

# Remerciements

*Avant tout propos, je remercie Allah, le tout puissant,  
de j'avoir donné la volenté et patience d'achever  
notre études et mener à terme ce travail.*

*Toute la louange à dieu qui j'aide, je le remercie beaucoup.*

*Je présente mes expressions de remerciements et ma profonde gratitude  
à tout l'ensemble du personnel du **FERTIAL** surtout celui des départements :  
DRH, production, technique; pour leur orientation, suivi, assistance, et  
disponibilité.*

*Je tiens remercier tout particulièrement*

*Mr. **Roudane Ahcene** chef d'usine*

*Mr. **Benatia benchaa** coordinateur qualité*

*Mr. **Sid Ahmed** chef de service*

*Je remercie vivement notre encadreur madame M. **RAHMANI**,*

*Pour j'avoir encadrés et pour son service et ses orientations qui apportent  
l'aide précieuse et des conseils bénéfiques et ses critiques judicieux qui ont  
beaucoup pratiqué à l'amélioration de ce mémoire.*

*J'exprime, notre sincère remerciement aux nombres de jury qui vont examiner  
ce modeste travail,*

*Madame **H. BELAYACHI** et Monsieur **KADI**.*

*Je remercie toutes les personnes qui j'ai aidé soutenu  
et encouragé de près ou de loi.*

*www.15013*



# *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire*

*À mes chers parents*

*À mon père ; mon première encadrement, depuis ma naissance*

*À ma très chère mère, qu'elle trouve ici l'hommage*

*de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être,*

*ne sera à la hauteur de ses sacrifices et ses prière pour moi,*

*À ma sœur et mes frères : **WAHIBA, MAHMOUD et HICHAM***

*à qui je souhaite beaucoup de bonheur*

*À tous mes amis et amis qui me sont chère*

*Sont oublier tous mes enseignements surtout mes dames*

***RAHMANI et BOURAHLA***

*Une spéciale dédicace à une personne qui a été très paternaliste avec moi,*

***ROUDANE AHSEN,***

*Trouvez dans ce modeste travail mes sincères grâces et reconnaissance.*

*Ce travail est le vôtre.*



**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIERE ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM**

**FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DE L'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT DE CHIMIE**

**MEMOIRE**

Présenté pour obtenir le diplôme de

**MASTER II EN CHIMIE**

Option: **ANALYSE SPECTRALE EN CHIMIE**

**Suivi du cycle de production de l'eau distillée au niveau  
de FERTIAL**

Présenté par

**KHITER SOUAD**

Encadré par :

**M<sup>me</sup> . RAHMANI**

Les membres de jurys

La présidente: **M<sup>me</sup> . Belayachi. H**

**MCB UMAB-Mostaganem**

Examineur : **Ms. Kadi.**

**MAA UMAB-Mostaganem**

**Année Universitaire : 2015/2016**

## **INTRODUCTION**

L'eau de mer vu son abondance à divers utilisations, elle représente 73% de la surface du globe terrestre.

L'utilisation de cette ressource, tant pour l'usage domestique, industriel et agricole, doit subir un certain nombre de traitement et d'opération qu'on appelle dessalement ou distillation.

Cette dernière technique est utilisée au sein du complexe FERTIAL au niveau de la zone industrielle d'Arzew pour le refroidissement, la vapeur d'eau ainsi que l'électricité.

Il existe de nombreux types de procédés de dessalement certains sont utilisés au niveau du complexe.

Néanmoins, avant d'étudier ces procédés, il est très important de connaître l'eau de mer sur le plan physico-chimique, les avantages que nous apporte le dessalement sont nombreux mais divers problèmes sont rencontrés notamment l'entartrage.

Notre travail comportera différents chapitres ils seront agencés comme suit :

- Le 1<sup>er</sup> chapitre : concernera la description du complexe FERTIAL.
- Le 2<sup>ème</sup> chapitre : se penchera sur les différents procédés de dessalement.
- Le 3<sup>ème</sup> chapitre s'intéressera aux techniques de dessalements utilisés par FERTIAL et les problèmes liés à l'entartrage.
- Le 4<sup>ème</sup> chapitre sera une représentation des résultats et discussions.

# *CHAPITRE 01*

La description du complexe

FERTIAL

## **I – Historique**

La réalisation du complexe industriel pour la production d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), de l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ), du nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) et de l'urée ( $\text{NH}_2$ ) $2\text{CO}$  a été confié le 28 juillet 1966 par « SONATRACH » au groupe français « TECHIP-ENIA » auquel la firme « CHEMICO » avait fourni les procédés.

La mise en route du complexe a eu lieu en mars 1969 et le chantier a démarré officiellement le 09 juillet 1967 puis inauguré le 19 juin 1970 par le président défunt Houari Boumediene.

Compte tenu des besoins sans cesse croissants en matière d'engrais à l'échelle nationale, il était nécessaire d'étendre la capacité de production. C'est ainsi que d'autres unités ont été mises en services.

L'entreprise française « CREUSOT LOIRE ENTREPRISE » s'est vue confié la réalisation d'une unité d'ammoniac selon le procédé « KELLOG ».

La société autrichienne « VOEST-ALPINE » a réalisé quand à elle :

- Deux unités d'acide nitrique.
- Deux unités de nitrate d'ammoniac.
- Deux unités d'utilités.

En 1984, la restructuration de l'entreprise nationale « SONATRACH » a donné naissance à 13 entreprises dont l'entreprise nationale des engrais et des produits phytosanitaires « ASMIDAL » qui englobe le complexe d'ammoniac et d'engrais azotés d'Arzew.

Au début de l'année 2005, ALZOFERT et FERTIAL, deux filiales de ASMIDAL ont été fusionnées pour donner naissance à une seule société « FERTIALSPA » privatisée le 04 Aout de la même année pour le compte du groupe Espagnol Villa Mir « SPONSOR ». [1]



## **I-1 Infrastructures de Production :**

### **• Le site de production de l'usine d'ARZEW**

Située dans la zone industrielle d'Arzew (Oran), l'usine s'étend sur une superficie de 54 hectares et emploie 520 personnes.

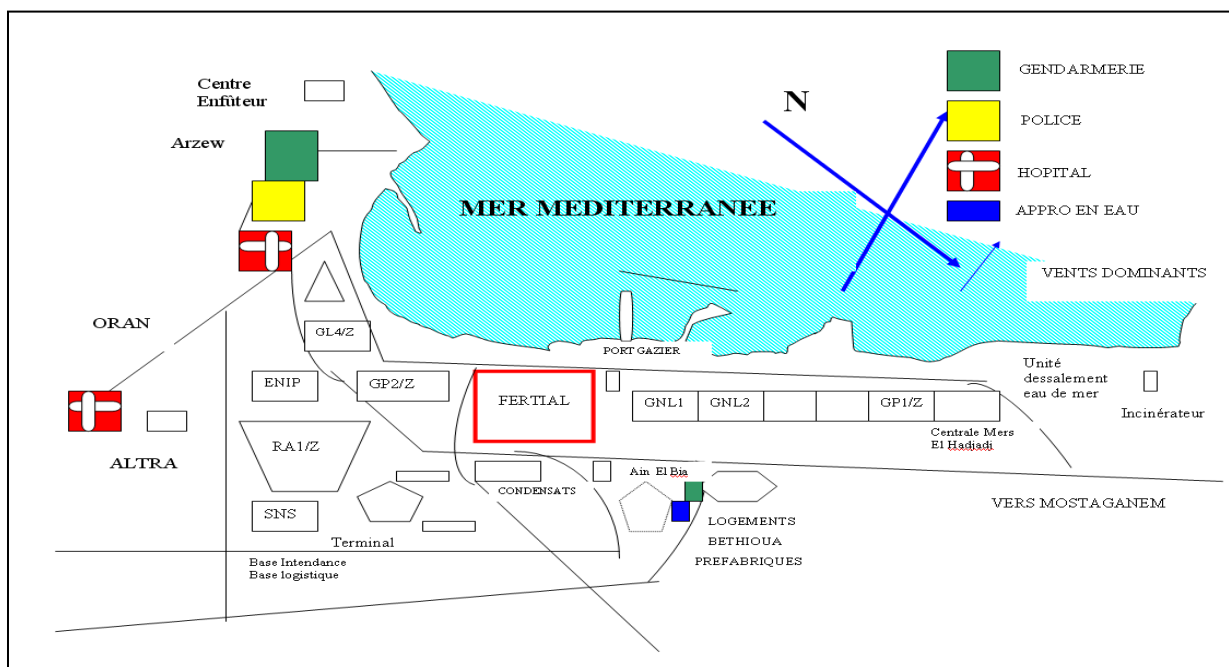
Capacités de production annuelle :

- ✓ Ammoniac : 660.000 tonnes.
- ✓ Acide Nitrique : 240.000 tonnes.
- ✓ Nitrate d'Ammonium granulé à 34.5% d'azote à usage hospitalier et pour la fabrication des explosifs, ainsi que le CAN à 27% d'azote : 220.000 tonnes.
- ✓ Capacité de production sur les deux usines 1000 Tonnes métriques par an d'ammoniac. [2]

## **I-2 situation géographique du complexe :**

L'usine FERTIAL est située à 45 kms au Nord-Est de la ville d'Oran, elle s'étend sur une superficie de 60 hectares au sein de la zone industrielle d'Arzew, implantée en bordure de la mer et distance de 03kms au Nord-Est de la ville d'Arzew et a 04kms au Nord-Ouest de la ville Bethioua.

Elle est limitrophe du l'usine GNL1 à l'Est, du l'usine GPL2 à l'Ouest, et de l'institut Algérien De Pétrole (IAP). [3]



**Figure 01 : Plan de situation**

### **I-3 l'objectif et l'activité du complexe FERTIAL :**

L'entreprise FERTIAL a été conçue pour atteindre trois objectifs essentiels :

- Valoriser les hydrocarbures par un traitement local.
- Dégager un surplus pour l'exportation des engrais et de l'ammoniac.
- Satisfaire la demande nationale en matière d'engrais azoté.

Afin de réaliser ces objectifs, FERTIAL dispose de :

- Deux unités de production de l'ammoniac avec une capacité de production de 1000 tonnes/j/unité, suivant deux procédés différents CHEMICO et KELLOGG.
- Trois unités de production de l'acide nitrique fonctionnent selon le procédé CHEMICO et dont la capacité de production est de 400 tonnes/j/unité.
- Trois unités de nitrate d'ammonium selon le procédé CHEMICO produisant 500 tonne/j/unité.
- Trois centres utilités pour le traitement de l'eau de mer, la production d'eau distillée et de la vapeur d'eau.
- Un groupe turbo alternateur pour la production d'énergie électrique.
- Deux unités de stockages et de conditionnement des engrais.
- Un centre pour le stockage d'ammoniac.
- Un laboratoire pour les analyses physico-chimique. [1]

### **I-4 organisation du complexe :**

L'usine d'Arzew FERTIAL se compose de plusieurs directions (figure 01)

- Direction de production :Elle comporte toutes les utilités de production.
- Direction de maintenance.
- Direction technique.
- Direction administrative.
- Direction des ressources humaines.
- Direction des finances.
- Direction de sécurité. [1]

## **I-5 Les différentes unités des productions du complexe :**

### **I-5-1 Unité de production d'ammoniac :**

FERTIAL produit 1000t/j d'ammoniac liquide en partant de matière première préliminaire le gaz naturel(GN), la vapeur d'eau et de l'air.

Pour la production d'ammoniac FERTIAL l dispose deux unités :

- Unité à procédés CHIMICHO.
- Unité à procédés Kellogg.

Ceci s'accomplie par la méthode de reforming Kellogg à haute pression.

### **I-5-2 Unité de production d'acide nitrique :**

FERTIAL possède une importante unité de production d'acide nitrique avec une capacité de production annuelle 2400.000 tonnes. L'acide nitrique est produit à partir de l'air atmosphérique et l'ammoniac dans ce complexe en présence d'un catalyseur qui est le platine rhodien.

