

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université M'Hamed Bougara  
-Boumerdès-



*Faculté de technologies*

*Département de génie des procédés*

*Option : Génie d'Environnement*

## MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de MASTER

### Thème

*Etude de la méthodologie du traitement d'eau de mer pour alimentation des chaudières des groupes turbo-alternateurs de la centrale électrique à vapeur de RAS-DJINET*

Présenté par : **Zelmat Asma**

**Zelmat Nesrine**

<b>Jury</b>	<b>Grade</b>	<b>Affiliation</b>	<b>Qualité</b>
N. OUAZANE	MCA	UMBB, Boumerdes	Président
F. BOUMECHHOUR	MCA	UMBB, Boumerdes	Rapporteur
M. AMITOUCHE	MCA	UMBB, Boumerdes	Examineur
H. BALOUL	MCA	UMBB, Boumerdes	Examineur
S. KALAI	INGÉNIEUR	Central de Cap Djinet	Encadreur

**2021-2022**

## Résumé

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

Le prétraitement est la première étape qui fait appel à une chloration et à une filtration. Après ce processus, on s'intéresse au procédé de dessalement par distillation à détentes successives qui produit une eau dessalée moins concentrée en sels, suivi par un procédé de déminéralisation à lit mélangé afin d'éliminer tous 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 étapes de traitement et sur l'inévitable saumure déchargée au niveau des unités de dessalement vers l'environnement marin.

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

## ملخص

إن الهدف من هذا البحث هو دراسة مختلف عمليات معالجة مياه البحر الموجودة في محطة توليد الكهرباء في

. Cap Djinet

المعالجة هي الخطوة الأولى التي تنطوي على الكلور والترشيح. بعد هذه العملية ، سنركز على عملية تحلية

المياه عن طريق التقطير تحت ضغط متتالي التي تنتج مياه محلاة أقل تركيزا بالملح ، بعد ذلك يأتي دور عملية التنقية بالتبادل الأيوني لإزالة الأملاح المتبقية ، وبالتالي ، ينتج ماء نقي تماما وقابل للاستعمال في تغذية لوازم

إنتاج الكهرباء .

أجريت تحاليل فيزيوكيميائية على المياه الناتجة و على المحلول الملحي الناتج في وحدات تحلية المياه والذي

يتم رميه في البيئة البحرية.

النتائج المتوصل إليها بينت أن نوعية المياه الناتجة هي ذات نوعية ممتازة وبالتالي كفاءة العمليات المستخدمة

وبالنسبة للمحلول الملحي فهو لا يسبب أي تأثير على البيئة البحرية.

## **Summary**

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

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

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

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

## *Remerciements*

*Au terme de cette étude qui nous permet d'exprimer nos profondes gratitude envers tous ceux qui nous ont apporté leur aide.*

*Nous tenons à remercier le Bon Dieu le tout puissant de nous avoir données la volonté et le courage pour accomplir ce travail.*

*Et nous tenons à remercier, notre promotrice **Mme:F.BOUMECHHOUR** et notre encadreur **Mr: Samir KALAI** qui ont bien voulu nous encadrer durant ce mémoire, et qui ont assurées la direction et l'orientation scientifique de ce travail.*

*Nous exprimons aussi mes remerciements à Monsieur **Ahmed KORCHI** pour la confiance et la gentillesse,*

*En fin, que toutes les personnes qui notre aidées de prés ou de loïn pour*

*L'élaboration et l'acheminement de ce travail souvent vivement remerciées.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents*

*Mes parents*

*Mes frères et sœurs*

*Mes frères et sœurs*

*Toute ma famille*

*Toute ma famille*

*Tous mes amis*

*Tous mes amis*

*Asma*

*Nesrine*



# Liste des tableaux

## Partie théorique

### Chapitre I : Propriétés de l'eau de mer

**Tableau I.1** : Concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 35 ‰.

**Tableau I.2** : Concentrations des différents éléments mineurs.

**Tableau I.3** : Salinité de différentes mers fermées ou peu ouvertes.

**Tableau I.4** : Conductivité spécifique de l'eau de mer en ms/cm.

### Chapitre II : Dessalement de l'eau de mer

**Tableau II.1** : Comparaison des procédés de dessalement.

**Tableau II.2.** Caractéristiques des opérations de dessalement peu élevée (autour de 25°C).

### Chapitre IV : Présentation de la centrale thermique de Cap Djinet

**Tableau IV.1** : Caractéristiques principales des pompes centrifuges de traitement.

**Tableau IV.2** : Caractéristiques techniques des pompes d'éjection.

**Tableau IV.3** : Caractéristiques techniques de l'installation de dessalement MSF.

**Tableau IV.4** Représente les différents points de dosage de l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et du phosphate de sodium ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ).

## Partie pratique

### Chapitre V : Matériel et méthodes

**Tableau V.1** : Différents méthodes d'analyse utilisées à la centrale.

### Chapitre VI : Résultats d'analyse

**Tableau VI.1:** Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer, l'eau dessalée et l'eau déminéralisée.

**Tableau VI.2** : Les caractéristiques des différents échantillons d'eau prélevé au niveau de l'unité de dessalement.

**Tableau VI.3** : Analyse physico-chimique des différents échantillons.

**Tableau VI.4** : :Analyses physico-chimiques des différents échantillons de l'eau dans le circuit eau vapeur.

# Liste des figures

## Partie théorique

### Chapitre II : Dessalement de l'eau de mer

**Figure II.1** : Schéma général d'une installation de dessalement.

**Figure II.2** : Procédés industrialisés de dessalement.

**Figure II.3:** Principe de distillation à simple effet.

**Figure II.4:** Distillation à multiples effets.

**Figure II.5:** Principe de fonctionnement d'un système par détente successive MSF à 3 étages.

**Figure II.6** : Principe de distillation à compression de vapeur.

**Figure II.7:** Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.

**Figure II.8:** Principe du dessalement par électrodialyse.

### Chapitre III : Déminéralisation de l'eau de mer

**Figure III.1:** Principe de production d'une eau déminéralisée par des échangeurs d'ions.

**Figure III 2:** Échangeur des ions.

### Chapitre IV : Présentation de la centrale thermique de Cap Djinet

**Figure IV.1:** Installation de filtration d'eau de mer au niveau de la centrale.

**Figure IV.2:** Schéma simplifié de l'installation d'Électro chloration.

**Figure IV.3:** Installation de dessalement de la centrale thermique de Cap Djinet.

**Figure IV.4:** Installation de déminéralisation de la centrale thermique de Cap Djinet.

**Figure IV.5:** Principe de production de vapeur.

**Figure IV.6:** Principe d'une chaudière à vapeur.

**Figure IV.7** : Schéma synoptique d'une tranche thermique.

## Partie pratique

### Chapitre V : Matériel et méthodes

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

## **Chapitre VI : Résultats d'analyses**

**Figure VI.1** : Evolution du pH.

**Figure VI.2** : Evolution de la température.

**Figure VI.3** : Evolution de la conductivité.

**Figure VI.4** : Evolution de la salinité.

**Figure VI.5** : Evolution de la turbidité.

**Figure VI.6** : Evolution de la dureté totale.

**Figure VI.7**: Evolution de TA et TAC.

**Figure VI.8** : Evolution des chlorures et de sodium.

**Figure VI.9** : Evolution : de fer, cuivre et silice.



## Listes d'abréviations

<b>HP</b>	Haute Pression
<b>MP</b>	Moyenne Pression
<b>BP</b>	Basse Pression
<b>MSF</b>	Multi Stage Flash
<b>MED</b>	Distillation à multiple effets
<b>VC</b>	Compresseur de vapeur
<b>OI</b>	Osmose inverse
<b>ED</b>	Electrodialyse
<b>TH</b>	Titre Hydrotimétrique
<b>TAC</b>	Titre Alcalimétrique Complet
<b>TA</b>	Titre Alcalimétrique
<b>Cf</b>	Cation moyennement ou faiblement acide
<b>CF</b>	Cation Fortement acide
<b>Af</b>	Anion moyennement ou faiblement basique
<b>AF</b>	Anion Fortement basique
<b>LM</b>	Lits Mélangés (Mixed-bed)

# *Sommaire*

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

## **Partie théorique**

### **Chapitre I Propriétés de l'eau de mer**

I.1	Introduction .....	2
I.2	Composition de l'eau de mer .....	2
I.3	Qualité de l'eau de mer .....	4
I.4	Salinité des eaux de mer .....	4
I.4.1	Expression de la salinité .....	5
I.4.2	Conductivité .....	5
I.5	pH des eaux de mer .....	6
I.6	Température .....	6
I.7	Autres propriétés de l'eau de mer .....	6
I.7.1	Viscosité .....	6
I.7.2	Densité .....	7

### **Chapitre II Dessalement de l'eau de mer**

II.1	Introduction .....	8
II.2	Les principales technologies de dessalement .....	8
II.2.1	Procèdes de dessalement .....	8
II.3	Différents Procèdes de dessalement .....	10
II.3.1	Procèdes de distillation .....	10
II.3.2	Procèdes à membrane .....	14
II.4	Autres procédés de dessalement .....	16
II.4.1	Echange ionique .....	16

II.4.2	Dessalement par congélation .....	16
II.5	Comparaison des procédés .....	17
II.6	Choix des procédés.....	18
II.7	Le dessalement en Algérie .....	19
II.8	Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie .....	19
II.9	Problèmes techniques rencontrés en dessalement.....	20
II.10	Impact de dessalement sur l'environnement .....	20
II.11	Impacts socio-économiques .....	23

### Chapitre III \_ Déminéralisation de l'eau de m

III.1	Introduction.....	24
III.2	Echangeurs d'ions .....	24
III.2.1	Définition et principe .....	24
III.2.2	Description d'un échangeur d'ions].....	24
III.2.3	Structure des échangeurs d'ions .....	26
III.2.4	Différents types des échangeurs d'ions .....	26
III.3	Régénération des échangeurs d'ions .....	27
III.3.1	Régénération à co-courant.....	27
III.3.2	régénération à contre-courant.....	28
III.4	Mise en œuvre de l'échange d'ions .....	28
III.4.1	Méthode en batch .....	28
III.4.2	Méthode en colonne .....	28
III.5	Les étapes de régénération .....	28
III.6	Les caractéristiques de l'échangeur d'ions .....	28
III.7	Déminéralisation par échangeurs d'ions.....	29
III.7.1	La déminéralisation.....	29
III.8	Quelques définitions préalables .....	30
III.9	Calculs d'une installation de déminéralisation.....	30
III.10	Contrôle et entretien d'un poste de déminéralisation .....	31

<b>III.10.1</b>	<b>Contrôle du traitement.....</b>	<b>31</b>
<b>III.10.2</b>	<b>Désinfection des résines.....</b>	<b>32</b>
<b>III.10.3</b>	<b>Stockage des résines .....</b>	<b>32</b>

#### **Chapitre IV Présentation de la centrale thermique de Cap Djinet**

<b>IV.1</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>34</b>
<b>IV.2</b>	<b>Historique .....</b>	<b>34</b>
<b>IV.3</b>	<b>Légende du cycle eau-vapeur .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.4</b>	<b>Caractéristiques techniques de la centrale .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.4.1</b>	<b>Combustible .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.4.2</b>	<b>Générateur de vapeur .....</b>	<b>35</b>
<b>IV.4.3</b>	<b>Turbine à vapeur .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.4</b>	<b>Alternateur .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.5</b>	<b>Eau de réfrigération .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.6</b>	<b>Poste d'eau .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.7</b>	<b>Station de production d'hydrogène.....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.8</b>	<b>Evacuation d'énergie.....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.9</b>	<b>Commande et contrôle .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.5</b>	<b>Technologies de traitement de l'eau de mer au niveau de la centrale .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.5.1</b>	<b>Prétraite-ment.....</b>	<b>36</b>
<b>IV.5.3</b>	<b>Filtration de l'eau de mer .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.5.4</b>	<b>Filtration primaire (dégrillage) .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.5.5</b>	<b>Filtration secondaire (tamisage) .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.6</b>	<b>La chloration .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.6.1</b>	<b>Définition de l'électro chloration .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.6.2</b>	<b>Le principe de l'électro chloration .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.6.3</b>	<b>Description du procédé .....</b>	<b>39</b>
<b>IV.6.4</b>	<b>Description de l'installation d'électro chloration .....</b>	<b>39</b>
<b>IV.7</b>	<b>L'installation de dessalement MSF .....</b>	<b>39</b>

IV.7.1	Les différents organes de l'installation .....	40
IV.7.2	Injection des produits chimiques.....	42
IV.7.3	Données techniques .....	43
IV.7.4	Description de l'installation .....	44
IV.8	Description du procédé de déminéralisation .....	47
IV.8.1	La régénération .....	48
IV.8.2	La neutralisation .....	48
IV.9	Les besoins en eau d'alimentation de cycle eau-vapeur .....	50
IV.9.1	Le cycle eau-vapeur .....	50
IV.9.2	Lutte contre les problèmes de circuit eau-vapeur .....	51
	IV.9.1 Injection de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ).....	52
	IV.9.2 Injection de phosphate trisodique ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ).....	52
IV.10	Principe de fonctionnement .....	54
IV.10.1	Fonctionnement de cycle .....	54

## **Partie pratique**

### **Chapitre V Matériel et méthodes**

V.1	Introduction.....	57
V.2	Méthodes d'analyses .....	59
V.3	Les principe des méthodes d'analyse .....	59

### **Chapitre VI Résultats d'analyse**

VI.1	des eaux avant et après traitement.....	61
VI.2	L'histogramme .....	61
VI.3	Interprétation des résultats .....	67
VI.4	Contrôle de l'impact sur l'environnement.....	68
	VI.4.1 Caractéristiques du rejet liquide avant et après de dessalement .....	68
VI.5	Contrôle de l'unité de dessalement .....	68
	VI.5.1 nterprétation des résultats .....	70

**Conclusion générale .....72**

**Références bibliographiques**

**Annexe**

# *Introduction générale*

## Introduction générale

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

Les centrales thermiques sont des installations qui transforment la chaleur fournie par une source d'énergie en énergie électrique. Cette dernière est produite par divers moyens, c'est ce qui différencie les centrales (centrale hydraulique, diesel, à charbon, à gaz, à vapeur, etc.), [1].

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

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

Notre étude consiste à définir les différents procédés de traitement des eaux de mer adaptés pour la centrale dans le but de produire de l'eau d'appoint destinée à l'alimentation des chaudières à haute pression. Nous allons nous baser sur l'étude de procédés de dessalement et de déminéralisation sur résine échangeuse d'ions. Cette étude sera soutenue par des analyses effectuées sur des échantillons prélevés dans différents endroits du circuit de l'eau.



# *Partie théorique*

*Chapitre I*  
*Propriétés de l'eau*  
*de mer*

## I.1 Introduction :

L'eau est un composé très abondant dans la nature, son volume a été estimé à la surface du globe terrestre à une valeur supérieure à 1 milliard de  $\text{km}^3$  et couvre 70 % de la terre, tandis que la consommation mondiale ne dépasse pas 1 500  $\text{km}^3/\text{an}$ , [2].

La quantité d'eau existant dans la nature se répartit comme suit : [3]

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraines et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile.

Les Océans couvrent 71 % de la surface de la terre et contiennent 97 % du volume d'eau de notre planète.

Le volume d'eau total est d'environ 1,34 milliards  $\text{Km}^3$  dont 1,3 milliards  $\text{Km}^3$  est occupé par les Océans.

Les 3 % d'eau douce se répartissent entre les glaciers et les calottes polaires (2.4 %), puis dans les nappes souterraines (0.6 %). Les cours d'eau et les lacs ne représentent qu'une quantité insignifiante (environ 0.01 %). (Pourcentages du volume total d'eau sur Terre).



La présence de sel dans l'eau de mer modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencés de manière significative. Enfin, certains sont essentiellement déterminés par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique) [4].

## I.2 Composition de l'eau de mer :

### ➤ Les éléments principaux :

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable, la concentration moyenne des sels dans l'eau de mer varie entre 35 et 39 g/l. [5] Les concentrations des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 36.047g/l sont données

dans le tableau I.1 [6].

**Tableau I.1 :** Concentration des éléments principaux pour une eau de mer de salinité de 36.047g/l [6]

Cations	(mg/L)	Anions	(mg/L)
Sodium.....	11 035	Chlorures .....	19 841
Magnésium .....	1 330	Sulfates .....	2 769
Calcium .....	418	Bicarbonates.....	146
Potassium .....	397	Bromures .....	68
Silicium .....	3000	Fluorures.....	1,4

➤ **Autre éléments minéraux :**

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles, ces éléments malgré leur faible concentration, ont une importance certaine dans des processus biologiques et organiques.

Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension). [5]

Les tableaux I.2 et I.3 résument respectivement les concentrations des différents éléments mineurs et la composition moyenne d'un litre d'eau de mer.

**Tableau I.2 :** Concentrations des différents éléments mineurs. [5]

Eléments	Concentration (mg/l)	Eléments	Concentration (mg/l)
Li	17	Cu	3
Al	10	Zn	10
P	70	As	3
Ti	1	Mo	10
V	2	I	60
Mn	2	Ba	30
Fe	10	U	30
Ni	2		

**Tableau I.3.** Composition moyenne d'un litre d'eau de mer

<b>NaCl</b>	27,20 g
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	3,80 g
<b>CaSO<sub>4</sub></b>	1,25 g
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0,85 g
<b>Total</b>	<b>35 g</b>

➤ **Matières solides en suspension :**

Généralement, les matières solides sont visibles à l'œil nu, elles déterminent la turbidité de l'eau, le plus souvent la masse spécifique est supérieure à celle de l'eau les matières solides demeurent en suspension tant que l'eau est en mouvement, lorsque la vitesse de l'eau diminue et tend vers zéro, les matières solides sédimentent pour former les dépôts au fond des réservoirs et sur la génération inférieure de la canalisation. [7]

➤ **Matières en émulsion :**

Se sont des matières insolubles qui sont présentés sous forme de fines gouttelettes réparties de façon uniforme dans l'eau, la présence de ces matières en émulsion confère à l'eau un aspect laiteux. [7]

➤ **Matières colloïdales :**

Ce sont de très fines particules de matières solides d'origine minérale ou organique, invisible à l'œil nu en examen direct, elles sont dotées à leur surfaces de charges électriques qui se repoussent mutuellement confèrent à ces particules un mouvement permanent qui les maintiennent en suspension. [7]

### **I.3 Qualité de l'eau de mer :**

L'eau de mer est la matière première de l'usine de dessalement. Chacun peut observer ses changements de température, de limpidité d'un lieu ou d'un jour à l'autre les écarts de salinité sont moins connus. Salinité, température et matières en suspension sont les paramètres majeurs du fonctionnement d'une unité de dessalement. [3]

### **I.4 Salinité des eaux de mer :**

Dans sa première définition, donnée en **1902** : « la salinité, de symbole  $S$ , la salinité mesure la concentration en sels dissous ; elle s'exprime en g/L. Du fait que les quantités de sels dissous sont souvent très inférieures au gramme, l'unité communément utilisée est le mg/L ou encore la ppm

chez les Anglo-Saxons.

Les salinités les plus basses se rencontrent au voisinage des pôles. La quantité de sels dissous augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur. Elle peut dépasser 50 g/L dans certaines zones.

Quelques valeurs moyennes de la salinité de l'eau de mer :

- Océan Atlantique : 35 g/L.
- Mer Méditerranée : 38 g/L.
- Mer Rouge : 40 g/L et plus.
- Golfe Persique : 50 g/L et plus.

#### I.4.1 Expression de la salinité : [8]

Compte tenu de la difficulté de la mesure directe de la salinité, Knudsen a proposé un calcul de cette dernière à partir de la chlorinité, qui représente la masse d'halogénures (à l'exception du fluor) exprimée en grammes de chlore par kilogramme d'eau de mer, par la relation suivante:

$$S \text{ ‰} = 0,030 + 1,805 \text{ } 0 \text{ Cl } \text{ ‰}$$

En 1956, plusieurs organismes internationaux ont établi et publié des tables océanographiques internationales, et recommandent l'emploi d'une nouvelle relation empirique plus précise entre salinité et la chlorinité :

$$S \text{ ‰} = 1,806 \text{ } 55 \text{ Cl } \text{ ‰}$$

#### I.4.2 Conductivité : [7]

De l'ordre de **40 ms/cm**, la conductivité des eaux de mer subit des variations importantes suivant la température et la salinité des océans (tableau I.4).

**Tableau I.4** : Conductivité spécifique de l'eau de mer en **ms/cm**.

Salinité (‰)	Température		
	25°C	15°C	5°C
	Conductivité		
<b>10</b>	17,345	13,967	10,616
<b>20</b>	32,188	25,957	20,816
<b>30</b>	46,213	37,351	29,090
<b>35</b>	53,025	42,896	33,457

### I.5 pH des eaux de mer : [9]

L'eau de mer est faiblement alcaline et son pH moyen est de 8,2 avec des variations entre 7 et 8,4. Les variations de pH ont une certaine analogie avec celle de l'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité photosynthétique de certains organismes :

Une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO<sub>2</sub> et par conséquent d'une augmentation du pH.

L'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO<sub>2</sub> et par conséquent abaisse le pH.

Dans certaines conditions comme les baies, les estuaires, le pH peut prendre des valeurs particulières. Notamment, dans des bassins isolés ou il peut y avoir production d'H<sub>2</sub>S, le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides.

Le pH des eaux de mer décroît avec une augmentation de température. Pour une eau de chlorinité de 19,5 ‰ est de pH = 8, une élévation de température de 1°C, entre 10°C et 20°C, diminue le pH de 0,0109. De même, une augmentation de pression de 100 bars produit une diminution de pH de l'ordre de 0,02 (pour un pH de 8,3).

### I.6 Température :

La température de l'eau de mer peut varier de quelques degrés sur les côtes sous influence des courants polaires jusqu'à 35 °C.

Une température élevée avantage la distillation, tout en observant que cet avantage est minime du fait que la capacité thermique massique de l'eau est très faible comparée à son enthalpie (sa chaleur latente) de vaporisation.

Pour l'osmose inverse le bénéfice est contrasté : la production des membranes d'osmose augmente de 3 % par degré Celsius. En contrepartie la qualité de l'eau produite diminue et, surtout, le vieillissement de la membrane s'accélère. L'expérience montre que l'optimum se situe autour de 25 °C. [10]

### I.7 Autres propriétés de l'eau de mer :

#### I.7.1 Viscosité :

La viscosité décroît rapidement en fonction de la température et dépend également de la salinité .

l'équation de la Viscosité :

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

$\eta_0$  étant la viscosité du solvant à l'état pur,  $C$  la concentration du soluté.  $A$  et  $B$  des coefficients dépendant du soluté. Suivant la nature des ions, le coefficient  $B$  peut prendre des valeurs positives ou négatives et rendre plus ou moins fluide le solvant (les ions ayant tendance à former des ions complexes augmentent la viscosité) [7].

### **I.7.2 Densité : [7]**

Rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à une température de 4°C.

La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1,035 à 1,036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression.



