

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة بادجي مختار – عنابة

Faculté de Technologie
Département Génie des procédés
Domaine : Science et technologie
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie Chimique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

**Etude de l'entartrage et analyse des paramètres physico –
chimiques au niveau de dessaleur de l'unité centrale
d'utilité II à FERTIAL -ANNABA-**

*Présenté par : Mekhania Khadidja
Nadjah Sara*

Dirigé par : Prof Zabat Nacéra

Jury de Soutenance

Dr Ghodbane	MCA	Université Badji Mokhtar Annaba	Président
ZABAT Nacéra	Prof	Université Badji Mokhtar Annaba	Rapporteur
Dr Chelghoum	Prof	Université Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Qu'il nous soit d'abord permis de remercier et d'exprimer notre gratitude envers Allah, qui nous a donné la patience et le courage et la force pour que nous puissions continuer ce modeste travail.

Nous tenons à présenter nos sincères remerciements qui vont du cœur à tous les membres de nos familles; en tête nos parents; qui nous ont apporté beaucoup de soutien durant toute la scolarité.

Nos plus vifs remerciements et reconnaissances s'adressent à notre promoteur professeur ZABAT NACERA d'avoir accepté d'encadrer ce travail. On la remercie particulièrement pour l'intérêt qu'elle a apporté à ce sujet, pour tous ses précieux conseils, pour sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire, pour son oreille attentive qu'elle nous a toujours accordé, pour sa confiance, pour l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et de nous avoir orienté vers le chemin de la recherche scientifique.

Nos remerciements vont également à la société Fertial pour le bon accueil et un merci particulier aux employés de l'unité centrale II.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Toutes ma famille surtout mes parents,
Mes sœurs: Hanane, Malak, Basmala, Mohammed, sana
Monsieur Bilel Boulabeiz, qui m'ont aidée beaucoup et qui ont
dépensé de leur temps et de leur tension d'esprit.*

SARA

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*Ma très chère mère qui pense à moi toujours dans ma présence
et mon absence, et mon très cher père qui m'a donné la force
pour continuer mes études. Mes très chère sœurs Nabila, Hafida,
et ma proche frère Zoubir,
Monsieur Bilel Boulabeiz , qui m'ont aidée beaucoup et qui ont
dépensé de Leur temps et de leur tension d'esprit.*

KHADIDJA

SOMMAIRE

Introduction générale		
Chapitre I	Aperçu générale sur le complexe Fertial	Page
1	Introduction	2
2	Historique	2
3	Les actionnaires de Fertial	2
3.1	Groupe VILARMIR	2
3.2	Groupe ASMIDAL	3
4	Présentation de Fertial	3
5	Unité de l'entreprise	4
5.1	Unité de l'ammoniac	4
5.2	Unité d'acide nitrique	4
5.3	Unité de production d'engrais	5
5.4	Unité de nitrate d'ammonium	5
6	Présentation de la centrale Utilités II	6
6.1	Section de pompage	8
6.2	Section de dessalement d'eau de mer	8
6.3	Section de déminéralisation	9
6.4	Section de production de vapeur	9
6.5	Section de production de l'énergie électrique	10
7	Laboratoire de contrôle de qualité	10
8	Différents types de circuits	10
8.1	Circuits ouverts	10
8.2	Circuits fermés	11
8.3	Circuits semi-ouverts	11
Chapitre II	Procédé de dessalement de l'eau de mer	Page
1	Introduction	12
2	Définition générale de dessalement	12
2.1	Principe générale de dessalement de l'eau	13
3	Dessalement des eaux	13
3.1	Eau de mer	13
4	Procédés de dessalement	14
5	Dessalement thermique	15
5.1	Principe de dessalement thermique	15
5.1.1	Le procédé de distillation à détente successives	15
5.1.2	Le procédé de distillation par thermo – compression	17
5.2	Procédés de dessalement thermique	18
6	Le dessalement de l'eau de mer par l'osmose inverse	20
7	Les avantages et inconvénients des différents procédés	22
8	Schéma de principe	23
9	Description du procédé Multi-Stage Flash	25

9.1	Généralités	25
9.2	Installation de dessalement	25
10	Réchauffeur de la section de dessalement	30
10.1	Mode de transmission de chaleur	31
11	Echangeurs à tubes et calandres	32
12	Principe de fonctionnement	33
13	Conclusion	33

Chapitre III	Etude du phénomène d'entartrage	Pages
1	Introduction	34
2	Le phénomène d'entartrage	35
3	Les différents paramètres favorisant s l'entartrage	35
3.1	Les dépôts entartrant	37
3.2	Les carbonates	37
4	Les sulfates	38
4.1	Les hydroxydes	38
4.2	Les facteurs de précipitation d'entartrage	39
5	Les facteurs de thermodynamique	39
5.1	Inconvénients d'entartrage	41
5.2	Traitement contre l'entartrage	41
6	L'injection des produits	41
6.1	Les inhibiteurs d'entartrage	42
6.1.1	Le nettoyage (lessivage)	42
6.1.2	Nettoyage chimique	42
6.2	Les agents de nettoyants	42
6.2.1	L'acide chlorhydrique	42
6.2.2	L'acide sulfurique	43
6.2.3	L'acide citrique	43
7	Nettoyage physique	43
7.1	Nettoyage hydrodynamique	43
7.2	Nettoyage par l'utilisation des billes	43
7.3	Conclusion	44