La production de l'acide nitrique passe par 4 étapes :

1-compression de l'air atmosphérique.

2-évaporation.

3-absorption du dioxyde d'azote.

4-combustion des gaz d'échappement.

### **I-5-3 Unités de production de nitrate d'ammonium :**

le nitrate d'ammonium est produit sous forme de nitrate d'ammonium granulé à 34.5%d'azote à usage hospitalisé et pour la fabrication des explosifs avec une capacité de production annuelle de 250.000 tonnes et le nitrate d'ammonium liquide . La vapeur d'ammoniac surchauffée et l'acide nitrique en solution aqueuse réagissent dans le neutraliser pour donner du nitrate d'ammonium selon cette réaction :



### **I-5-4 Unité de stockage :**

Le produit fini ammoniac est transféré au bac de stockage au port d'Arzew 80I par des pompes par l'intermédiaire de bac de stockage 80I tandis que produit fini nitrate ammonium 33.5 % est transféré par un tapie roulant vers le stockage 70I/II. [2]

## *CHAPITRE 02*

Les différents procédés de dessalement

## **II-1 Généralité sur l'eau :**

L'eau est un composé chimique simple, sa formule est  $H_2O$ , de masse molaire 18g/mol, à pression ambiante, l'eau est gazeuse au-dessus de  $100C^\circ$ , solide en dessous de  $0C^\circ$ , et liquide dans les conditions normales de température et de pression.

Près de 70% de la surface de la terre est recouverte d'eau (97% d'eau salée et 3% d'eau douce).

L'eau joue un rôle primordial au sein du complexe, entre dans la production de l'ammoniac et de l'acide nitrique et joue le rôle d'un agent d'échange thermique. [2]

## **II-2 L'eau de mer :**

### **II-2-1 Caractéristiques des eaux marines et saumâtres :**

#### **- Les eaux marines**

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates).

Composition de l'eau de mer (35g/l)

<b>Sel</b>	<b>Concentration</b>	
NaCl	27.2g/l	78%
MgCl <sub>2</sub>	3.8g/l	11%
MgSO <sub>4</sub>	1.7g/l	5%
CaSO <sub>4</sub>	1.26g/l	3.5%
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.86g/l	2.4%

**Tableau 01** : composition de l'eau de mer

#### **- Les eaux saumâtres**

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés ; leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissout sont le  $(CaCO_3)$ , le  $(CaSO_4)$ , le  $(MgCO_3)$  et le  $(NaCl)$ . [4]

### **II-3 L'eau dans le complexe FERTIAL :**

L'eau joue un rôle très important au niveau du complexe FERTIAL, elle entre dans la production de l'ammoniac, d'acide nitrique et de nitrate d'ammonium et en tant qu'agent d'échange thermique, ainsi qu'un solvant pour des différentes matières, il est aussi agent de refroidissement et chauffage, vue la consommation importante de l'eau, FERTIAL est installé au bord de mer afin d'utiliser cette eau après traitement.

Le complexe possède différentes unités :

- 2 Unité de pompage.
- 3 Unité de traitement de l'eau de mer.

Ces unités traitent l'eau dont a besoin les différentes unités pour leur procès. Ce traitement consiste en la distillation, la déminéralisation, le dégazage et la production de la vapeur et de l'énergie électrique.[2]

### **II-4 Le dessalement de l'eau de mer :**

Les besoins en eau douce sont de plus en plus croissants dans le monde, un milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable. Pour faire face à cette pénurie d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau propres à la consommation sont mises en place pour satisfaire les besoins d'une population croissante. Une des techniques utilisées est le dessalement de l'eau de mer.

Ce processus permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtres ou salée. Autrement dit ; il s'agit rarement de retirer le sel de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

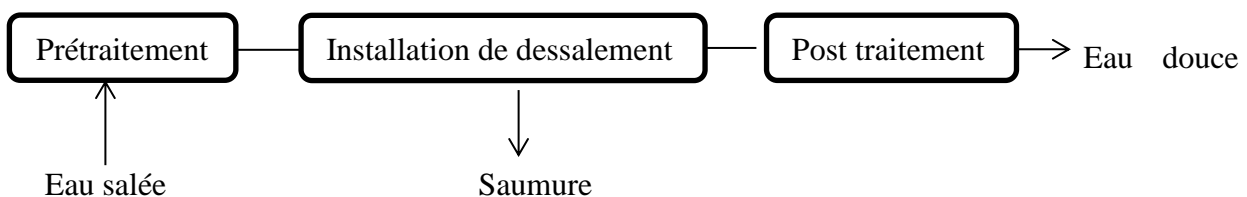
Les systèmes de dessalement se caractérisent par leur rendement et le taux de sel résiduel. [5]

### **II-5 Schéma général d'une installation de dessalement**

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 4 postes (figure 02):

- Une prise d'eau de mer
- Un poste de prétraitement
- L'installation de dessalement proprement dite
- Un post-traitement

Rappelons que l'on appelle taux conversion le rapport de la quantité d'eau douce produite par rapport à la quantité d'eau saline pompée.[6]



## **II-6 Généralité sur la distillation :**

Le procédé de distillation consiste à chauffer de l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur d'eau produite ne contient pas des sels, il suffit alors de la condenser pour obtenir de l'eau douce. [2]

### **II-6-1 Principe de fonctionnement :**

Les dessaleurs dans l'usine ont le même principe de distillation, mais les capacités de traitement sont différentes selon la conception de chacun.

L'eau de mer introduite dans le dessaleur subit un échange thermique avec la vapeur d'eau d'où la séparation entre l'eau pure qui s'évapore et se condense par la suite et les sels dissous qui se déposent et cela s'explique par la différence entre les températures d'ébullition de chaque corps. [2]

## **II-7 les différentes unités de traitements d'eau de mer :**

- **Prétraitement d'eau de mer :**
- **L'électro chloration :**

L'électro chloration des eaux est employée pour traiter l'eau afin d'empêcher le développement des substances marines vivantes qui causent le bouchage au niveau des échangeurs eau de mer.

### **II-7-1 Unité d'électro chloration :**

L'unité de l'électro chloration est conçue pour traiter 29000 m<sup>3</sup>/L d'eau de mer, c'est le Débit total des deux pompes.

Les cellules génératrices forment un système de canalisation à travers lequel passe l'eau de mer. Le système d'alimentation électrique, passe du courant continu suffisant à travers l'eau salée qui est dans les cellules pour produit de l'hypochlorite de sodium NaOCl.

L'électro chloration est un procédé qui permet la fabrication d'hypochlorite par l'électrolyse de l'eau de mer. Ce mélange s'appelle aussi eau de javel.

L'eau de javel produite est injectée dans le bassin d'eau de mer.

Colmatage	Cause	Prétraitement approprié
Biologique	Bactéries, micro-organismes, virus, protozoaires	Chloration
Particulaire	sable, argile (turbidité, solides en suspension)	Filtration
Colloïdal	Complexes organiques et inorganiques, particules colloïdales, micro-algues	Coagulation + Filtration Optionnel: Floculation/décantation
Minéral	Calcium, Magnésium, Barium ou Strontium, sulfates et carbonates	Anticalcaire Acidification

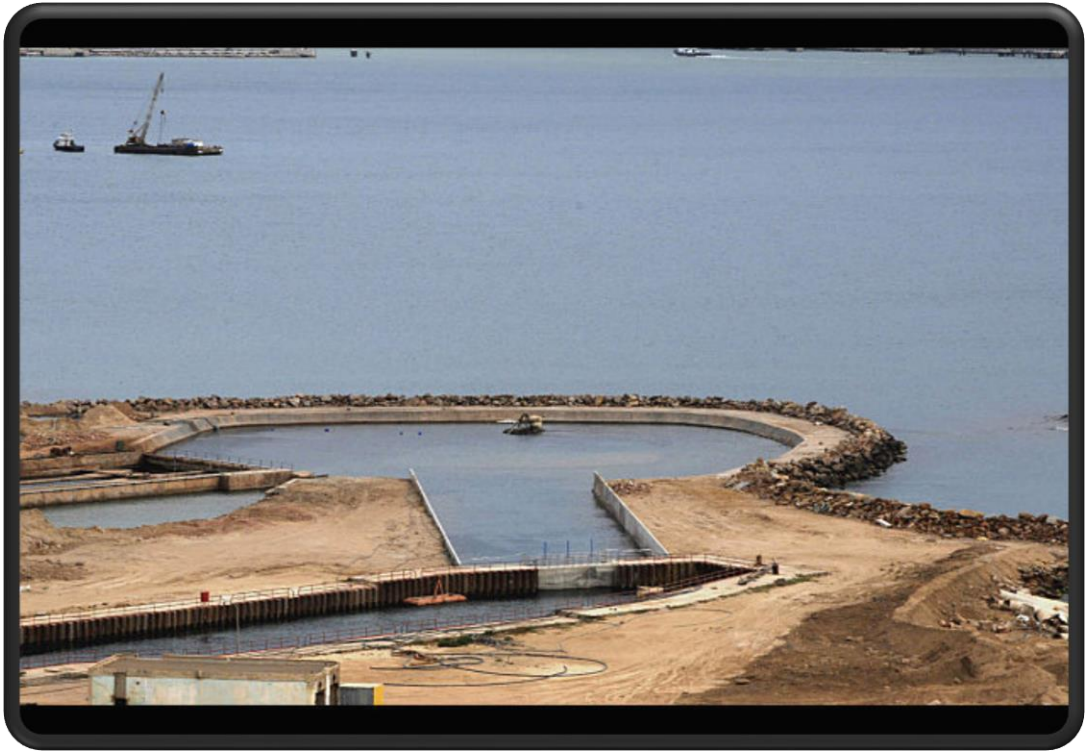
**Tableau 02** : les différents colmatages, causes et prétraitement d'eau de mer

### **II-7-2 Unité de pompage d'eau de mer (U90) :**

Unité U90 (I) et U90 (II) se situent au bord de mer, l'eau est pompée directement dans des bassins prévus à cet effet l'eau passe par des canalisations.

Cette eau est purifiée par la station de filtrage est pompée vers les installations à travers un tube collecteur commun au moyen de 5 pompes (+ 1 réserve)

En qualité de pompes de refoulement pompes verticales hélico-centrifuges sont utilisées, qui sont commandés par de moteurs électrique.[07]



### **II-7-3 Unité d'utilité (U50) :**(Unités de dessalement)

Cette unité produit la matière ainsi que l'énergie nécessaire pour le fonctionnement des autres unités.

Trois centres utilités pour le traitement d'eau de mer et la production d'eau distillée, et de vapeur d'eau (50 I, 50 II, 50 III).

C'est dans cette que le traitement de l'eau de mer se fait, cela consiste en la distillation, la déminéralisation puis le dégazage.

### **II-7-4 Dégazage**

Virtuellement toutes les eaux contiennent des gaz corrosifs tels que l'oxygène et le dioxyde de carbone. Leur quantité dans l'eau de chaudière (condensat et eau déminéralisée) dépendant de l'atmosphère dans laquelle l'eau et le condensat se sont trouvés.

L'eau alimentant des chaudières subit un dégazage au niveau du dégazeur pour éliminer les gaz non condensables tels que l'oxygène et le dioxyde de carbone et chauffer l'eau d'alimentation des chaudières.

### **II-7-5 Chaudière**

Les complexes sont dotés de chaudières, installées pour produire la vapeur nécessaire aux équipements des installations à haut pression.