## *chapitre II*

# *dessalement de l'eau de mer*

## II.1 Introduction :

Toute centrale, type vapeur dispose généralement d'une installation de dessalement et de déminéralisation de l'eau brute (eau de mer) pour alimenter les chaudières.

Les besoins journaliers en eau dessalée de la centrale thermique sont de l'ordre de 1100 m<sup>3</sup>. L'installation comprend quatre unités de dessalement indépendantes selon le principe de la distillation par détentes successives, et qui produit 500 m<sup>3</sup> d'eau dessalée par jour chacune, qui sera stockée dans deux réservoirs de 2700 m<sup>3</sup>.

L'eau de mer subit des prétraitements avant d'être introduite dans l'unité de dessalement qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre. La technique de déminéralisation consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer l'excès des ions en solution causant une minéralisation excessive. L'élimination peut être obtenue grâce à des procédés variés de traitement des éléments constituant la solution saline, dont les plus répandus sont les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes [11].

## II.2 Les principales technologies de dessalement :

### II.2.1 Procèdes de dessalement :

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

#### I.1.1.1 Une prise d'eau de mer :

Pour une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière, deux types de technologies sont utilisés :

- Les forages côtiers : soit verticaux soit sous forme des galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables.
- La prise d'eau de surface : peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants [12].

#### I.1.1.2 Un prétraitement :

La salinité, les matières en suspension ainsi que les matières organiques des différents océans ou mers du globe sont très variables. Les systèmes de prétraitement de l'eau de mer avant dessalement ont pour but d'éliminer les matières en suspension et le plancton qui sont susceptibles de colmater les installations de dessalement [13].

Les techniques de prétraitement de l'eau de mer sont :

- ✓ **Coagulation –floculation** : L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement de floccs colloïdaux) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de floccs par agrégation. [14].
- ✓ **Filtration** : Protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs.
- ✓ **Chloration** : Bloque la prolifération des organismes vivants. Evite l'obstruction des conduites.
- ✓ **Antitartre** : La distillation favorise la précipitation du carbonate de calcium qui se dépose sur la paroi des échangeurs et réduit le transfert de chaleur [15].

### I.1.1.3 Installation de dessalement :

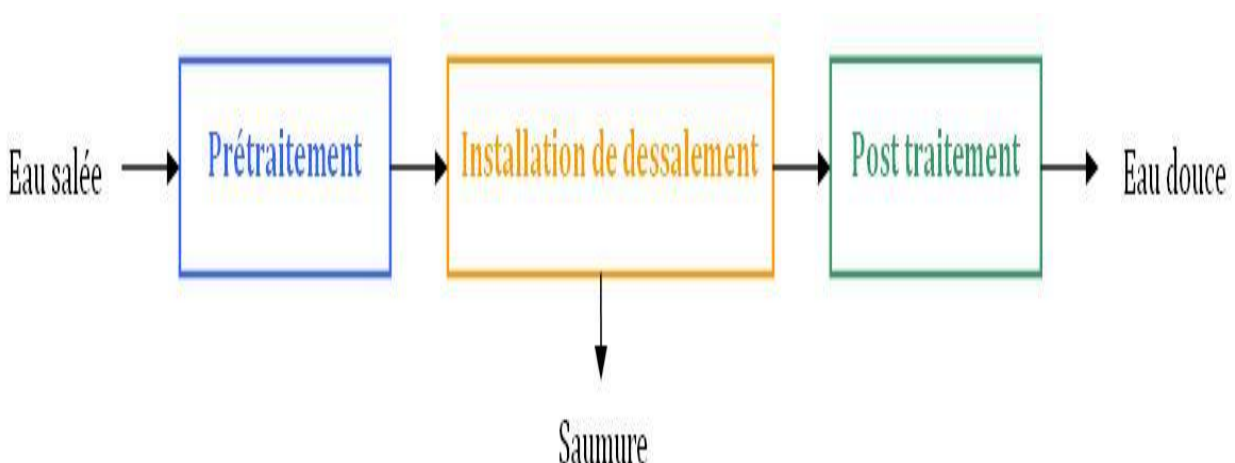
Plusieurs méthodes permettent la transformation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissouts, et une solution concentrée en sels. On cite notamment la distillation, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse. Cependant, les deux technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation pour les centrales thermiques et l'osmose inverse pour l'alimentation en eau potable [16].

### I.1.1.4 Poste de traitement :

Le post traitement permet la potabilisation de l'eau en sortie de l'installation de dessalement en la rendant minéralisée. Ceci se fait en deux étapes:

- on corrige la corrosivité par ajout de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ou de  $\text{CaCO}_3$ .

on désinfecte l'eau en sortie de l'usine pour garantir sa qualité (pas de micro-organismes) [15].  
(figure II.1) [7]



**Figure II.1** : Schéma général d'une installation de dessalement.

### II.3 Différents Procèdes de dessalement :

La plupart des procédés commerciaux de dessalement de l'eau de mer ayant démontré leur fiabilité technique se divisent en deux grandes familles :

- Les procédés faisant intervenir l'évaporation
- Les procédés de séparation par membranes

L'ensemble des procédés utilisant la technique de distillation (sauf le procédé compression de vapeur, VC) utilisent l'énergie thermique.

Les procédés utilisant les membranes, ainsi que la VC, font appel à l'énergie électrique ou mécanique. (Figure II.2).

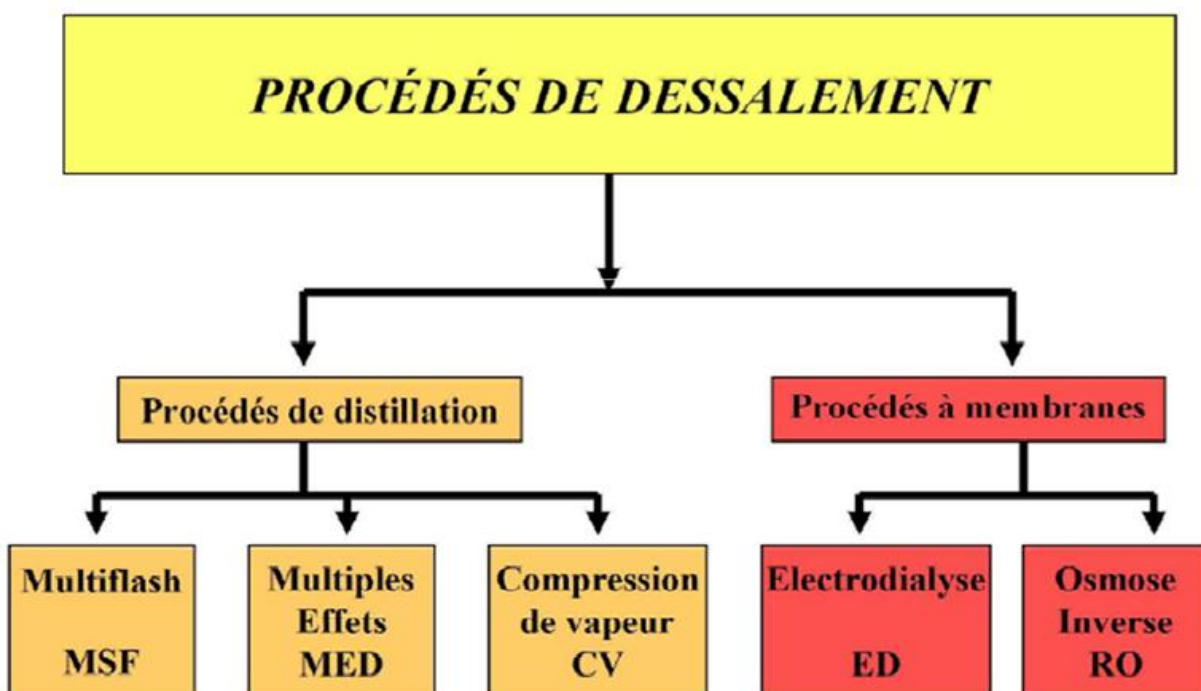


Figure II.2 : Procédés industrialisés de dessalement [10].

#### II.3.1 Procédés de distillation :

La distillation est la technique de dessalement de l'eau de mer la plus ancienne. Elle s'appuie sur les propriétés d'évaporation-condensation de l'eau, le chauffage de la solution à purifier permet la vaporisation de l'eau et sa récupération par condensation. Elle conduit à la production d'une eau pure et d'une solution concentrée, le concentrât. Ce procédé thermique est un grand consommateur d'énergie. En effet, la vaporisation d'un volume d'eau salée exige une quantité de chaleur importante pour augmenter la température jusqu'à ébullition puis pour vaporiser l'eau. L'apport de chaleur nécessaire dépend en fait des conditions de température et de pression, à une pression inférieure à la pression atmosphérique, la quantité de chaleur à fournir est moindre car la température d'ébullition

de l'eau est plus basse. L'ajustement des conditions de pression et de température, les principes de la distillation en série et de la récupération d'énergie calorifique ont été utilisés pour optimiser le procédé de distillation simple, qui pâtit en outre de rendements faibles [17].

### II.3.1.1 Distillation à simple effet : [2]

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.

Un appoint d'eau de mer, supérieur à la production, est introduit dans l'enceinte, une autre pompe évacue une fraction de saumure de telle manière que la salinité de l'eau de mer reste à une concentration acceptable (voir figure II.3).

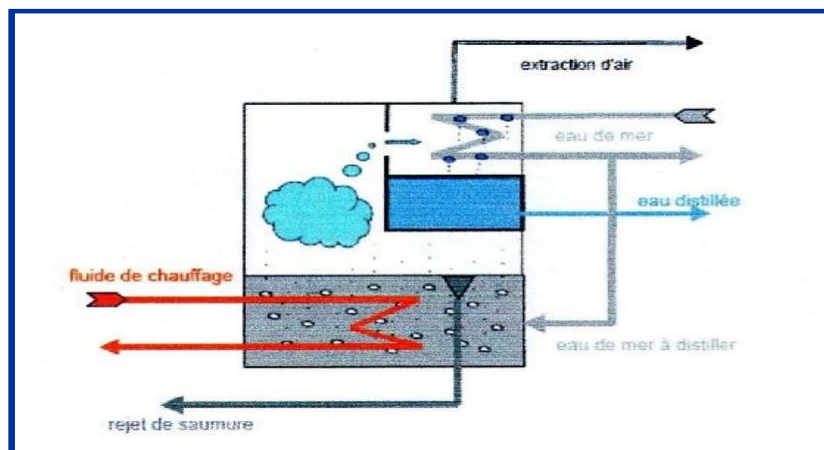


Figure II.3: Principe de distillation à simple effet.

### II.3.1.2 Distillation à multiple effets :

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

La vapeur en provenance du premier effet se condense dans le deuxième sur le faisceau tubulaire et produit une quantité presque égale de vapeur à partir de l'eau de mer, et ainsi de suite. A chaque effet, l'eau distillée est envoyée dans un collecteur (figure II.4).

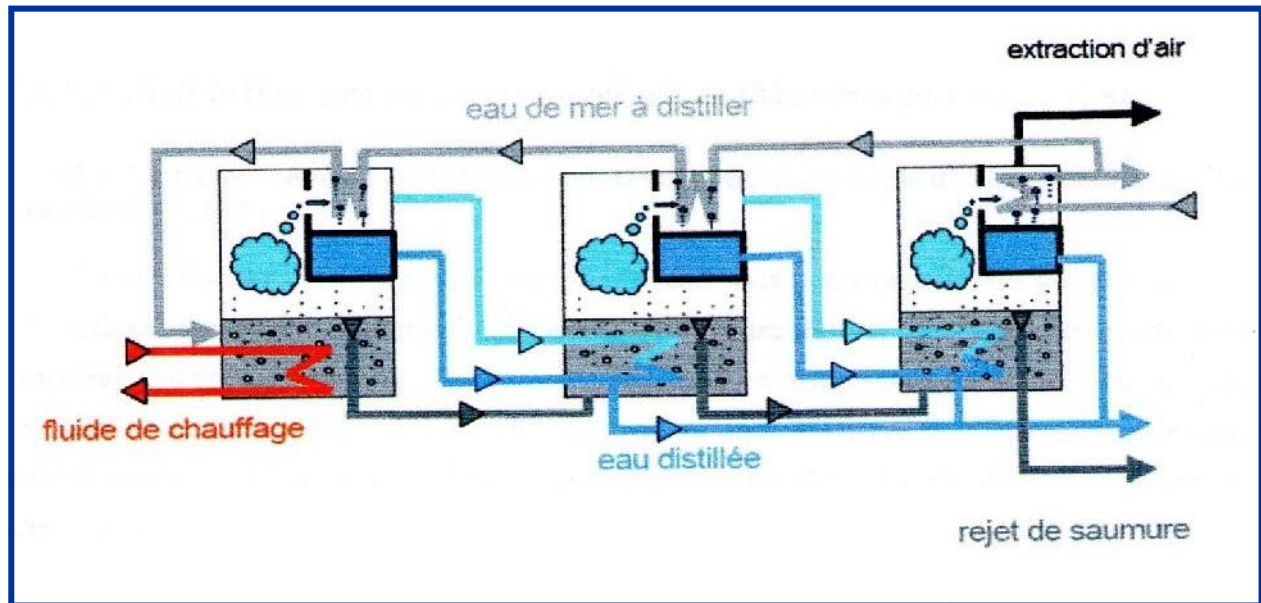


Figure II.4: Distillation à multiples effets.

### II.3.1.3 Distillation par détente successive (Multi stage Flash, MSF) :

➤ **Le procédé de distillation à détente étagée a cycle direct : [3]**

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  $120^{\circ}\text{C}$ , elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes (voir figure II.5).

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

Pour chauffer l'eau de mer jusqu'à  $120^{\circ}\text{C}$ , 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.

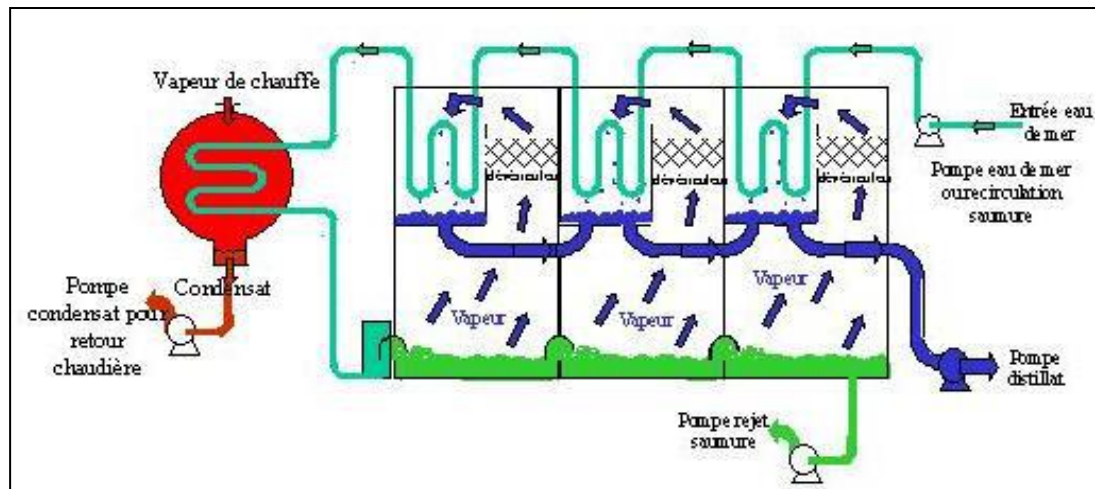


Figure II.5: Principe de fonctionnement d'un système par détente successive MSF à 3 étages.

➤ Procédé Flash à recirculation : [18]

Une unité Flash à recirculation est divisée en deux parties:

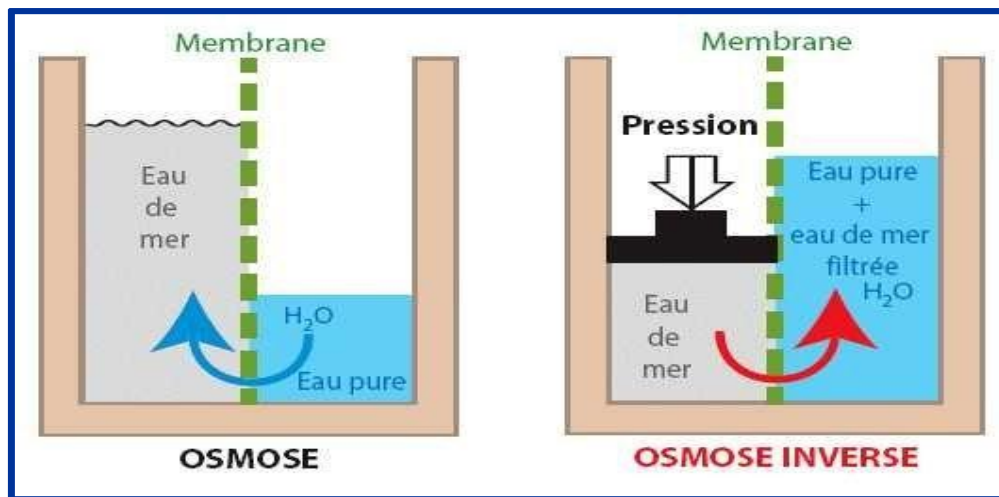
- Des étages à basse température dits de rejet de chaleur, où l'eau de mer froide est utilisée pour la condensation de la vapeur produite et où sont extraites l'eau douce et la saumure.
- Des étages de récupération de chaleur et de réchauffeur, où la saumure circule en boucle fermée : la concentration de la saumure dans les condenseurs est maintenue constante par injection du débit d'eau de mer prétraitée.

#### II.3.1.4 Distillation par compression de vapeur :

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée (figure II.6). La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée, [2].







**Figure II.7:** principe de l'osmose et de l'osmose inverse.

Les membranes sont constituées d'une surface plane dont la perméabilité est sélective. Son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée, [21].

### II.3.2.2 Electrodialyse :

L'électrodialyse est une technique séparative dans laquelle des espèces ionisées minérales ou organiques dissoutes, telles que les sels, les acides ou les bases, sont transportées à travers des membranes ioniques et sous l'action d'un champ électrique.

Lorsqu'une solution ionisée est envoyée dans les compartiments séparant ces membranes, les cations migrent vers la cathode (-) et les anions vers l'anode (+), en traversant respectivement les membranes cationique (C) et anionique (A).

Grâce à une disposition alternée des membranes, les ions capables de traverser les membranes cationiques sont arrêtés par les membranes anioniques, et réciproquement (figure II.8), il en résulte une augmentation de la concentration dans les compartiments de même parité (concentrât) et une diminution dans les compartiments adjacents (diluât), [22].

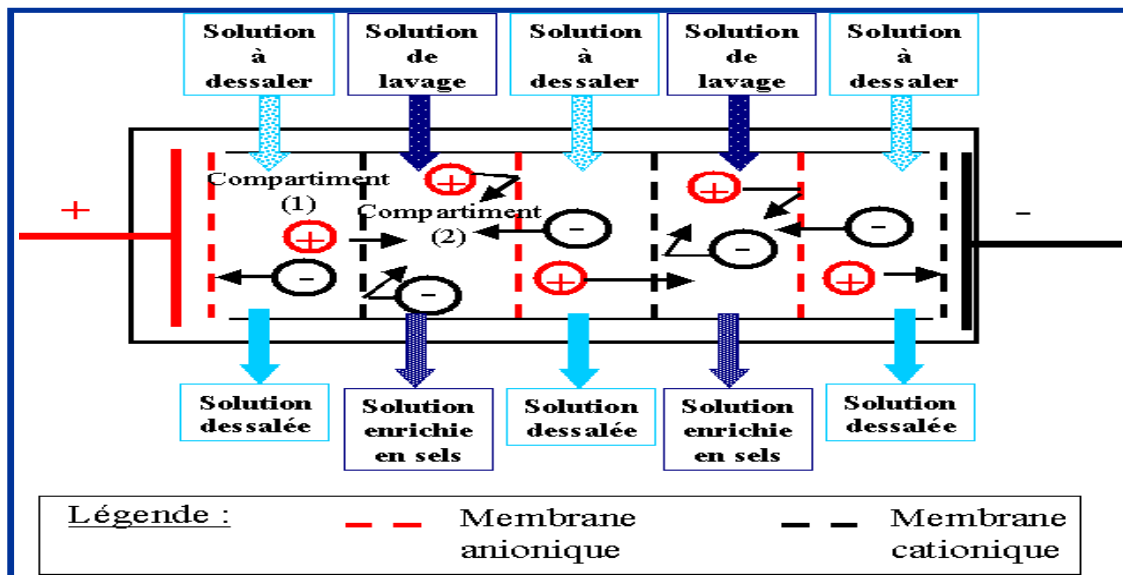


Figure II.8: Principe du dessalement par électrodialyse.

Les membranes utilisées en électrodialyse sont des membranes échangeuses d'ions qui se présentent sous la forme de feuilles dont l'épaisseur est comprise entre 0,1 et 0,8 mm. Du point de vue propriétés on distingue deux types de membranes, [13] :

Les échangeuses de cations qui sont perméables uniquement aux cations et dont le groupement fonctionnel est en générale un groupement acide sulfonique ( $\text{SO}_3^-$ ).

Les échangeuses d'anions qui sont perméables uniquement aux anions et dont le groupement fonctionnel est en générale un groupement ammonium quaternaire ( $\text{NR}_3^+$ ).

## II.4 Autres procédés de dessalement :

### II.4.1 Echange ionique :

Le phénomène d'échange d'ions se produit quand on met en contact une eau saumâtre avec certaines substances insolubles ayant la propriété d'échanger certains de leurs ions avec les sels de l'eau. Les produits employés actuellement sont des produits insolubles dénommés échangeurs d'ions (résines synthétiques sous la forme de graines d'environ 0,3 à 1,5 mm).

Cette méthode est applicable seulement pour les eaux contenant jusqu'à 10 g/L de sel [24].

### II.4.2 Dessalement par congélation :

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

En pratique, la glace est contaminée par les sels lors de la congélation pour des raisons cinétiques, et par la saumure elle-même pendant la séparation glace solution, Le procédé doit permettre de

minimiser cette contamination [25].

## II.5 Comparaison des procédés :

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 **OI** et **ED** utilisent seulement de l'énergie électrique.

**Tableau II.1** : Comparaison des procédés de dessalement.

Comparisons	MSF	MED	MED-VC	VC	OI	ED
Température de fonctionnement (°C)	< 120	< 70	< 70	< 70	< 45	< 45
Principale source d'énergie	Thermique	Thermique	Thermique	Electrique	Electrique	Electrique
Consommation thermique (kWh/mt)	12	6	21	Pas applicable	Pas applicable	Pas applicable
Consommation électrique (kWh/mt)	3,5	1,5	1,5	8 - 15	4 - 7	1
Salinité de l'eau brute (g/l)	30 – 100	30 – 100	30 – 100	30 - 50	1 - 45	0,1 - 3
Salinité de l'eau traitée (mg/l)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 500	< 500
Capacité d'un trainage (mt/j)	5000- 60000	500 – 12000	100 - 20000	10 - 2500	1 - 10000	1 - 12000

Les techniques thermiques sont adaptées aux fortes salinités et aux hautes températures alors que les techniques à membranes sont meilleur marché dans des conditions de salinité moyenne et de température.