Chapitre IV	Etude de l'entartrage au niveau de dessaleur et Analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau mer avant et après dessalement	Pages
1	Problématique	45
2	Entartrage au niveau de dessaleur	45
2.1	Essai de l'entartrage accéléré	47
2.2	Rappels sur l'équilibre calco-carbonique	47
2.3	Principe de l'essai d'entartrage accéléré par la chrono-ampèremètre	48
3	Exploitation de l'essai d'entartrage accéléré	48
3.1	Analyse des paramètres physico-chimiques	50
3.2	Analyse de l'eau de mer et l'eau dessalée dans les conditions idéales	50
3.4	Analyse de l'eau dessalée dans les conditions réelles	51
3.4.1	Exploitations des résultats	52

4	Discussions des résultats	55
4.1	Essai d'entartrage sur l'eau de mer dessalée	56
4.2	Conclusion	57
	Conclusion générale	

Liste des figures

Chapitre I		Page
Fig. I.1	Les directions générales de FERTIAL	3
Fig. I.2	Principales activités de FERTIAL	4
Fig. I.3	Structure de la centrale utilité II	7
Chapitre II		
Fig.II.1	Principe générale de dessalement de l'eau	13
Fig.II.2	Concentrations des sels dans l'eau de mer	14
Fig.II.3	Schémas représentatif d'une cellule	16
Fig.II.4	Principe de fonctionnement d'un système d'évaporation par détente successives (MSF) à étages	16
Fig.II.5	Principe de fonctionnement d'une unité d'évaporation simple effet avec compression de vapeur	17
Fig.II.6	Distillation par thermo-compression de vapeur à multiple effets	19
Fig.II.7	Distillation par compression mécanique de vapeur à multiple effets	29
Fig.II.8	Installation MSF industrielle	20
Fig.II.9	Dessalement d'eau de mer par l'osmose inverse	21
Fig.II.10	Procèdes se dessalement de l'eau de mer	24
Fig.II.11	Echanges thermiques dans une cellule d'un distillateur à détente successives	26
Fig.II.12	Bloc de dessalement (FERTIAL ANNABA)	30
Fig.II.13	Réchauffeur de la section de dessalement	32
Fig.II.14	La calandre est un tube cylindrique de gros diamètre dans laquelle est placé le faisceau tubulaire	32
Chapitre III		
Fig.III.1	La solubilité de CaCO_3 en fonction de la température (pression partielle de $\text{CO}_2 = 1 \text{ bar}$)	40
Chapitre IV		
Fig.IV.1	Les différentes images sur le problème de l'entartrage dans les conduites du dessaleur	45
Fig.IV.2	Séparateur après l'utilisation dans les dernières cellules	46
Fig.IV.3	Séparateur après l'utilisation dans les premières cellules	46
Fig.IV.4	Domaines thermodynamiques des entartrages	47
Fig.IV.5	Courbe type d'entartrage accéléré	48
Fig.IV.6	Courbe type d'électrodéposition	49

Liste des tableaux

Chapitre II		
Tab II.1	Composition de l'eau de mer	14
Tab II.2	Avantages et inconvénients des différents procédés	22
Chapitre III		
Tab III.1	Les principales familles de produits tartrifuges	42
Chapitre IV		
Tab IV.1	Caractéristique physico-chimiques de l'eau mer.	50
Tab IV.2	Caractéristique physico-chimiques de l'eau dessalée.	51
Tab IV.3	Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques	51
Tab IV.4	Résultat d'analyse de l'eau dessalée	52

Résumé

Ce travail présente les principaux résultats et conclusions d'un stage pratique au niveau de l'unité de dessalement de l'eau de mer au complexe FERTIAL-Annaba. L'étude portant sur la formation de tartre lors du processus de dessalement multistade dans le cadre de la section dessalement. Le tartre, également connu sous le nom de dépôt de sels, est un problème courant dans les installations de dessalement et peut affecter leur efficacité opérationnelle.

L'objectif de ce travail était d'analyser les facteurs contribuant à la formation de tartre et d'identifier des stratégies pour minimiser son impact sur les performances du système de dessalement multistade.

Cette étude a été accompagnée par des analyses physicochimiques (ions chlorures, TH, PH et conductivité) de l'eau de mer avant et après dessalement.

Introduction générale

Introduction générale

La terre se profile en bleu, rien qu'en bleu Elle n'est que d'eau essentiellement d'eau. Paradoxalement, bien qu'elle soit recouverte d'eau à hauteur de 70 % de sa superficie, les hommes vivent pourtant à certains endroits de la planète, des situations dramatiques de manque d'eau.

Sur le plan mondial, la demande en eau de bonne qualité est de plus en plus forte. En effet, la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie et de l'agriculture sont de plus en plus élevés. Ces raisons justifient le recours au dessalement de l'eau de mer, qui est un procédé de distillation, il a pour but l'obtention d'eau de salinité voisine de celle des eaux douces à partir de l'eau de mer.

L'Algérie, un pays en voie de développement. Ce dernier est basé en majeure partie sur l'industrie, qui joue un rôle prépondérant. La présence importante du complexe FERTIAL de Annaba contribue au développement de l'économie nationale. Ainsi, l'unité centrale II où nous avons effectué notre stage de fin d'étude est implantée au niveau de ce complexe produit des divers fluides, en particulier, l'eau dessalée par des dessaleurs implantés à l'intérieur de l'unité. Cependant, des contraintes surgissent avec le temps s'opposent à leurs bonnes marches. Parmi ces dernières, il en existe d'ordre mécanique, électrique ou chimique.