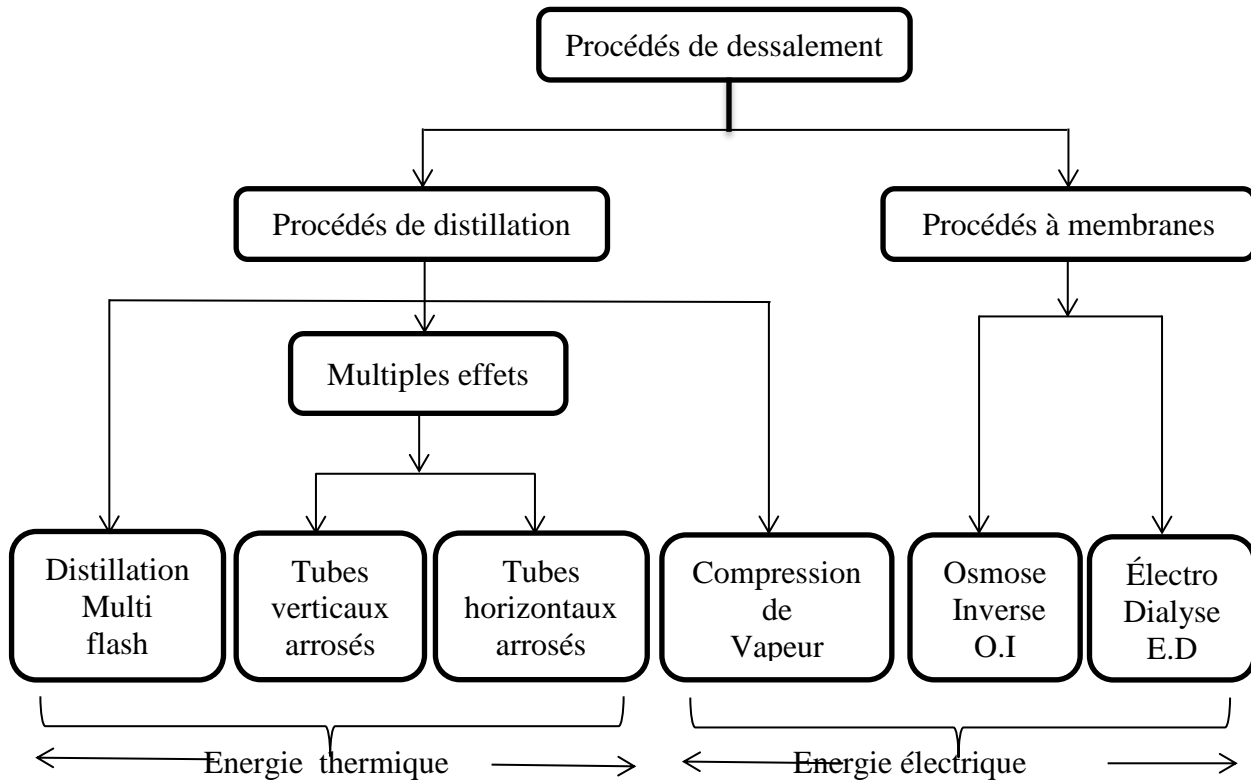
Les chaudières sont composées d'un économiseur, d'un ballon supérieur, d'un ballon inférieur, de deux surchauffeurs primaires et secondaires, et d'un ensemble de faisceaux tubulaires pour la circulation d'eau du ballon supérieur vers le ballon inférieur et inversement.

### **II-7-6 Bac anti-tarte**

Différents anti tartre sont utilisés pour empêcher l'incrustation des dépôts de sels et pour éliminer les sels insolubles, les produits chimiques utilisés à cet effet sont de composition différentes tout dépend du champ d'action visé [8].

## II-8 Principaux procédés de dessalement d'eau de mer

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué (figure03)



**Figure 03** : les principaux procédés de dessalement de l'eau de mer [6]

## II-9 Procédés de distillation

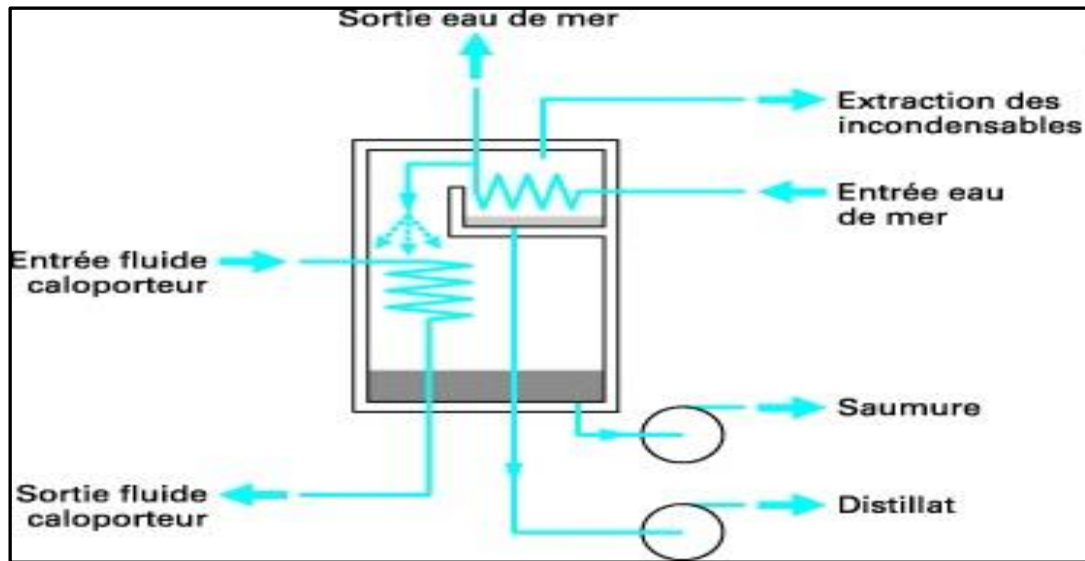
L'eau de mer chauffée émet une vapeur d'eau pure qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis des temps forts anciens comme le montre.

Les procédés de distillation qui peuvent être utilisés sont les suivants :

- Distillation à simple ou multiples effets.
- Distillation par détentes successives appelé aussi multi flash.
- Distillation par compression de vapeur. [6]

### **II-9-1 Distillation à simple effet :**

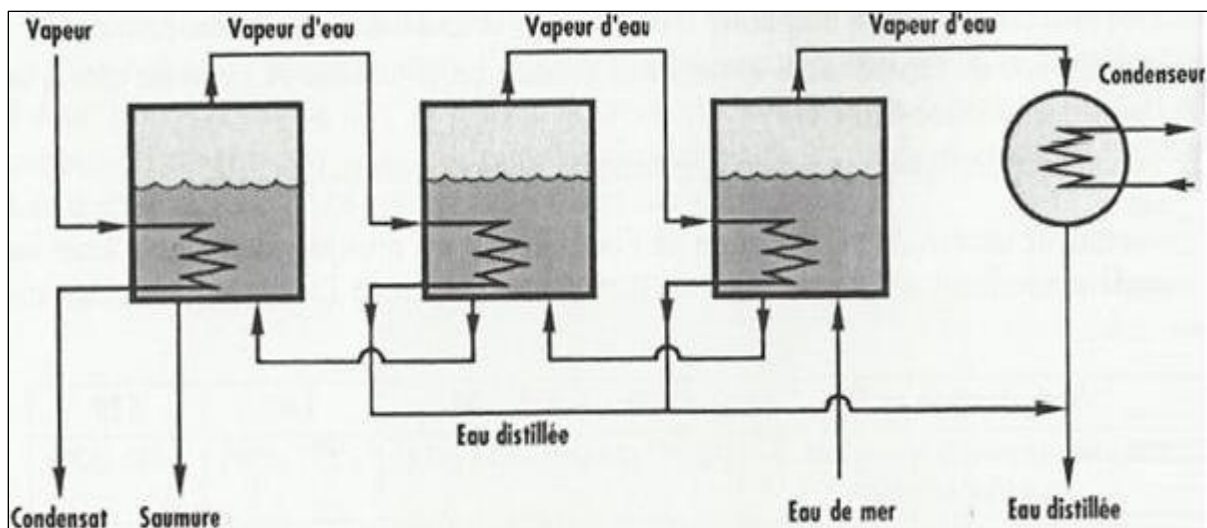
Les premières unités industrielles de distillation d'eau de mer sont apparues à bord des navires en même temps que la traction à vapeur. C'étaient dans la plupart des cas des bouilleurs simple effet à faisceau noyé : l'eau de mer était chauffée dans un récipient étanche par la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire plongé dans l'eau de mer. La vapeur formée était condensée sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute de l'enceinte parcouru par de l'eau de mer froide (figure3). [6]



**Figure 04** : distillation à simple effet

### **II-9-2 Distillation à multiples effet :**

Il est donc apparu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur simple effet. Ceci a été obtenu grâce à la distillation à multiples effets. On sait en effet, que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faible, et ainsi de suite (figure04).[6]



**Figure 05** : distillation à multiples effets.

### II-9-2-1 Avantages et inconvénients

Dans le procédé MED, l'ébullition de l'eau de mer au sein de chaque cellule (effet) se fait au contact de la surface d'échange de chaleur, il y a des risques d'entartrage dû à la précipitation de sels tels que  $\text{CaSO}_4$  ou  $\text{CaCO}_3$  dont la solubilité diminue quand la température augmente.

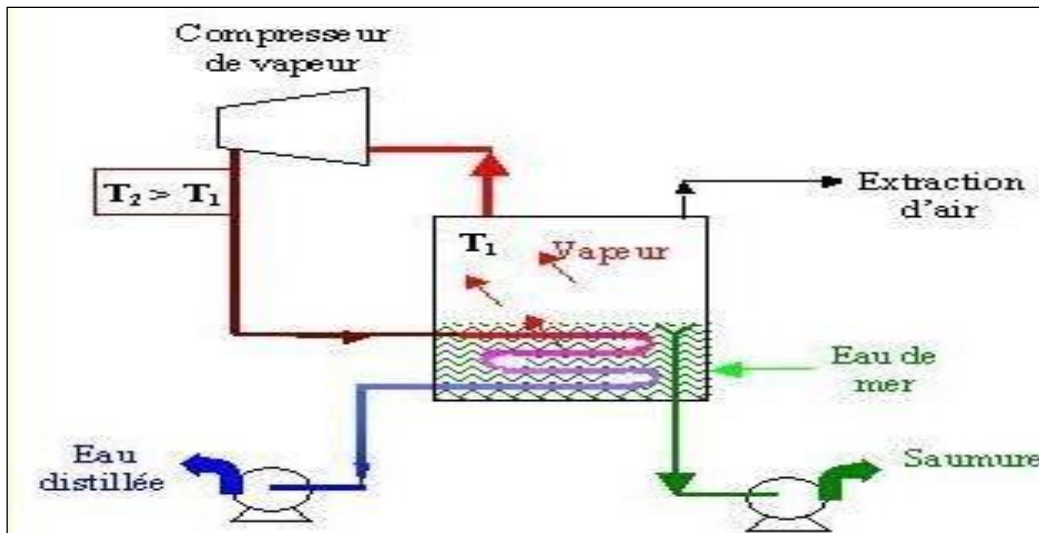
Pour limiter ces risques, il faut donc utiliser un traitement à l'acide et limiter la température de tête (du 1<sup>er</sup> effet ou étage) à moins de 70°C. [09]

### II-9-3 Distillation par compression de vapeur :

#### II-9-3-1 Principe

L'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée. 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.(figure05). [6]



**Figure 06** : schéma et principe

### II-9-3-2 Les avantages :

- Technologies établies avec de nombreuses installations fonctionnant avec succès.
- Plus petits que les procédés DME et MSF, toujours produits en unités à faible capacité.
- Récupération élevée (jusqu'à 40%) par rapport aux procédés MSF
- Consomme beaucoup moins de vapeur en fonctionnement normal [10]