- **Caractéristiques des opérations de dessalement :**

Il existe plusieurs techniques de dessalement de l'eau de mer , et chaque technologies a des avantages et ses inconvénients, nous montrons dans le Tableau II.2.

**Tableau II.2.** Caractéristiques des opérations de dessalement [17] peu élevée (autour de 25°C).

Méthode de dessalement	Les avantages	Les inconvénients
<b>Multi-effet Dessalement (MED)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Haute capacité de production</li> <li>✓ Faible coût en capital</li> <li>✓ Haute pureté (&lt;30ppm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Longue période de construction</li> <li>✓ Difficile de contrôler la qualité de l'eau</li> <li>✓ Faible conversion de l'eau d'alimentation (30% - 40%)</li> </ul>
<b>Osmose inverse (OI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Convient aussi bien à l'eau de mer qu'à l'eau saumâtre</li> <li>✓ Flexibilité dans la quantité et la qualité de l'eau</li> <li>✓ Faible consommation d'énergie comparée avec MED et VC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Basse qualité (250-500 ppm)</li> <li>✓ Requiert de l'eau d'alimentation de haute qualité</li> <li>✓ Coûts d'investissement et d'exploitation relativement élevés</li> </ul>
<b>Compression de vapeur (VC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Haute qualité de l'eau (20 ppm)</li> <li>✓ Charge opérationnelle élevée</li> <li>✓ Courte période de construction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coûts opérationnels élevés</li> <li>✓ Haute consommation d'énergie</li> <li>✓ Manque de contrôle de la qualité de l'eau</li> </ul>
<b>Électrodialyse (ED)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Faible consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Faible capacité de production</li> </ul>
<b>Flash multi-étage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Haute capacité de production</li> <li>✓ Faible besoin de compétences</li> <li>✓ Production de l'eau et électricité</li> <li>✓ Entrée d'énergie élevée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Faible taux de conversion (30% -40%)</li> <li>✓ Coûts d'exploitation élevés</li> <li>✓ Exigences de construction élevées</li> <li>✓ Travail intensif</li> </ul>

## II.6 Choix des procédés : [18]

Le choix du procédé dépend de plusieurs paramètres :

- La situation géographique.

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

### **II.7 Le dessalement en Algérie :**

Les ressources hydriques de l'Algérie restent limitées. Tout d'abord, pour des raisons climatiques : la pluviométrie, irrégulière, oscille entre 100 et 600 mm/ans seulement. L'Algérie se trouve parmi les pays du monde qui sont sous le seuil de pénurie adopté par la banque mondiale, il faut mobiliser toutes les ressources d'eau disponible pour sécuriser l'alimentation en eau potable . De ce fait, le dessalement des eaux de mer est la solution adéquate de cette problématique. [27]

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres a connu ces dernières années une avancée remarquable grâce au développement de différents procédés. Aujourd'hui, plusieurs facteurs militent en faveur de la mise en œuvre de cette technologie dans notre pays :

- Un littoral long de 1200 Kilomètres.
- Disponibilité de l'eau de mer, ressource inépuisable.
- Une population et une industrie grandes consommatrices d'eau se trouvant à proximité de la mer.
- Disponibilité de la ressource énergétique ou combinaison de sa production.

### **II.8 Les avantages et les inconvénients de dessalement de l'eau de mer en Algérie :**

Le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau douce. Il présente de nombreux avantages dont :

- 1) D'une part, il peut s'avérer très utile dans les situations d'urgence, lorsque les réserves d'eau ont subi des infiltrations d'eau salée, à la suite, par exemple, de marées salines, comme cela s'est produit récemment avec les tsunamis en Asie.
- 2) D'autre part, l'irrigation à base d'eau dessalée est bénéfique pour l'environnement car elle permet une salinisation réduite du sol [28].
- 3) l'Algérie dispose d'un littoral de 1200km.
- 4) l'utilisation de l'eau de mer qui est une ressource pratiquement non polluante et inépuisable.
- 5) la population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la revient d'eau. [29].

**Toutefois, quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :**

- 1) Besoins énergétiques importants.
- 2) La dégradation de l'environnement marin due au rejet des saumures concentrées en mer ou

injectées dans le sol.

- 3) Emplois de produits chimiques pour nettoyer les membranes.
- 4) Traces des métaux lourds échappés des installations.
- 5) Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ces traitements [30].

## II.9 Problèmes techniques rencontrés en dessalement

Les 2 principaux problèmes que l'on rencontre dans le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres sont :

### a)- Entartrage

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges.

A cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonates et sulfate).

Ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ; de l'hydroxyde de magnésium ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) et de sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ )...etc. Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement:

- Réduction de la section de passage.
- Dégradation des états de surface.
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant.
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre [32].

### b)-Corrosion :

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

Les principales conséquences de la corrosion sont :

- Rupture des conduites.
- Augmentation de la rugosité.
- Fuites d'eau.
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs [32].

## II.10 Impact de dessalement sur l'environnement :

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

qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur. Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants [33].

Cet impact est multiple et se manifeste par :

- **Rejets atmosphériques :**

Les usines de dessalement étant essentiellement alimentées par des énergies fossiles, elles génèrent donc directement ou indirectement des polluants atmosphériques ; gaz carbonique, oxydes de soufre et d'azote, particules solides [34].

- **Rejets chimiques:**

Les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que pour le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissure et anti mousse, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée [33].

- **Rejets de saumures :**

Les installations de dessalement rejettent en fait la même charge de sels de l'eau à traiter qu'elles ont reçu, mais dans un volume d'eau moindre, donc plus concentré allant jusqu'à deux fois la concentration initiale dans le cas de l'osmose inverse.

Outre cet excès de concentration qui peut atteindre 70 g/l, ces saumures sont rejetées à des températures plus élevées de 10 à 15°C quand il s'agit d'un procédé de distillation. Ces saumures sont rejetées en mer ou injectées dans le sol. Les usines de dessalement ont donc un impact négatif sur l'environnement, particulièrement lorsque les saumures sont déversées dans des écosystèmes sensibles. Cet effluent peut être extrêmement dangereux pour la vie végétale et animale si certaines précautions ne sont pas prises. L'élimination de ces saumures dans les zones côtières et intérieures n'aura pas la même incidence [25].

- **Effets dus aux produits de la corrosion : [35]**

Les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le fer, le chrome et le zinc dans le milieu marin.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspension et se déposent en s'accumulant dans les sédiments. Comme, dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concentration effective du métal mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut diminuer les effets en diluant le rejet.

- **Effets dus aux additifs antitartres : [5]**

Ces substances ne sont pas toxiques, leurs rejets continus peuvent causer l'eutrophisation en cas de l'utilisation de poly phosphates puisque ces derniers s'hydrolysent en ortho phosphates à des températures élevées. Ces ortho phosphates sont des nutriments essentiels pour les producteurs primaires, et peuvent causer l'eutrophisation et l'épuisement de l'oxygène au site de rejet.

L'application habituelle des antitartres est de 1 à 3 ppm et on trouve dans les rejets une concentration de 0,5 à 0,8 ppm.

- **Effets dus aux additifs antisalissure :**

Le chlore sous forme gazeux ou liquide ou l'hypochlorite et ses dérivés permettent de prévenir les salissures biologiques, mais ils posent des problèmes en raison de leur toxicité vis-à-vis des organismes. L'injection de biocide à des concentrations supérieures à 0,01 mg/l entraîne une dépréciation de la photosynthèse ainsi le chlore qui attaque les branches des poissons est entraînant une oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine avec la mortalité des organismes par anorexie. En général, les concentrations résiduelles du chlore sont de 0,2 à 0,5 mg/l pour les procédés de distillation, [36]. D'autres agents antisalissure comme les sels de cuivre entraînent des rejets de cuivre dans la saumure, et ce métal, même à de très faibles concentrations (moins de 1ppm), peut avoir des incidences sur l'environnement par suite de son accumulation, [5].

- **Effets dus aux additifs anti**

- **mousses : [5]**

Les agents anti mousses sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire.

- **Effets du concentré (saumure) : [5]**

Il est indubitable que c'est la saumure qui exerce le plus fort impact sur le milieu marin.



Le volume total de saumure libéré dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire. Un rejet de saumure concentrée en grandes quantités appelle un examen plus soigneux des impacts potentiels sur l'environnement que s'il s'agit d'un rejet en petites quantités.

Le rejet du concentré dans la mer aboutit à la formation d'un système stratifié avec un courant de concentré à la couche du fond puisqu'il contient des concentrations en sel supérieures à celles de l'eau de mer ambiante. Le courant de fond à plus forte salinité peut affecter sérieusement le milieu marin et en particulier les biotes benthique.

### II.11 Impacts socio-économiques : [5]

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

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

*Chapitre III*  
*Déminéralisation*  
*de l'eau de mer*

### III.1 Introduction:

La déminéralisation par échange d'ions est très répandue dans les industries chimiques, pétrochimiques, le raffinage pétrolier, etc... En fonction de leurs sites fonctionnels, les échangeurs d'ions sont capables d'adsorber sélectivement des ions spécifiques même lorsque ceux-ci ne sont présents qu'en quantité infimes. Dans ce chapitre, on introduit la description générale de la technique de déminéralisation par échange d'ions et son principe de fonctionnement.

### III.2 Echangeurs d'ions :

Les résines échangeuses d'ions sont caractérisées par leur affinité vis-à-vis des cations ou des anions. L'association des résines dites cationiques et anioniques dans un même chaînage, permet d'obtenir de l'eau déminéralisée (voir figure III.1), [37].

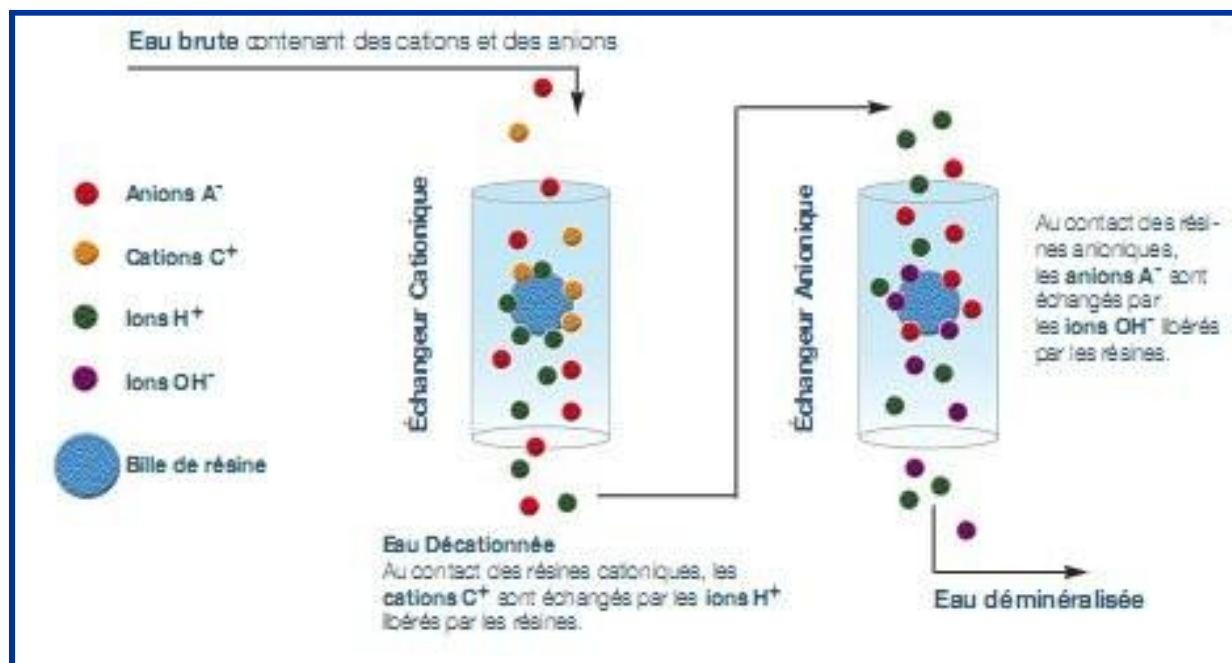


Figure III.1 : Principe de production d'une eau déminéralisée par des échangeurs d'ions.

#### III.2.1 Définition et principe :

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles, comportant dans leur structure moléculaire des radicaux acides ou basiques susceptibles de permuter, sans modification dans leur aspect physique et sans altération ou solubilisation, les ions positifs ou négatifs fixés sur les radicaux contre des ions de même signe se trouvant en solution dans le liquide à leurs contact. Cette permutation, appelée échange d'ions, permet de modifier la composition ionique du liquide objet du traitement sans modification du nombre total des charges existant dans ce liquide aval échange[38].

#### III.2.2 Description d'un échangeur d'ions : [39]

Un échangeur est constitué d'un réservoir cylindrique vertical construit en tôle ordinaire

fermé à ses extrémités par 2 fonds bombés. Un revêtement de peinture de protection réalisé intérieurement évite la corrosion du fer par l'oxygène contenu dans l'eau. Ce bidon est aménagé comme suit (figure III.2).

- Un jeu de vannes permet les opérations ci-après :
  - L'alimentation en eau à traiter.
  - L'injection des produits de régénération.
  - L'évacuation d'air contenu dans la partie supérieure du réservoir.
- Un réseau de crépines qui permet la répartition uniforme de l'eau à traiter ou des produits de régénération est placé à la partie supérieure du réservoir.
- Un second réseau de crépines placé à la partie inférieure du réservoir collectant l'eau traitée et les effluents de régénération.
- Une couche de sable de 30 cm d'épaisseur environ et de forte granulométrie empêche le passage des résines au travers des crépines inférieures.

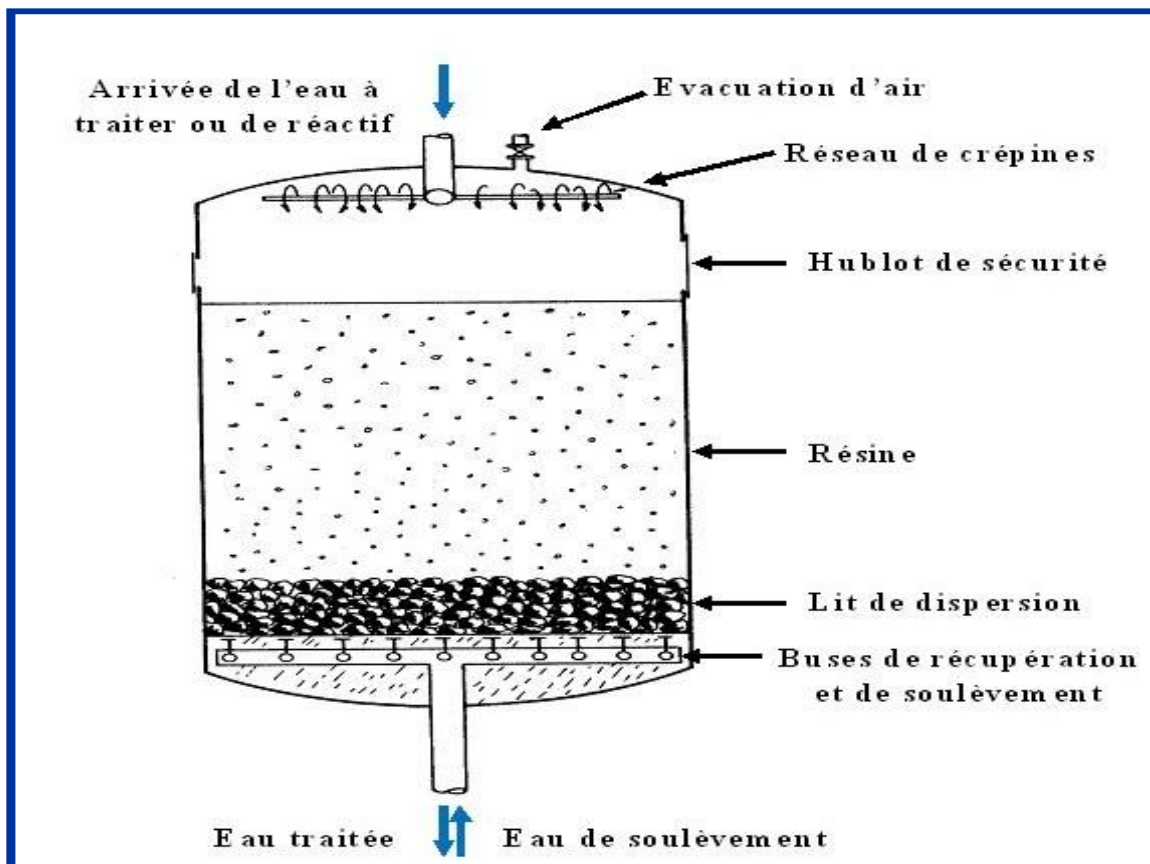


Figure III 2: Échangeur des ions.

### III.2.3 Structure des échangeurs d'ions : [40]

Les échangeurs d'ions sont des substances granuleuses qui ont une structure moléculaire possédant, des groupements fonctionnels basiques et acides qui peuvent être échangés. Les ions positifs ou négatifs de ces groupements fonctionnels peuvent être échangés par des ions de même signe en solution dans un liquide en contact avec eux.

L'échange d'ions est réalisé sans:

- détérioration ou solubilisation
- modifier le nombre total d'ions dans le liquide avant l'échange

De nos jours, les substances échangeuse d'ions les plus utilisées sont connues sous le nom de résines. Il y a deux catégories de résines: les résines de type gel et les résines macroporeuses. Leur structure de base est identique, elle est obtenue dans les deux cas par copolymérisation. La différence entre les deux types de résines réside dans leur porosité.

Il existe deux types:

- ✓ Les résines de type gel ont une porosité naturelle limitée à des distances intermoléculaires. C'est une structure de type microporeuse.
- ✓ Les résines de types macroporeuses ont une porosité supérieure qui est obtenue en ajoutant une substance adéquate.

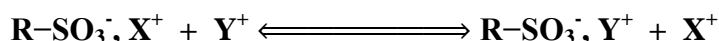
### III.2.4 Différents types des échangeurs d'ions :

Selon la nature des groupements fonctionnels fixés sur le squelette polymérique

#### III.2.4.1 Les résines échangeuses d'ions cationiques :

Les résines cationiques (ou échangeuses de cations) possèdent des groupements fonctionnels de type anionique, ils ont comme vocations de fixer les cations

Les copolymères de base sont activés chimiquement par greffage de radicaux sulfonique ( $-\text{SO}_3^-$ ) ou carboxylique ( $-\text{CO}_2^-$ ) pour les échangeurs de cations, azotés ( $-\text{NR}_2$ ,  $-\text{NR}_3^+$ ,  $-\text{NR}_2\text{R}'^+$ ,  $-\text{NRH}_2^+$ ) ou soufré ( $-\text{SH}$ ) pour les échangeurs d'anions, [40].



#### ✓ Les échangeurs de cations fortement acides :

Ce sont des échangeurs de cations sulfoniques ou carboxyliques fortement acides [23].

Ils sont obtenus par le traitement de billes chimiquement inertes de polystyrène à l'aide d'acide sulfurique ou sulfochlorique concentré, on en obtient un sulfonâtes de polystyrène réticulé.

#### ✓ Les échangeurs de cations faiblement acides :

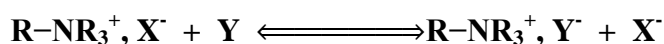
Ceux-ci sont obtenus par l'hydrolyse d'un squelette polyacrylique tel que le polyacrylate de méthyle ou de poly acrylonitrile [23].

### III.2.4.2 Les résines échangeuses d'ions anioniques :

Les résines anioniques (ou échangeuses d'ions) possèdent des groupements fonctionnels de type cationiques, ils fixent les anions. Ainsi, ce sont des échangeurs basiques qu'on classe en deux catégories :

- ✓ Les résines échangeuses d'ions dont la chaîne polymérique est polystyréniques, obtenues par le traitement de polystyrène réticulé avec l'éther chlorométhyle-méthyle ( $\text{CH}_2\text{Cl-O-CH}_3$ ) en milieu anhydre et en présence du catalyseur  $\text{AlCl}_3$  [23]. Le chlore du groupe chlorométhyle peut être remplacé par une amine. On obtient ainsi un échangeur d'anions plus ou moins fortement basique selon le réactif aminé choisi.
- ✓ Les résines Echangeurs d'anions dont le squelette est polyacrylique, sont préparées à partir d'un ester acrylique et de divinylbenzène copolymérisés en suspension avec un catalyseur d'activation par radical libre.

Les résines anioniques, un contre ion  $\text{X}^-$  est toujours présent dans l'eau d'hydratation de la résine et c'est lui qui sera échangé avec un anion de la solution suivant la réaction, [40] :



### III.3 Régénération des échangeurs d'ions :

L'échangeur d'ions est pratiquement saturé en ions et est en équilibre avec la concentration de ces ions dans la solution influente. La régénération est effectuée par percolation d'une solution concentrée des autres ions soit dans le même sens de saturation (régénération à co-courant), soit en sens contraire (régénération à contre-courant).

#### III.3.1 Régénération à co-courant :

Au cours de cette opération, la solution concentrée d'ions A' est d'abord mis au contact de couches d'échangeur d'ions saturé en B', qui vont être chassés de la résine ; ces ions B' sont ensuite transportés vers des couches d'échangeurs d'ions qui sont dans.

Un état de moindre saturation et ils retrouvent alors des conditions favorables à leur fixation ; ce sont donc principalement des ions A' restant dans les couches basses de la colonne qui sont élués au début de la régénération.

Enfin, si la quantité de régénération est limitée, les ions B' ne sont pas totalement élués de l'échangeur d'ions et les couches inférieures ne sont pas parfaitement régénérées .

Il apparait donc que, pour une bonne régénération de l'échangeur d'ions, il est pratiquement nécessaire de faire intervenir une quantité de régénérant A' double du rapport stœchiométrique

### III.3.2 régénération à contre-courant :

Les phénomènes sont différents lorsqu'on injecte les réactifs de régénération de bas en haut ; en effet, dans ce cas, les ions A' concentrent d'abord des couches de résine peu concentrées en ions B' dont l'élution se fait donc dans de bonnes conditions ; de plus, dans les couches supérieures saturées, les ions B' ne peuvent pas se fixer. Deux avantages importants du principe de régénération à contre-courant doivent être soulignés :

- amélioration du rendement et par conséquent diminution des consommations de réactifs à capacité utile égale.
- amélioration de la qualité de l'eau traitée, les couches de sortie étant régénérées avec un fort excès de réactif.

### III.4 Mise en œuvre de l'échange d'ions

Le procédé d'échange ionique peut être accompli par deux méthodes qui sont en batch ou en colonne.

#### III.4.1 Méthode en batch :

La résine et la solution sont mélangées dans un réservoir et soumises à une agitation. La concentration à l'équilibre dépend des conditions initiales telles que la concentration initiale dans la solution et la sélectivité du matériau [41]

#### III.4.2 Méthode en colonne :

La méthode en colonne consiste à mettre une certaine quantité de résine dans une colonne et injecter la solution à traiter à l'une de ces extrémités, l'écoulement peut être réalisé à contre ou à co-courant,

c'est la technique du lit fixe. Par contre la technique du lit mobile consiste à injecter la résine à contre-courant de la solution.