Le cas qui nous préoccupe le plus est celui d'origine chimique, puisqu'il s'agit de se rapprocher d'un problème de bouchage, autrement dit entartrage des évaporateurs, réchauffeurs. Dans cette optique, le thème de notre étude a été choisi.

Notre travail compte à faire en premier lieu, une étude approfondie sur l'entartrage au niveau des conduites du dessaleur. En second lieu, une analyse physicochimique complète (ions chlorures, TH, PH et conductivité) de l'eau de mer avant et après dessalement a été réalisé.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres qui sont comme suit:

- Le premier chapitre consiste en une présentation de complexe Fertial –Annaba avec un aperçu sur le dessalement de l'eau de mer à l'unité Centrale 2 et utilité.
- Le deuxième chapitre expose des généralités sur les résines échangeuses d'ions.
- Le troisième chapitre s'intéresse à la présentation de la section et l'installation de fonctionnement de la technique de déminéralisation.
- Le quatrième chapitre analyse la problématique du phénomène de l'entartrage au niveau de la centrale II et relate les analyses physico-chimiques des paramètres à savoir le pH, la conductivité, TH, et ions chlorures pour une eau dessalée.

Finalement on termine par une conclusion générale.

Chapitre I

Aperçu général sur le complexe FERTIAL

Introduction

Notre pays compte plusieurs complexes industriels entre autre celui d'ASMIDAL à Annaba, considéré comme l'un des piliers de l'économie nationale et support pour le secteur agricole, celui-ci tente de suffire le marché national et devenir compétitif sur le marché international.

I. Historique

A l'aube de l'indépendance, la situation du secteur de l'industrie des produits chimiques montrait une faiblesse notable dans les capacités de production installés qui se limitait à de petites unités vétustes, utilisant des procédés archaïque c'est pourquoi le complexe «ASMIDAL» a mis en œuvre une stratégie de développement globale connu à sa création, en 1972 sous le nom du complexe phosphaté «SONATRACH».

Cet ensemble industriel, qui est légal en importance de réalisation majeure du pays, a répondu dans les faits à stratégie de développement ébauchée préalablement aux décisions, en 1966 pourtant, sur la nationalisation des ressources minières du pays et de leur valorisation. En 1977, a été une année charnières dans la vie de l'entreprise «ASMIDAL» a vu sa restriction avec le délestage des activités secondaires et recentrage sur son métier de base à son savoir la fabrication de l'ammoniac et des engrais.

La réalisation du complexe des engrais phosphatés et azotés de ANNABA entre dans le cadre de cette politique de développement de l'industrie chimique et principalement la promotion de l'agriculture algérienne qui représente un outil indispensable dans l'indépendance du pays. [1]

I.2. Les actionnaires de FERTIAL

Les actions de Fertial sont détenues par :

- ✓ Groupe VILAR MIR : 66%
- ✓ Group ASMIDAL : 34%

I.2.1. Group VILAR MIR

Groupe VILAR MIR (GVM) est un groupe espagnol industriel, privé diversifié et présente dans plusieurs secteurs d'activités. Son chiffre d'affaire en **2005** est de **3740** millions d'euros. Dans le secteur d'engrais, il dispose, à travers sa filiale FERTERBIRIA, d'une capacité de production d'engrais de **5.6** millions tonnes. [1]

I.2.2. Groupe ASMIDAL

Pionnier en Alger dans la production et la commercialisation des engrais et de l'ammoniac, ASMIDAL a ouvert en 2005 le capital de ses filiales de production FERTIAL et ALZOFERT aux espagnols du groupe VILLAR MIR (66%) de maintenance SOMIAS aux tunisiens de ALKIMIAL (55%) et production de STPP aux Britannique de WOODGROP (55%). Aujourd'hui ASMIDAL est devenue une société et institut et de distribution des engrais de FERTIAL à travers la filiales AZFERTRADE dont elle détient 100% du capital. [1]

I.3. Présentation de Ferial

Ferial, crée 01 mars 2001, est passée à une société par action (spa) en 2005 (66%) groupe espagnol Vilar Mir, 34% ASMIDAL-FERTIAL, Algérie). il existe deux pôles industriels :

- a. **La plate-forme ANNABA** : complexe fabriquant des engrais azotés, phosphates, de l'ammoniac (NH_3 :1000T/J).
- b. **La plate-forme ARZEW** : complexe fabriquant des engrais azotés, de l'ammoniac (NH_3 :1000T/J) et du Nitrate d'ammonium (NH_4NO_3 :1500T/J)