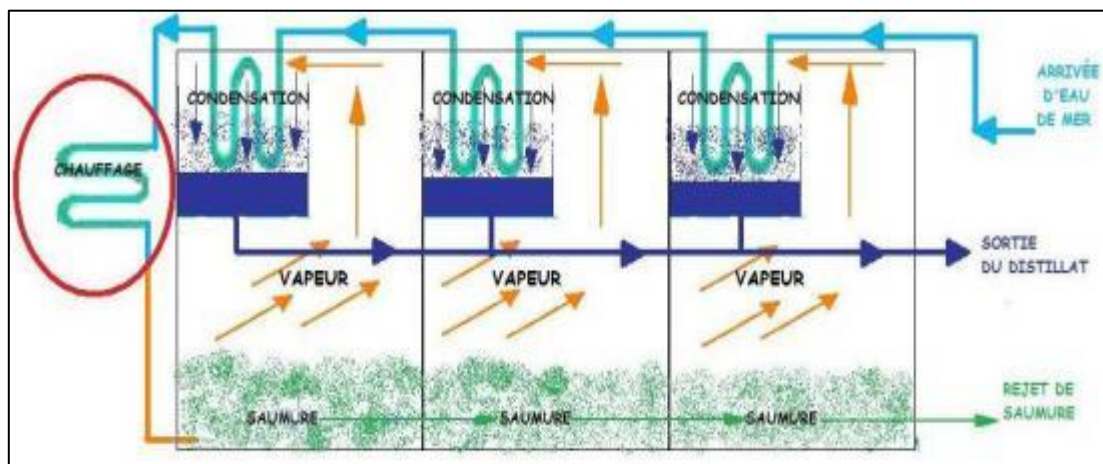
### II-9-3-3 Les inconvénients :

- Nécessite quasiment la même énergie pour le dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre, ce qui en fait un choix peu économique pour le dessalement de l'eau saumâtre.
- Les besoins en produits chimiques pour la reminéralisation sont élevés.
- Les unités de petite capacité sont chères.
- La forte probabilité d'entartrage due à la récupération élevée et la faible injection d'acide conduit à un encrassement important.
- Le compresseur nécessite une maintenance intensive et des techniciens qualifiés.[10]

## **II-9-4 Distillation multi-flash :**

### **II-9-4-1 Principe de fonctionnement**

L'eau de mer est chauffée à 120°C dans des conduits. Elle est ensuite envoyée dans un container à faible pression. L'eau est alors immédiatement transformée en vapeur par détente appelée Flash. La vapeur résultante va entrer au contact des premiers conduits dans lesquels passe l'eau de mer. Ces conduits, froids, vont alors provoquer la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état aqueux. L'eau qui ne se sera pas évaporée dans ce container, sera récupérée puis transférée dans un deuxième compartiment du même type ayant une pression atmosphérique moindre par rapport au premier. L'opération est alors répétée plusieurs fois à la suite d'où le nom de multi flash. (Il existe des usines de dessalement dans lesquels l'opération se répète dans 40 compartiments).



**Figure 07 :** dessaleur de type « MSF »

### **II-9-4-2 Avantages et inconvénients**

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

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique fournie par la chaudière, cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il faut également fournir de l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer.

Le procédé MSF ne permet pas une flexibilité d'exploitation. Aucune variation de production n'est tolérée, c'est pourquoi ce procédé est surtout utilisé pour les très grandes capacités de plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup> d'eau dessalée par jour. Le coût d'investissement du procédé reste encore très élevé et limité majoritairement aux pays pétroliers et riches. [11]

## **II-10 Procédés a Membranes**

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. De tels procédés sont intéressants puisqu'ils doivent pouvoir fonctionner à la température ambiante et qu'ils n'impliquent pas un changement de phases. Deux produits utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés : ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse. Au départ ces procédés se sont surtout développés pour le dessalement des eaux saumâtres c'est-à-dire d'eaux de salinité inférieure à celle de l'eau de mer et en général comprise entre 1 et 10g/l. [6]

### **II-10-1 Procédé d'électrodialyse :**

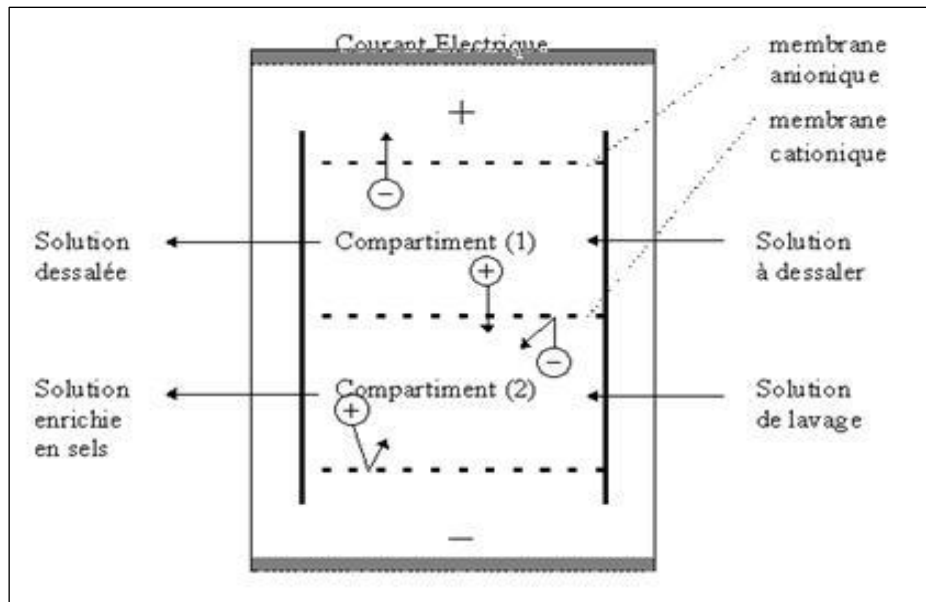
L'électrodialyse est un procédé de nature électrochimique. Il permet d'extraire en partie ou en totalité les ions contenus dans une solution, en conservant des substances pas ou très peu ionisées.

Un électro dialyseur fonctionne de la manière suivante (voir schéma ci-dessous): deux compartiments (1) et (2) sont séparés par des membranes alternativement anioniques et cationiques. Comme leur nom l'indique, sous l'action d'un champ électrique, les premières ne se laissent franchir que par des anions, les secondes par des cations.

Les cations migrent dans le sens du courant électrique. Ils peuvent sortir du compartiment en traversant la membrane cationique, mais ils ne peuvent pas sortir du compartiment (2), car ils trouvent sur leur chemin une membrane anionique.

Les anions migrent dans le sens inverse du courant électrique. Ils peuvent eux aussi sortir du compartiment (1) en traversant la membrane anionique, mais ils ne peuvent pas sortir du compartiment (2) car la membrane cationique les en empêche.

En conséquence, le compartiment (1) s'appauvrit en sel dissous: on l'appelle compartiment de dilution. le compartiment (2) s'enrichit en sels dissous: on l'appelle compartiment de concentration. La concentration des substances dissoutes non ionisées n'est pas modifiée.[2]



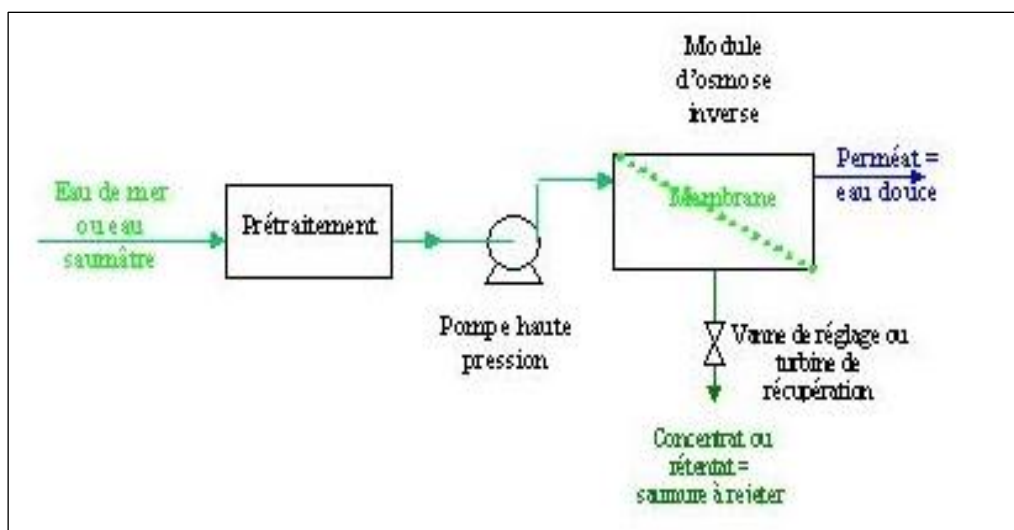
**Figure 08** : fonctionnement d'une électrodialyse.

### II-10-2 L'osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10-7 mm de taille.

L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement électrique consommée principalement par les pompes haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g.L<sup>-1</sup>. [12]



**Figure 09**: schéma d'une unité d'osmose inverse.

## II-10-2-1 Principe de l'osmose inverse

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure 1). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

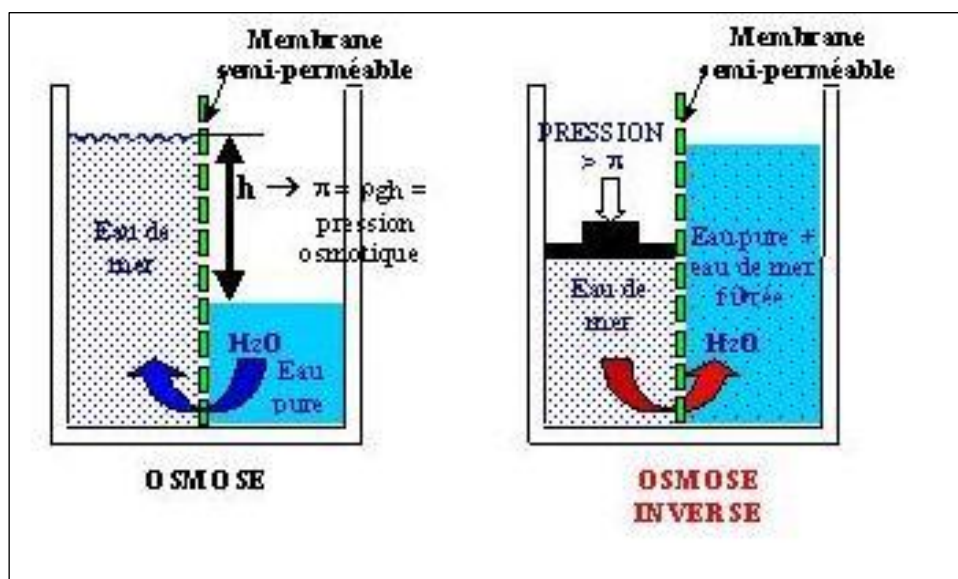


Figure 10 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure 1), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse. [12]

Tableau -03 – comparaison des différents procédés

Procédé	Distillation à effet multiple	Distillation par compression de vapeur	Distillation par thermo-compression
Débit d'eau de mer/débit de production	3 à 4	2 à 3 avec recyclage	3 à 4
Prétraitement : Chloration	Risque	Risque (peut être supprimée si alimentation directe par forage)	Requise
Antitartre	Tamisage à 0.5 mm	Tamisage à 0.5 mm	Tamisage à 0.5 mm
Nitration	Injection d'un inhibiteur	Injection par inhibiteur	Injection par inhibiteur
Déchloration	Non requise	Non requise	Non requise
Température de fonctionnement	60 à 70 C°	60 à 70 C°	60 à 70 C°
Salinité eau produite	1 à 50 mg/l	1 à 50 mg/l	1 à 50 mg/l
Energie électrique (hors pompage de prise d'eau en mer et de reprise)	1 à 2 KW/m <sup>3</sup>	12 à 17 kW/m <sup>3</sup> si l'effet 7 à 9 kW/m <sup>3</sup> si 2 effet	1 à 2 KW/m <sup>3</sup>
Energie vapeur	Approximativement le GOR (1) est presque égal au nombre d'effets. Dans le cas le plus répondu GOR= 4 possibilité de monter jusqu'à GOR = 10	Aucune	8 < GOR < 16 selon le nombre d'effets
Echelle de capacité	10 à 25000 m <sup>3</sup> /j	< 5000 m <sup>3</sup> /j	10 à 25000 m <sup>3</sup> /j
Avantages	Cout de l'ordre de 15 à 20 % moins cher que la distillation à détente successives	Pas de vapeur simplicité du fonctionnemen t	S'adapte à des pression absolues de vapeur de l'ordre de 1.5 à 45 bar

(1) GOR : Gain Operating Ratio (masse d'eau produite par kilogramme de vapeur consommée)

### **II-11 Critères pour le choix du procédé de dessalement :**

Le choix du procédé de dessalement tient compte de plusieurs facteurs dont :

- La nature et la proportion des sels en solution.
- Les ressources locales et le prix de l'énergie.
- L'aspect économique de l'eau produite.
- La facilité d'évacuations des effluents.[7]

### **II-12 Les inconvénients du dessalement :**

- Coût énergétique élevé.
- Rejet des saumures concentrées au double de la salinité naturelle en mer ou injectées dans le sol.
- Rejet d'eaux chaudes en mer dans le cas de la distillation .
- Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes (chlore) .
- Traces de cuivre échappées des installations ; corrosion chimique des installations de tuyauteries.
- Le captage de l'eau en mer peut modifier les flux maritimes.
- Risque de dégâts en fonds marins au niveau de la faune et de la flore. [2]

### **II-13 Qualité de l'eau obtenue par le procédé de distillation**

L'eau déminéralisée obtenue par distillation est très pur elle contient une concentration en sel variant de 5 à 30 mg/l. Pour la consommation domestique, cette salinité est même trop faible et il est nécessaire de l'augmenter aux environs de 200mg/l.