### III.5 les étapes de régénération :

La procédure générale de régénération d'une colonne d'échange d'ions est la suivante :

- Détasser le lit de résine par soulèvement hydraulique (Co-courant seulement !) afin d'éliminer les matières en suspension accumulées à la surface du lit de résine.
- Injecter le régénérant dilué dans de l'eau de qualité appropriée. Le passage du régénérant se fait à débit faible, de sorte que le temps d'injection est de 20 à 40 minutes en général.
- Déplacer le régénérant avec de l'eau de dilution au même débit.
- Rincer le lit de résine avec de l'eau brute jusqu'à obtention de la qualité d'eau traitée souhaitée.

### III.6 Les caractéristiques de l'échangeur d'ions :

- **La capacité :**

C'est la masse des ions susceptible d'être fixés par l'unité de volume (exceptionnellement

de masse) de l'échange considéré. On distingue.

- **Capacité totale :**

La capacité totale d'un échantillon de résine est le nombre de sites (groupes actifs) où l'échange d'ions peut se produire. C'est donc la quantité théorique maximale d'ions que la résine peut fixer.

- **Capacité utile :**

Également appelée capacité opératoire, ou capacité travaillée, c'est le nombre de sites où l'échange s'est effectivement produit pendant la phase de saturation. C'est aussi le nombre de charges électriques des ions fixés mais pas le nombre de ces ions, car certains de ceux-ci peuvent avoir plus d'une charge.

- **La densité :**

La densité est un paramètre important car elle conditionne le comportement hydraulique de la résine dans la colonne [42]. La densité de chaque résine, s'inscrit dans les fourchettes suivantes [43]:

- ✓ Echangeur de cations fortement acides 1.18-1.38.
- ✓ Echangeur de cations faiblement acides 1.13-1.20.
- ✓ Echangeur d'anions fortement basiques 1.07-1.12.
- ✓ Echangeur d'anions faiblement basiques 1.02-1.10.

- **Stabilité:**

Les résines doivent assurer une longue période de service. Il existe plusieurs mécanismes qui peuvent dégrader les résines [42]:

- ✓ Oxydation du milieu
- ✓ Température
- ✓ Sollicitations mécaniques
- ✓ Tensions induites par la différence de taille entre les ions échangés

La stabilité des résines tant celle du squelette que du groupe actif.

### III.7 Déminéralisation par échangeurs d'ions :

#### III.7.1 La déminéralisation :

Les eaux très chargées en sels minéraux dissous peuvent présenter des inconvénients dans certains usages. Ainsi, on est souvent appelé à éliminer totalement ou partiellement certains ions gênants  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  (dureté) :  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  (alcalinité) ou  $\text{SO}_4^{2-}$  (agressivité) . L'échange d'ions est également utilisé pour épurer certains effluents, Trois procédés d'élimination partielle ou totale des sels dans l'eau.

##### III.7.1.1 Déminéralisation partielle :

Ce traitement s'effectue à l'aide de résines cationiques fortes et anioniques faibles disposées en lits séparés, c'est-à-dire dans un appareil à double colonne. Ce procédé a l'inconvénient de laisser



dans l'eau traitée (après passage sur les deux colonnes) des acides carboniques et silicotique [44].

### III.7.1.2 Déminéralisation totale :

Ce traitement s'effectue cette fois à l'aide de résines cationiques fortes et anioniques fortes disposées en lits séparés (double colonne). La première colonne étant garnie de résines cationiques fortes (régénération à l'acide-cycle H), l'autre colonne recevant les résines anioniques fortes (régénération à la soude-cycle OH). Lors du passage de l'eau brute sur les résines cationiques fortes, les cations sont retenus et il ne subsiste plus dans l'eau percolée que les acides et les sels présents initialement. L'eau traversant les résines anioniques fortes, il est retenu à la fois les anions forts et les anions faibles, y compris l'acide carbonique et la silice. Ce procédé retenant tous les sels donne une eau totalement déminéralisée [44].

### III.7.1.3 Déminéralisation totale (à lits mélangés) :

Ce procédé diffère essentiellement du procédé B (lits séparés) du fait qu'il se compose d'une seule colonne garnie de résines cationiques fortes et anioniques fortes, mélangées dans des proportions appropriées au traitement ou à la minéralisation de l'eau à traiter. On obtient par ce procédé une eau de très grande pureté [44].

## III.8 Quelques définitions préalables [45]:

- **TH** : caractérise la dureté (concentration en ions alcalinoterreux dans l'eau). On distingue le TH total, teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , du TH calcique, teneur en  $\text{Ca}^{2+}$ .
- **Dureté carbonatée et non carbonatée** : la dureté carbonatée correspond à la partie de la dureté totale chimiquement équivalente à la quantité des carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). La dureté non carbonatée (dureté permanente), correspond la somme des ions calcium et magnésium liés aux sulfates, aux chlorures et aux nitrates.
- **TA**: détermine la teneur en hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) et la moitié de celle en carbonates.
- **TAC**: détermine la teneur en carbonates, bicarbonates et hydroxydes. L'ensemble de paramètres s'expriment en degré français ( $^{\circ}\text{F}$ ), en milliéquivalent par litre (meq/l) ou en mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ , avec les correspondances suivantes :  $1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l} = 0,2 \text{ meq/l}$
- **SAF**: titre en sels d'acides forts Il représente la somme des anions forts : chlorure, nitrite, nitrate, sulfate, sulfite, phosphate. Cette mesure est faite après traitement de l'eau par une résine échangeuse de cations ; les sels sont alors transformés en acides que l'on dose en présence d'hélianthine.

## III.9 Calculs d'une installation de déminéralisation :

Les éléments suivants sont, en principe, nécessaires et suffisants au calcul des volumes de résine.

- Débit horaire (Q, en m<sup>3</sup>).
- Temps de fonctionnement, 1 cycle (TF, en heures).
- Volume total d'eau à traiter (V, en m<sup>3</sup>).
- SAF (Sels d'Acides Forts) de l'eau "brute ", en °F/litre d'eau.
- TAC de l'eau brute, en °F/litre.
- Teneur en silice (SiO<sub>2</sub>), en °F/litre.
- Capacité d'échange de la résine (CE, en °F/litre de résine).

❖ **Echangeur d'anions.**

VR<sub>A</sub> (volume de résine anionique), en litres.

- Résine faiblement basique (Af) :

$$V = Q \times TF$$

$$VR_{Af} = [V \times SAF] / CE$$

- Résine fortement basique (AF) :

$$V = Q \times TF$$

$$VR_{AF} = [V \times (SAF + TAC + SiO_2)] / CE$$

❖ **Echangeur de cations**

la salinité totale de référence s'obtient en additionnant TAC et SAF,

VR<sub>C</sub>: volume de résine cationique, en litres.

- **Résine fortement acide (CF) :**

$$V = Q \times TF,$$

$$VR_C = [(V \times (TAC+SAF))] / CE$$

### III.10 Contrôle et entretien d'un poste de déminéralisation : [46]

#### III.10.1 Contrôle du traitement

Les contrôles sont effectués sur un poste de déminéralisation comportent essentiellement les mesures suivantes :

- Conductivité (ou résistivité).
- Concentration en silice.
- Eventuellement dureté.
- Concentration en sodium.
- pH.

La fiabilité maximale est obtenue par des contrôles continus automatiques, en particulier pour la conductivité, la silice, et le pH.

### III.10.2 Désinfection des résines

On rencontre parfois des difficultés d'exploitation dues à la présence de micro-organismes :

- Colmatage du lit par envahissement de colonies bactériennes (spécialement avec les résines carboxyliques).
- Empoisonnement interne des pores de la résine (spécialement avec les échangeurs d'anion.

Les remèdes, qu'il ne faut surtout appliquer qu'après consultation d'un spécialiste, sont de deux sortes :

- Préventifs, par chloration préalable, continue ou discontinue, de l'eau brute,
- Curatifs, par désinfection de la couche de résine, soit au formol, soit avec une solution d'un produit à base d'ammoniums quaternaires, soit avec une saumure à 200 g/l en NaCl, alcalinisée à pH 12 à l'aide de soude.

### III.10.3 Stockage des résines :

#### a)- Dans leur emballage d'origine :

- **Protection contre la déshydratation** : il faut conserver les résines dans leur emballage intact à l'abri du soleil et à une température n'excédant pas **40 °C**. Vérifier périodiquement l'étanchéité des emballages, maintenir l'humidité de la résine si les emballages ont été ouverts, en aspergeant de l'eau si nécessaire, avant de refermer.
- **Protection contre le gel** : on peut soit stocker dans un local hors gel, soit traiter les résines avec une saumure saturée.

#### b)- Dans une installation :

- **Protection contre la déshydratation** : maintenir les colonnes remplies d'eau en permanence.
- **Protection contre le gel** : remplacer l'eau par une saumure saturée qui assure une protection jusqu'à une température de -17 °C. Pour des températures inférieures, utiliser un mélange eau/glycol dans une proportion appropriée.
- **Protection contre les développements bactériens** : avant la mise à l'arrêt, il convient d'éliminer les matières en suspension par un lavage prolongé à contre-courant. Les résines cationiques et anioniques doivent être conservées à l'état saturé, c'est également pour les résines anioniques, un moyen d'éviter l'hydrolyse des groupes fortement basiques en groupes faiblement basiques et en groupes non

ioniques, ce qui entraîne des pertes de capacité. La solution consistant à remplir l'installation avec une saumure (titrant au minimum 200 g/l) est également efficace, elle constitue en outre, une solution contre le gelet l'hydrolysé.

*Chapitre IV*  
*Présentation de la*  
*centrale*  
*thermique de Cap Djinet*

## IV.1 Introduction

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 Boumerdes. 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 m<sup>3</sup>/h de débit. En ce qui concerne l'investissement globale de la centrale, celui-ci s'élève à deux mille cinq millions de dinars (2 500 000 000 DA).

## IV.2 Historique : [47]

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

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 :

- **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.**

### IV.3 Légende du cycle eau-vapeur :

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

### IV.4 Caractéristiques techniques de la centrale : [47]

#### IV.4.1 Combustible :

Le combustible principal utilisé dans les chaudières est le gaz naturel de HASSI-R'MEL, acheminé par gazoduc. Un débit de 16 000 m<sup>3</sup>/h de gaz est nécessaire pour assurer la pleine charge des quatre groupes.

En cas d'indisponibilité, le secteur est assuré par du fuel « oil domestique » à l'aide d'un dispositif d'alimentation composé de deux réservoirs de 10 000 m<sup>3</sup> pour chacun.

#### IV.4.2 Générateur de vapeur :

Il a pour rôle de transformer l'eau à haute pression pour alimenter le groupe turbo-alternateur. 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).

#### **IV.4.3 Turbine à vapeur :**

C'est l'élément le plus cher et le plus essentiel dans la centrale. 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.

#### **IV.4.4 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.

#### **IV.4.5 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.

#### **IV.4.6 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 bêche alimentaire (dégazeur).

#### **IV.4.7 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. Sous une pression de 3 bars, en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction.

#### **IV.4.8 Evacuation d'énergie :**

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

#### **IV.4.9 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.

### **IV.5 Technologies de traitement de l'eau de mer au niveau de la centrale :**

#### **IV.5.1 Prétraitement :**

Il est généralement nécessaire pour les centrales électriques se trouvant en bord de la mer, ce qui est le cas pour la centrale thermique de Cap Djinet, une filtration qui est faite au niveau de la station de pompage par un ensemble de dégrilleurs 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.

#### **IV.5.2 Station de pompage : [42]**

L'eau est prélevée de la mer méditerranéenne à 7 m de profondeur, la prise de cette dernière se trouve à 900 m de la côte, son arrivée à la station de pompage se fait par trois tubes en béton résistants à l'eau de mer de diamètre 2.70 m, la filtration mécanique d'eau prise par deux étapes :

- La première filtration (Dégrillage).
- La deuxième filtration (tamisage).

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

Entre les voies sont disposées les chambres d'aspiration, les deux chambres extérieures servent à l'alimentation de l'installation de dessalement d'eau de mer par les pompes de 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.

#### **IV.5.3 Filtration de l'eau de mer :**

Un filtre d'eau est composé d'un système de filtration qui vise à séparer l'eau des particules solides (résidus) en la faisant passer à travers un milieu poreux, ce qui ne laisse passer que les liquides et les particules solides plus fines que les trous du filtre (porosité). L'eau qui ressort de ce système de filtration est débarrassée des particules solides plus grosses que les pores du filtre.

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 (Figure IV.1), [42].

#### **IV.5.4 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 débris. Le débit d'eau dans cette étape est 12 500 m<sup>3</sup>/h.

#### **IV.5.5 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 débris 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.

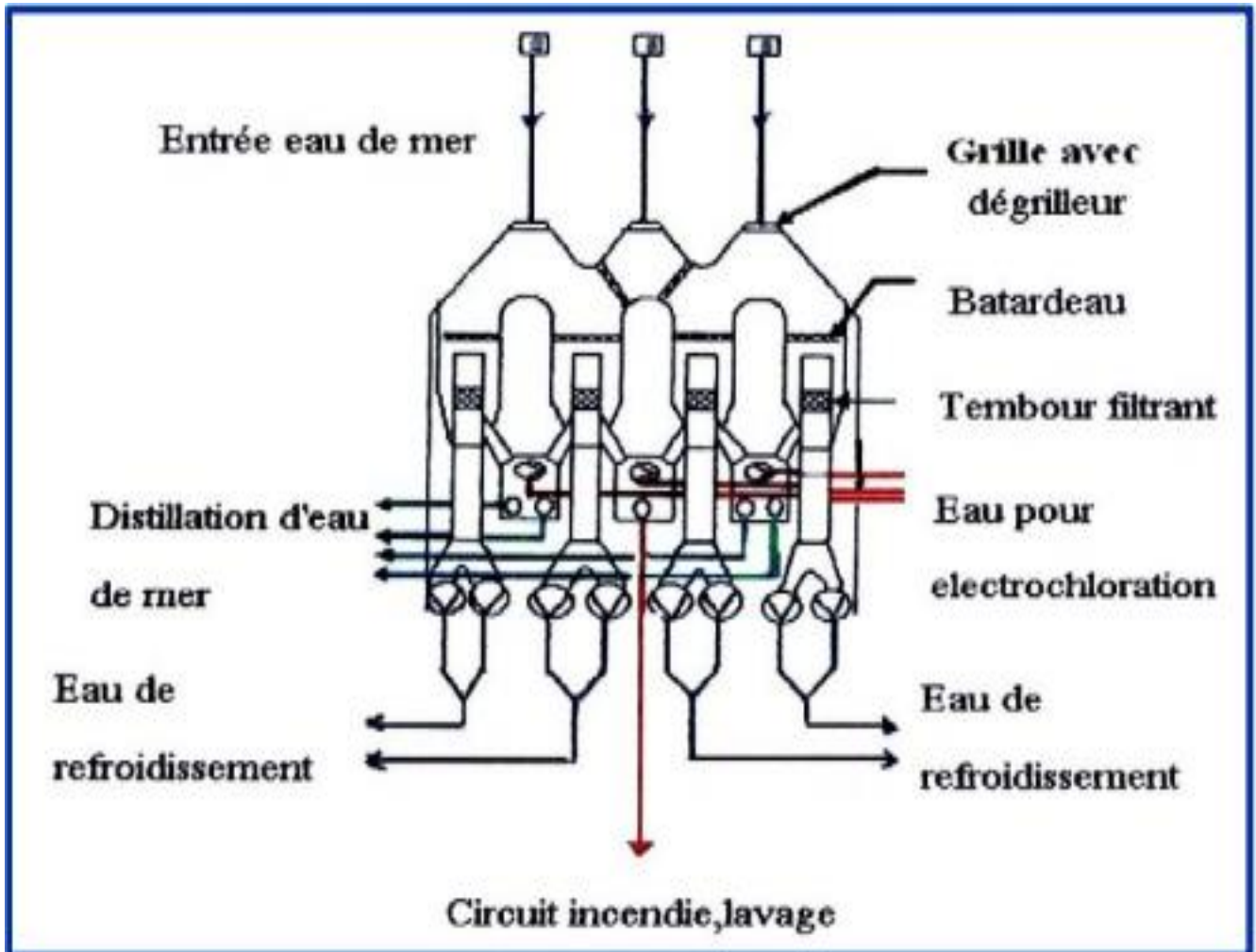


Figure IV.1 : Installation de filtration d'eau de mer au niveau de la centrale.

#### IV.6 La chloration :

##### IV.6.1 Définition de l'électro chloration :

L'électro chloration est une technique qui permet la production in situ d'une solution diluée d'hypochlorite de sodium à partir d'une solution de chlorure de sodium (eau de mer ou saumure).

##### IV.6.2 Le principe de l'électro chloration :

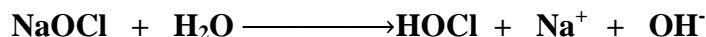
Le principe de l'électro chloration fait appel aux lois classiques de l'électrolyse de solutions salines diluées. En effet, lorsqu'on fait passer un courant continu aux deux bornes des électrodes plongées dans une solution salée (eau de mer), on observe une réaction chimique au niveau de chaque électrode.

Ce procédé se déroule dans un électrolyseur industriel en solution aqueuse ou possédant des

selsissous qui donnent aux ions la possibilité d'un échange entre les deux électrodes.

#### IV.6.3 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 :



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

#### IV.6.4 Description de l'installation d'électro chloration : [48]

L'installation est prévue pour produire  $2 \times 150$  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 (figure n°3) :

- 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.

#### IV.7 L'installation de dessalement MSF :

La plupart des procédés utilisés impliquent l'évaporation puis la condensation de la vapeur résultante. Le procédé de dessalement le plus répandu est la distillation multi flash. l'eau est chauffée, puis pompée dans des réservoirs à basse pression, où elle se vaporise brutalement (flash). Après plusieurs flashes successifs, la vapeur condensée est récupérée et donne de l'eau pure. Les besoins journaliers en eau dessalée de la centrale thermique sont de l'ordre de  $1100 \text{ m}^3$ . L'installation comprend quatre unités (Figure IV.2) 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  $500 \text{ m}^3$  d'eau dessalée par jour qui est stockée dans deux réservoirs de  $2700 \text{ m}^3$ , [50].

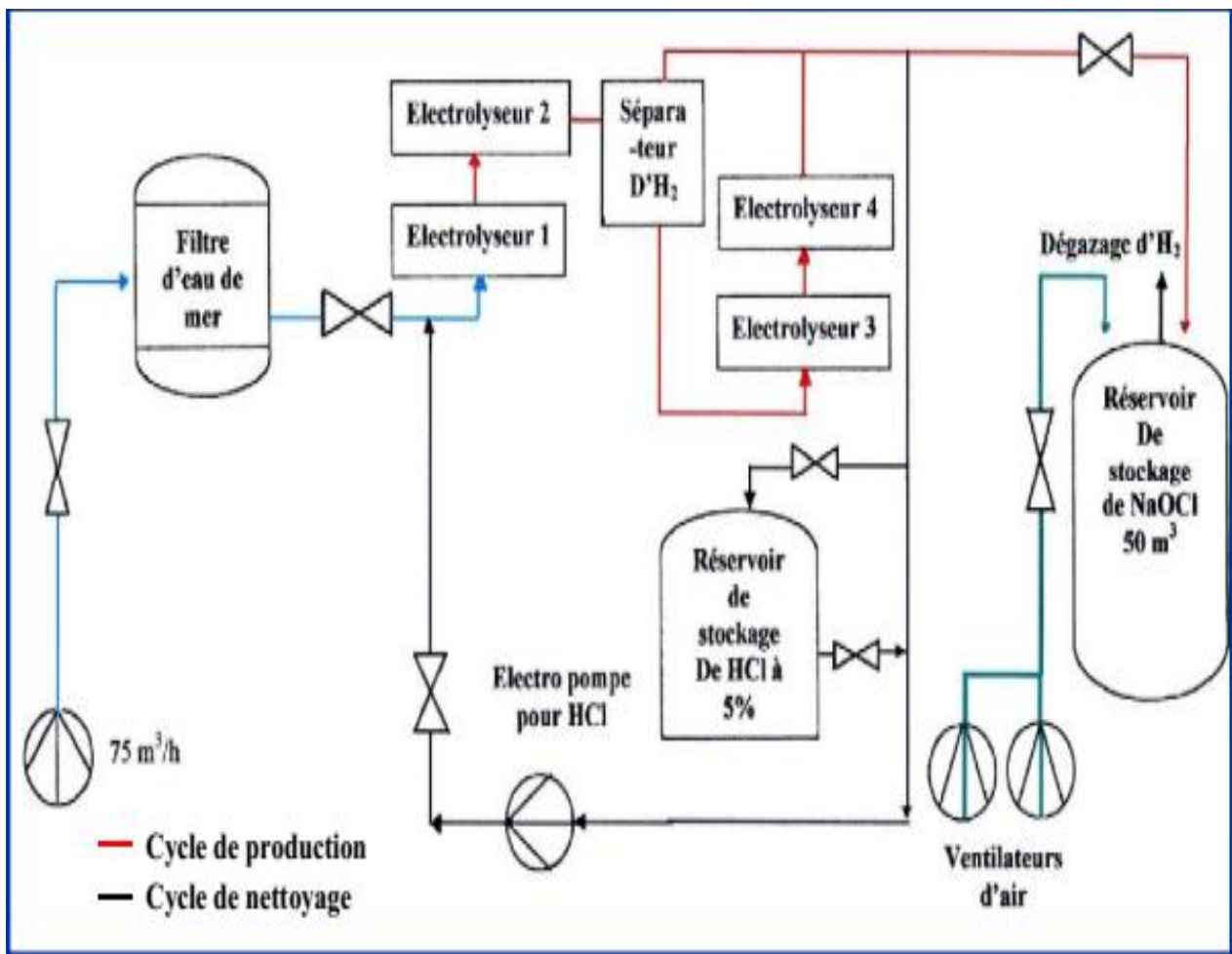


Figure IV.2: Schéma simplifié de l'installation d'Électro chloration.

#### IV.7.1 Les différents organes de l'installation : [50]

##### IV.7.1.1 L'évaporateur :

L'évaporateur de détente a de multiples étages :

- 3 étages pour la dissipation de chaleur.
- 15 étages pour la récupération de chaleur.

Les surfaces des séparateurs d'évaporation et d'humidité sont calculées pour obtenir les vitesses de vapeur les meilleures possibles tout en réduisant au maximum l'entraînement de saumure.

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.

Toutes les caractéristiques de fonctionnement, de construction et les matériaux sont indiqués par les richesses de spécification.

**IV.7.1.2 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 m<sup>3</sup>/h (coté enveloppe).

Il est caractérisé par :

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

**IV.7.1.3 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 m<sup>3</sup>/h**

## IV.7.1.4 Les pompes :

## a)- Les pompes de traitement :

Tableau IV.1: Caractéristiques principales des pompes centrifuges de traitement.

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

## b)- Les pompes d'éjection :

Tableau IV.2: Caractéristiques techniques des pompes d'éjection.