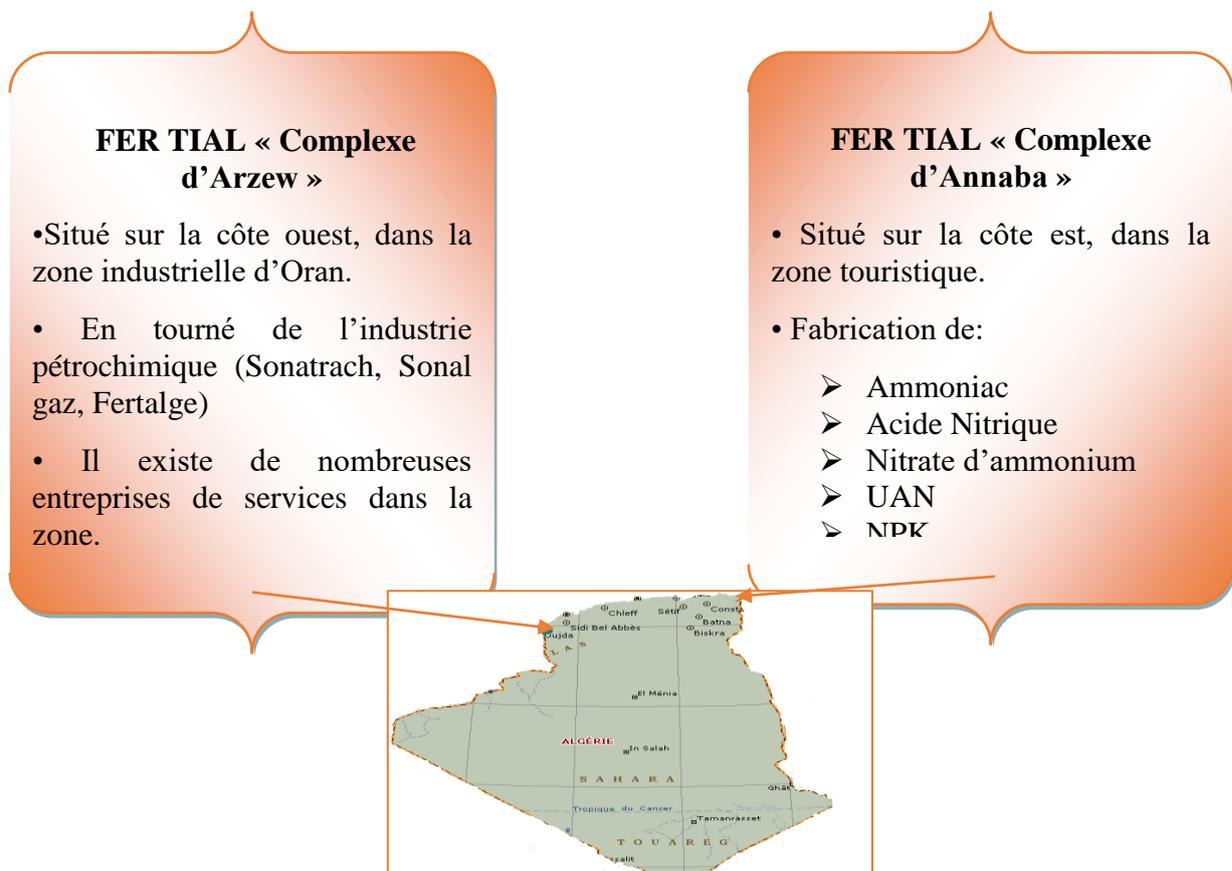


Figure I.1. Les directions générales de Ferial [2]

I.4. Unités de l'entreprise

L'entreprise dispose de quatre unités dont chacune est spécialisée dans un procédé de fabrication et caractérisée par sa propre capacité de production. Ces unités sont détaillées ci-dessous :

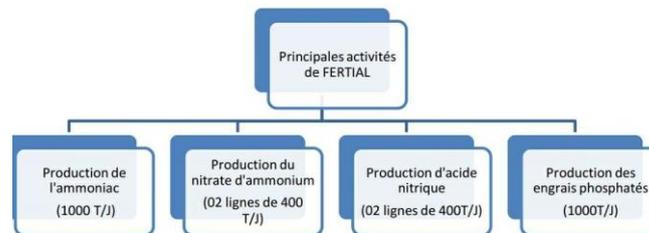


Figure I.2.Principales activités de FERTIAL [3]

I.4.1. Unité d'ammoniac

- **Capacité de production** : 1000 tonnes/jour
- **Procédé de fabrication** : procédé Kellogg utilisant le gaz naturel par craquage à la vapeur en produisant de l'hydrogène. Ce procédé consiste en les opérations suivantes :
 - 1-Reforming primaire du gaz naturel dans le four de reforming
 - 2-Reforming secondaire pour finaliser la réaction de reforming avec l'air du procès
 - 3-Conversion de CO en CO₂ sous deux conditions de réactions (conversion à haute température et conversion à basse température)
 - 4-Séparation du CO₂ du gaz de procès par absorption avec une solution de MEA
 - 5-Méthanisation des traces de CO et CO₂.compression du gaz de synthèse avec quatre lits catalytiques à 140 bars et synthèse de l'ammoniac au niveau des réacteurs de synthèse.
 - 6-Séparation de l'ammoniac produit au niveau des sections de réfrigération à une température de 33°C et stockage. [3]

I.4.2. Unité d'acide nitrique

- **Capacité de production** : Deux lignes identique de 400tonnes/jour.
- **Procédé de fabrication** : procédé de stamicarbon à haute pression (7.95 bars abs)
 - 1-Evaporation de l'ammoniac liquide de 0 à 35 °C au moyen de la vapeur à basse pression.
 - 2-Mélange de l'air et de l'ammoniac,
 - 3-Filtration des mélanges,
 - 4-Conversion de l'ammoniac (le mélange filtré réagit pour donner naissance aux composés NO et N₂)

5-Oxydation/Absorption : l'oxydation du gaz NO formé dans le convertisseur. Le NO₂ gazeux ainsi formé est absorbé par l'eau du procédé dans une colonne à plateau,

6-Blanchiment de l'acide brut qui contient des gaz dissous sous forme de HNO₂ lui donnant une couleur rougeâtre avant d'être blanchi,

7-Réduction des gaz NOx. [3]

I.4.3. Unité de production d'engrais

➤ **Capacité de production** : l'unité NPK dispose d'une ligne de production d'une capacité de :

❖ TSP : 880 tonnes/jour

❖ NPK : 1050 tonnes/jour

➤ **Procédé de fabrication**

Le procédé Rhône Poulenc, utilisé dans la production des engrais, s'emploie selon la procédure suivante :