Cet apport peut être fait en mélangeant l'eau distillée avec des eaux saumâtres (si elles existent évidemment) ce qui permet :

- De valoriser les eaux saumâtres existantes.
- De diminuer les couts de dessalement par une augmentation de la production. [6]

## *CHAPITRE 03*

Techniques de dessalements  
Et  
Les problèmes de l'entartrage  
Au niveau de complexe FERTIAL

### **III-1 Unité de dessalement du complexe FERTIAL :**

Le complexe FERTIAL est un grand consommateur de vapeur d'eau qui est à la fois, une source d'énergie de chauffe et la force motrice des machines tournantes.

L'eau distillée est utilisée pour générer de la vapeur ou comme réfrigérant dans les échangeurs et les condenseurs situés dans la zone Utilités.

Le complexe FERTIAL dispose de trois unités de dessalement de type « MSF » et « thermo-compresseur », et dans ce projet nous allons étudier un d'eux utilité II.

#### **➤ Utilité II :**

Cette unité produit :

- a) De l'eau distillée qui provient de Deux blocs multi flash de 80 t/h/blocs soit un total de 160 t/h ainsi que du bloc SIDEM thermo-compression de 90 t/h.
- b) De la vapeur Produite par une chaudière d'une capacité de 80 t/h
- c) De l'azote qui est fourni aux unités de production par une station de stockage et d'évaporation d'azote liquide.

Cette unité contient un espace de stockage :

- Deux bacs de stockage d'eau déminéralisée d'une capacité de 400 m<sup>3</sup> chacun soit un total de 8000 m<sup>3</sup>.
- Un bac de stockage d'ammoniac de 20.000 T.

### **III-2 Description de l'unité de dessalement de type « MSF »**

Le complexe FERTIAL comprend deux unités de dessalement identiques de type MSF, produisant de l'eau distillée avec une teneur en sel dissous inférieur à 2 ppm. Chaque unité est constituée de 14 étages (cellules), avec un débit de 80 T/h.

#### **III-2-1 Principe de fonctionnement :**

L'évaporateur multi flash MSF produit l'eau distillée à partir de l'eau de mer en la réchauffant, la vapeur ainsi produite est entraînée vers le condenseur ou elle est condensée en distillat.

Le flash se produit lorsque la saumure entre dans le premier étage de l'évaporateur, qui est maintenue à une pression inférieure à la pression atmosphérique.

Les gouttelettes de saumure sont entraînées et la vapeur pure se condense et passe les tubes du condenseur. Le processus de distillation fonctionne à l'aide d'un vide, la différence de pression d'étage en étage est l'élément essentiel pour obtenir une répétition de flash.

Le vide dans les étages est créé par un système de vide installé sur la partie supérieure du dessaleur et composé d'un ensemble d'éjecteur et de condenseurs barométrique et ce système est conçu pour enlever les gaz non condensables dégagés pendant le fonctionnement.

L'eau de mer d'alimentation véhiculée par un collecteur utilisée est aspirée par la pompe booster puis filtrée, elle est ensuite véhiculée vers la boîte de distribution ainsi vers les tubes du condenseur progressivement réchauffé par la vapeur de la saumure qui se condense sur la partie externe des tubes.

L'eau de mer ainsi préchauffée aux environs de 73°C dans l'évaporateur va subir un réchauffement dans le réchauffeur de la saumure à la température voisine de 80°C puis admis se contrôle de débit au niveau de la première cellule. La vapeur qui se condense suite au réchauffage d'eau d'alimentation sera acheminée vers le ballon de condensat puis dans un collecteur de condensat par la pompe.

La vapeur détendue successivement au niveau de chaque cellule est recueillie dans la cuve du dernier étage (14). Et sera acheminée vers la pompe produit puis envoyée vers le stockage, si elle est conforme aux spécifications car les deux systèmes de condensat et produit sont équipés d'un dispositif de contrôle (conductimètre) qui les met au rejet au cas de mauvaise qualité.

### III-2-2 Paramètres de fonctionnement :

#### Section : SIDEM

Eau de mer		Entrée	Pression (bars)	2.4
		Sortie	Température	1.6
			C°	25
Eau d'appoint		Débit m <sup>3</sup> /h	180	
Vapeur	Haute pression		Pression (bars)	36
			Température	260
	Basse pression		Pression (bars)	2.4
			Température	150
Saumure	Ch. De Chauffe	Entrée		72
		Sortie		80
		Rejet	Température	30
			Pression (bars)	1
		Recyclage		4.80
	Condensats		Refoulement pompe	Température
				9.60
Production eau dessalée		Amont	Conductivité u/cm <sup>2</sup>	16.14
		Aval		
		Refoulement pompe	Température	27
Débit m <sup>3</sup> /h	77			

**Tableau 04** : les paramètres de fonctionnement du procédé MSF

### **III-2-3 Traitement chimique :**

Le système de traitement par produits chimique a pour fonction de retarder les dépôts de tartre et la formation de mousse dans l'unité de dessalement.

Les systèmes de dosages des agents antitartre et anti mousse font partie de l'unité de dessalement. Les systèmes destinés aux agents antitartre et anti mousse, se composent de réservoir de stockage doté d'un agitateur que ce soit pour l'agent antitartre ou anti mousse. Les deux agents sont dosés et préparés séparément. Deux pompes doseuses pour le pompage de l'antitartre (solution diluée) sont installées; ainsi que deux pompes pour le pompage de l'agent anti-mousse.

### **III-3 Description de l'unité de dessalement du type « thermo-compresseur »**

Le complexe FERTIAL (unité 50 II) comprend 1 unité de dessalement de type thermo-compresseur, produisant de l'eau distillée avec une teneur en sel dissous inférieur à 2 ppm. L'unité est constituée de 4 étages (cellules).

#### **III-3-1 L'installation comprend les éléments suivants**

- ✓ Evaporateur
- ✓ Cellules
- ✓ Condenseur distillateur
- ✓ thermo-compresseur
- ✓ Système eau de mer
  - Circuit eau de mer :
    - a) Pompe booster
    - b) Circuit d'unité
- ✓ Circuit saumure
- ✓ Circuit eau distillée
- ✓ Circuit vapeur
- ✓ Traitement antitartre

#### **III-3-2 Principe de fonctionnement :**

L'eau salée est introduite dans le condenseur distillateur C chargé principalement de l'évacuation par la chaudière.

Puis, à la sortie du condenseur, une certaine quantité de cette eau est rejetée. L'autre partie dénommée « eau d'appoint » est alors pulvérisée dans différentes cellules au-dessus des faisceaux de chauffe.

Ainsi la vapeur obtenue est extraite et comprimée par un thermo-compresseur ; à la sortie du thermo-compresseur, la vapeur est envoyée dans le faisceau où elle se condense.

### **III-3-3 Caractéristique principales du procédé :**

Les principales caractéristique sont les suivantes :

- Unités utilisant un procédé de distillation multi-étage, permettant une grande efficacité thermique et donc une faible consommation énergétique.
- Unités fonctionnant à basse température et à faible taux de concentration pour éviter les problèmes de corrosion et d'entartrage.
- Ce procédé ne nécessite pas de filtration sophistiquée ou de prés-traitement de l'eau de mer.
- Unités totalement automatiques donc pas de surveillance constante en fonctionnement.
- Simplicité de la supervision et de la maintenance : pas de contrôle continu, pas de machines tournantes à part les pompes.
- Faible consommation électrique comparé aux autres procédés de dessalement.

### **III-3-4 Traitement chimique :**

Les unités de type thermo-compresseur fonctionnent à basse température (température maximale de saumure < 70C°). Ceci permet de limiter les problèmes d'entartrage.

Les composants entartrant sont essentiellement des sulfates et des carbonates qui précipitent et ça se produit à haute température. Grace à la limitation en température de l'eau de mer, aucun traitement complexe n'est requis, seule une injection d'antitartre est nécessaire.

Il est important de vérifier régulièrement l'état du faisceau pour augmenter le dosage si nécessaire.

Cependant il existe des mesures prises régulièrement pour empêcher les dépôts importants de tartre, tous les mois, il faut pendant 24 h tripler le dosage d'antitartre.

L'eau de mer d'arrosage est également additionnée d'anti-mousse. L'unité de dessalement est équipée d'un système de dosage, conçu pour permettre un remplissage et un nettoyage facile. Pour chaque produit chimique à injecter, se système comprend :

- Un bac de dosage
- Un agitateur
- De pompes de dosage, avec ajustement manuel, filtre à l'amont et soupape interne.
- Une bouteille de niveau avec contact qui déclenche une alarme en cas de niveau insuffisant du bac.

### **III-4 Le tartre, l'entartrage et les moyens de lutte :**

Le laboratoire du complexe FERTIAL constitue une structure centrale pour les analyses. Ces dernières ont pour but de démontrer s'il y a des écarts dans les paramètres de l'eau pour apporter la correction nécessaire ce qui assure le bon fonctionnement des équipements industriels et une production meilleure.

Pour ce faire, des échantillons d'eau sont prélevés à la sortie du dessaleur, de la chaudière, du dégazeur et du bac de stockage. Les résultats obtenus sont communiqués, chaque jour, à la salle de contrôle qui identifie l'origine de l'écart et corrige par des traitements, ce qui évite l'apparition de problèmes de phénomènes physiques (pression élevée) et ou chimiques (entartrage).

La tâche du laboratoire est de contribuer à la production d'une eau de qualité qui est une condition nécessaire et obligatoire.

### **III-5 Les analyses effectuées par laboratoire :**

Le laboratoire de ce complexe effectue deux types d'analyse sur l'eau produite :

- Analyses systématiques planifiées (quotidiennes)
- Analyses courantes non planifiées (à la demande de la production)

#### **III-5-1 Les analyses systématiques planifiées (quotidiennes)**

Ce sont des analyses qui sont pratiquées quotidiennement elles englobent :

##### **III-5-1-1 Dosage des chlorures :**

Le dosage est basé sur la fixation des ions  $\text{Cl}^-$  par les ions  $\text{Hg}^{2+}$  pour l'obtention du chlorure mercurique ( $\text{HgCl}_2$ ). Le tirage s'effectue par une solution de nitrate de mercure selon la réaction suivante :



##### **III-5-1-2 Mesure de la conductivité :**

Il s'agit de mesurer la conductivité électrique de l'eau par un conductimètre, elle permet le control de la pureté de l'eau. Elle s'exprime en siemens par centimètre (S/cm) et est extrêmement sensible à la température, ce qui oblige à faire la mesure sous une température de référence, habituellement à 25 C°, l'eau robinet à une conductivité de 500 à 800 $\mu\text{S/cm}$ , tandis que pour l'eau de mer elle avoisine 56000 $\mu\text{S/cm}$ .

