cm**, pendant l'année 2001.

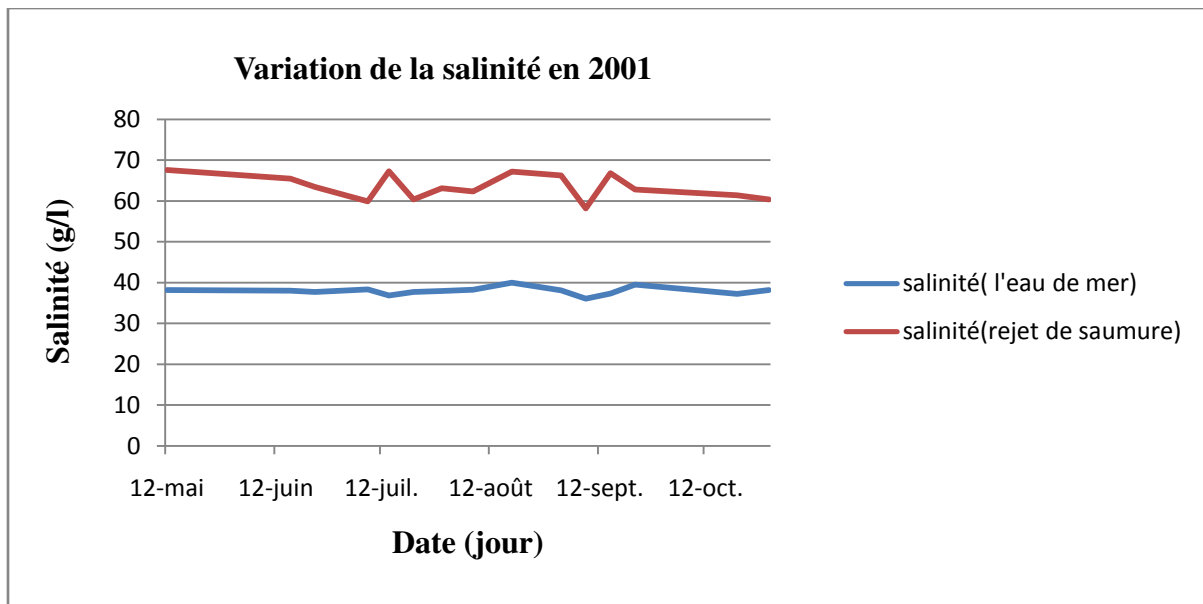


Figure 11: Variation de la salinité en 2001.

Sur le graphe de la **figure11** ci-dessus qui donne la variation de la salinité de l'eau de mer et celle de la saumure dans l'année 2001, on remarque clairement le grand écart entre la salinité de rejet de saumure (60-70 g/l) elle celle de l'eau d' mer (38- 40 g/l) durant l'année 2001.

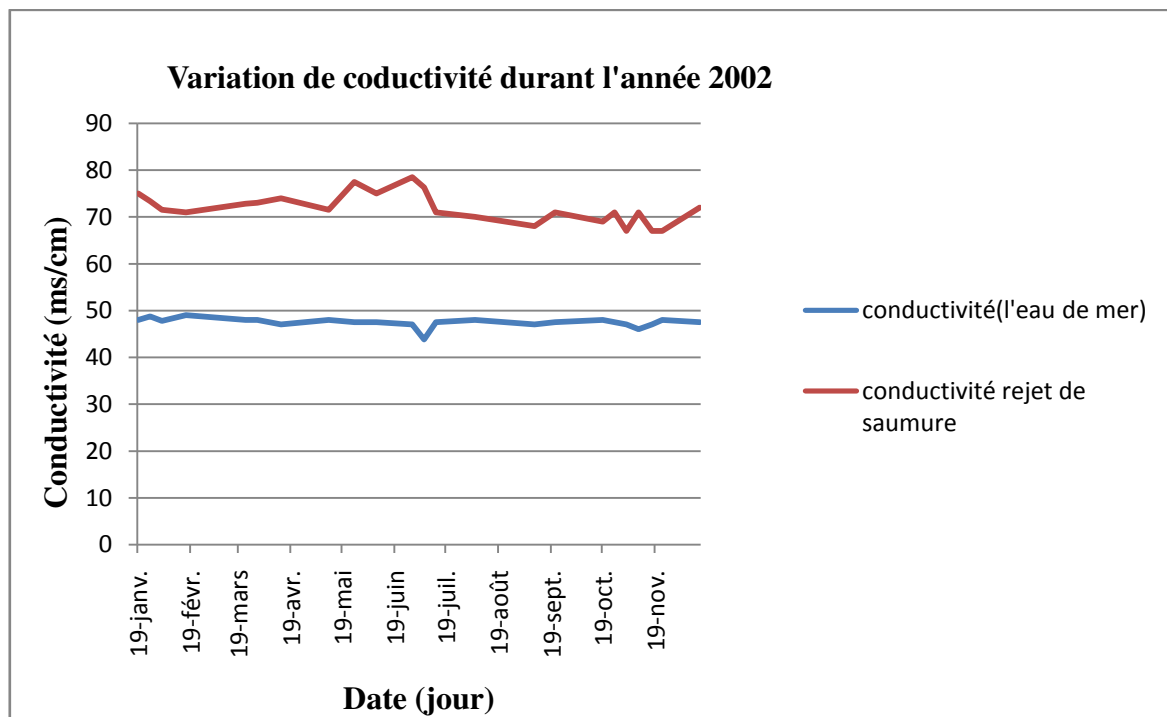


Figure 12 : Variation de la conductivité en 2002.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

Les graphes de la (figure12) représentent une différence considérable entre la conductivité de la saumure (70-80 **ms/cm**) elle celle l'eau d'mer qui arrive à 50 **ms/cm** en 2002.