1. Fabrication d'une bouillie de phosphate d'ammoniac qui est mélangée avec les produits de recyclage, le nitrate d'ammonium, le chlorure de potassium et le ballast,
2. Mélange dans la cuve d'attaque de l'acide phosphorique avec de l'ammoniac,
3. Passage de la bouillie formé vers le granulateur pour être transformée en grains homogène,
4. Séchage des grains humides formés dans le granulateur,
5. Sélection du produit marchand : le produit sec du tube sécheur qui possède une granulométrie très variable est ensuite acheminé vers une batterie constituée de cribles à deux ponts,
6. Stockage du produit fini après son refroidisseur. [3]

I.4.4. Unité de nitrate d'ammonium

➤ **Capacité de production** : 1000 tonnes/jour de nitrate 34.5% et 33.5%, CAN 27%

➤ **Procédé de fabrication** : le procédé utilisé dans la production du nitrate d'ammonium est le Stamicarbon (Hollande). Le produit suit les opérations suivantes :

1. Evaporation de l'ammoniac liquide à 0°C en NH₃ ; il est ensuite surchauffé de 17°C à 30°C
2. Neutralisation dans un réacteur gazeux d'acide nitrique à 57°C poids ; on obtient un nitrate à 77%
3. Prilling et refroidissement : formation de prills (solide) dans une tour. Durant la chute, les gouttelettes se solidifient en prills et la température baisse de 175°C à 100°C puis on passe au

refroidissement du produit dans un fluidiseur jusqu'à 31°C pour fabriquer du CAN 27% de la dolomite est rajoutée au procédé. [3]

I.5.Présentation de la centrale Utilités II

La centrale Utilités II est une unité motrice et primordiale pour tout complexe de production. Elle a pour but de produire des matières d'utilités répandant aux besoins du complexe, comme l'eau dessalée, l'eau déminéralisée, la vapeur à haute et basse pression, l'énergie électrique et l'air comprimé. Elle comprend 4 sections principales et 2 sous-sections qui sont:

- _ La section de pompage
- _ La section de dessalement d'eau de mer (SIDEM)
- _ La section de déminéralisation d'eau dessalée
- _ La section de production de vapeur
- _ La section de production de l'énergie électrique et de l'air comprimé.

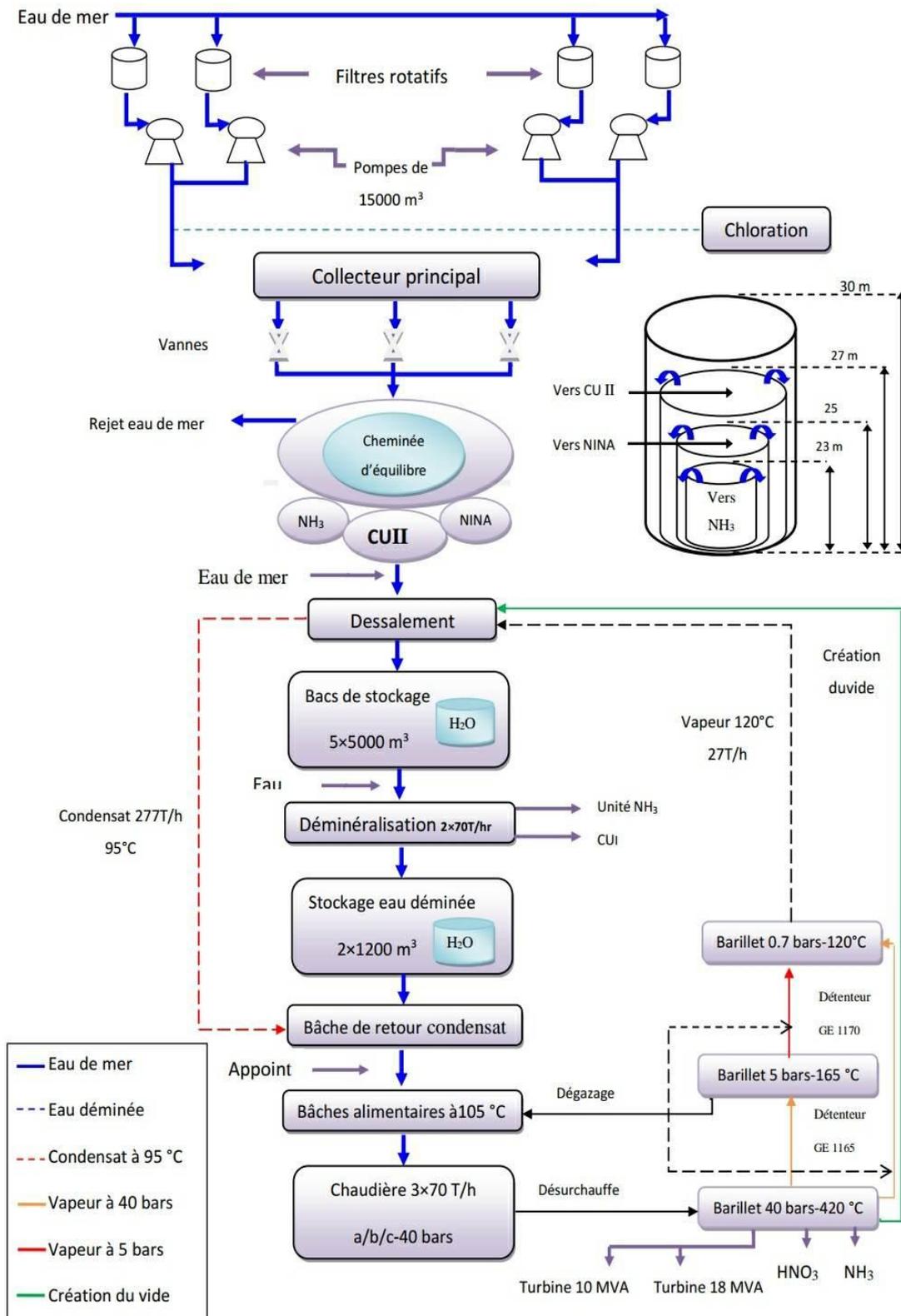


Figure I.3. Structure de la centrale utilité II. [4]