### **III-5-1-3 Mesure de pH :**

Le pH du dessaleur est compris dans un intervalle de [6 à 8]. Toutes les mesures de pH se font sous une température ambiante, car la variation du pH est directement proportionnelle à la température.

### **III-6-2 Les analyses courantes non planifiées :**

Ce genre d'analyses est réalisé à la demande de la production et en cas d'écart excessif de l'un Des paramètres. Elles concernent :

#### **III-6-2-1 Mesure de l'ammoniaque :**

L'ammoniaque est un composé corrosif très puissant, qui attaque la tuyauterie c'est une base forte, qui favorise la prolifération des micro-organismes et augmente la conductivité de l'eau dessalé.

### **III-7 Phénomène de l'entartrage**

Toutes les analyses ont pour but de parer au phénomène de l'entartrage qui représente le problème majeur au niveau de l'unité. D'autre problème technique sont rencontrés, comme le moussage, la corrosion, la prolifération des végétaux.

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.
- Du fait de leur très forte adhérence, les tartres mènent à une diminution constante de débit.
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant.
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre.

### **III-8 Définition de tartre :**

C'est un dépôt calcaire, issu de la précipitation des minéraux contenus dans l'eau sous l'effet de la chaleur, et fréquemment retrouvé dans les canalisations ; c'est également une croûte calcaire, dure et insoluble qui se dépose sur les parois des chaudières, des canalisations d'eau ou de vapeur.

### **III-9 Principaux dépôts de tartre rencontrés**

En général, les dépôts de tartre rencontrés dans les installations de dessalement sont:

- le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  (calcite, aragonite)
- le sulfate de calcium  $\text{CaSO}_4$  (anhydrite, gypse)
- l'hydroxyde de magnésium  $\text{Mg(OH)}_2$  (brucite)
- des silicates de calcium dont  $\text{CaSiO}_3$
- des silicates de magnésium dont  $\text{MgSiO}_3$
- le silico-aluminate de sodium (analcite)
- le ferro silicate de sodium (acmite)
- la silice ( $\text{SiO}_2$ )

D'autres matières telles que les oxydes de fer, les matières en suspension, les matières organiques, les éléments traces métalliques sont souvent renfermés dans ces dépôts de tartre.[5]

### **III-10 Classification du tartre :**

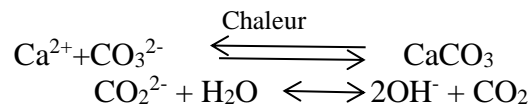
On parle habituellement de deux types de tartre :

Le tartre alcalin :  $\text{CaCO}_3$  et  $\text{Mg(OH)}_2$ .

Le tartre non alcalin :  $\text{CaSO}_4$ .

#### **a) Le tartre alcalin :**

Il est dû à la présence de carbonate et d'hydroxyde dans la saumure, résultat d'une décomposition thermique de l'ion de bicarbonate. Les ions bicarbonates se décomposent par chauffage pour donner des ions de carbonate et d'hydroxyle selon la réaction suivante :



Le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium se forment lorsque les ions de calcium et de magnésium, présents dans l'eau de mer, s'allient avec les ions de carbonate et d'hydroxyde émanant de la décomposition de l'ion de bicarbonate.

Le degré de formation de ces deux mélanges dépend de la concentration de l'ion de bicarbonate, de la température et du taux de dioxyde de carbone qui se dégage de la solution.

### b) Le tartre non alcalin :

Lors du dessalement, le tartre le plus important est le sulfate de calcium qui existe sous trois formes différentes :

- L'anhydrite  $\text{CaSO}_4$
- L'hémihydrate  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  (hémihydraté)
- Le dihydrate  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (dihydraté)

Ces trois formes sont plus solubles que le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et l'hydroxyde de magnésium. Ils forment des tartres uniquement là où l'eau est très saturée et la température est très élevée.

### c) Autres types de tartre :

- Le phosphate
- L'oxyde de fer et de cuivre
- Le tartre de silicate

## III-11 Les principales causes de l'entartrage :

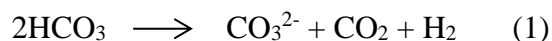
L'entartrage est un phénomène naturel, Les carbonates de calcium présents dans l'eau se transforment en calcite :

- ✓ par les réchauffages successifs
- ✓ par les températures élevées
- ✓ par la circulation de l'eau dans les conduites (brassage, choc...)
- ✓ par le simple stockage de l'eau
- ✓ au contact de l'air

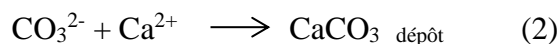
## III-12 Formation du tartre :

Les eaux contiennent des gaz dissous qui proviennent l'atmosphère, particulièrement du gaz carbonique et de l'oxygène, ainsi que des composés minéraux divers ( $\text{CaCl}_2$ , substances organiques). Le  $\text{CO}_2$  libre, existant dans l'eau, a pour but d'éviter la décomposition du bicarbonate de calcium  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

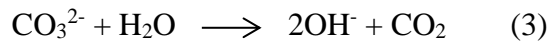
La quantité de  $\text{CO}_2$ , anhydride carbonique, s'élimine des  $50^\circ\text{C}$  par chauffage. Lorsque cette quantité est éliminée, elle favorise la décomposition du  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , selon la réaction suivante :



La réaction des ions carbonate avec les ions de calcium est :



L'hydrolyse de l'ion carbonate est à l'origine du dépôt d'hydroxyde de magnésium :



Les réactions 2, 3, et 4 sont endothermiques. Leurs vitesses de réaction dépendent directement de la température. C'est ainsi que :

- Si la température est inférieure à 82°C, le carbonate de calcium(CaCO<sub>3</sub>) prédomine.
- Si la température est supérieure à 93°C, l'hydroxyde magnésium (Mg(OH)<sub>2</sub>)est le principal constituant du tartre.
- Au-dessus de 121°c c'est le sulfate de calcium( CaSO<sub>4</sub>) qui prédomine.

### **III-13 Lutte contre le phénomène de l'entartrage :**

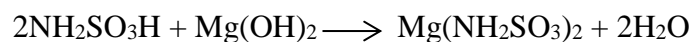
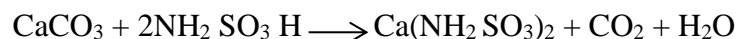
Les unités de dessalement d'eau de mer sont généralement sujettes au phénomène de dépôt de sels, traduit par la conversion alcaline des bicarbonates en carbonates, provoqué essentiellement, par le chauffage de l'eau de mer lors son l'utilisation.

Le phénomène d'entartrage touche généralement les réchauffeurs de saumure, les condenseurs et les évaporateurs. Ceci diminue les performances de l'installation avec évolution de l'épaisseur du tartre.

Le moyen de lutte contre le tartre reste le lessivage. Il est réalisé avec de l'acide sulfamique (NH<sub>2</sub> SO<sub>3</sub>H) comme agent nettoyant, additionné d'un inhibiteur de corrosion pour limiter l'effet corrosif de l'acide.

Le détartrage s'effectue grâce à l'injection d'une solution d'acide sulfamique dans les tubes.

L'attaque du tartre par l'acide sulfamique peut être représentée par la réaction chimique suivante :



### **III-14 L'acide sulfamique :**

L'acide sulfamique, de formule : NH<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>H est un solide cristallin blanc et stable, soluble dans l'eau , ou il s'hydrolyse lentement en bisulfate d'ammonium (NH<sub>4</sub>) HSO<sub>4</sub>. Il fond vers 205°C et se décompose en donnant une molécule d'eau et du trioxyde de soufre SO<sub>3</sub><sup>-</sup>, du dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> de l'azote N<sub>2</sub> à plus haute température. Il est utilisé comme détartrant et détergent.

### **III-14-1 Application :**

Il est utilisé comme détartrant ménager, notamment sous la forme des sachets de cristaux fournis avec les filtres à café.

Il est également utilisé comme inhibiteur d'interférences causées par le nitrite dans certains dosages colorimétriques comme celui du nitrate (réduction au cadmium) ou de l'ortho phosphate (réduction du phospho-molybdène par l'acide ascorbique). La réaction du nitrite avec l'acide sulfamique aboutit à la formation d'azote diatomique.

### **III-15 La procédure de lessivage :**

Le lessivage est réalisé dans les conditions suivantes :

- La température est comprise entre 50 et 60°C
- La concentration d'acide sulfamique de 5% massique pour le lessivage
- L'inhibiteur de corrosion qui est compatible avec l'acide sulfamique.

Durant le lessivage et après s'assurer de ce qui suit :

- S'assurer de la disponibilité de la fosse de neutralisation et d'une quantité suffisante de soude caustique pour la neutralisation (équivalente à ½ de la quantité de masse d'acide utilisé pour le lessivage)
- S'assurer de la disponibilité des pompes de nettoyages.
- Arrêter et vidanger l'unité à lessiver après l'avoir isolée.
- Vérifier que le circuit de lessivage soit bien isolé sur les unités en service.
- S'assurer de la disponibilité de la vapeur 4,5bars.
- Ouvrir les événements sur les boîtes à eau du réchauffeur de saumure et des évaporateurs.
- Aviser le service laboratoire pour assurer l'échantillonnage et l'analyse pendant l'opération de lessivage.
- L'opération de lessivage est considérée achevée quand les résultats des analyses donnent des valeurs constantes sur au moins trois échantillons consécutifs.
- La durée du lessivage varie en fonction de l'état d'accumulation du tartre le réchauffeur, ou le réchauffeur et l'évaporateur.

## *CHAPITRE 04*

Représentation des résultats  
Et  
Discussions

## **Introduction :**

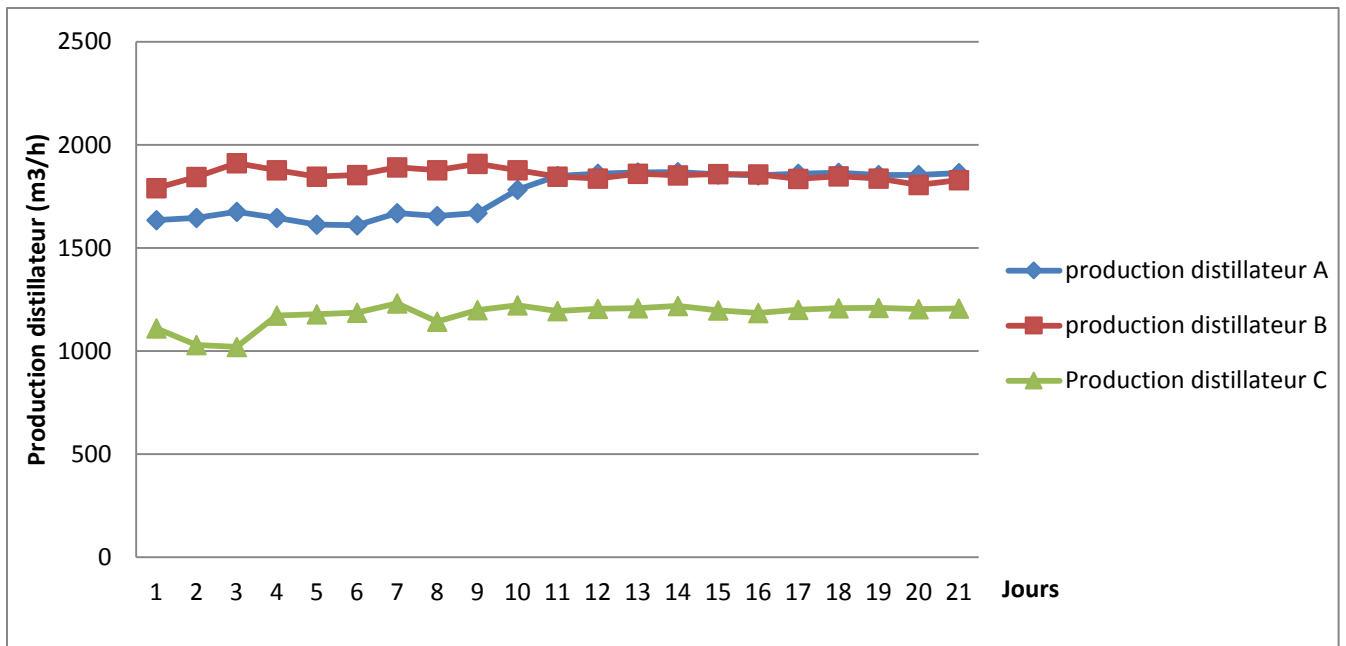
L'eau distillée obtenu par les procédés MSF et thermo-compresseur est soumise à des analyses quotidiennes et ponctuelles, pour s'assurer de sa bonne qualité vu qu'elle est utilisée pour diverses applications, tout changement des valeurs des paramètres mesurés conduit à des tests et des analyses complémentaires. Ceci, dans le but de maintenir un rendement correct des procédés.