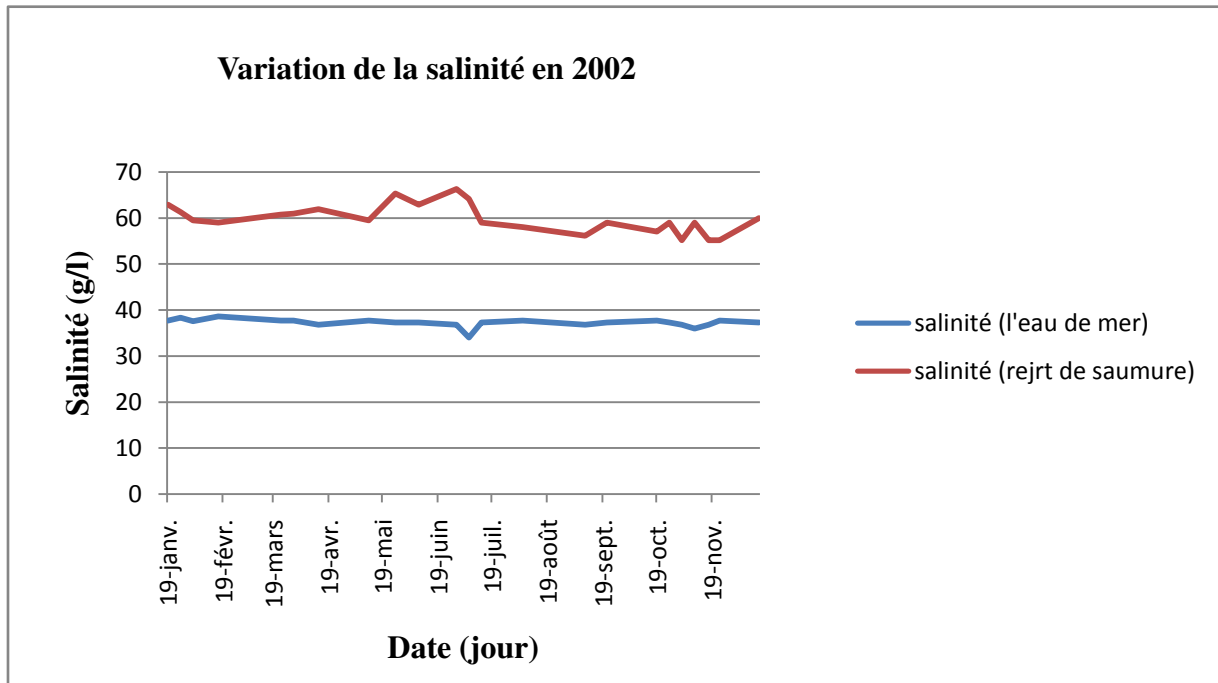


Figure 13 : Variation de la salinité en 2002.

Sur graphe de la (figure13) ci-dessus qui donne la variation de la salinité de l'eau de mer et celle de la saumure dans l'année 2002, on remarque une grande différence entre la salinité de rejet de saumure (55-65 **g/l**) elle celle de l'eau d'mer qui atteint 40 **g/l** durant l'année 2002.

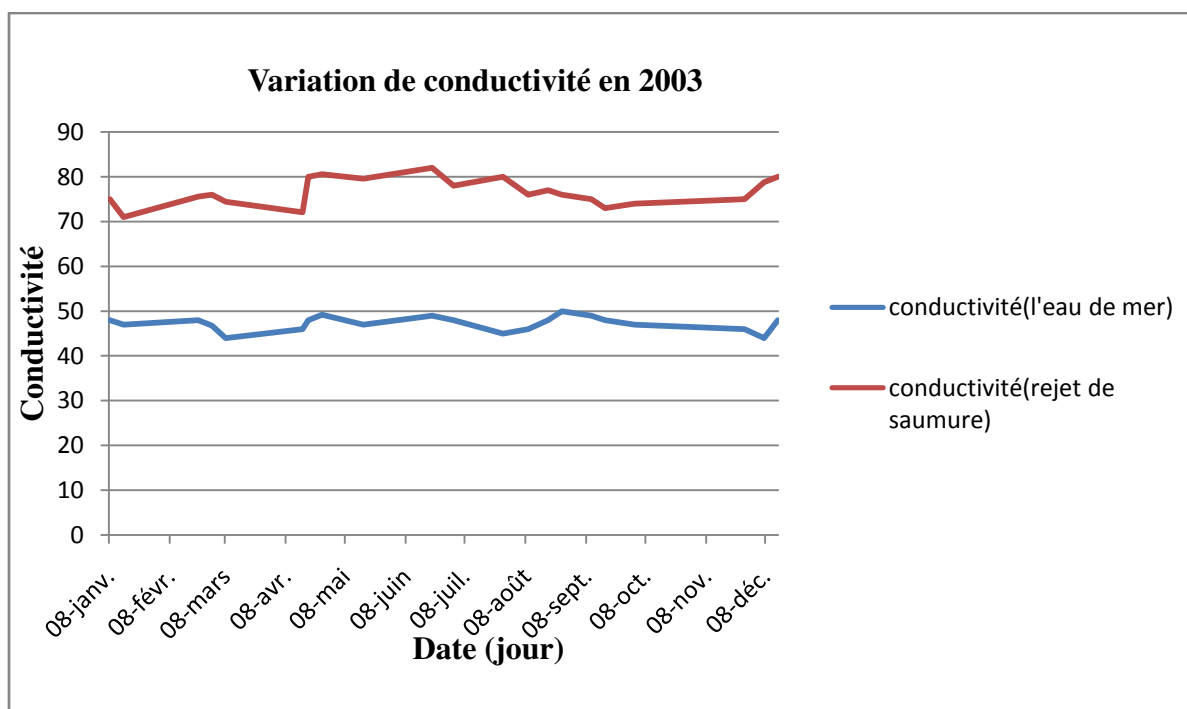


Figure n 14 : Variation de la conductivité en 2003

La figure précédente montre que la conductivité de la saumure variée entre (60-70 **g/l**) est beaucoup plus grande que la conductivité de l'eau d'mer qui arrive jusqu' à 50 **g/l** en 2003.

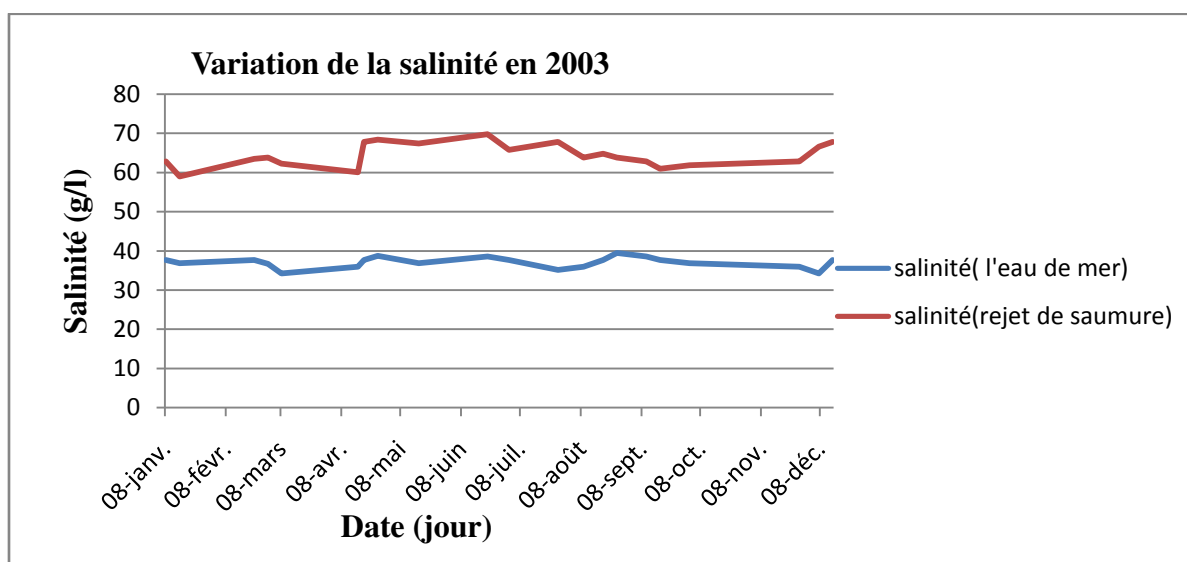


Figure 15 : Variation de la salinité en 2003.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

La salinité de l'eau de mer et celle de la saumure de l'année 2003, sont données sur le graphe de la figure15, où on remarque un rapport presque de deux fois entre les deux salinités (60-70 g/l) et (38- 40 g/l).