Caractéristique Fonctionnelle	Pompe d'éjection de Vapeur	Pompe d'éjection de L'eau
Quantité (kg)	68,900	130,000
Température d'entrée (°C)	30	78,6
Aspiration des étages	14 et 18	2, 4, 5 et 13
Pression d'entrée (bars)	0,0747	0,143
Pression de sortie	1,0133 atm	0,073 bars
Capacité (kg/h)	2,95	Max 15,8

## IV.7.2 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].

**IV.7.2.1 Protection contre l'entartage :**

Les dépôts de tarte se forment sur les surfaces du matériel de dessalement. La présence de tartre entraîne inmanquablement des difficultés d'exploitation et/ou de perte de rendement, [5].

Afin de minimiser l'entartage des tubes, La centrale dispose d'instrument d'injection du Belgard EVN à 3,5 mg/l.

**IV.7.2.2 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, [5].

Une partie de cette mousse peut arriver au distillat et le rendre inutilisable. Dans ce cas, le produit chimique commercial préconisé (Belite M33 à 0.1 mg /l) peut être dissout et dosé avec l'inhibiteur d'incrustation, [49].

**IV.7.2.3 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  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  dans l'eau de mer servant d'eau d'alimentation, ce qui neutralise le chlore. Le bisulfite de sodium réduit le chlore dans l'eau comme suit :

**IV.7.3 Données techniques: [49]**

**Tableau IV.3:** Caractéristiques techniques de l'installation de dessalement MSF.

Données techniques	
Production de distillat ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	20,83 - 25,00
Impureté du distillat ( $\text{mg/l}$ )	Inférieur à 15
Température maximum de saumure ( $^{\circ}\text{C}$ )	83 – 91
Quantité d'eau de mer ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	239 – 256
Salinité maximale de l'eau de mer ( $\text{mg/l}$ )	39400
Salinité maximale dans la saumure ( $\text{mg/l}$ )	65300
Débit de recirculation ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	239 – 256
Débit de saumure ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	31– 37
Débit d'eau d'alimentation ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	52– 62
Matières consommables	
Inhibiteur d'incrustation	BELGARD EVN
▪ Taux de dosage ( $\text{mg/l}$ )	▪ 3,8 - 5,8
▪ Consommation ( $\text{kg/h}$ )	▪ 0,2 - 0,36
Produit anti – mousse	BELITE M33
▪ Dosage saisonnier ( $\text{mg/l}$ )	▪ 0,1 - 1,0
▪ Consommation ( $\text{g/l}$ )	▪ 26
Mazout ( $\text{kg/h}$ )	202– 250
Gaz de chauffage ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	242 - 300 ( $15^{\circ}\text{C}$ - 1,0 bar)

#### IV.7.4 Description de l'installation : [49]

La pompe d'eau de mer (figure IV.3), refoule le liquide à travers les condenseurs en passant par les filtres. Une partie de l'eau de mer est dérivée avant d'entrer à la chambre d'eau du 18<sup>ème</sup> étage d'évaporateur pour crier les vides et refroidir le système de recirculation de l'aspiration d'air. L'eau réchauffer, provenant des étages de dissipation de chaleur **16**, **17** et **18**, sera retournée à la mer. D'abord une partie de l'eau de mer chaude sera dérivée à la sortie de l'étage **16** pour être amenée au procédé comme eau d'alimentation, elle remplace la saumure. Ensuite elle est dégazée dans le **18<sup>ème</sup>** étage d'évaporation par le vide se trouvant dans celui-ci, pour écouler ensuite dans la tuyauterie coté aspiration de la pompe de recirculation où elle sera mélangée par le réservoir de produitschimique.

La saumure de recirculation est refoulée à travers le faisceau de tubes du condenseur des



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

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

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

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

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

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

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

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

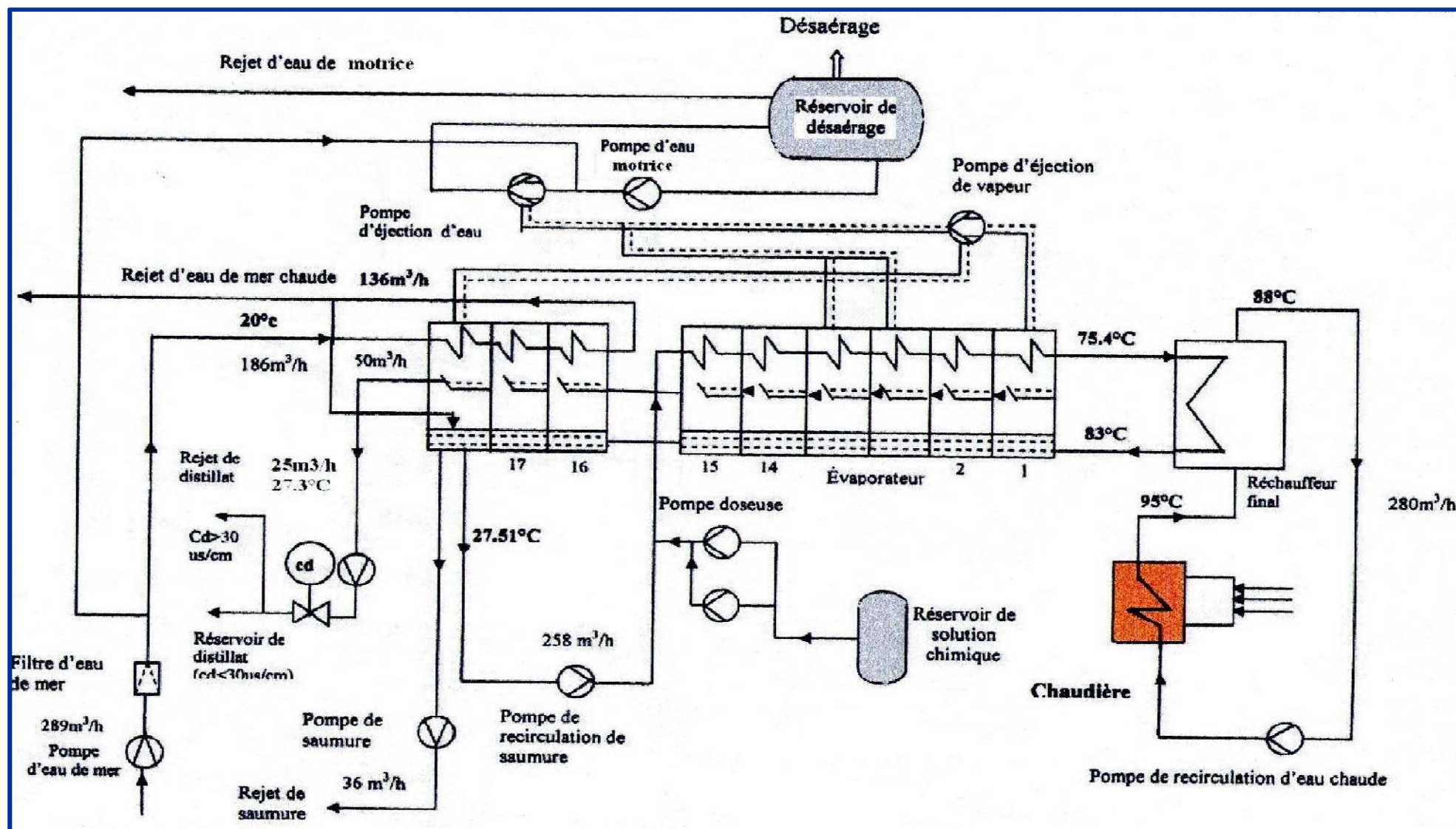


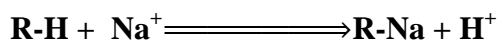
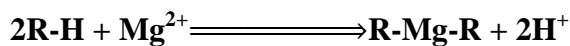
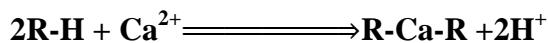
Figure IV.3 : Installation de dessalement de la centrale thermique de Cap Djinet.

#### IV.8 Description du procédé de déminéralisation :

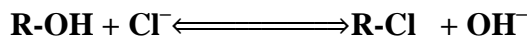
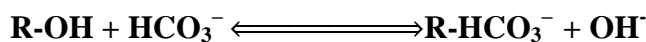
Le distillat de la station de dessalement de l'eau va être pompée vers la station de déminéralisation pour être refoulé vers les lits mélangés .Un filtre à lits mélangés comprend le mélange d'échangeurs cationique et les échangeurs anioniques

- Le traitement sur lits mélangés constitue l'étape ultime de la chaîne de déminéralisation et permet d'obtenir une eau de conductivité extrêmement faible, inférieure à 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- L'eau à déminéraliser s'écoule de haute en bas à travers les résines cationique comme le présente les réactions suivantes:

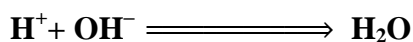
Considérons tout d'abord une simple chaîne de déminéralisation comprenant un échangeur de cations fort sous forme  $\text{H}^+$ , et un échangeur d'anions fort sous forme  $\text{OH}^-$ . La première étape est une décationisation semblable à celle que nous venons de voir



Dans la seconde étape, tous les anions sont éliminés par la résine fortement basique



Et finalement, les ions  $\text{H}^+$  créés dans la première étape réagissent avec les ions  $\text{OH}^-$  de la seconde étape, pour produire de nouvelles molécules d'eau. Cette réaction est irréversible:



L'eau déminéralisée est envoyée vers les deux réservoirs de stockage de capacité unitaire de 1500  $\text{m}^3$ . On injecte dans la conduite d'arrivée de deux réservoirs de stockage de l'ammoniaque  $\text{NH}_4\text{OH}$  pour relever la valeur du pH de l'eau déminéralisée à environ 9,5. Une fois que les résines sont saturées il y a lieu de procéder à la régénération.

### IV.8.1 La régénération :

Si à la sortie des filtres à lits mélangés, la conductivité est importante (supérieure à  $0,1\mu\text{Scm}$ ) 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 appel à la régénération.

➤ **Principe : [44]**

La régénération permet une réactivation des résines saturées. Elle consiste à effectuer un rinçage des résines anioniques et cationiques, par deux solutions :

- Solution de HCl concentrée à 5%.
- Solution de NaOH concentrée à 5%.

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

- Si la conductivité à la sortie des lits mélangés est supérieure à  $0,1\mu\text{s/cm}$ .
- Si la silice  $\text{SiO}_2$  est supérieure à  $0,02\text{mg/l}$ .
- Si la différence de pression entre l'entrée et la sortie des lits mélangés est supérieure à 1,5 bars.
- Après un fonctionnement continu de 4 semaines.

### IV.8.2 La neutralisation : [51]

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

Les solutions conduites à la neutralisation viennent :

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

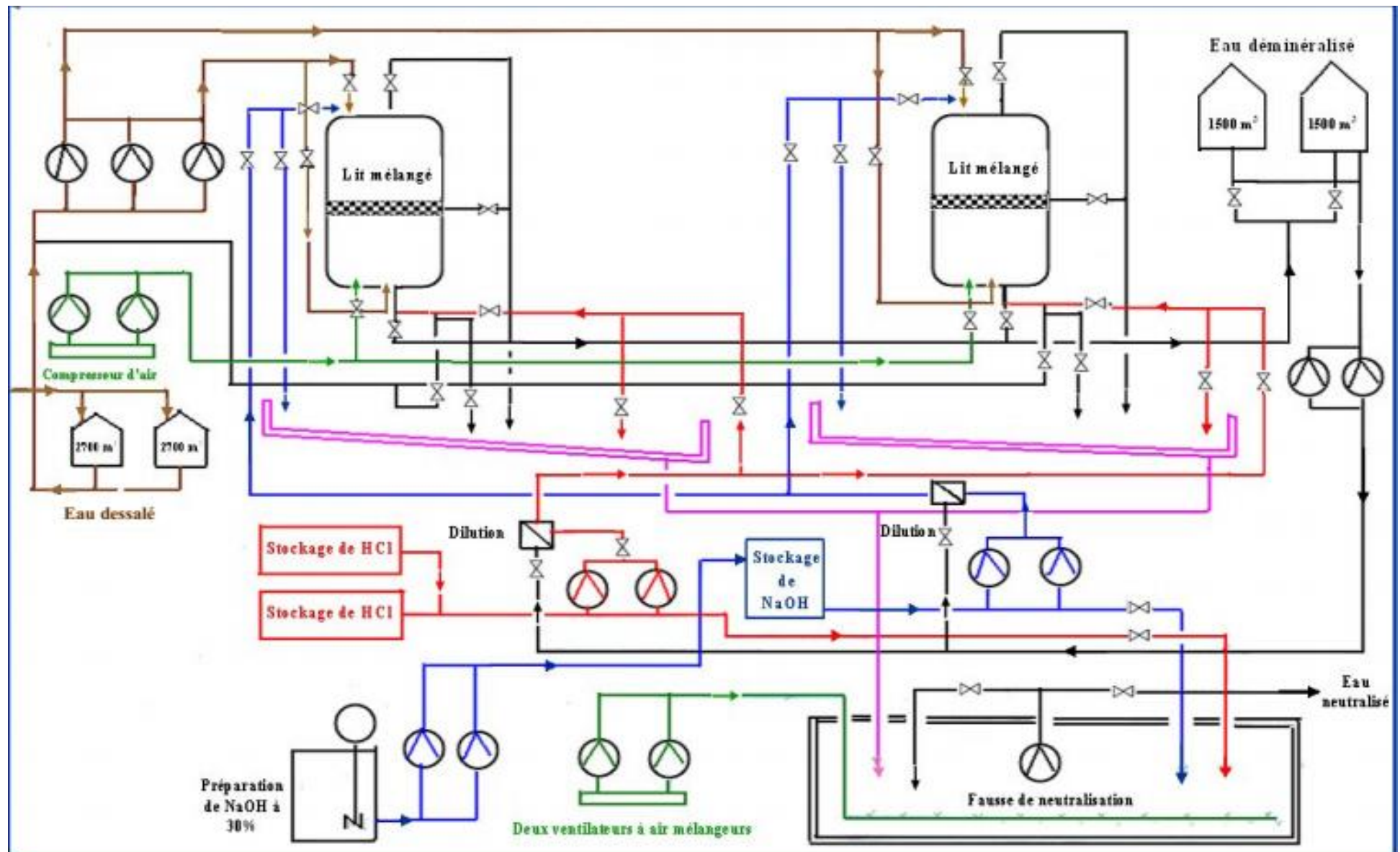


Figure IV.4 : Installation de déminéralisation de la centrale thermique de Cap Djinet.

### IV.9 Les besoins en eau d'alimentation de cycle eau-vapeur :

L'importance des opérations de traitement de l'eau de mer qui s'y déroulent est prédominante pour le bon fonctionnement du générateur de vapeur et des turbines présentes dans le cycle eau-vapeur, [39].

#### IV.9.1 Le cycle eau-vapeur :

Après dessalement et déminéralisation de l'eau de mer, les pompes d'alimentation de la chaudière (figure IV.5) fournissent à celle-ci la quantité nécessaire d'eau qui va être transformée en vapeur à haute pression et qui va alimenter le groupe turbo-alternateur, [51].

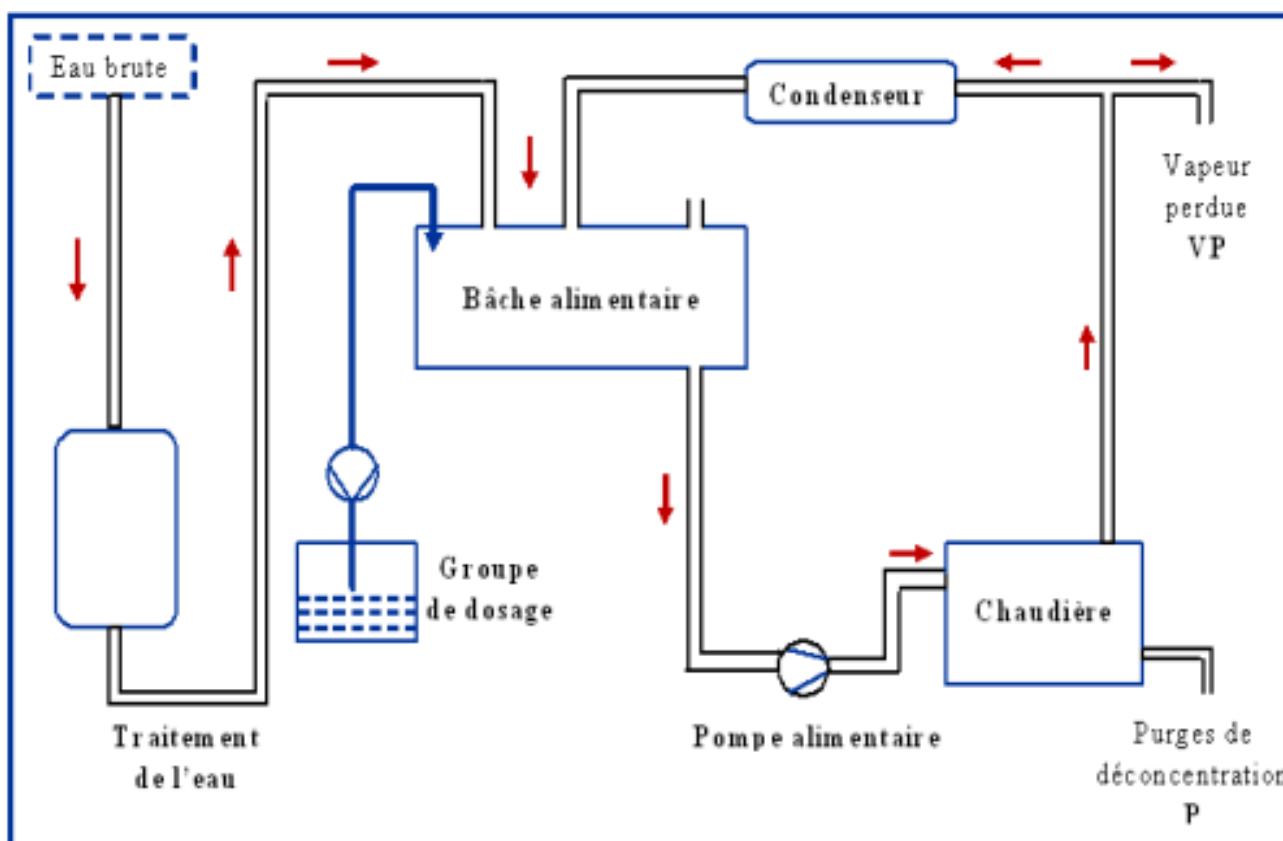


Figure IV.5: Principe de production de vapeur.

#### IV.9.1.1 générateur de vapeur :

##### a)-Principe : [37]

Schématiquement, la chaudière ou le générateur de vapeur est constituée par (figure IV.6) :

- Une capacité renfermant l'eau.
- Un échangeur thermique (tubes d'eau ou tubes de fumées) horizontal ou vertical.
- Une canalisation de départ de vapeur.
- Une canalisation d'arrivée d'eau.
- Une canalisation de purge et de vidange.

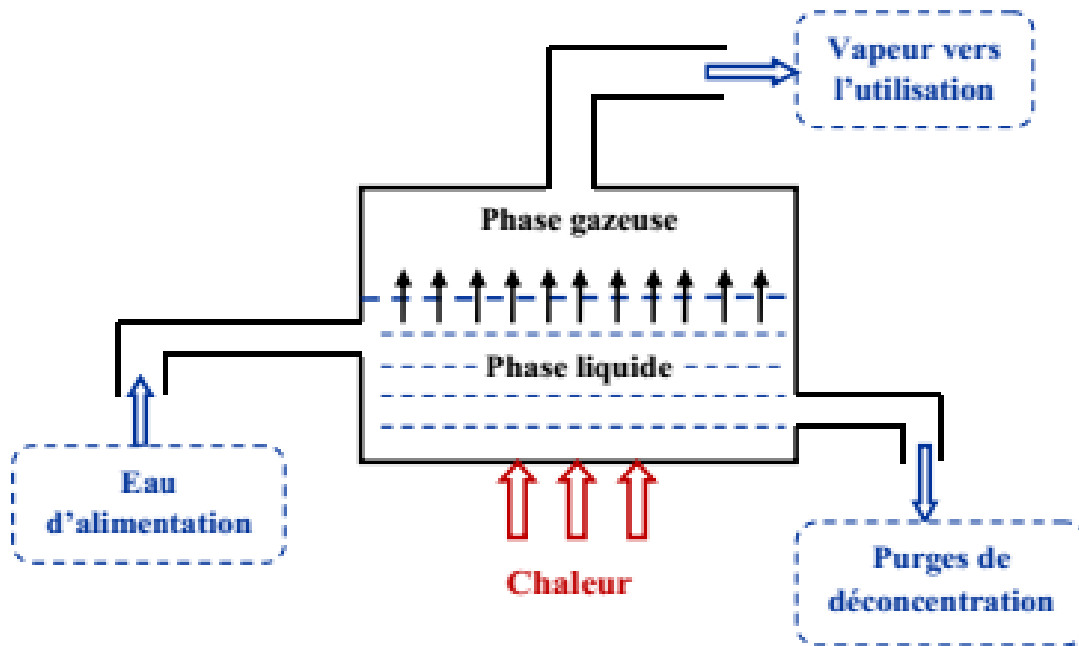


Figure IV.6: Principe d'une chaudière à vapeur

#### IV.9.2 Lutte contre les problèmes de circuit eau-vapeur :

Afin d'éliminer les problèmes de circuit eau-vapeur, des traitements appliqués en chaufferie visent à maintenir dans la chaudière [37] :

- Un pH alcalin (supérieur à 9).
- Un excès de réducteur d'oxygène.
- Une teneur minimale de passivant des surfaces internes.
- Une viscosité (donc une salinité) aussi faible que possible.
- Et chaque fois que l'usage de la vapeur le permet, un pH légèrement alcalin (8,5 à 9) dans la vapeur condensée.

##### IV.9.2.1 Le dégazage :

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

###### - Le dégazage physique :

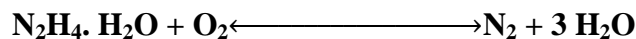
Il se fait à l'aide d'un dégazeur thermique (bâche dégazant). Il présente l'avantage d'éliminer non seulement l'oxygène, mais aussi les autres gaz dissous et particulièrement le gaz carbonique qui est très nocif, [34].

###### - Le dégazage chimique: [46]

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

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

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



#### IV.9.2.2 Injection de l'ammoniac ( $NH_3$ ) : [34]

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

#### IV.9.2.3 Injection de phosphate trisodique ( $Na_3PO_4$ ) : [34]

Il garantit les fonctions suivantes :

- Il contribue, dans le temps de la première mise en marche à limiter l'entraînement de l'oxyde de silicium vers la turbine et à faciliter son élimination par les soupapes de purge.
- En cas de pénétration d'eau de mer, il agit par sa nature basique, contre la réduction de la valeur du pH par hydrolyse des sels de magnésium et calcium.



**Tableau IV.3:** Représente les différents points de dosage de l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et du phosphate de sodium ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ).