## **IV-1 Production de l'eau dessalée dans le complexe FERTIAL :**

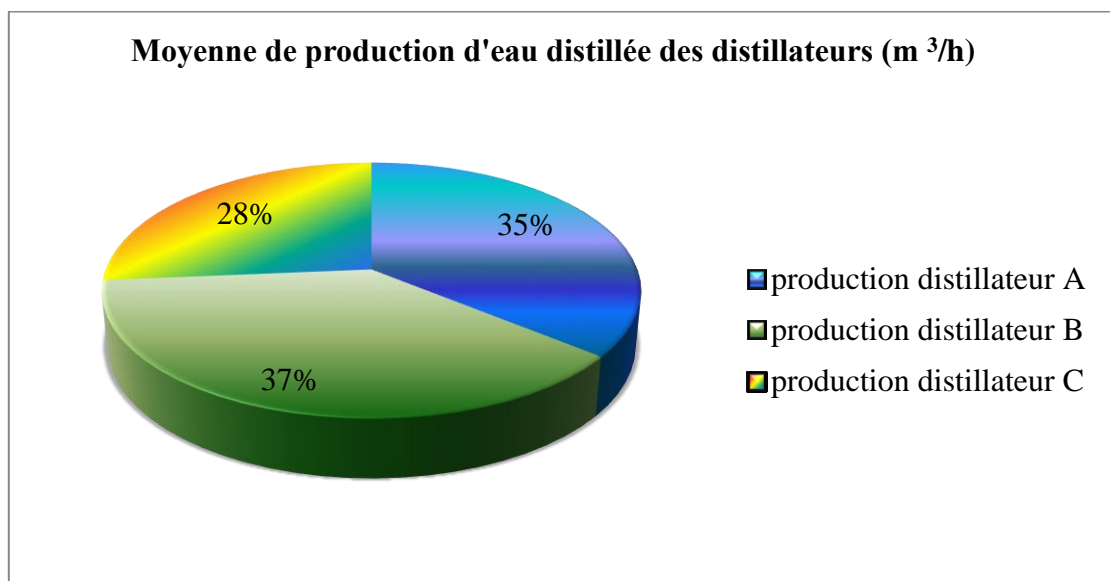
Le tableau 05 et la figure regroupent les données de production durant un mois pour l'eau dessalée pour les deux dessaleurs (A et B) de type MSF et 01 dessaleur (C) de type thermo-compresseur

Février 2016	Production distillateur A,B (m <sup>3</sup> /h) Type (MSF)		Production distillateur C (m <sup>3</sup> /h) Type (thermo- Compression)
	A	B	
01	16200	18110	15270
02	16350	17910	15300
03	16470	18450	15200
04	16760	19110	15100
05	16460	18770	14870
06	16140	18470	14830
07	16110	18550	15760
08	16700	18910	14620
09	16560	18780	15550
10	16690	19090	14990
11	17830	18780	14230
12	18490	18470	14940
13	18610	18380	13060
14	18670	18610	13090
15	18690	18530	12200
16	18580	18590	13970
17	18530	18570	12860
18	18600	18360	13100
19	18650	18480	13090
20	18550	18370	12100
21	18550	18060	12040
22	18630	18290	12070
Moyenne (m <sup>3</sup> /h)	17582.7273	18529.0909	14010.9091

**Tableau 05 :** la production d'eau distillée des deux procédés



**Figure 11** : évolution de production pour les distillateurs A, B et C



**Figure 12**: représentation de la production en eau dessalée des 03 dessaleurs.

#### **IV-2 Analyse de la qualité de l'eau distillée :**

L'élimination incomplète des ions chlorure provoque une augmentation considérable de la conductivité de l'eau distillée produite par les unités de dessalement enregistrée par les analyseurs en ligne. Les analyses effectuées au sein du laboratoire sur l'eau produite pour ces 3 dessaleurs A, B, C sont données respectivement dans le tableau suivant, puis sous formes des graphiques:

Dessaleur	SIDEM A Type (MSF)					
Les paramètres	17-02-2016	19-02-2016	20-02-2016	23-02-2016	25-02-2016	29-02-2016
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	2.95	3.71	3.18	3.34	2.46	2.71
PH	7.20	7.10	7.10	7.20	7.10	7.00
Cond (µs/cm)	15.50	18.60	15.50	19	15	13

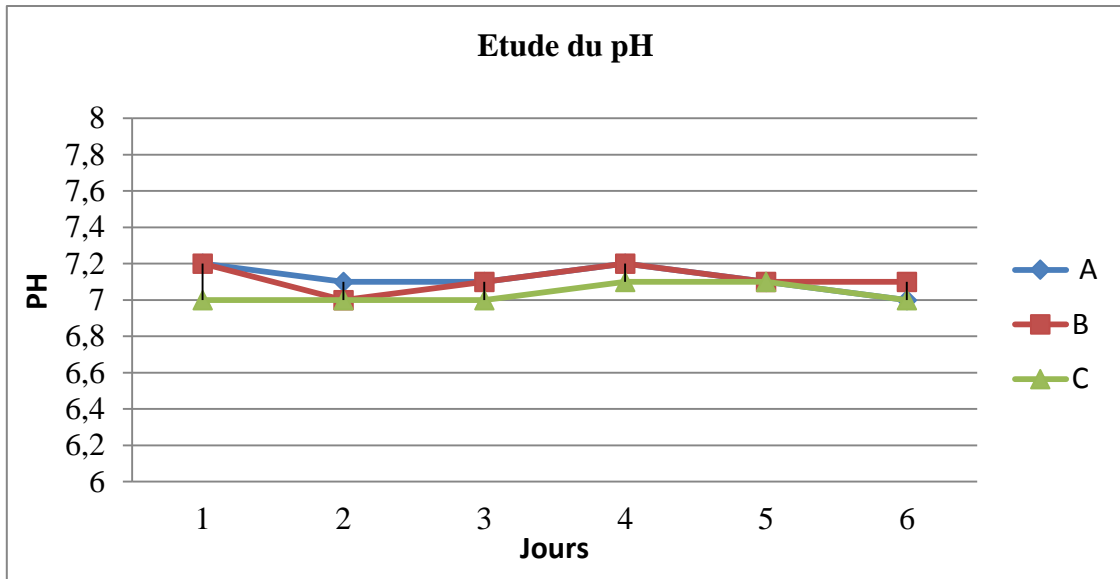
**Tableau 06:** résultat d'analyse des paramètres d'eau distillée.

Dessaleur	SIDEM B Type (MSF)					
Les mesures	17-02-2016	19-02-2016	20-02-2016	23-02-2016	25-02-2016	29-02-2016
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	2.60	3.20	3.00	3.20	2.03	3.00
pH	7.20	7.00	7.10	7.20	7.10	7.10
Cond (µs/cm)	14.60	16.30	15	17	16.50	14

**Tableau 07:** résultat d'analyse des paramètres d'eau distillée.

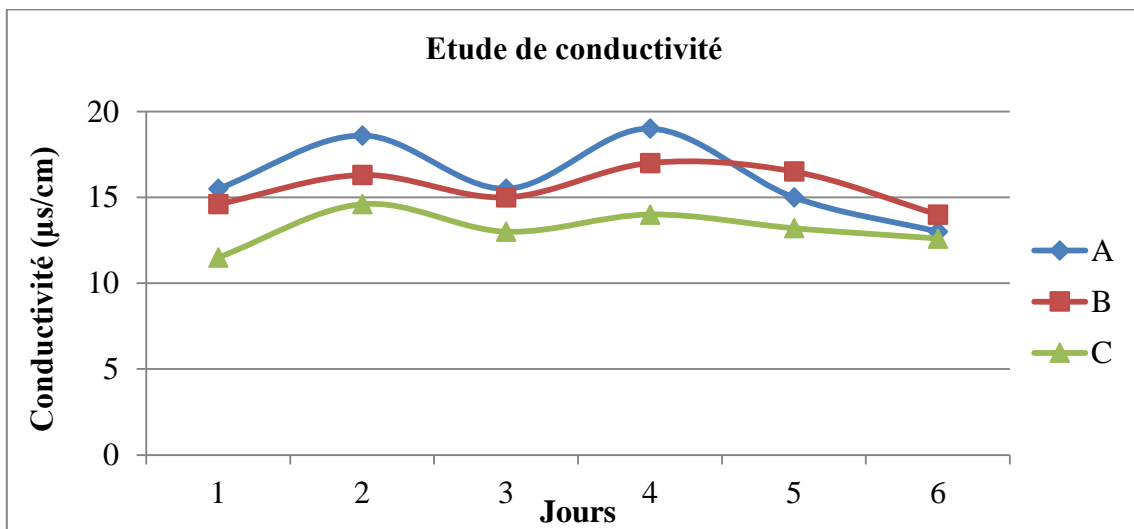
Dessaleur	SIDEM C type (thermo-compression)					
Les mesures	17-02-2016	19-02-2016	20-02-2016	23-02-2016	25-02-2016	29-02-2016
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	2.09	2.89	1.75	2.30	2.17	2.58
pH	7.00	7.00	7.00	7.10	7.10	7.00
Cond (µs/cm)	11.50	14.60	09.00	14	13.20	14.60

**Tableau 08:** résultat d'analyse des paramètres d'eau distillée.



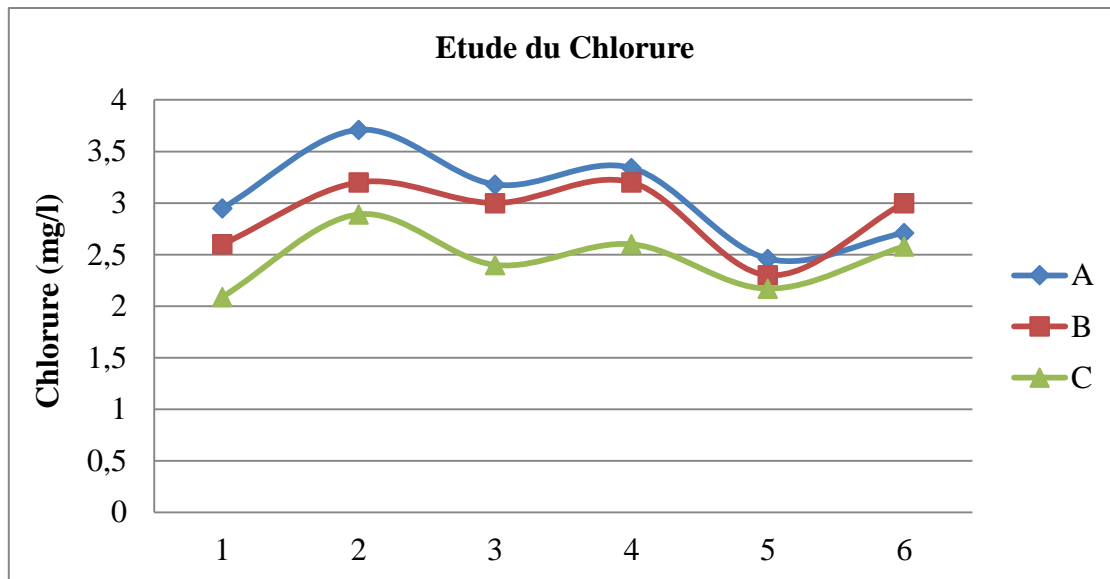
**Figure 13** : représentation du pH des 3 dessaleurs.