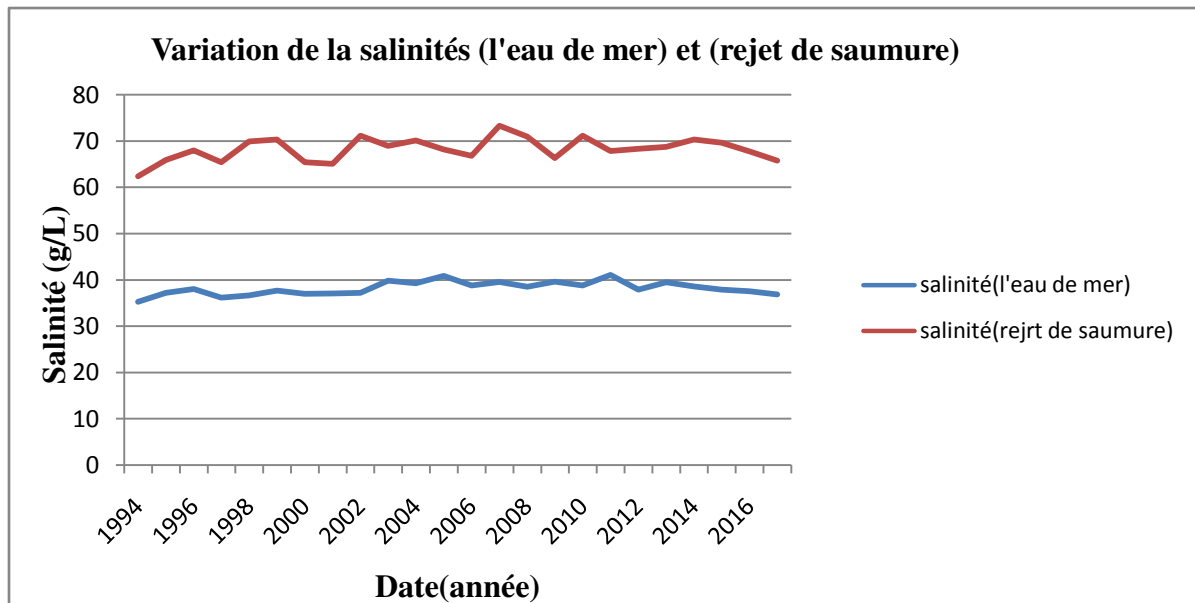


Figure 16 : Variation interannuelle de la salinité.

* Les courbes de la variation interannuelle de 1994 au 2016 de la salinité de l'eau de mer et de la saumure données par la figure16 présente des petites fluctuations d'une année à une autre pour les deux eaux et une grande différence de salinité entre la saumure et l'eau de mer qui varient entre (60-70 g/l) et (38-40 g/l) d'eau de mer qui varie à 40 g/l.

*Les fluctuations de la salinité ainsi que de la conductivité de la saumure sont dues d'un part de la variation de la qualité de l'eau de mer (salinité et conductivité de l'eau de mer) et d'autre part de la variation du taux de conversion de l'unité de dessalement de centrale.

*Les fluctuations saisonnières de la salinité ainsi que de la conductivité de l'eau de mer sont d'origines naturelles et sont dues à la variation de la température ambiante et des précipitations et comme la station de captage de eaux de mer de la centrale n'est pas éloignée de l'embouchure d'Oued Isser, les caractéristiques de l'eau de mer (salinité, conductivité) dans ces endroits sont variables et très influencées par les précipitations sur le bassin versant d'Oued Isser.

*A partir des graphes précédents, nous pouvons conclure que la salinité de rejets de saumure varie entre 60 et 70 g/l ce qui est pratiquement deux fois la salinité ambiante.

CHAPITRE I: Traitement de l'eau de mer dans la centrale de cap Djnet.

Sur la base des études intérieures citées dans ce paragraphe **I.2.1** chapitre **IV** on remarque que la salinité de la saumure peut provoquer des effets sur le milieu marin à savoir :

Cymodocea nodosa et **Zostera noltii** (Fernández-Torquemada et Sánchez Lizaso 2011), **Amphihalins improvisus** (Nasrolahi, A., C. Pansch, M. Lenz, and M. Wahl. 2012), **Sépia apama** (Du pavillon et Gillan ders 2009).

En fonction des résultats d'analyses effectués dans plusieurs années et dans différentes périodes, on a constaté un grand écart entre la salinité ambiante et celle de la saumure et par conséquence des effets néfastes sur la vie marine (sur la biote).

Pour faire face à ces effets, une gestion rationnelle du rejet de la saumure est jugé nécessaire afin de réduire sa concentration en sels (salinité).

Au niveau de la centrale pour réduire la salinité, tous les rejets de saumure vont être récupérés et mélangés avec les eaux de refroidissement dans un canal afin de minimiser son effet sur le milieu marin. Les analyses de ce mélange sont représentés sur le graphe suivant :

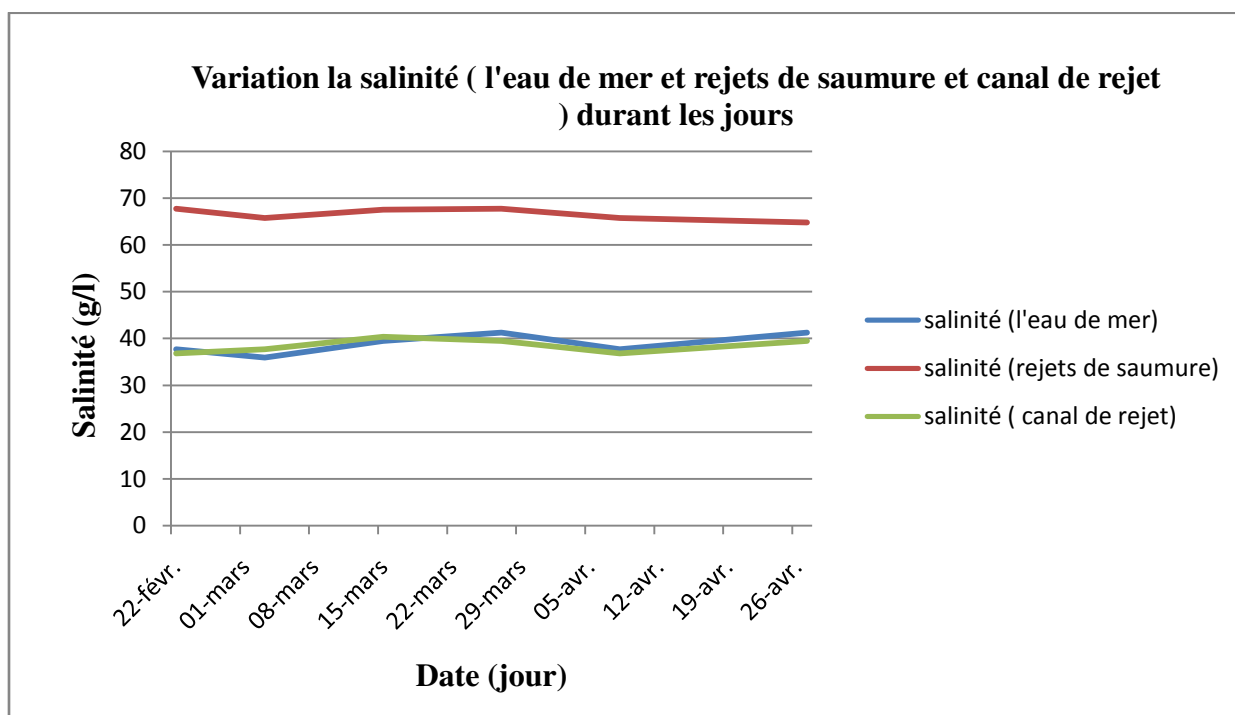


Figure 17 : Variation de la salinité (période de stage).