Liquide refoulé	Point de dosage
3% $\text{NH}_3$ 97% $\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sur le réservoir de stockage d'eau déminéralisée.</li> <li>• Après les filtres à lits mélangés.</li> </ul>
1% $\text{NH}_3$ 99% $\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Après la pompe du condensat principale</li> </ul>
6% $\text{NH}_3$ 94% $\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avant le réchauffeur final à basse pression.</li> </ul>
1% $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 99% $\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans le ballon de chaudière.</li> </ul>
3% $\text{NH}_3$ 97% $\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circuit d'eau de refroidissement</li> </ul>

#### IV.10 Principe de fonctionnement :

Il est basé sur la transformation d'énergie chimique contenue dans un combustible, en énergie électrique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique et mécanique. Cette transformation s'opère dans divers appareils en utilisant les propriétés physiques de l'eau sous ses diverses formes liquide et vapeur, [47].

En gros, on a trois transformations principales.

- Transformation de l'**énergie chimique** issue du combustible en **énergie calorifique** (dans un générateur de vapeur), qui est la chaleur nécessaire à la vaporisation et à l'augmentation de la température de l'eau.
- L'**énergie calorifique** obtenue est transmise principalement à l'eau sous formes liquide et vapeurs (saturée et surchauffée). La transformation de cette énergie en **énergie mécanique** s'opère dans une turbine à vapeur.
- L'**énergie mécanique** résultant de la deuxième transformation est transmise directement à l'alternateur à travers un accouplement pour la transformer en **énergie électrique**.

##### IV.10.1 Fonctionnement de cycle : [46]

Dans la centrale, l'eau peut être dans un état liquide comme elle peut être dans un état vapeur, et ceci dépend du circuit traversé (Figure IV.7).

La vapeur ayant traversé la turbine (corps **HP**, **MP**, **BP**) se trouve 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. Les pertes seront compensées par des appoints d'eau déminé qui se feront automatiquement à partir de la bêche tampon trouvant à proximité du condenseur.

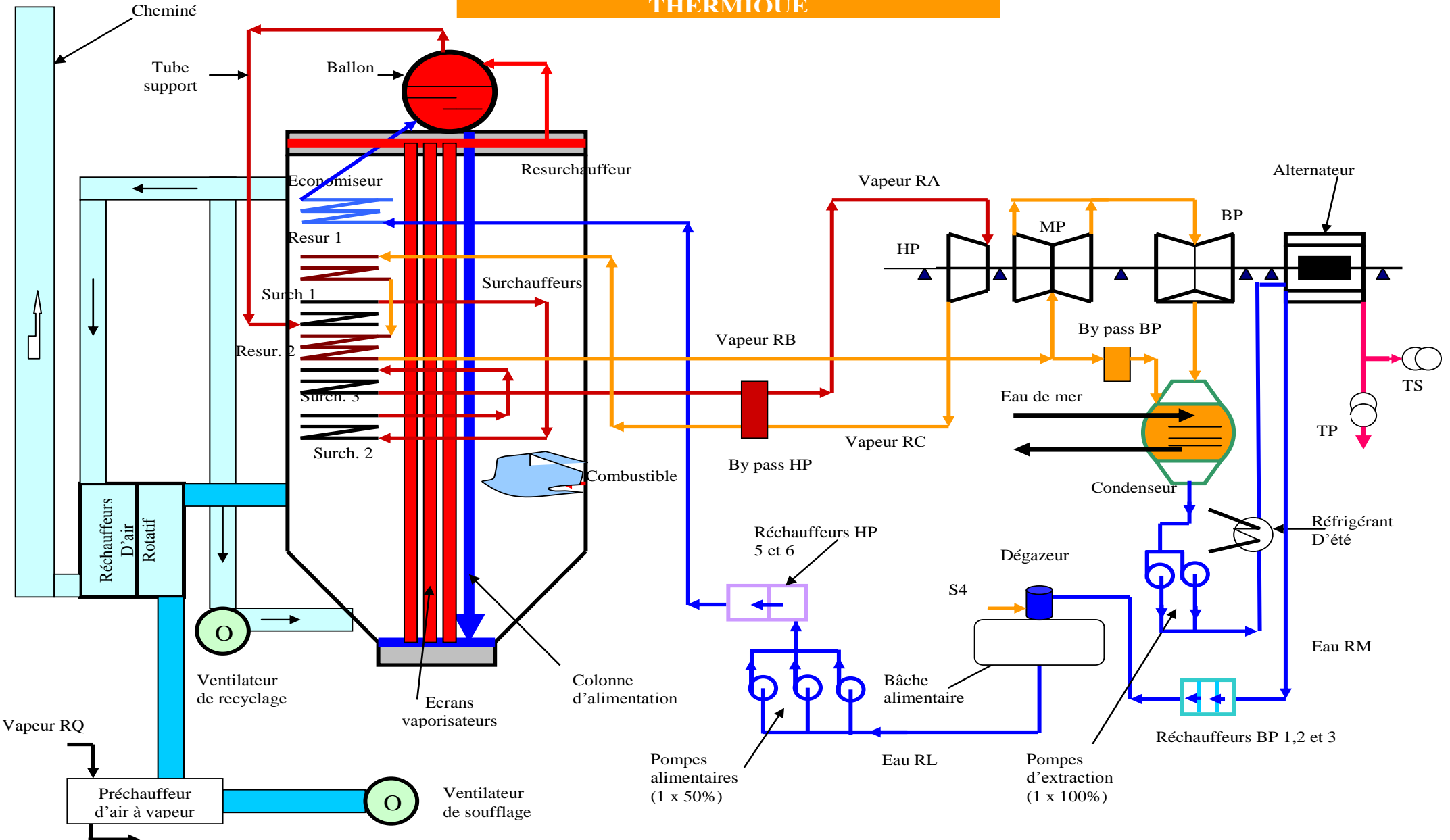
La pompe d'extraction va refouler ce condensat dans les réchauffeurs basse pression (**BP1**, **BP2**, **BP3**) et acheminera l'eau jusqu'à la bêche alimentaire ou elle subira un dégazage physique et autre un réchauffage par mélange. L'eau dégazée et réchauffée à environ **150°C** dans la bêche alimentaire va être reprise par les pompes alimentaires pour alimenter la chaudière en passant à travers les réchauffeurs haute pression (**HP1**, **HP2**) 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 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. 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 les tubes écrans) qui sont directement exposés aux flammes des huit brûleurs disposés sur une des quatre faces de foyer chaudière.

La vapeur saturée produite dans ces tubes 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) pour être acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière. Cette vapeur (contenant des gouttelettes d'eau) devra être séchée avant son admission dans la turbine corps **HP**. 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. Ce dernier sortira de la chaudière avec une pression de **145,7 bars** et une température de **540°C** et elle se dirigera alors vers la turbine corps **HP** ou elle subira une détente pour en ressortir sous forme de vapeur moyenne pression et de température avoisinant les températures de vapeur saturée. Pour cette raison elle sera réintroduite dans la chaudière pour passer à travers les resurchauffeurs N° **1** et **2** ou elle sera resurchauffée.

La vapeur resurchauffée ressortira de la chaudière avec une pression de **35,9 bars** et une température de **535°C**, se dirigera alors vers le corps **MP** de la turbine ou elle subira une autre détente pour en ressortir avec une basse pression et température et aller directement vers le corps **BP** de la turbine ou elle sera soumise à sa dernière détente avant de se retrouver dans le condenseur du groupe et le circuit reprend son cycle.

# SCHEMA SYNOPTIQUE D'UNE TRANCHE THERMIQUE



# *Partie pratique*

### V.1 Introduction :

Après avoir décrit toutes les étapes de fonctionnement de traitement de l'eau de mer présentes dans la centrale thermique de Cap Djinet pour l'alimentation des auxiliaires électriques, on s'est intéressé à l'analyse des paramètres (pH , Conductivité électrique

TH, TAC ,TA ,Silice, Fer , Cuivre Sulfate, phosphate, nitrate Calcium, Magnésium Chlorure) en chaque point de prélèvement **p1,p2 ,p3** ( figure V.I).

- .Le premier concerne l'eau brute, le prélèvement a été effectuer 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 des méthodes de dessalement et de déminéralisation utilisées.

Après le traitement, la saumure au niveau des quatre unités de dessalement est déchargée avec une concentration qui s'avère habituellement double ou pré du double de l'eau de mer .En plus de la concentration élevée des sels, cette eau de décharge contient divers produits chimiques utilisés dans les étapes de prétraitement et du dessalement. Elle est retournée à la mer après dilution avec les eaux de rejets qui abaissent sa concentration en sel à une teneur légèrement supérieure à celle de l'eau de mer en vu de diminuer les impacts et les aspects négatifs directs et indirects sur l'environnement marin (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 effectué des analyses physico-chimiques de la saumure avant et après dilution avec l'eau de refroidissement. Les résultats obtenus peuvent nous renseignés sur les impacts environnementaux.

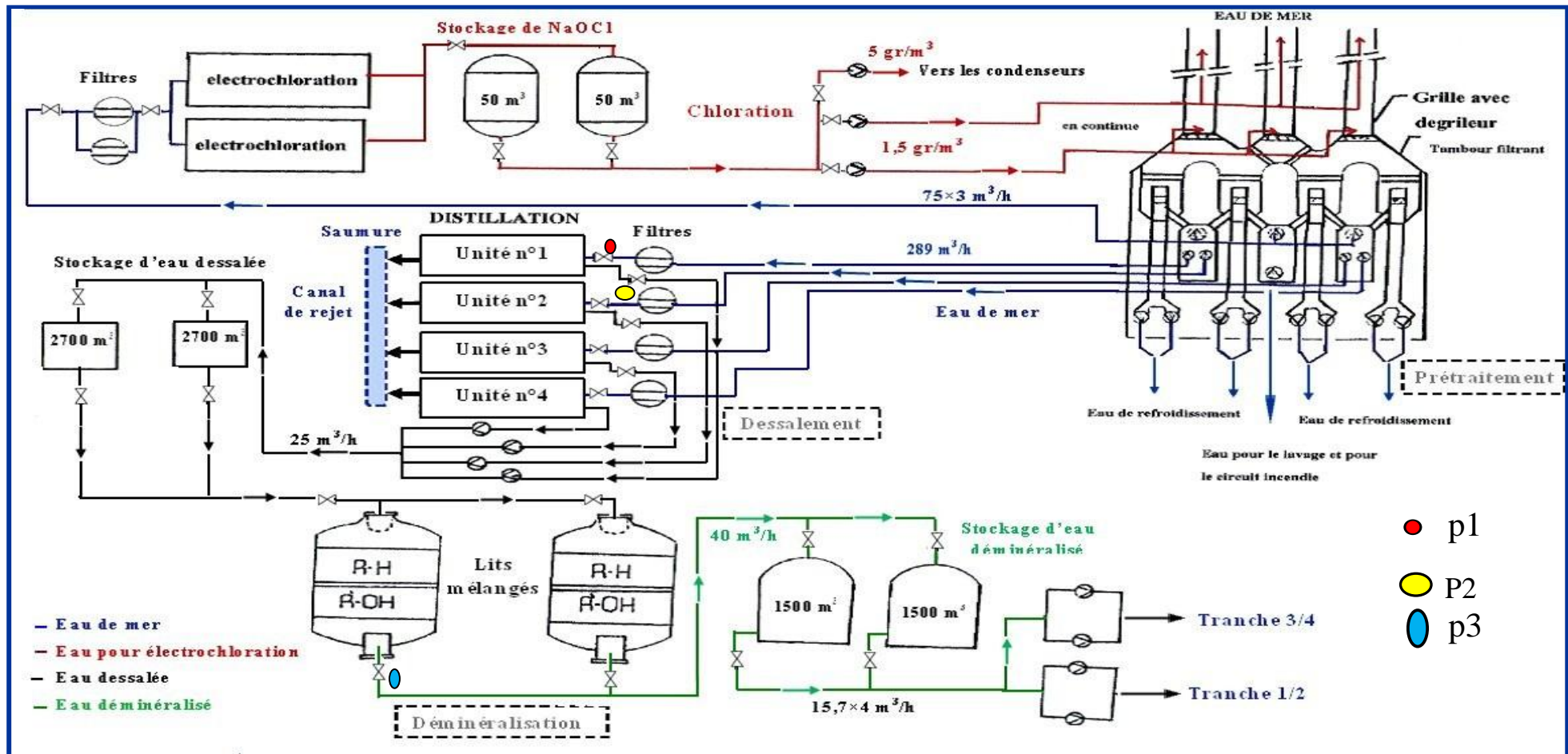


Figure V.1: Schéma générale de traitement de l'eau de mer dans la centrale thermique de Cap Djinet.

## V.2 Méthodes d'analyses :

Le tableau V.1 représente les différentes méthodes d'analyse utilisées au niveau de la centrale thermique.

**Tableau V.1** : Différents méthodes d'analyse utilisées à la centrale.

Paramètres d'analyse	Méthodes d'analyses	Références du matériel
pH	pH mètre	Calomel - KCl saturé
Température	thermomètre à mercure.	Fahrenheit, D. G. (1724)
Conductivité électrique	Conductimètre 1	Modèle: Hanna HI 4510
Turbidité	Turbidimètre	modèle Hanna
Salinité	Conductimètre 2	Modèle:Boi block scientifique WTW LF340
TH	Complexométrie	/
TA	Volumétrie	/
TAC	Volumétrie	/
Silice, Fer, Cuivre Sulfate, phosphate, nitrate	Spectrophotométrie d'adsorption moléculaire (S.A.M)	Modèle :Perkin-Elmer C632-0001
Calcium, Magnesium	Complexométrie	/
Chlorure	Volumétrie	/

## V.3 Les principes des méthodes d'analyse :

Le principe de chaque méthode est donné ci-après, les méthodes complètes et détaillée se trouvent en annexe.

- **Principe de mesuré le pH:** la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé) plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'acidité des ions  $H^+$ .
- **Principe de mesuré la Température :** la température est mesurée à l'aide d'un thermomètre.
- **Principe de mesuré la conductivité :** mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles
- **Principe de mesuré la Salinité :** la mesure de la salinité se fait à l'aide d'un



Conductimètre), pour connaître la concentration en sel.

- **Principe de mesuré la turbidité** : pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.
- **Principe de mesuré la Dureté totale (TH)** : les ions des éléments alcalino-terreux présente dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel dis sodique de l'acide éthylène diamine tétracétique à pH=10.

La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions du calcium et du magnésium.

- **Principe de mesuré TA, TAC** : ces détermination sont basée sur la neutralisation d'un Certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré .
- **Principe de mesuré la concentration de chlorures** : les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.
- **Principe de mesuré la concentration de sulfates** : les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum qui est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à  $\lambda = 650 \text{ nm}$ .
- **Principe de mesuré la concentration de phosphate**: en milieu acide et en présence du molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique.
- **Principe de mesuré de concentration de nitrite**: Les ions nitrites réagissent en milieu acide (**pH= 4,9**) avec le réactif amino – 4 benzène sulfonamide ( $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$ ) en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque donnant un complexe de coloration rose avec le dichlorhydrate de N-(naphty1-1) diamino-1,2 éthane ( $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$ ) qui est dosé par spectrométrie à la longueur d'onde  $\lambda = 540 \text{ nm}$ .

### VI.1 Résultats d'analyse des eaux avant et après traitement :

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer, l'eau dessalée et l'eau déminéralisée des trois essais ainsi que leurs teneurs moyennes sont récapitulés dans le tableau VI.1

**Tableau VI.1:** Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer.

Paramètres d'analyses	Unités	Eau de mer			
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy
		24/02/22	24/02/22	24/02/22	
		9:00	12:30	2:00	
pH	-	7,82	7,79	7,84	7,81
Température	°C	22,52	22,65	22,72	22,63
Conductivité	µs/cm	54 500	55 900	55 100	55166,66
Salinité	mg/l	38750,41	39825,30	38812,44	39129,38
Turbidité	NTU	0,336	0,365	0,315	0,338
TH	°F	730	780	750	753,33
THCa <sup>2+</sup>	mg/l	420,84	480,90	460,92	454,24
THMg <sup>2+</sup>	mg/l	1550,16	1625,04	1564,08	1579,75
TA	°F	00	00	00	00
TAC	°F	13,5	12	13	12,83
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	00	00	00	00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	164,7	146,4	158,6	156,56
Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	19 800	21 600	20 400	20 600
Sodium (Na <sup>+</sup> )	mg/l	12285	12051	11928	12088
Potassium (K <sup>+</sup> )	mg/l	421	425	416	420,66
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	3190	3250	3060	3166,66
Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/l	0,41	0,47	0,40	0,42
Nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	00	00	00	00
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	00	00	00	00
Fer (Fe <sup>3+</sup> )	mg/l	0,056	-	-	0,056
Cuivre (Cu <sup>2+</sup> )	mg/l	0,003	-	-	0,003
Silice (SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	0,16	0,14	0,17	0,15

Tableau VI.2 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau dessalée et l'eau déminéralisée.

Paramètres d'analyses	Unités	Eau dessalée					Eau déminéralisée				
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy	Norme	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy	Norme
		02/03/22	03/03/22	06/03/22			07/03/22	08/03/22	09/03/22		
		10:15	10:00	10:00	11:15	11:30	11:00				
Ph	-	7,80	7,47	7,42	7,56	7-8	7,40	7,24	7,26	7,30	7.5
Température	°C	25,8	26,62	27,60	26,67	/	23,24	22,92	23,52	23,22	/
Conductivité	µs/cm	12,14	10,24	12,06	11,48	<30	0,07	0,05	0,04	0,053	<0.1
Salinité	mg/l	14,93	13,92	15,11	14,65	/	0,09	0,06	0,06	0,07	/
Turbidité	NTU	0,435	0,406	0,439	0,426	/	0,285	0,322	0,311	0,306	<0.5
TH	°F	0,8	0,9	0,95	0,88	/	00	00	00	00	00
THCa <sup>2+</sup>	mg/l	1,002	0,751	0,950	0,91	/	00	00	00	00	00
THMg <sup>2+</sup>	mg/l	1,158	1,680	1,585	1,47	/	00	00	00	00	00
TA	°F	00	00	00	00	/	00	00	00	00	00
TAC	°F	1,00	0,75	0,90	0,88	/	00	00	00	00	00
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	00	00	00	00	/	00	00	00	00	00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	12,20	9,15	10,98	10,77	/	00	00	00	00	00
Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	9,20	8,70	8,90	8,93	/	00	00	00	00	00
Sodium (Na <sup>+</sup> )	mg/l	2,83	2,47	2,20	2,50	/	00	00	00	00	00
Potassium (K <sup>+</sup> )	mg/l	0,32	0,27	0,24	0,27	/	00	00	00	00	00
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	3,08	2,57	2,68	2,76	/	00	00	00	00	00
Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/l	0,23	0,20	0,21	0,21	/	00	00	00	00	00
Nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	00	00	00	00	/	00	00	00	00	00
Nitrate(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	00	00	00	00	/	00	00	00	00	00
Fer (Fe <sup>3+</sup> )	mg/l	0,018	-	-	0,018	/	0,0016	-	-	0,0016	00
Cuivre (Cu <sup>2+</sup> )	mg/l	0,045	-	-	0,045	/	0,003	-	-	0,003	00
Silice (SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	0,24	0,21	0,21	0,22	/	0,002	0,002	0,002	0,002	<0.002

L'évolution de chacun des paramètres de suivi du fonctionnement de la centrale est représentée par un histogramme.

**VI.2 Les histogrammes :**

**1. Le pH :**

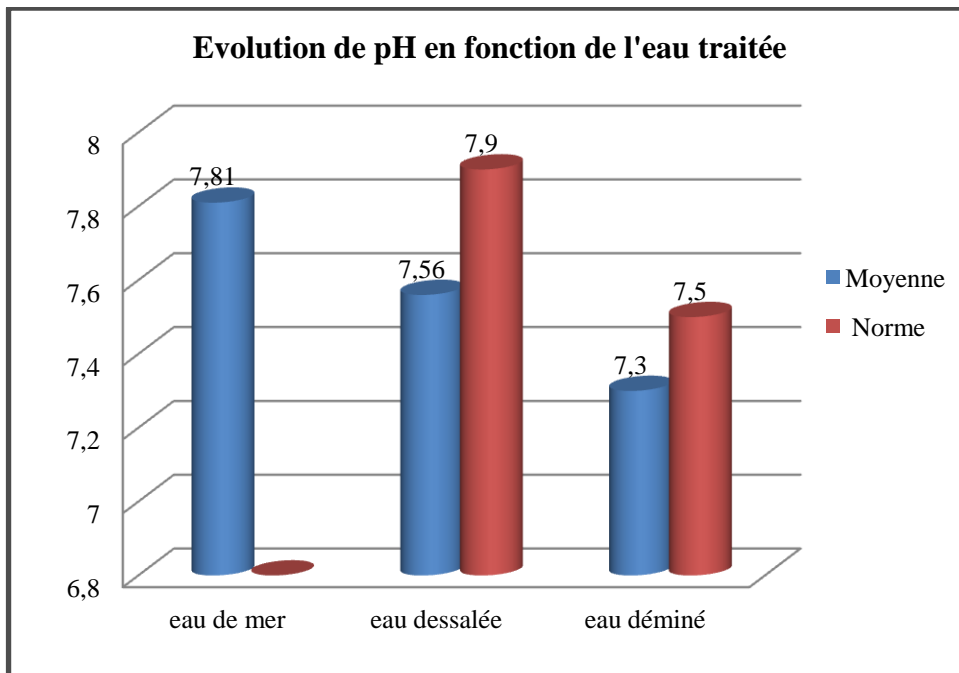


Figure VI.1 : l'évolution du pH.

**2. La température :**

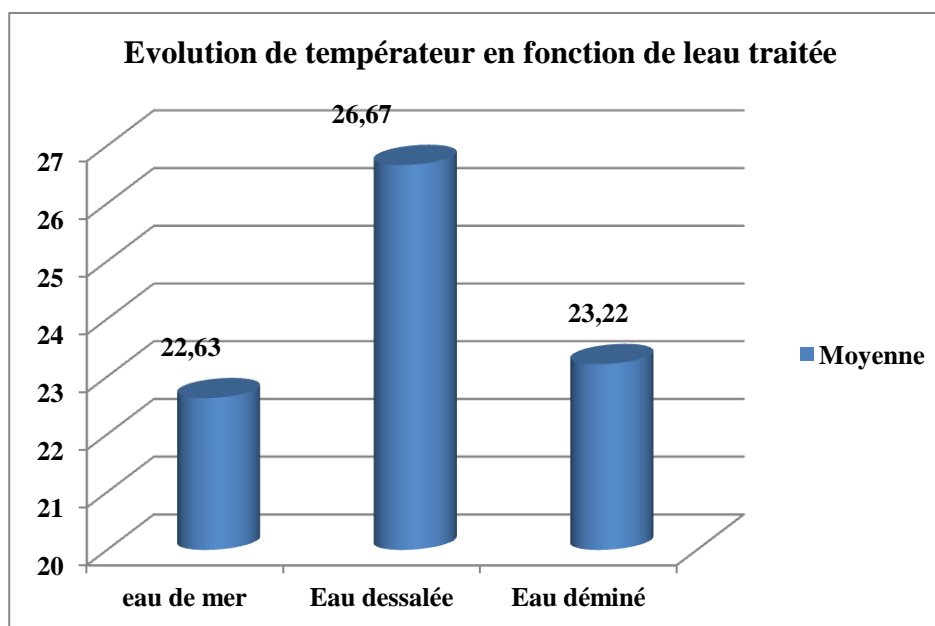


Figure VI.2 : l'évolution de la température.