I.5.1 Section de pompage

Elle a pour but d'assurer le besoin d'entreprise d'eau de mer nécessaire ; cette unité est composée de 2 sections : pompage 1 et pompage 2. Chaque pompage est composé de :

- **Deux filtres rotatifs** : pour éliminer les matières en suspension telles que les algues.
- **La chloration** : pour éliminer les matières micro-organiques et les bactéries, par deux types d'injection du chlore : injection continue et injection choc.
- **Deux pompes de remplissages** : pour remplir les conduits et chasser l'air.
- **Quatre pompes de services** : pour transporter l'eau de mer vers la cheminée d'équilibre. [5]

I.5.2. Section de dessalement d'eau de mer

Le complexe dispos de deux procédés de distillation : la distillation par détente successive et la distillation à effets multiples

L'eau de mer fournie par cheminée d'équilibre va alimenter les 4 dessaleurs de cette section : 3 dessaleurs sont identiques de type multi flash (distillation sous vide) avec recirculation des au mure, ayant une capacité de 4700m³ d'eau distillée, et l'autre de type thermo compression (distillation à compression de vapeur) dont la capacité de production est de 210m³ /h d'eau distillée. [5]

a) Distillation par détente successive (procédé flash)

L'eau de mer prétraitée est introduite à une température T_0 dans les condensateurs placés en série dans une succession de chambres. Cette eau s'échauffe dans ces condenseurs jusqu'à une température T_1 puis elle est introduite dans un réchauffeur qui l'élève à une température T_{max} . Le réchauffeur est alimenté par de la vapeur d'une chaudière ou l'échappement ; l'eau de mer chaude est introduite dans le bas de la première chambre où règne une pression inférieure à celle de saturation de la vapeur. Il en résulte une vaporisation instantanée appelée « flash » : la vapeur produite va se condenser sur la surface du condenseur. Le condensat de cette vapeur va se condenser sous le condenseur et produit de l'eau douce de la 1ere chambre. Ce phénomène se produit jusqu'à la dernière chambre. Les températures des chambres vont en décroissant et par conséquent les pressions aussi. Ce sont les écarts de pression qui autorisent ce processus. L'installation fonctionne sous vide, tout au moins pour les chambres d'une température inférieure à 100°C. Il y a toujours des entrées d'air inévitables ainsi que du CO₂ dû à la décomposition des ions bicarbonates qui se dégagent dans les chambres. Un système extrait en permanence les gaz incondensables.

b) Distillation à effets multiples

Une installation de distillation à effet multiple est constituée par la juxtaposition de n cellules. Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide.

I.5.3. Section de déminéralisation

Ce procédé consiste en le passage de l'eau dessalée à travers des filtres à sable avec charbon actif et de résines échangeuses d'ions mixtes (cationique et anionique). L'eau dessalée passe premièrement par des filtres à sable et charbon actif pour éliminer les matières en suspension et chimiques par adsorption à la surface, puis à travers des résines échangeuses d'ions afin de la déminéraliser. L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (cations par exemple) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charges opposées ne sont pas affectés. Lorsque la résine est épuisée ou saturée, la capacité d'échange de la résine est alors nulle. Il convient de remettre l'échange d'ions sous forme ionique originelle afin qu'il puisse être réutilisé par un nouveau cycle, c'est la séquence de régénération. [5]

I.5.4 Section de production de vapeur

Il y a trois chaudières de capacité de production maximale 60 tonnes/h chacune. C'est une section de production de vapeur sèche à haute pression (40 bars et 420 °C) avec des chaudières à tube d'eau (circulation naturelle), où l'eau alimentaire subit un traitement physique et chimique puis entre dans la chaudière de température environ 105 °C pour qu'elle se transforme en une vapeur motrice qui va être utilisée dans les différentes unités. La vapeur produite passe par barillet comme moyen de distribution à travers le complexe ; cette vapeur est diffusée à différent pression (40 bar, 5 bar et 0,7 bar).

I.5.5. Section de production de l'énergie électrique

L'énergie électrique au niveau du complexe est produite dans deux turbines de différentes capacités :

- Une turbine à contre pression de capacité de production de 10 MW/h ;
- Une turbine à condensation de capacité de production de 18 MW/h.