Les résultats présentés sur la figure17 sont très motivantes, où on remarque que les concentrations en sels (salinité) des eaux de mélange (saumure + eaux refroidissement) sont presque identiques avec celles des eaux de mer.

Donc on peut dire que la technique de dilution est un moyen efficace pour réduire la salinité des rejets et par conséquence réduire l'empreinte environnementale des rejets de la saumure dans le milieu marin.

CHAPITRE II :

Gestion et valorisation des rejets de saumure à forte salinité.

I. Étang solaire à gradient de salinité :

I.1.Historique: Von Kallecsinky a observé dans le lac Medve en Transylvanie, Hongrie (42°44' N, 28°45' E) en 1902 [51] et a écrit le premier rapport sur un lac solaire naturel.

La température de ce lac atteignait à la fin de l'été 70°C à une profondeur de 1.32 m. Même au début du printemps, une température d'environ 26 °C a été enregistrée.

Bien que ce rapport ait été suivi par un certain nombre d'études sur le même lac naturel, il n'y avait pas de tentatives de construire des étangs solaires pour la collecte et l'utilisation de l'énergie solaire jusqu'au milieu du XX siècle.

I.2.Définition Étang solaire à gradient de salinité :

Dans un étang solaire à gradient de salinité, la chaleur est collectée et emmagasinée dans une couche d'eau convective très saline et très dense située au fond de l'étang appelée aussi zone de stockage ou LCZ (pour Lower Convective Zone). La perte de chaleur vers l'air ambiant est anéanti grâce à une autre couche non convective appelée NCZ (pour Non

Convective Zone) située juste au-dessus de la couche inférieure. Cette zone non convective est stratifiée de telle façon que la concentration du sel diminue du bas vers le haut. La nature non convective de cette zone empêche toute forme de transfert par convection, et la chaleur emmagasinée au fond n'échappe que par conduction, étant donnée la conductivité thermique

faible de l'eau, cette zone joue le rôle d'un isolant thermique transparent. Finalement, au-dessus des deux zones citées, il existe une autre zone d'épaisseur relativement mince et de faible salinité ou d'eau non salée. La superposition de ces trois couches est semblable à un sandwich dont la zone non convective est intermédiaire. Cette structure exposée au rayonnement solaire augmente la température du fond à des valeurs qui peuvent atteindre le point d'ébullition de la saumure.

Les bassins solaires sont maintenant établis partout dans le monde. Le plus célèbre étant celui d'El Paso, qui a été lancé en 1983 au Texas, USA, comme projet de développement de la recherche et stand de démonstration à l'Université de Texas. Cet étang était opérationnel entre l'année 1985 jusqu'à son arrêt en 2004, et dès son démarrage, il a été considéré comme le premier étang solaire conçu pour la production d'électricité aux états unis. En 1987, Il a été aussi le premier étang utilisé pour des opérations de dessalement aux états unis. Il faut noter que cette technologie est relativement nouvelle dans le domaine de dessalement. Des températures d'environ 90 °C ont été enregistrées à l'étang solaire d'El Paso, malheureusement après un certain temps d'utilisation, la stratification des couches a été détruite suite à l'échauffement de la saumure jusqu'au point d'ébullition. Le gradient de l'étang a été reconstruit et le système a été amélioré pour éviter de tels problèmes dans l'avenir. En 2001, des recherches à El Paso ont mis l'accent sur le couplage des étangs solaires avec des techniques de dessalement thermiques [52].

I.3. Les types des étangs :

I.3.1. Étangs peu profonds :

Un étang peu profond consiste (fig. 18) d'un certain nombre de sac, remplis d'eau, de 5 à 15 cm d'épaisseur et interconnectés entre eux, avec un fond noir et un top transparent. Ces sacs sont placés sur une surface spécialement aménagée et couverte d'une vitre transparente réduisant les pertes thermiques. Ce type d'étangs est généralement conçu pour des opérations discontinues. Pendant le jour, l'eau est pompée dans le module de collection pour être chauffée par le soleil. L'eau chauffée est pompée dans un réservoir de stockage thermiquement isolé et directement utilisable [53].

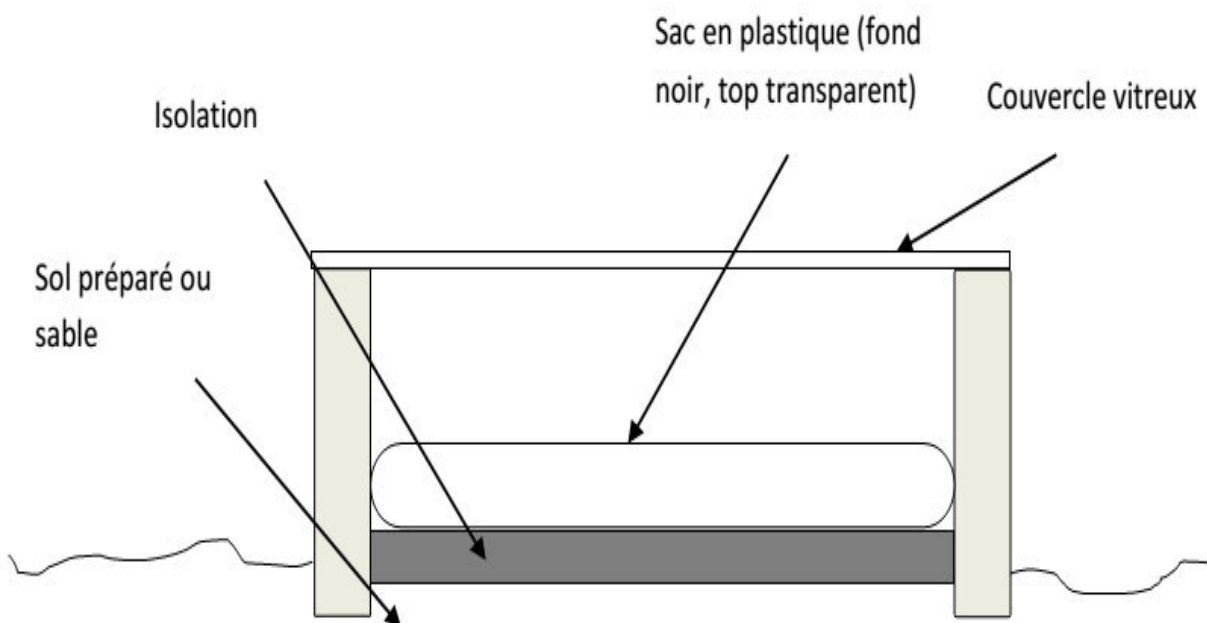


Figure 18 : étang solaire peu profond (un module).