3. La conductivité :

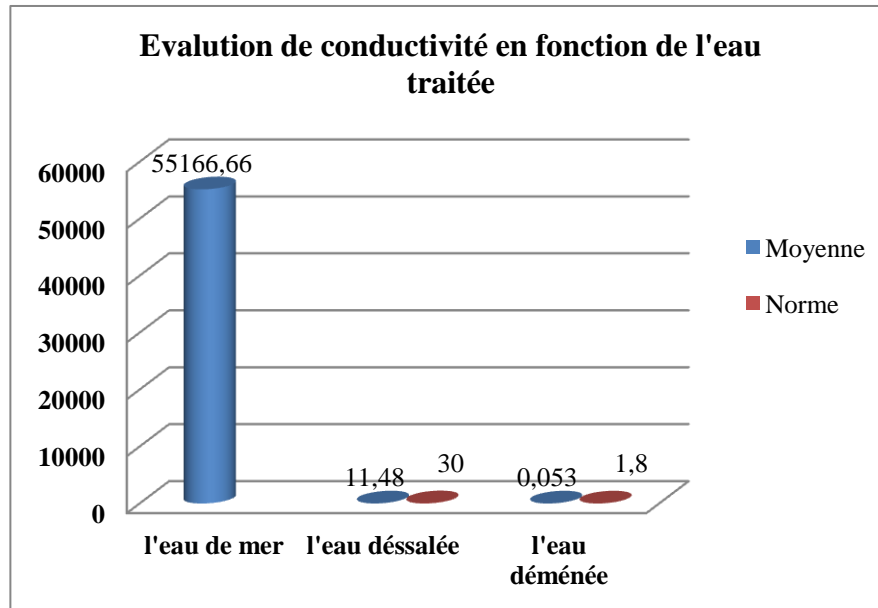


Figure VI.3 : Evolution de la conductivité .

4. La salinité :

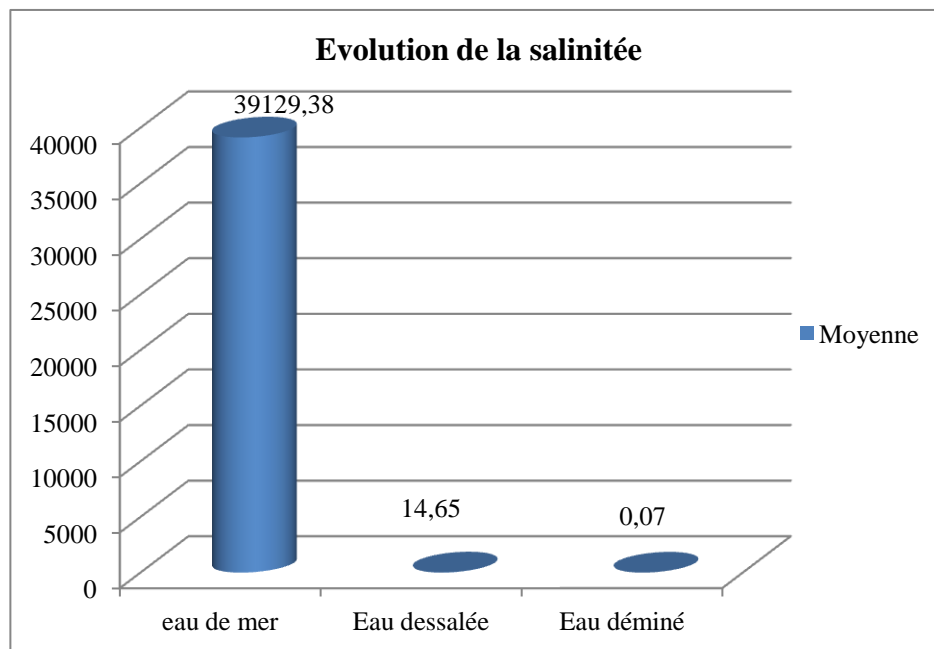


Figure VI.4 : Evolution de la salinité.

5. La turbidité :

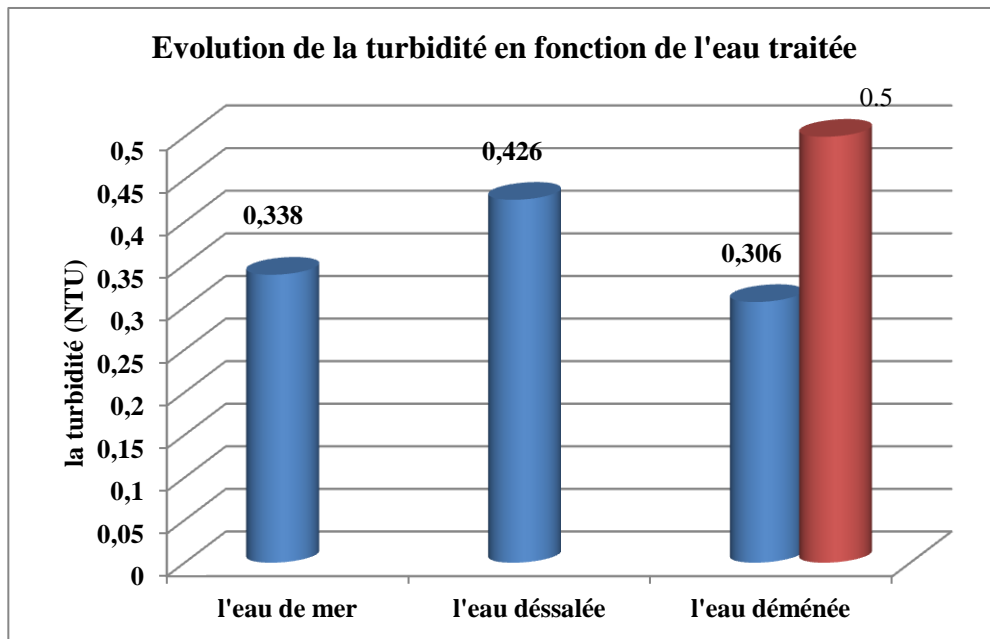


Figure VI.5 : Evolution de la turbidité.

6. La dureté :

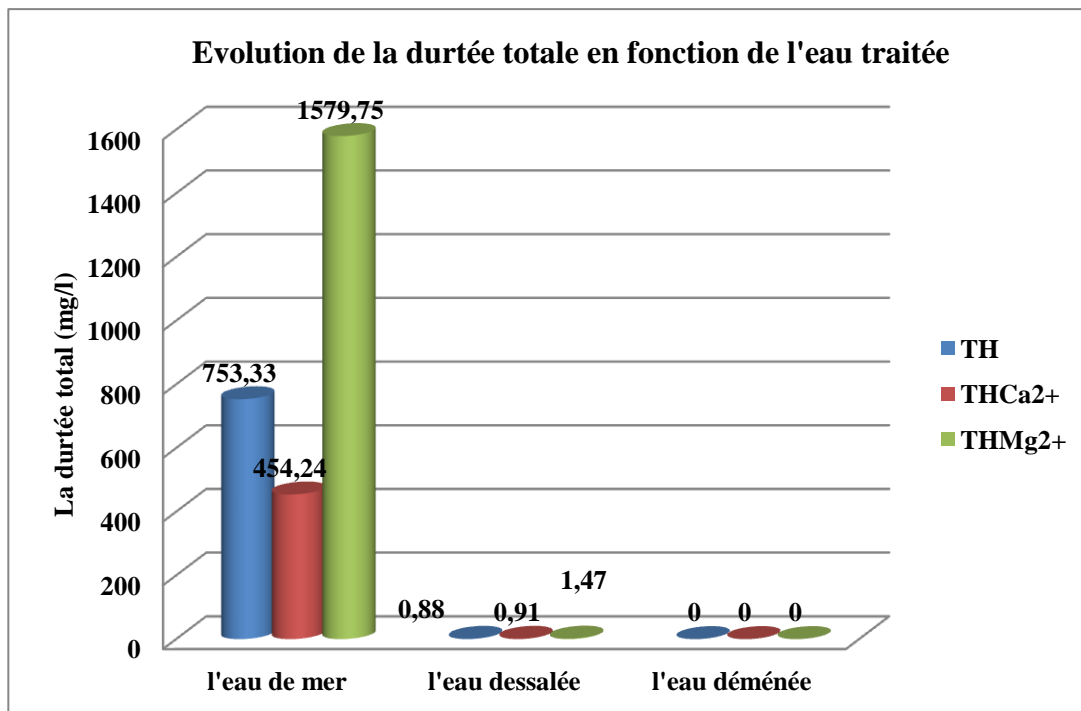


Figure VI.6 : Evolution de la dureté totale.

7. TA et TAC :

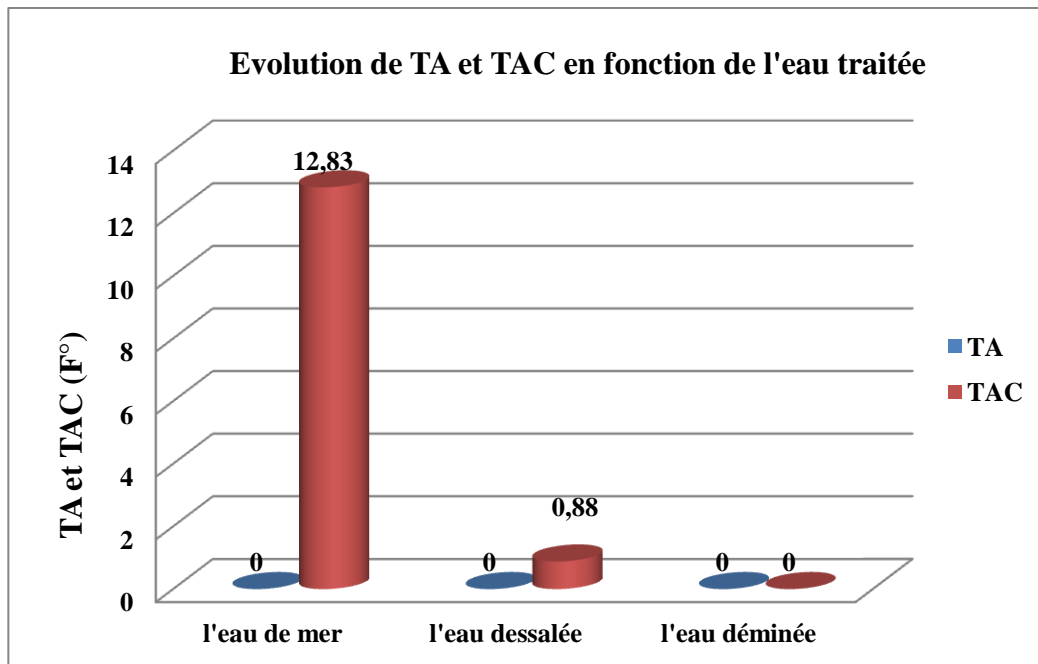


Figure VI.7: Evolution de TA et TAC.

8. Chlorures et sodium :

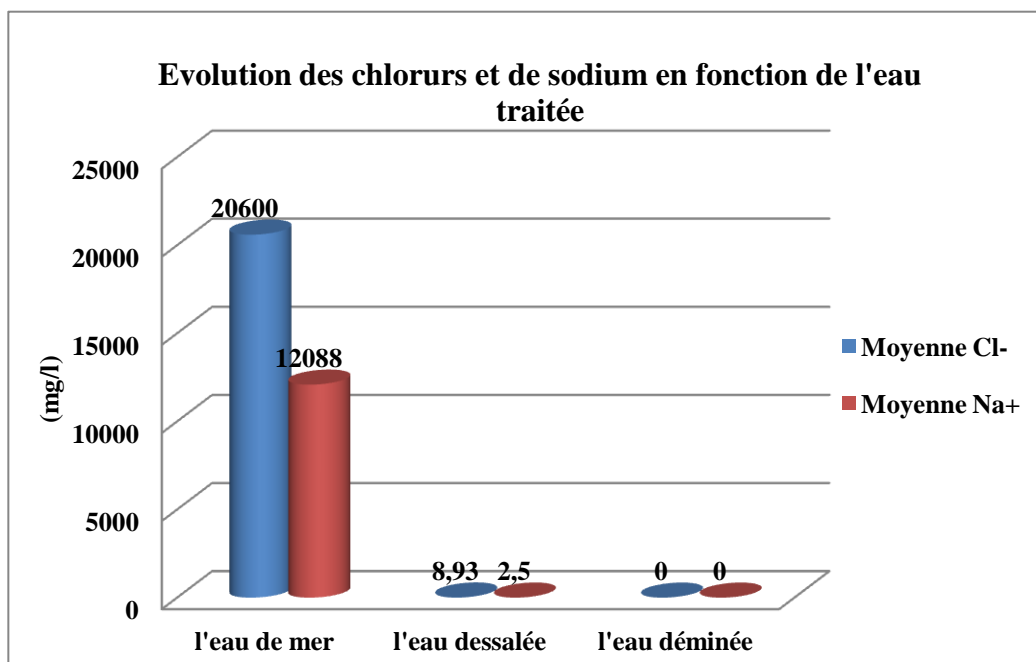


Figure VI.8 : Evolution des chlorures et de sodium.

## 9. Fer, cuivre et silice :

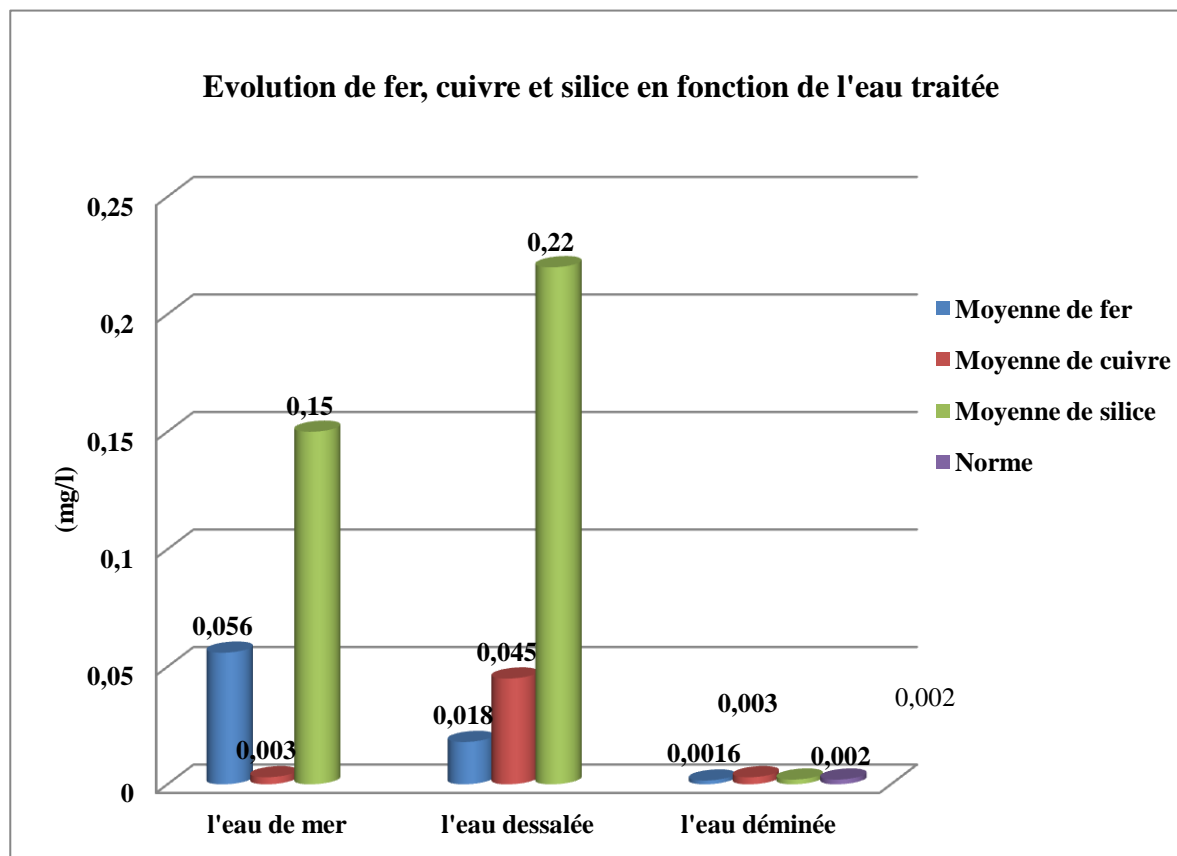


Figure VI.9 : Evolution : de fer, cuivre et silice.

**VI.3 Interprétation des résultats :**

- **Interprétation des résultats de l'eau de mer :**

Le PH d'eau de mer s'approche de la neutralité (7,81).

La conductivité est très élevée (55166,66  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), elle est due à la présence de sels en grande quantité (salinité élevée 39129,38mg/l), la majeure partie de ces sels sont les chlorures (20600 mg/l).

La valeur de TH (titre hydrotimétrique) d'eau de mer est très élevée et donc elle est très dure.

La valeur de TA ne pas élevée et la valeur de TAC très élevée, ce qui explique la présence des alcalins.

L'eau de mer contient également le fer, sodium et potassium en concentrations variables.

- **Interprétation des résultats de l'eau dessalée**

Après la distillation de l'eau de mer, la majeure partie des sels est éliminée (salinité réduite: 14,65mg/l).La conductivité diminue jusqu'à 11,48 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , cette conductivité est inférieure à la norme (30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), et peut donc passer à la déminéralisation.

On constate une diminution de la quantité de fer, sodium et potassium, et une élimination



presque total des ions  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  et les hydroxide et les alcalins.

- **Interprétation des résultats de l'eau déminée :**

La déminéralisation élimine tout les sels contenus dans l'eau dessalée, ce qui justifie une conductivité inférieure à la norme ( $<0,1\mu\text{c}/\text{cm}$ ). De plus l'eau est neutre ( $\text{pH}=7.5$ ).

On remarque que la distillation élimine la majeure partie de leurs teneurs et le reste est éliminé par le lit mélangé. Donc, on peut dire que l'eau traitée est de parfaite qualité, elle est totalement déminéralisée. De ce fait, on peut dire que les deux procédés de traitement des eaux de la centrale, la distillation et la déminéralisation sur lit mélangé fonctionnent très bien et sont donc efficaces.

#### **VI.4 Contrôle de l'impact sur l'environnement :**

##### **VI.4.1 Caractéristiques du rejet liquide avant et après de dessalement :**

Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure avant et après dilution avec l'eau de refroidissement (le tableau VI.3).

- **Interprétation des résultats avant et après la dilution:**

Le pH de la saumure est presque le même que celui de l'eau de mer (8-8,5).

La température ( $25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ne dépassant pas la norme ( $<27$ ). La conductivité de la saumure atteint une valeur maximale ( $86,73\text{ms}/\text{cm}$ ) ce qui est due à l'évaporation de l'eau qui la rend très chargée en sels (salinité  $69479\text{g/l}$ ), tout fois elle ne dépasse pas la norme exigée ( $<120\text{ms}/\text{cm}$ ).

Il faut faire une dilution du rejet de saumure avant le rejet dans la mer afin de répondre aux autres normes exigées (pour protéger la faune et la flore aquatique).

Avant de rejeter la saumure, elle subit une dilution pour diminuer sa conductivité ( $54,75\text{ms}/\text{cm}$ ) vers la conductivité de l'eau de mer.

Les autres paramètres ont la même valeur que l'eau de mer, on peut dire donc qu'il s'agit d'une reconstitution de l'eau de mer.

Cette dilution subit une autre dilution au niveau de canal de rejet qui est à un débit de  $100\,000\text{m}^3/\text{h}$  (eau de refroidissement)

Donc le rejet de saumure n'a pas d'impacts sur l'environnement.

##### **VI.5 Contrôle de l'unité de dessalement :**

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

**Le tableau VI.3 :** Les caractéristiques des différents échantillons d'eau prélevés au niveau de l'unité de dessalement.

Paramètres d'analyses	Unités	Saumure avant dilution					Saumure après dilution				
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy	Norme	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy	Norme
		28/02/22	07/03/22	16/03/22			28/02/22	07/03/22	16/03/22		
PH	-	8,34	8,40	8,41	8,38	8-8.5	7,90	7,60	7,66	7,72	8-8.5
Température	°C	28,38	29,12	28,70	28,7	<27	21,24	22,41	21,85	21,83	20-25
Conductivité	ms/cm	90,40	84,72	85,09	86,73	<120	55,80	54,20	54,26	54,75	<60
Salinité	mg/l	69830	69700	68907	69479	-	41200	40893	40228	40773	-
Turbidité	NTU	0,442	0,492	0,375	0,436	-	0,388	0,442	0,412	0,414	-
TH	°F	1050	1070	1030	1050	-	640	600	630	623,33	-
THCa <sup>2+</sup>	mg/l	701,40	761,52	721,44	728,12	-	400,8	440,88	450,90	430,86	-
THMg <sup>2+</sup>	mg/l	2133,60	2127,48	2059,56	2106,88	-	1327,20	1179,12	1250,10	1252,14	-
TA	°F	2,4	2,9	2,8	2,70	-	00	00	00	00	-
TAC	°F	20,20	19,80	19,60	19,86	-	12,50	12,20	12,40	12,36	-
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	57,60	69,60	67,20	64,80	-	00	00	00	00	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	305,00	312,32	307,44	308,25	-	152,5	148,48	151,28	150,75	-
Cl <sup>-</sup>	mg/l	39100	35600	35400	36700	-	22500	22100	21900	22166	-
Na <sup>+</sup>	mg/l	25520	25195	24978	25221	-	12257	12720	12526	12501	-
K <sup>+</sup>	mg/l	870	840	842	850,66	-	490	486	470	482	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	4560	4900	5010	4823	-	3020	3120	3050	3063	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	0,47	0,45	0,49	0,47	-	0,34	0,29	0,27	0,30	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0	0	0	00	-	0	0	0	00	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0	0	0	00	-	0	0	0	00	-
Fe <sup>3+</sup>	mg/l	0,066	-	-	0,066	-	0,045	-	-	0,045	-
Cu <sup>2+</sup>	mg/l	0,067	-	-	0,067	-	0,010	-	-	0,010	-
SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,20	0,22	0,19	0,20	-	0,14	0,16	0,16	0,15	-

Tableau VI.4 : Les normes d'analyse physico-chimique des différents échantillons.