I.6. Laboratoire de contrôle de qualité

La mission du laboratoire est le suivi de la qualité des produits dans les unités de production (analyses des matières premières, produit intermédiaire dans la chaîne de production, produit fini et rejets). Les éléments analysés sont les suivants :

- _ Analyse des eaux (pH, conductivité, TH, TA, TAC, Cl^- , SiO_2 , PO_4^{-3}) ;
- _ Analyse des engrais (pH, dureté, granulométrie, H_2O , N_{tot} , N_{amm} , P_2O_5 , K_2O , Enrobant) ;
- _ Analyse des huiles ;
- _ Analyses des gaz de process (CH_4 , H_2 , N_2 , CO , CO_2 , Ar, NH_3);
- _ Analyse des matières premières ;
- _ Préparation des solutions et courbes d'étalonnage ;
- _ Analyses des rejets liquides (pH, N-K jeldahl, NH_4^+ , MES, Huiles et graisses, P, F^- , DCO, DBO_5) ;
- _ Analyse des rejets atmosphériques (NO_x , NH_3 , N_2O) ;

L'appareillage utilisé est indiqué en Annexe A01. [6]

I.7. Différents types de circuits

Parmi les procédés de réfrigération utilisés dans le complexe industriel des engrais minéraux, on distingue trois types de circuits :

- _ Les circuits ouverts ;
- _ Les circuits fermés ;
- _ Les circuits semi-ouverts.

I.7.1. Circuits ouverts

Dans un circuit ouvert l'eau froide est prélevée dans une rivière, un forage, en mer ou dans un réseau de distribution ; elle ne passe qu'une seule fois dans l'appareil à refroidir puis est rejetée dans le milieu environnant. Les vitesses de circulation sont généralement élevées et de ce fait l'accroissement de température est faible. Il faut néanmoins lutter contre l'entartrage aux points chauds, lorsqu'on utilise des eaux fortement minéralisées.

Pour les eaux de rivières ou de forage, on injecte généralement une faible concentration en réactif à base de phosphates, et pour les eaux de mer ou d'étang fortement chargées en chlorures, on utilise uniquement du chlore pour éviter la prolifération des algues due à la

chaleur et la lumière. Ce type de circuit admet des avantages dans la mesure où il est simple d'exploitation et le coût d'investissement est faible.

I.7.2. Circuits fermés

Dans un circuit fermé l'eau circule en boucle fermée ; une source froide, généralement un aéro-réfrigérant élimine la chaleur prise au procédé. Mis à part les fuites il n'y a pas de consommation autre que le remplissage du circuit. Pour éviter les risques de gel en hiver, de l'eau glycolée est souvent utilisée. Leurs avantages résident dans leur faible l'impact sur l'environnement et le coût de l'eau et des réactifs est également faible.

I.7.3. Circuits semi-ouverts

L'eau chaude à la sortie des échangeurs est refroidie dans une tour de réfrigération par contact direct avec l'air ambiant. L'eau ruisselle sur un corps d'échange (garnissage), pour être en contact avec l'air, puis est recueillie dans un bassin de récupération, reprise par des pompes de circulation et renvoyée dans le circuit. Le transfert de chaleur de l'eau à l'air ambiant s'effectue par convection et par évaporation d'une partie de cette eau jusqu'à saturation de l'air en humidité. Selon la température et l'humidité de l'air à l'entrée du réfrigérant, 5 à 15% de la chaleur sont évacués par convection. La consommation d'eau représente une fraction du débit recyclé et correspond:

- _ À l'évaporation ;
- _ À l'entraînement de gouttelettes (entraînement vésiculaire)
- _ Aux purges de déconcentration
- _ À des prélèvements directs et aux fuites

L'eau d'appoint doit généralement être traitée avant d'être admise dans le circuit. Les avantages des circuits semi-ouverts sont la possibilité de gros débits, une faible consommation d'eau d'appoint, une consommation réduite de réactifs, et une meilleure protection contre la corrosion et l'entartrage que dans le cas des circuits ouverts. [6]

Références bibliographiques

- [1] documentation FERTIAL / GROUPE VILLAR MIR
- [2] Document interne de FERTIAL
- [3] Amamra Abderahmane et Bouchami Sameh ; Etude et analyse de l'efficacité de l'opération de dessalement de l'eau de mer de la centrale Utilité II-FERTIAL,
- [4] Documentation, Service technique de process-FERTIAL-ANNABA.
- [5] Documentation, unité de centrale utilité II, FERTIAL-ANNABA.
- [6] Guide de traitement des circuits aérorefrigérentes, Technical Report, 2006.

Chapitre II

Procédé de dessalement de

l'eau de mer

Introduction

L'eau est un élément essentiel pour l'homme. Elle est essentielle pour son alimentation, et le maintien de son corps, car elle est impliquée dans un certain nombre biologiques. De plus, c'est un élément nécessaire à toutes les activités de la vie et son environnement. Malheureusement, beaucoup de populations dans le monde ne reçoivent presque pas assez d'eau. L'eau représente de 50 à 70% du poids corporel total d'un adulte, et sans suppléments réguliers, le temps de survie de notre corps est limité à quelques heures ou jours [1]

La croissance de la population associée à une expansion industrielle sans relâche soumet une ressource de plus en plus rare à des demandes grandissantes.

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, une solution évidente au problème est le dessalement de l'eau de mer, c'est - à - dire l'élimination du sel de l'eau de mer. Ce besoin de dessalement se pose partout où l'eau douce est rare. Les industries de transformation, les secteurs électriques et pétrochimiques, les plateformes off - shore et les navires sont de grands consommateurs d'eau douce et pure. Les politiques environnementales forcent de plus en plus l'industrie à devenir autonome en eau afin de préserver les réserves aquatiques souterraines.

Choisir la bonne technologie de dessalement est une tâche complexe et les différentes méthodes disponibles méritent d'être évaluées avec soin. Les aspects à considérer sont la complexité du prétraitement de l'eau, les sources d'énergie, la logistique d'exploitations et de maintenance et l'espérance de vie de site, sans oublier, bien sur l'économie.