I.3.2.Étangs stratifiés par membrane :

Un 2^{ème} type, l'étang solaire stratifié par membrane (fig. 19) est constitué de plusieurs couches de fluides isolées et séparées par des membranes transparentes. Ces membranes sont séparées par une distance suffisante pour empêcher complètement la convection, comme dans l'étang solaire à gradient de salinité, la chaleur est emmagasinée dans la zone convective inférieure (LCZ). Cependant ce genre d'étang ne nécessite pas de sel. L'élément le plus coûteux de l'étang stratifié par membranes sont les membranes de la couche non convective (NCZ) [54]. Le problème rencontré par ce genre comporte la durée de vie de membranes, la stabilité, le nettoyage et le changement de la transparence des membranes due à la croissance des microorganismes et la décoloration [55].

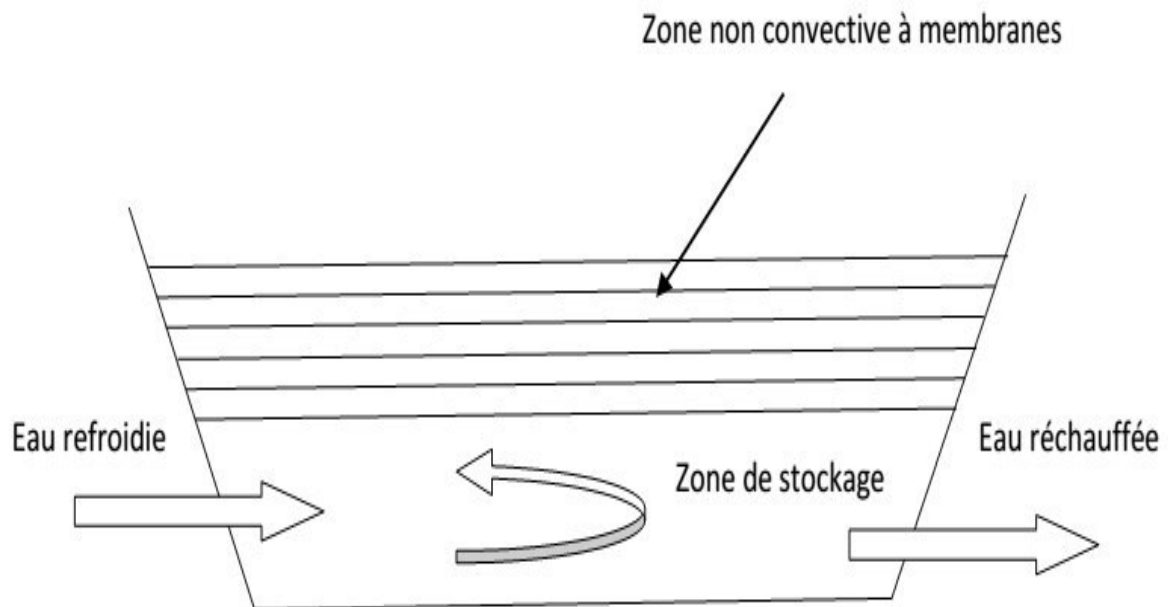


Figure 19 : étang solaire stratifié par membranes.

I.3.3.Étangs solaires à gel :

L'étang solaire à gel (fig. 20) utilise des polymères épaississants naturels, semi-synthétiques ou synthétiques pour former une couche transparente non convective de gel qui flotte sur une zone convective inférieure (LCZ). Un étang solaire de ce type a été utilisé pour la première fois à l'université de New Mexico. Des températures au-dessus de 100°C ont été obtenues sous les conditions optimales. La couche de gel isole l'étang solaire et empêche la convection d'y avoir lieu. Cette couche empêche aussi la perte de chaleur par évaporation et réduit les effets des poussières, des algues et du vent. Les poussières peuvent être éliminées par simple lavage de la surface du gel [56].

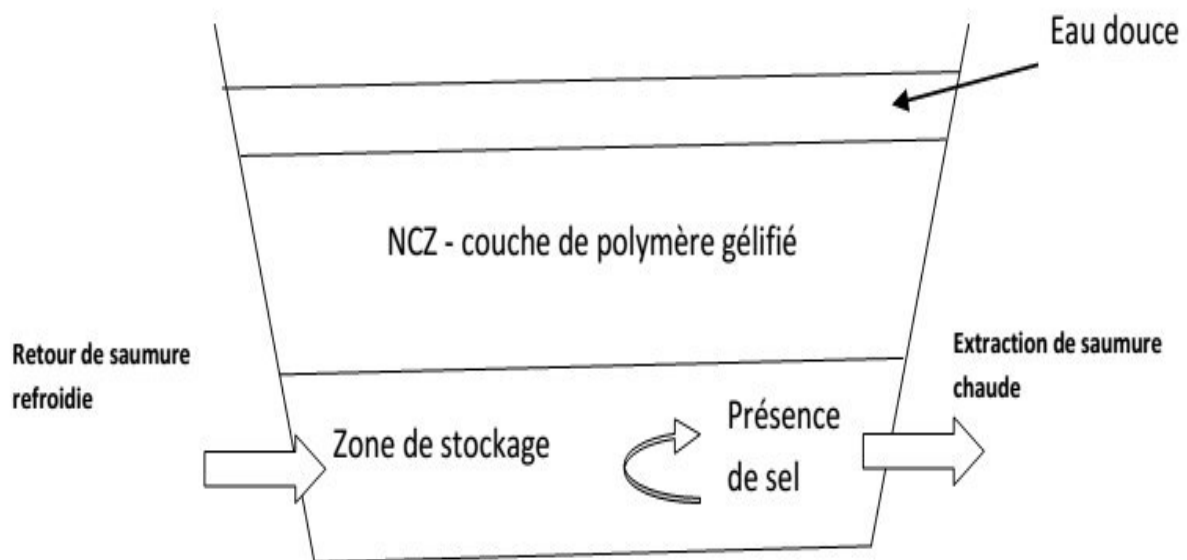


Figure 20 : étang solaire a gel.

II. Structure et principe de fonctionnement du SGSP :

Il est utile de rappeler que la majorité des systèmes d'énergie solaire ne possèdent pas la capacité d'emmagasiner cette énergie pour une longue période, à l'inverse de l'étang solaire à gradient de salinité (ou Salt Gradient Solar Pond SGSP) qui est apparu pour remédier à cet inconvénient.

Le SGSP est un collecteur combiné de l'énergie solaire et de la chaleur. Il se compose de trois différentes zones voir la (figure 21) :

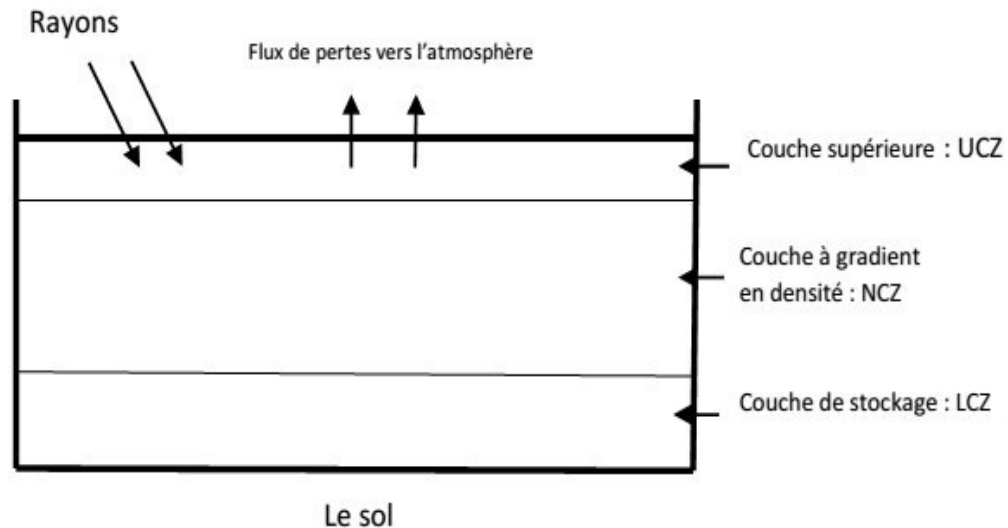


Figure 21 : structure de l'étang solaire.