Echantillon	Mesure	Valeur de consigne Limite	Valeur mesurée
Eau de mer	pH	7,5-7,8	7,81
	Conductivité (ms/cm)	60	55,166
Eau de Chaudière	pH	9	9,03
	Conductivité (ms/cm)	100	93,9
Distillat	pH	5-8	7,56
	Conductivité (ms/cm)	30	11,48
	Cuivre (ppm)	0,15	0,045
Saumure de recirculation	pH	8	8,03
	Conductivité (ms/cm)	112	89,7
	TA (°F)	/	5,032
	TAC (°F)	/	14,05
Rejet de saumure	pH	8	7,72
	Conductivité (ms/cm)	120	54,75
	TA (°F)	/	0
	TAC (°F)	/	0

### VI.5.1 Interprétation des résultats :

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

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

Pour les eaux de chaudière, la valeur mesurée du pH est de 9,03. Cette augmentation est due à l'injection de NH<sub>3</sub> dans les eaux d'alimentation.

Pour la saumure de recirculation, la valeur mesurée est égale à 8,03. Cette simple augmentation est due à l'injection des produits chimiques (antitartre et anti mousse).

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

La conductivité de l'eau de mer est très grande (55,166 ms/cm). Après la distillation, la majeure partie de cette conductivité est éliminée, il ne reste que 11,48 ms/cm dans le distillat. Donc, on peut dire que le procédé est efficace.

La chaudière est alimentée par une eau déminéralisée dont la conductivité est inférieure à 0,6  $\mu\text{s/cm}$ . L'augmentation de cette dernière jusqu'à 93,9  $\mu\text{s/cm}$  est due à l'augmentation de la température (95 °C). Donc, on peut dire que la conductivité devient plus importante lorsque la température augmente.

La conductivité de rejet de saumure (54,75 ms/cm) est inférieure à celle de la saumure de recirculation (89,7 ms/cm), cette diminution est due à la dilution (un appoint d'eau de mer) de la saumure dans la zone de dissipation de chaleur. Lors de l'appoint d'eau de mer, il faut maintenir un certain niveau de la saumure dans l'évaporateur, ce système est muni d'une pompe qui aspire l'excès de la saumure, cet excès est appelé rejet de saumure.

Les mesures de TA et TAC indiquent que la saumure de recirculation et le rejet de saumure contiennent les ions  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ .

Le cuivre est un facteur de corrosion, la cuve du distillat et le condenseur sont fabriqués à base de cuivre et de nickel (Cupronickel,  $\text{CuNi}_{30}\text{Fe}$ ). La valeur du cuivre relevée est inférieure à la valeur limite, ce qui indique que les conduites ne sont pas corrodées.

# *Conclusion générale*

### Conclusion générale

L'étude que nous avons effectuée à la centrale thermique de CAP-DJINET nous a été bénéfique à plus d'un titre, parce qu'elle nous a permis de découvrir l'environnement industriel, et de concrétiser nos connaissances théoriques dans le domaine pratique, et les différents traitements utilisés pour le dessalement, et de mieux apprécier l'exploitation et la gestion des installations de traitement des eaux, et nous initier à une distillation à détente étagées (MSF).

D'après les analyses que nous avons effectuées, on a constaté que l'eau finale est complètement déminéralisée et dégazée et est conforme à une eau d'alimentation d'une chaudière à haute pression et ça revient à la station de déminéralisation qui assure une meilleure production d'eau de plus grande pureté grâce à la technique d'échange d'ion. Chaque effluent a des propriétés qui peuvent se traduire par des impacts sur le milieu marin, et le rejet des effluents combinés peut avoir des effets cumulatifs ou synergiques.

Notons enfin, que malgré les efforts consentis pour le traitement des eaux de chaudières, on s'accorde encore à connaître que les incidents causés par l'eau restent importants tels que l'entartrage et la corrosion, ainsi qu'il convient d'améliorer sans cesse les techniques de traitement et on peut dire que l'utilisation de l'eau comme fluide moteur pour la production d'énergie électrique présente l'avantage d'exploiter un corps très répandu dans la nature non polluant.

*Référence  
bibliographique*

- [1] Ch.Thierry Sibieude. « Les Rouages Economiques de l'environnement : 64 dossiers-clés, 58 cas concrets, 68 schémas, 397 définitions ». Les éditions de l'atelier, Paris-2013.
- [2] S. Nisan. « Dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires ». pdf 2017.
- [3] [http:// www.Culture Sciences, chimie.Ens.Fr/dossiers chimie-société-article dessalement](http://www.Culture_Sciences_chimie.Ens.Fr/dossiers_chimie-société-article_dessalement) 2012.
- [4] Degrémont. « Mémento technique de l'eau ». Edition Paris-1995.
- [5] United Nations Environment Programme – Mediterranean Action Plan MED POL. « Sea Water Desalination in the Mediterranean: Assesment and Guidelines ». Map Technical Raports series No.139, UNEP/MAP, Athens, 2003.
- [6] J.P.Riley, G.Skirrow. « Chemical Oceanography ». Academic Press, 2015.
- [7] Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel – comité des techniques. « Circuits d'eau de mer (traitement et matériaux) ». Edition technip, Paris-1993.
- [8] Jean Rodier et Coll. « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ». 8<sup>ème</sup> édition, Paris 2005.
- [9] R.A. Horne. « Marine chemistry the structure of water and the chemistry of the hydrosphere ».Wiley-Interscience, 1969.
- [10] Détermination des paramètres physico-chimiques et des métaux lourds <http://dspace.univ-tlemcem.dz/bitstreamCHAPITRE04.PDF> 2013
- [11] G. Morvan, « Les techniques de potabilisation de l'eau, dessalination, dessalement,traitement de l'eau saumâtre »,6<sup>ème</sup> édition et documentation 2014
- [12] A.Maurel , « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 2014
- [13] A. Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». 1<sup>ème</sup> édition11, rue Lavoisier, Paris. France. 2013
- [14] F. Vallirone , « Gestion des eaux: alimentation en eau d'assainissement ».2013
- [15] A.BUSHNAK, « Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales », version 2, Projet financé par l'Union européenne.2012
- [16] Y. Mandri, « Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer



- par congélation sur paroi froid ». Thèse de doctorat. génie des procédés, université-Claud bernardlyon1, n°d'ordre : CT12. 2011.
- [17] O.K.Buros, « The ABC'S of Desalting. Published by: International DesalinationAssociation. Topsfield, Massachusetts, USA. Ed. IDA ». 1990.
- [18] Alain Maurel. « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». Edition technique etdocumentation, 2001.
- [19] Nicos X. Tsiourtis. « Desalination and the environment ». Desalination, Vol.141, pp : 223-236,2005.
- [20] Viviane Renaudin. « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres ». CNRS, Nancy,2015.
- [21] S. Taleb. « Contrôle de la qualité d'une eau dessalée ». MEDRC, cours intensifs, 2015.
- [22] Betz laboratoire. « Conditionnement des eaux industrielles ». Québec 1993.
- [23] J.P. Brun. « Procédés de séparation par membranes ». MASSON, 2016.
- [24] D. Bechki « Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes ». Thèse de doctorat en génie mécanique. Université Hadj Lakhdar Batna. ,2014.
- [25] Mandri, Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froid, Thèse de doctorat, génie des procédés, université Claud bernard lyon1, n°d'ordre : CT12, 2011
- [26] A.Atllah, « Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station Honaine ». Mémoire de fin d'étude. Master.Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. 2014.
- [27] Junep/MAP, « Dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes Directrices », MAP Technical Reports Series No. 139, Athens, 2003.
- [28] [http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich8\\_3.htm](http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich8_3.htm) consulté le 2014.
- [29] N.Saber, « l'eau, c'est la vie ». Energie et mines, Avril 2004.
- [30] Loren Beraeth , Isabelle , Audrey Ethique des Affaires master2 « l'eau gratuite c'est fini ? » Grenoble I.A.E. consulté le 2014.
- [31] Dossier thématique-La Cité de la Mer-Technopole Cherbourg-Normandie/Avril 2012.

- [32] Y. Hadji, « Impact des stations de dessalement de l'Eau de mer sur le littoral cas de la station plage El Hilel Ain Ti mouchent ». 2012.
- [33] O. Hamiti, « L'influence des paramètres physico-chimique sur la performance de la station de dessalement». 2010.
- [34] François de Dardel, directeur technique et Rohm and Haas, « Les résines échangeuses d'ions en traitement d'eau potable ». 2013.
- [35] H. Thomas, W.Jens. « Element of environmental impact studies on coastal desalination plants ».Desalination, 2016.
- [36] N. Ghaffour. « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse ».MEDRC, cours intensifs, 2008.
- [37] Best Water Technology, BWT group. « Déminéralisation sur résine (les standards PERMO)»,Service pub PERMO, 2000.
- [38] Degrémont. « Mémento technique de l'eau ». Edition Paris-1978.
- [39] A. Sadi,« le Dessalement, procédé et énergie solaire » . Bulletin des énergies renouvelables 2004.
- [40] Valérie-Laforest, Jacques Bourgois, Robert Hausler. « Traitements physico-chimiques des déchets industriels liquides ». Technique de l'ingénieur, Doc. G2070v2 ,2012
- [41] M.Marthol, comprehensive analytical chemistry,XIV,Elsevier,Sci,Pub, comp,(newYork), 1976
- [42] Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement édition BEIERE. (2008-2009).
- [43] Abdiche Dehiba ,« déminéralisation des eaux par échange ionique », Mémoire PFE en hydraulique, université de Tlemcen. (2005).
- [44] <http://www.lenntech.fr/procedes/adoucissement/adoucissement.htm> consulté le 2013.
- [45] L.Jrmain, I.Colas, j.Rouquet « traitement des eaux destinée à l'alimentation des chaudières à vapeur aux circuit de réfrigération est aux réseaux de distribution d'eau industrielle et potable » 2013
- [46] Degrémont. « Mémento technique de l'eau ». 9<sup>ème</sup> édition, Tome 1, Paris-2012.

# *ANNEXE*

## **Laboratoire :**

- ❖ L'analyse de la quasi-totalité des paramètres physico-chimique a été effectuée au laboratoire de chimie de la centrale thermique de CAP-DJINET.
- ❖ Les analyses de sodium et de potassium et de sulfates, phosphates, nitrite, cuivre , silice ont été effectuées au laboratoire chimie de la neveux centrale thermique de CAP-DJINET.

## **Analyses physico-chimiques effectuées :**

### **Mesure de pH :**

#### **Réactifs:**

Tampons à différents pH (pH : 9, 7 et 2).

#### **Mode opératoire :**

- 1) Allumer le pH mètre.
- 2) Agiter l'échantillon doucement et verser 100 ml de l'eau à analyser dans un bécher propre.
- 3) Rincer la sonde avec de l'eau ultra pure puis avec de l'eau à analyser.
- 4) Immerger la sonde dans l'échantillon et essayer d'éliminer les bulles d'air au cours de la stabilisation de la mesure avec une simple agitation de la sonde.
- 5) Enregistrer la valeur du pH qui est affichée sur l'appareil après la stabilisation de la lecture.
- 6) Rincer la sonde.
- 7) Arrêter l'appareil.

### **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 :**

#### **Mode opératoire :**

- 1) Allumer le conductimètre.
- 2) Étalonner le avec de l'eau distillée.
- 3) Plonger ensuite la sonde tout en agitant légèrement dans un bécher qui comporte environ 100 ml de notre échantillon.
- 4) Laisser stabiliser et lire ensuite la conductivité en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .
- 5) Il faut également rincer la sonde après chaque mesure.
- 6) Arrêter l'appareil.

### **Mesure de la salinité :**

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

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

### **Mesure de la turbidité :**

#### **Mode opératoire :**

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

**Expression des résultats :** La mesure est obtenue directement en NTU.

### **Mesure de l'Alcalinité :**

#### **\*Titre alcalimétrique simple (TA)**

#### **Matériels et réactifs :**

- -Erlenmeyer.
- Burette.
- Solution d'HCl (0,02N).
- Solution de phénophtaléine 0,5 %.

#### **Mode opératoire :**

Dans un erlenmeyer de 250 ml, prélever 100 ml d'eau à analyser et ajouter 2 à 3 gouttes de phénophtaléine, une couleur rose est révélée suite au changement du pH qui s'avère inférieur à 8,3. Titrer et agiter avec la solution de HCl de 0,02N jusqu'à décoloration complète de la solution, dans le cas contraire le TA est nul.

#### **\*Titre alcalimétrique complet (TAC)**

#### **Matériels et réactifs :**

- -Erlenmeyer.
- Burette.
- Solution d'HCl (0,02N).
- Solution de phénophtaléine 0,2 %.

#### **Mode opératoire :**

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer de 250 ml, ajouter 2 à 3 gouttes de solution de méthyle orange, une couleur jaune doit se développer. Titrer avec la solution de HCl de 0,02N à l'aide d'une burette, en agitant constamment, jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH = 4,3) de la solution.

Détermination des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et des Carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) Les carbonates sont les sels de l'acide carbonique, les sels ont en commun l'anion ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Le carbonate le plus abondant est le

carbonate de calcique ( $\text{CaCO}_3$ ). Les bicarbonates sont des sels dérivés de l'acide carbonique qui contiennent l'anion ( $\text{HCO}_3^-$ ). La détermination de carbonate et de bicarbonate est faite selon le tableau Tableau 4 : Détermination de  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  à partir du TA et TAC.

Si	$\text{OH}^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
<b>TA = TAC</b>	TAC	0	0
<b>TA &gt; 1/2 TAC</b>	2 TA - TAC	2 (TA - TAC)	0
<b>TA = 1/2 TAC</b>	0	TAC	0
<b>TA &lt; 1/2 TAC</b>	0	2 TA	TAC - 2 TA
<b>TA = 0</b>	0	0	TAC

### Mesure de la Dureté Total (TH) :

Appelée aussi le titre hydrométrique (TH), elle détermine la concentration en sel de calcium et de magnésium dissout dans l'eau. Elle se détermine par titrage par l'EDTA, à pH=10, en utilisant le NET (Noir d'Eriochrome T), comme indicateur de fin de réaction. La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

### Matériels et réactifs :

- Fiole.
- Burette.
- Solution de NaOH.
- Noir d'Eriochrome T (N.E.T).
- Solution d'EDTA.

### Mode opératoire :

Mettre dans un erlenmeyer 100 ml d'eau à analyser et ajouter 5 ml de la solution tampon de NaOH (pH = 9,5 à 10) et trois gouttes d'indicateur coloré NET (Noir d'Eriochrome T). La solution se colore en rouge ou violet, à ce stade, un titrage par la solution d'EDTA (0,02 N), sous agitation jusqu'au virage au bleu permet de mesurer la TH.

### Mesure de $\text{THCa}^{2+}$ :

Le calcium est présent dans les eaux de manière naturelle. Pour déterminer la dureté calcique on utilise l'EDTA comme complexant, le dosage se fait à un pH élevé (12-13). L'indicateur utilisé est le Murexide qui est sensible aux seuls ions  $\text{Ca}^{2+}$  pour former un complexe rouge.

### Matériels et réactifs

- Erlenmeyer.
- Burette.
- Solution de NaOH.

- Murexide.

Solution d'EDTA 0,02N.

**Mode opératoire :**

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, et ajouter 5 ml de la solution NaOH (0,1N) et une pincée de Murexide, puis remuer soigneusement pour homogénéiser la solution, une couleur rose apparaît. Un titrage par l'EDTA (0,02N) a lieu jusqu'au virage rose au mauve.

**Mesure THMg<sup>2+</sup> :**

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

$$\text{THMg}^{2+} = \text{TH} - \text{THCa}^{2+}$$

**Détermination des chlorures :**

**Matériels :**

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

**Réactifs :**

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

**Mode opératoire :**

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

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

**Détermination de sodium et de potassium :**

❖ **Réactifs**

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

**Mode opératoire :**

Il faut le suivre étape par étape :

Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert.

Allumer la pompe.

Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz propane.

Allumer la flamme.

Aspirer de l'eau distillée remplie dans une cuvette.

Appuyer sur la touche KONTROLL.

Appuyer sur la touche Null-Zéro et attendre **5 à 10** minutes.

Appuyer une **2<sup>ème</sup>** fois sur la même touche (Null-Zéro) pour qu'elle s'allume.

Retirer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de (**Na<sup>+</sup>**) ou de (**K<sup>+</sup>**) à **10 mg/l**.

Appuyer sur la touche STANDARD.

Attendre qu'elle s'allume.

Appuyer une **2<sup>ème</sup>** fois sur la même touche et attendre qu'elle s'allume.

Ensuite, appuyer sur la touche Analyse (il faut que la lecture donne une valeur de **10**).

A la fin passer aux échantillons à analyser et appuyer seulement sur la touche Analyse

A la fin du dosage et par mesure de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe.

**Analyse de phosphate : (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>)****Réactifs :**

Acide ascorbique à **10 g/l**.

Acide ascorbique..... 10 g.

Eau distillée.....100 ml.

**Solution mère étalon à 50 mg/l de PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> après séchage à 105°C..... 0,2197 g.

Eau distillée..... 800 ml.

Acide sulfurique à 7,5 mol/l..... 10 ml.

Eau distillée..... 190 ml.

**Solution fille étalon à 1 mg/l.**

Solution mère..... 20 ml.

Eau distillée..... 980 ml.

Réactif mélangé :

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

**Réactif 1**



Heptamolybdate d'ammonium.....13 g.

Eau distillée.....100 ml.

**Réactif 2** Tartrate de potassium et d'antimoine

Hemihydraté..... 0,35 g.

Eau distillée..... 100 ml.

**Réactif 3**

Acide sulfurique 9 mole/l.....150 ml.

Eau distillée.....150 m

**Etablissement de la courbe d'étalonnage :**

Introduire dans une série des fioles jaugées de 25 ml :

Numéro des fioles	T	1	2	3	4	5
Solution étalon de phosphore à 1 mg/l (ml)	00	01	05	10	15	20
Eau distillée	20	19	15	10	05	00
Correspondance demg/l de phosphore	00	0,05	0,25	0,50	0,75	1

**b)- dosage de l'échantillon**

Dans un erlenmeyer introduire :

40 ml d'eau à analyser.

1 ml d'acide ascorbique

Ajouter 2 ml du réactif mélangé

Laisser au repos pendant 10 minutes

Effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 nm.

**Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l.

**Détermination des nitrites**

❖ **Réactifs :**

- Acide ortho phosphorique  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (d=1,7).
- Solution d'acide phosphorique (utilisée si l'échantillon est coloré).
- Acide phosphorique (80%)..... 25 ml.
- Eau distillée .....150 ml.

Après refroidissement à la température ambiante, on complète avec l'eau

distillée jusqu'à 250 ml.

Conserver cette solution dans un flacon en verre brun. Elle est stable pendant 6 mois.

**Réactif coloré (réactif dangereux).**

-4 benzène sulfonamide .....20 g.  
 Mélange H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (d= 1,7)..... 50 ml.  
 Eau distillée.....250 ml.  
 Di chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino 1,2 éthane.....1 g.  
 Eau distillée..... 500 ml.

Conserver cette solution dans un flacon en verre brun. Elle est stable pendant 1 mois, si elle est conservée entre 2 et 5°C.

\*Solution mère étalon en d'azote nitreux (NO<sub>2</sub>-) à **100 mg/l**.

Nitrites de sodium (NaNO<sub>2</sub>)..... 0,492g.  
 Sécher à 150 °C pendant 2 heures.  
 Eau distillée..... 1000 ml.

Conserver cette solution dans un flacon en verre brun. elle est stable pendant 1 mois si elle est conservée entre 2 et 5°C

Solution fille étalon d'azote nitreux (NO<sub>2</sub>) à **1 mg/l** (préparer cette solution chaque jour avant emploi).

Solution mère .....1 ml.  
 Eau distillée.....100 ml.

Solution de nettoyage (toute la verrerie doit être soigneusement lavée avec une solution d'acide chlorhydrique (d= 1,12 mg/l, à 25%) et rincée abondamment à l'eau distillée).

**a)- Etablissement de la courbe d'étalonnage :**

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

Numéro de fiole	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Solution étalon fille à 1mg/l (ml)	0	0,4	0,8	1,2	2	4	6	8	10
Eau distillée (ml)	40	39,6	39,2	38,8	38	36	34	32	30
Réactif coloré (ml)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l D'azote nitreux	0	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25

**Détermination du fer :**

**Appareil :**

Spectrophotomètre.

Cuve de 10 mm.

**Réactifs :****Réactif A**

Dans une fiole de 100 ml mettre :

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

**Réactif B :**

Dans une fiole de 100 ml mettre:

- Chlorure d'hydroxyde ammonium... 20 g.
- Eau distillée 100 ml.

**Réactif C :**

Dans une fiole de 100 ml mettre :

- Chlorure de phénantroline 20 g.
- Eau distillée 100 ml.

**Réactif D : Acide chlorhydrique à 25 %.****Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer de 100 ml mettre :

20 ml d'eau à analyser.

0,1 ml d'acide chlorhydrique HCl à 25%.

2 ml de réactif A.

1 ml de réactif B.

2 ml de réactif C.

Mélanger et laisser 15 minutes puis passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de  $\lambda = 500\text{nm}$  et un facteur de 2,00. Pour l'échantillon témoin : 20 ml d'eau déminéralisée + les réactifs.

**Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l.

**Détermination du cuivre :****Réactifs :**

**Réactif A :** Dans une fiole de 100 ml mettre :

- Acide ascorbique.....20 g.
- Eau distillé.... 100 ml.

**Réactif B :**

- Ammoniaque 10 %.

**Réactif C :**

- Dans une fiole de 100 ml mettre :
- Chlorure d'ammonium 20 g.
- Eau distillé 100 ml.

**Réactif D :**

- Chloroforme.

**Réactif E :**

Dans une fiole de 100 ml mettre

- Diethyl
- dithiocarbanat de sodium ..... 1 g.
- Eau distillé..... 100 ml.

**Mode opératoire :**

Dans une ampoule à décanter mettre :

100 ml d'eau à analyser.

1 ml de réactif A.

2 ml de réactif B.

0,5 ml de réactif C.

10 ml de réactif D.

Agiter pendant 5 minutes et jeter la phase organique. Ajouter ensuite 1 ml de réactif E et 10 ml de réactif D, agiter pendant 5 minutes et filtrer la phase organique et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de  $\lambda = 435 \text{ nm}$  et un facteur de **1,33**. Pour l'échantillon témoin : réactif D.

**Détermination de la silice****Réactifs :**

**Réactif A :** Dans une fiole de 250 ml mettre :

- Molybdate d'ammonium 6,75 g.
- Acide sulfurique pur 13 ml.
- Eau distillée 237 ml.

**Réactif B :** Dans une fiole de 250 ml mettre :

- Acide oscalique ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) 25 g.
- Eau distillée 100 ml.

**Réactif C :** Dans une fiole de 250 ml mettre :

- Sulfate de fer ammoniacal 3 g.
- Acide sulfurique pur 3 ml.

- 
- Eau distillée 247 ml.

**Mode opératoire :**

Dans une éprouvette en polystyrène mettre :

25 ml d'eau à analyser.

1 ml de réactif A, attendre 10 minutes.

1 ml de réactif B, attendre 2 minutes.

1 ml de réactif C, attendre 2 minutes.

Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de  $\lambda = 800$  nm et un facteur de 3,50. Pour

l'échantillon témoin : 25 ml d'eau déminéralisée + les réactifs.

Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de  $\lambda = 800$  nm et un facteur de 3,50. Pour

l'échantillon témoin : 25 ml d'eau déminéralisée + les réactifs.