- Ce graphique nous montre une superposition des valeurs de PH pour le distillateur A et B qui utilisent le même procédé à savoir MSF à une valeur près même si le distillateur C donc de thermo compression a des valeurs de PH extrêmement proches, nous pouvons dire que les valeurs obtenues pour les 3 distillateurs respectent les normes.



**Figure 14** : représentation de la conductivité des 03 dessaleurs.

- Nous observons sur le graphique de la conductivité des valeurs assez proches pour le distillateur A et B et des valeurs de conductivité inférieures pour le distillateur C ce qui signifie que l'eau distillée obtenue par thermo compression est de meilleur qualité vu son faible taux de conductivité.



**Figure 15** : représentation du dosage des Chlorures de l'eau provenant des 3 dessaleurs.

- L'analyse des figures nous a permis de faire les constatations suivantes :
  - 1- Le profil d'évolution de la conductivité est le même que celui de l'évolution des chlorures. Ceci implique une relation proportionnelle entre le taux des chlorures et la conductivité de la solution.
  - 2- Plus la concentration de  $\text{Cl}^-$  augmente plus la conductivité augmente ce qui signifie que l'eau produite n'est pas complètement déminéralisée et ceci peut s'expliquer d'une part par l'entartrage présent au niveau du dessaleur ; d'autre part par le phénomène de primage (entraînement par la vapeur de traces de substances dissoutes donc d'ions  $\text{Cl}^-$ ).

#### **IV- 3 Test de détartrage :**

Les unités de dessalement d'eau de mer sont sujettes au phénomène de dépôt de sels provoqué par le chauffage de l'eau de mer lors de la mise en exploitation, ce phénomène touche généralement les réchauffeurs de saumure, les condenseurs et les évaporateurs, ce qui se traduit par l'entartrage causant la diminution de la performance de l'installation et l'augmentation de l'épaisseur de ce dernier.

L'entartrage est visible par l'abaissement du rendement des unités de dessalement d'où la nécessité de l'éliminer. L'élimination se fait par lessivage acide. Le traitement antitartre injecté en continue n'empêche pas totalement la formation des dépôts sur les parties soumises à haute températures. Ces dépôts doivent être éliminés, par traitement tel que le préconise SIDEM (Société International Distillation Eau de Mer).

#### **IV-4 production de l'eau dessalée de dessaleur C de type thermo-compression**

Nous allons suivre la production de l'eau distillée de SIDEM C de 04 cellules (type : thermo-compression) à travers 06 mois consécutifs :

Temps (mois)	Production	
	Moyenne d'eau dessalée (m <sup>3</sup> /h)	Rendement
Septembre 2015	27870	8361
Octobre 2015	27820	8346
Novembre 2015	27656	8296.2
Décembre 2015	24701	7410.3
Janvier 2016	17261	5178.3
Février 2016	14010.9091	4265.3
Moyenne	23219.8182	25173

**Tableau 09** : production de l'eau dessalée du distillateur C.

- Nous observons sur ce tableau que le rendement pour la méthode de thermo-compression est de l'ordre de de 33%, ce qui est en accord avec le rendement du procédé qui peut varier de 30à 40% ce résultat est obtenu en utilisant la relation suivante :  $(\text{Moyenne}/\text{rendement}) \times 100\%$ .

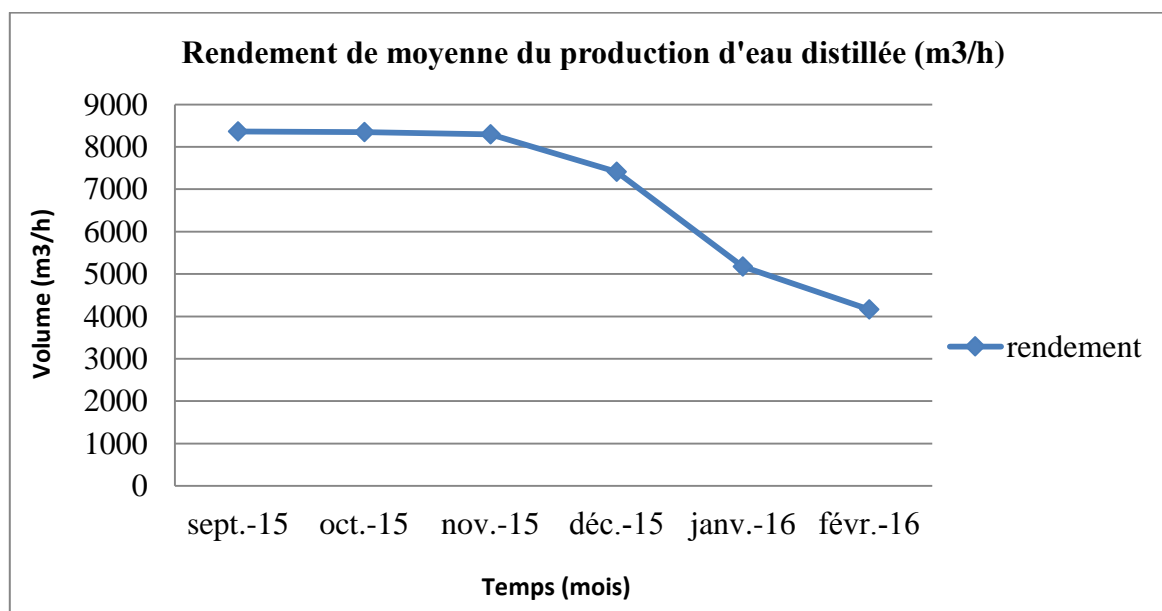


Figure 16 : représentation de la production d'eau distillée de dessaleur C.

- Ce graphique montre une forte diminution de la quantité de la production de l'eau distillée, ou on note qu'au mois de septembre 2015 la production est de l'ordre de 8466 m<sup>3</sup>/h, pour atteindre au mois de février 2016 un volume d'eau dessalée de 4265.3 m<sup>3</sup>/h.
- Nous pouvons en conclure qu'il y a un problème de dépôt de sels à l'intérieur des tubes, ce qui explique la baisse de production.

Dans le but d'enlever totalement les dépôts de tartre, une opération de lessivage acide est recommandée. Cette opération consiste à faire circuler une solution concentrée d'acide, (acide sulfamique) pour dissoudre le tartre sans attaquer les tubes des faisceaux.

#### **IV-5 Procédure de lessivage chimique (injection de l'acide sulfamique)**

Tableau de suivi de lessivage chimique de cellule 01 de SIDEM (C) type (thermo-compression)

Date	Heure	C% (acide sulfamique)	pH	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Appoint de l'acide sulfamique	Observation
16/03/2016	9 :00	3.26	1.1		150 Kg	
\\	9 :30	2.4				T°= 40C°
\\	10 :30	1.8				
\\	11 :30	1.5				
\\	13 :00	1.1				T°= 46
\\	14 :00	3.46			100 Kg	
\\	15 :00	2.6	1.2			
\\	16 :00	1.6				
\\	17 :00	1.2				T°=52C°
\\	17 :30	3.20			100 Kg	
\\	18 :30	3.10		81		
\\	19 :00	3.15	1.00	96		T°= 56C°
\\						T°= 56C°
\\	20 :00	Arrêt lessivage et début de rinçage				
Après mesure le pH : pH 01 = 2.6 pH 02 = 6.4						

Tableau 10 : représentation de la méthode de lessivage

- Nous observons sur ce tableau que des quantités d'acide sont injectées tout au long du lessivage en vérifiant constamment le PH et en mesurant la concentration en Cu<sup>2+</sup> sa présence indique l'élimination totale du tartre et par conséquent le début de corrosion des parois du condensateur, du réchauffeur et de toutes les parties internes de l'installation de de thermo- compression, ce qui signifie que le lessivage est fini et qu'on peut procéder au rinçage.

➤ **Production du SIDEM (C) Après lessivage :**

Production de l'eau distillée type (thermo-compresseur)	
Date	Production (tonnes)
01/04/2016	1870
02/04/2016	1877
03/04/2016	1879
04/04/2016	1880
05/04/2016	1884
06/04/2016	1885
07/04/2016	1885
08/04/2016	1886
09/04/2016	1884
10/04/2016	1885
11/04/2016	1880
12/04/2016	1877
13/04/2016	1888
14/04/2016	1898
15/04/2016	1898
<b>Totale</b>	<b>28256</b>
<b>Moyenne</b>	<b>1883.7333</b>

Tableau 11 : Production d'eau distillée à travers le mois de mars

- Nous observons sur ce tableau une hausse considérable de la production après le détartrage, dont le volume atteint 1898m<sup>3</sup>/h comparé avec le volume avant lessivage qui avoisinait les 1175.68m<sup>3</sup>/h donc on note une augmentation de près de 723m<sup>3</sup>/h ; ce qui augmente le rendement du procédé considérablement.

## CONCLUSION

L'eau de mer peut être utilisée dans divers domaines industriels, dans les opérations de refroidissement nécessitant d'énormes quantités d'eau. Par conséquent, avant son utilisation, un traitement rigoureux et efficace est indispensable afin d'éviter des problèmes limitant l'efficacité des installations et empêchant leurs dégradation.

C'est dans ce cadre que ce travail a été réalisé au niveau du complexe FERTIAL plus précisément au niveau de l'unité d'utilité de la production d'eau dessalée à partir d'eau de mer.

Les procédés utilisés dans cette unité sont la distillation type multi-flash à simple effet, ainsi que la thermo-compression.

Cette unité est conçue pour produire 80 m<sup>3</sup>/h d'eau dessalée à partir de l'eau de mer.

Afin de déterminer les causes de l'abaissement de la production, nous avons réalisé cette étude dont les résultats ont révélés que :

- Un chauffage important de l'eau à dessaler au niveau des réchauffeurs de saumure a causé le phénomène de l'entartrage. Le chauffage excessif a provoqué la formation du tartre qui a constitué une couche d'isolation qui s'oppose à l'échange thermique.
- La période du lessivage est fixée tous les 180 jours ; celle pratiquée au niveau de l'unité a été largement dépassée.

Afin de parer au problème du tartre, les mesures à entreprendre sont :

- Un prétraitement de l'eau de saumure, qui consiste en un traitement physique (filtration grossière et fine) et un traitement chimique pour la floculation des éléments minéraux et organique suivi d'une deuxième filtration.
- Le lessivage : cette étape est nécessaire pour le détartrage et doit être réalisée dans les délais recommandés (180j) avec de l'acide sulfamique à une concentration tolérable par l'équipement empêchant sa dégradation.

## **Références et bibliographiques**

- [01] Mémoire : amélioration de la qualité du nitrate d'ammonium fabriqué au niveau de complexe FERTIAL d'Arzew/induction ingénieur CHEHIDA Fatma, BERRAHAL Sara.
- [02] Rapport de stage pratique Au niveau du complexe d'engrais azoté FERTIAL. Induction Slimane Souad Kheira.
- [03] Mémoire : validation des analyses d'unité d'ammoniac.
- [04] Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Induction Viviane Renaudin
- [05] Mémoire : étude de la baisse de production de l'eau dessalée (unité d'utilité).
- [06] Alain Maurel ; dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : Et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. 02<sup>ème</sup> édition.
- [07] Document de SONATRACH. (1)
- [08] Etude a comparaison du dessaleur type THA avec le dessaleur type MSF. Induction SELLAÏ Karima/HAMIDI Meryem.
- [09] Document de SONATRACH. (2)
- [10] Mémoire : procédé de dessalement de l'eau de mer par énergie solaire a concentration/ induction ingénieur TIADJOUE BENJAMAIN.
- [11] Manuel opératoire du complexe FERTIAL/ utilité 01.
- [12] Mémoire : étude d'amélioration de rendement du procédé de dessalement a Thermo-compression au niveau du complexe d'ammoniaque sorfert / induction BOULENOUAR NABIL