- une zone convective supérieure (UCZ) de concentration basse et uniforme. Sa surface supérieure forme une interface entre l'air et l'eau du bassin.
- Une zone non convective (NCZ) ou zone de gradient de température et de salinité, située en sandwich entre la zone supérieure et la zone inférieure. Dans cette zone la température et la salinité croissent quasi-linéairement dans le sens de la profondeur du bassin. Cette couche est considérée comme un isolant thermique.
- Une zone convective inférieure (LCZ) est le lieu de stockage de chaleur. Ses salinités et température sont relativement élevées et y sont distribuées uniformément. Le fond de cette zone est généralement peint en noir pour avoir un coefficient d'absorption le plus élevé.

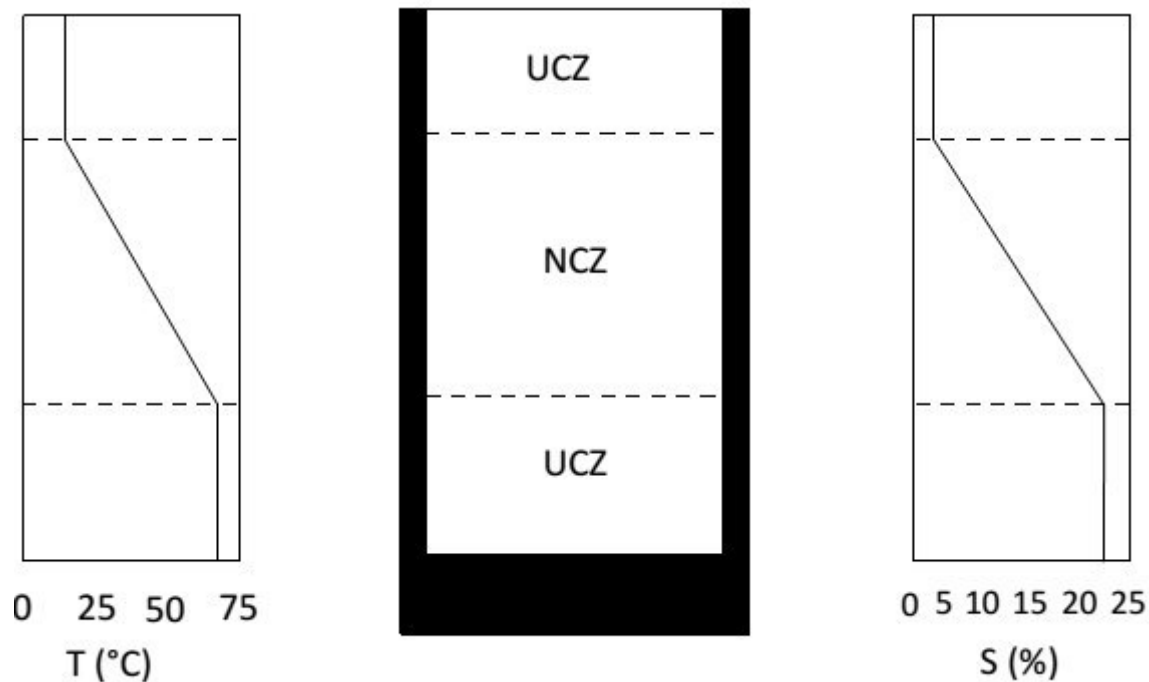


Figure 22 : distribution de la température et de la salinité.

Au début les rayons solaires qui pénètrent dans l'étang solaire vont être absorbés par des couches d'eau. Ces rayons vont, en partie, se transformer en énergie thermique et donc chauffer la masse d'eau du bassin.

III. Applications des étangs solaires :

L'utilisation de la chaleur emmagasinée dans la LCZ se fait de deux manières : soit directement ou en la convertissant en énergie électrique. A cause de la basse température et la petite différence entre la source chaude (eau chaude extraite de la zone de stockage générant de la vapeur) et la source froide (eau de condensation de la vapeur générée), un cycle de Rankine de vapeur d'eau ne serait pas économiquement et techniquement avantageux.

L'utilisation d'un cycle de Rankine organique est plus convenable pour l'exploitation des étangs solaires. Parmi les applications, on peut citer :

- la production de l'énergie électrique par l'application du cycle organique de Rankine utilisant un liquide de basse température d'ébullition, et faisant tourner une turbine lié à un générateur d'électricité.
- la combinaison des étangs solaires et des cycles conventionnels à carburant.
- le dessalement de l'eau.
- l'échauffement domestique et industriel

- la réfrigération et climatisation.
- les procédés industriels et agricoles nécessitant des températures modérées.



Figure 23 : image d'un étang solaire.

IV. Les avantages et les inconvénients d'un étang solaire :

IV. a. les avantages :

- ne nécessitant ni batteries ni équipements supplémentaires.
- Sont simples à construire.
- Peuvent être utilisées dans les régions rurales.
- n'ont d'impact négatif majeur sur l'environnement : absence des polluants.

IV. b. les inconvénients :

- nécessitent une maintenance continue.
- le coût élevé du sel dans certaines régions.
- la maintenance de la clarté de la saumure.

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.

Comme les usines de dessalement ont des impacts positifs sur l'environnement, ils ont aussi des impacts négatifs, et pour réduire les effets de ces derniers, des techniques de gestion et de valorisation comme sont citées dans notre travail ont été appliquées pour la central d'étude.

Les analyses effectuées sur le rejet de saumure après dilution avec l'eau de refroidissement ont des caractéristiques proche de ceux de l'eau de mer donc on peut conclure qu'il n'y a pas d'impact négatifs sur l'environnement marin, mais aussi sans être utile, par contre si on peut opté pour la gestion et valorisation des rejet de saumure par un étang solaire de gradient de salinité, dont nous permettra de produire de l'énergie (par augmentation de température) à la base de rejet de saumure, et cette dernière peut être utilisée dans des différents domaines de l'industrie, par une valorisation énergétique.

Enfin, on peut dire que le traitement de l'eau de mer par MSF pour la production d'énergie électrique présente un déficit ,toute en exploitant la saumure pour la production de l'énergie à partir de l'augmentation de la chaleur sur la profondeur de l'étang par le biais de la capacité des sels au captage et au stockage simultanément de l'énergie solaire.

Références bibliographiques :

[1] : Rapport sur un séminaire de l'OMS (Alger,14-19novembre198 1) Organisation mondiale de la Santé Bureau régional de l'Europe Copenhague 71 WHO81-2270.

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

[3] : AMINOTA., KÉROUEL R. (2004) Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336p. Chap. I, l'hydrologie marine : bases descriptives et analytiques et Chap. II Travaux à la mer et prélèvements.

[4]: A. AMINOT, R. KÉROUEL(2004) Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p., Chap. VIII, Mesure électrochimique du pH.

[5]: K. E. HARWEL (1954). Analyst. chem., 26, p. 616.

[6]: G. COPIN-MONTEGUT(1989). Physico-chimie de l'eau de mer. Cours d'océanographie, collection dirigée par P. Boigis, G. Grau, A. Ivanoff. Océanis 15 : 1-142.

[7]:aminot A . ,Kérouel R.(2004), Hydrologie des écosystèmes marin. Paramètres et analyses. CfPages 74-78

[8]: E. HIS, I. HEYVANG, O. GEFFARD, X. de MONTAUDOUIN(1999). A Comparison between oyster (*Crassostrea gigas*) and sea urchin (*Paracentrotus lividus*) larval bioassays for toxicological studies, Water Research, 33 (7): 1706-1718.

[9] : Alain Maurel. «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». Edition technique et documentation, 2001.

[10] : [http:// www.Culture Sciences, chimie.Ens.Fr/dossiers chimie-société-article dessalement](http://www.CultureSciences.chimie.Ens.Fr/dossierschimie-société-articledessalement).

[11]: P. Danis. Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J 2700.Juin 2003.

[12]: <http://www.world-wide-water.com>

Description en anglais de plusieurs procédés de Dessalement.

[13]: A. Maurel. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Lavoisier Tec&Doc.2001.

[14] : <http://www.easymed-eu.com>

Site du projet européen EasyMED sur le développement d'un nouveau procédé de Dessalement multiple effets à plaques.

[15] : La technologie appropriée de déminéralisation de l'eau potable, Rapport sur un séminaire de l'OMS ; 1981-1990, 71WHO81-2270.

[16] : Treille, P. (1977) Le traitement de l'eau par osmose inverse.

Bios, N°1, janvier 1977,p .1-9

[17] : Maurel, A. Déminéralisation des eaux saumâtres par électrodialyse.

[18] : P. Danis. Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J 2700.Juin 2003.

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

[20] : http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_res/index.stm

[21] : Notice technique sur les centrales thermiques.«Le traitement des eaux». Fascicule N°10, 2èmeédition, Avril 1970.

[22] : Best Water Technology, BWT group. «Déminéralisation sur résine (les standards PERMO)», Service pub PERMO, 06-08, 2000.

[23] : Arden, T.V.L'échange d'ions.

[24] : Best Water Technology , BWT group. «Déminéralisation sur résine (les standards PERMO)», Service pub PERMO, 06-08, 2000.

[25] : Arden, T.V.L'échange d'ions, 26.06.1998.

[26] : Ouvrage conçu et réalisé sous la direction de Jacques Mayet.«La pratique de l'eau». 2èmeédition, 1994.

[27] : Agence Française de Sécurité des Aliments, afssa. «Lignes directrices pour l'évaluation des échangeurs d'ions utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine». December 2009.

[28] : UNEP/MAP/MEDPOL. 2003. Sea Water Desalination in the Mediterranean: Assessment and Guidelines. MAP Technical Reports Series No. 139 UNEP/MAP, Athens.

[29] : Kress, N., and B. S. Galil. 2012. Seawater desalination in Israel and its environmental impact. Desalination and Water Reuse February-March 2012:26-29.

[30] : Mayhew, D. A., L. D. Jensen, D. F. Hanson, and P. H. Muessig. 2000. A comparative review of entrainment survival studies at power plants in estuarine environments. Environmental Science & Policy 3, Supplement 1:295-301.

[31] : (CNRC 2008, Elimelech et Phillip 2011).

-
- [32]: Fernandez-Torquemada, Y., J. M. Gonzalez-Correa, A. Loya, L. M. Ferrero, M. Diaz-Valdes, and J. L. Sanchez-Lizaso. 2009. Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination plants. *Desalination and Water Treatment* 5:137-145.
- [33]: Purnama, A., H. H. Al-Barwani, and R. Smith. 2005. Calculating the environmental cost of seawater desalination in the Arabian marginal seas. *Desalination* 185:79-86.
- [34]: Holloway, K. 2009. Perth Seawater Desalination Plant Water Quality Monitoring Programme. Final Programme summary Report 2005-2008. Report No. 445_001/3. Prepared by Oceanica Consulting Pty LTD for the Water Corporation of Western Australia.
- [35]: Murray, J. B., and G. L. Wingard. 2006 Salinity and temperature tolerance experiments on selected Florida Bay mollusks. U.S. Geological Survey Open-File Report 1026:59 pp.
- [36]: Fernández-Torquemada, Y., J. L. Sánchez-Lizaso, and J. M. González-Correa. 2005. Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain). *Desalination* 182:395-402.
- [37]: Fernández-Torquemada, Y., and J. Sánchez-Lizaso. 2011. Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity. *Hydrobiologia* 669:21-33.
- [38]: Nasrolahi, A., C. Pansch, M. Lenz, and M. Wahl. 2012. Being young in a changing world: how temperature and salinity changes interactively modify the performance of larval stages of the barnacle *Amphibalanus improvisus*. *Marine Biology* 159:331-340.
- [39]: Dupavillon, J. L., and B. M. Gillanders. 2009. Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish *Sepia apama* in the upper Spencer Gulf, South Australia. *Marine Environmental Research* 67:207-218.
- [40]: Hobbs, D., J. Stauber, A. Kumar, and R. Smith. 2008. Ecotoxicity of effluent from the proposed Olympic Dam Desalination Plant. Final Report. Hydrobiology Pty Ltd. Aquatic Environmental Services.
- [41]: Le Page, S. 2005. Salinity Tolerance Investigations: A Supplemental report for the Carlsbad, CA Desalination project. Report presented to Poseidon Resources.
- [42]: Belkin, N., E. Rahav, H. Elifantz, N. Kress, and I. Berman-Frank. 2015. Enhanced salinities, as a proxy of seawater desalination discharges, impact coastal microbial communities of the eastern Mediterranean Sea. *Environmental Microbiology* 17:4105-4120.
- [43]: Taylor, C. J. L. 2006. The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin* 53:30-48.
- [44]: Lattemann, S., and T. Hopner. 2008. 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:191-205.

-
- [45] : Chesher, R. 1971. Biological impact of a large-scale desalination plant at Key West, Florida. Elsevier Oceanography Series 2:99-164.
- [46] : Lin, Y.-C., G.-P. Chang-Chien, P.-C. Chiang, W.-H. Chen, and Y.-C. Lin. 2013. Potential impacts of discharges from seawater reverse osmosis on Taiwan marine environment. Desalination 322:84-93.
- [47] : (Portillo et al., 2013)
- [48] KWU. «Circuit d'eau de refroidissement». Service de formation professionnelle, Référence N°5513.
- [49]: KWU. «Circuit de dessalement d'eau de mer». Service de formation professionnelle, Référence N°5515.
- [50]: KWU. «Traitement des eaux». Service de formation professionnelle, Référence N°5504.
- [51]: Tabor H., 1966, Solar ponds, Science Journal, Vol. 66, 66-71.
- [52]: Lu H., Walton J.C. & Swift A.H., 2001, desalination coupled with salinity gradient solar ponds, Desalination, Vol.136 (1-3), 13-23.
- [53]: Graff, G.M. 1983. Interest in solar ponds is heating up. Chemical Engineering, March 7, 1983 : 40-44, 455.
- [54]: Ahmed, S. F. and P. W. Scanlan. 1980. Large scale space heating and DHW system using shallow solar pond with heat pump assistance. Proceedings of the 1980 Annual Meeting. Phoenix, Arizona. American Section of the International Solar Energy Society, Inc. pp. 359-363
- [55]: Elwell, D. L., T. H. Short, and P. C. Badger. 1977. Stability criteria for solar (thermal-saline) ponds. Proceedings of the 1977 Annual Meeting. American Section of the International Solar Energy Society. June 6-19, 1977, Orlando, FL.
- [56]: Fitzgerald, L. M. 1963. Wind-induced stresses on water surfaces. A wind tunnel study. Australian Journal of Physics 16:475-489.

Annexe

Annexe

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).

Appareil : Conductimètre.



Mode opératoire :

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

Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air à la surface des électrodes. La température du liquide ne devra en aucun cas varier pendant la mesure.

Expression des résultats :

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

4)- Mesure de la salinité :

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

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

Tableau 01 : les résultats des analyses effectuées du la conductivité en 2001.

JOUR	Conductivité (l'eau de mer) ms/cm	Conductivité (rejet de saumure) ms/cm
12-mai	48,5	79,8
16-juin	48,3	77,7
23-juin	48	75,6
08-juil	48,7	72
14-juil	47	79,5
21-juil	48	72,5
29-juil	48,2	75,3
07-août	48,6	74,5
18-août	50,5	80
01-sept	48,4	78,5
08-sept	46,1	70,2
15-sept	47,5	79
22-sept	50	75
21-oct	47,4	73,5
30-oct	48,5	72,5

Tableau 02 : les résultats des analyses effectuées du la salinité en 2001.

JOUR	Salinité (l'eau de mer) g/l	Salinité (rejet de saumure) g/l
12-mai	38,17	67,57
16-juin	37,99	65,49
23-juin	37,72	63,43
08-juil	38,34	59,92
14-juil	36,84	67,27
21-juil	37,72	60,41
29-juil	37,9	63,13
07-août	38,26	62,35
18-août	39,94	67,17
01-sept	38,08	66,28
08-sept	36,05	58,19
15-sept	37,28	66,78
22-sept	39,5	62,84
21-oct	37,19	61,38
30-oct	38,17	60,41

Tableau 03 : les résultats des analyses effectuées du la conductivité en 2002.

JOUR	Conductivité (l'eau de mer) ms/cm	Conductivité (rejet de saumure) ms/cm
19-janv	48	75
26-janv	48,7	73,4
02-févr	47,8	71,5
16-févr	49	71
23-mars	48	72,8
30-mars	48	73
13-avr	47	74
11-mai	48	71,5
26-mai	47,5	77,5
08-juin	47,5	75
29-juin	47	78,5
06-juil	43,8	76,3
13-juil	47,5	71
05-août	48	70
09-sept	47	68
21-sept	47,5	71
19-oct	48	69
26-oct	47,5	71
02-nov	47	67
09-nov	46	71
17-nov	47	67
23-nov	48	67
15-déc	47,5	72

Tableau 04 : les résultats des analyses effectuées du la salinité en 2002.

JOUR	Salinité (l'eau de mer) g/l	Salinité (rejet de saumure) g/l
19-janv	37,72	62,84
26-janv	38,34	61,28
02-févr	37,55	59,44
16-févr	38,61	58,96
23-mars	37,72	60,7
30-mars	37,72	60,89
13-avr	36,84	61,86
11-mai	37,72	59,44
26-mai	37,28	65,29
08-juin	37,28	62,84
29-juin	36,84	66,28

06-juil	34,04	64,11
13-juil	37,28	58,96
05-août	37,72	57,99
09-sept	36,84	56,08
21-sept	37,28	58,96
19-oct	37,72	57,04
26-oct	37,28	58,96
02-nov	36,84	55,13
09-nov	35,96	58,96
17-nov	36,84	55,13
23-nov	37,72	55,13
15-déc	37,28	59,92

Tableau 05 : les résultats des analyses effectuées du la conductivité en 2003.

JOUR	Conductivité (l'eau de mer) ms/cm	Conductivité (rejet de saumure) ms/cm
08-janv	48	75
15-janv	47	71
22-févr	48	75,6
01-mars	46,8	76
08-mars	44	74,4
16-avr	46	72,1
19-avr	48	80
26-avr	49,2	80,6
17-mai	47	79,6
21-juin	49	82
02-juil	48	78
27-juil	45	80
09-août	46	76
19-août	48	77
26-août	50	76
10-sept	49	75
17-sept	48	73
02-oct	47	74
27-nov	46	75
07-déc	44	78,8
14-déc	48	80

Tableau 06 : les résultats des analyses effectuées du la salinité en 2003.

JOUR	Salinité (l'eau de mer) g/l	Salinité (rejet de saumure) g/l
08-janv	37,72	62,84
15-janv	36,84	58,96
22-févr	37,72	63,43
01-mars	36,67	63,82
08-mars	34,22	62,25
16-avr	35,96	60,02
19-avr	37,72	67,77
26-avr	38,79	68,37
17-mai	36,84	67,37
21-juin	38,61	69,77
02-juil	37,72	65,79
27-juil	35,09	67,77
s09-août	35,96	63,82
19-août	37,72	64,8
26-août	39,5	63,82
10-sept	38,61	62,84
17-sept	37,72	60,89
02-oct	36,84	61,86
27-nov	35,96	62,84
07-déc	34,22	66,58
14-déc	37,72	67,77

Tableau 07 : les résultats des analyses du 22/02 au 27/04/2018 (période du stage).

JOUR	Salinité (l'eau de mer) g/l	Salinité (rejets de saumure) g/l	Salinité (canal de rejet) g/l
22-févr	37,72	67,77	36,84
03-mars	35,96	65,79	37,72
15-mars	39,5	67,57	40,39
27-mars	41,29	67,77	39,5
08-avr	37,72	65,79	36,84
27-avr	41,29	64,8	39,5

Tableau 08 : les résultats des analyses interannuelle de la salinité.

Année	Salinité (l'eau de mer) g/l	Salinité (rejet de saumure) g/l
1994	35,26	62,36
1995	37,2	65,89
1996	38,08	67,99
1997	36,14	65,42
1998	36,67	69,92
1999	37,72	70,36
2000	37,02	65,39
2001	37,05	65,04
2002	37,23	71,18
2003	39,87	68,91
2004	39,28	70,12
2005	40,93	68,17
2006	38,84	66,81
2007	39,61	73,31
2008	38,52	70,94
2009	39,68	66,28
2010	38,79	71,15
2011	41,11	67,86
2012	37,9	68,33
2013	39,5	68,76
2014	38,61	70,33
2015	37,9	69,64
2016	37,55	67,77
2017	36,84	65,79