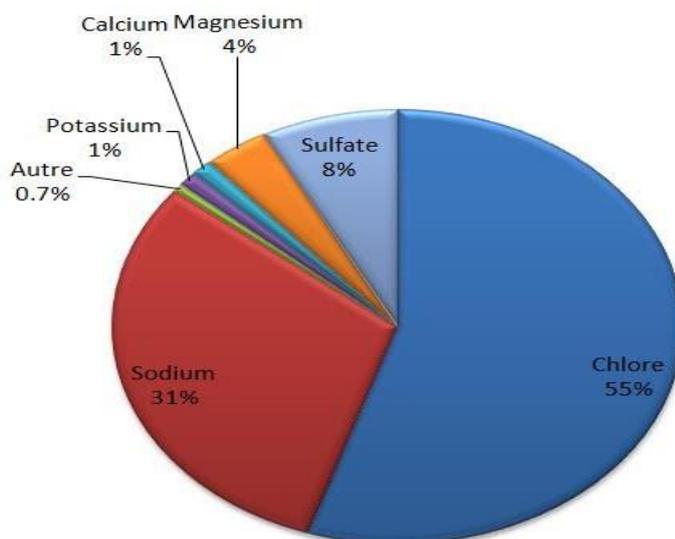
Les deux méthodes principales de dessalement proposées aux utilisateurs industriels sont la distillation ou l'extraction des sels à l'aide d'une membrane (osmose inverse) [2].

II.1 Définition générale de dessalement

Le dessalement de l'eau ou désalinisation est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée. Très généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter que de dessaler l'eau de mer.

Tableau II. 1 Composition de l'eau de mer

Désignation	Donnes	Pourcentage
Duarte	692 degré	/
TAC	11,30 degré	/
SH2	<0,005mg/L	/
TDSà110°C	38,199mg/L	/
Ph	7,92	/
NaCl	27,2g/L	78%
MgCl2	3,5g/L	11%
MgSO4	1,7g/L	5,00%
CaSO4	1,26g/L	3,50%
K2SO4	0,86g/L	2,40%

**Sels dans l'eau de mer****Figure II.2 :** Concentrations des sels dans l'eau de mer

II.3 Procédés de dessalement

IL suffit de distiller de l'eau de mer pour en extraire de l'eau douce, c'est à dire produire de la vapeur d'eau en faisant bouillir l'eau de mer et récupérer l'eau douce par condensation de la vapeur. IL est à noter qu'à cause de la présence de sel, l'eau salée bout à une température

légèrement supérieure à l'eau pure. La différence de température d'ébullition entre l'eau salée et l'eau douce à une pression donnée est appelée écart ébullioscopique.

II.4 Dessalement thermique

II .4.1 Principe de dessalement thermique

Dans les procédés de distillation, le principe est de chauffer l'eau brute pour vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite, dans son accensions, se débarrasse progressivement de toutes les particules lourdes, en particulier les sels et par suite se condense pour donner de l'eau liquide moins chargée à douce. Ce développement est en fait une accélération du cycle naturel de l'eau au cours duquel l'eau s'évapore naturellement des masses d'eau, des océans et la vapeur d'eau qui s'accumule et se condense dans les nuages, finit par retomber sur terre par précipitation sous forme d'eau douce. Dans les processus de distillation, la répétition en chaîne de cette séparation améliore au fur et à mesure l'élimination des sels et l'adoucissement de l'eau. Aussi, la plupart de ces processus opèrent par étapes successives qui réalisent la distillation du distillat jusqu'à un degré où l'élimination des sels est et optimale. ' énergie consommée est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière et l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer. Ces énergies sont considérables constituent l'inconvénient majeur de ces procédés. La forte consommation d'énergie est due à la valeur élevée de la chaleur latente de vaporisation de l'eau dont la transformation d'un kilogramme d'eau liquide en eau vapeur à 100 ° c nécessite environ 2250 kilojoules. Afin de limiter cette consommation d'énergie, les procédés tentent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation. Parmi les techniques qui s'opèrent suivant le principe de distillation on a:

* Le procédé de distillation à détente successive (Multi - Stage flashe: Distillation MSF)

*Le procédé de distillation par thermo -compression.

II .4.1.1 Le procédé de distillation à détente successive

A- Description de l'installation

a) **Evaporateur** Comportant 20 cellules, chaque cellule comporte deux parties: -la partie inférieure est une cuve. -la partie supérieure est un condenseur.

Entre les deux parties est placé un séparateur (filtre de mestre) pour éviter l'entraînement des gouttelettes d'eau, et un pot de récupération du distillat. (Voir figure II.)

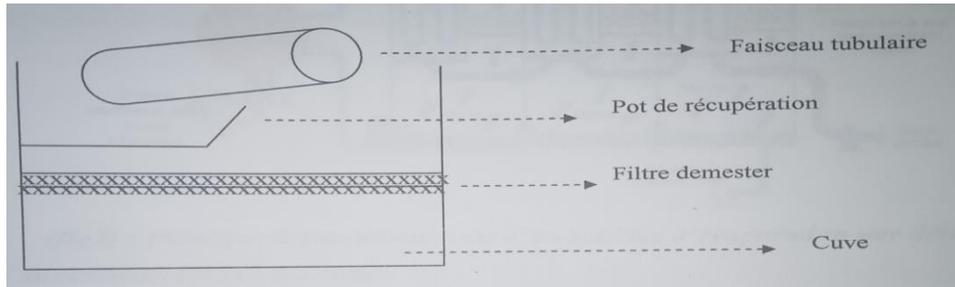


Figure II.3 : Schémas représentatif d'une cellule

b) Réchauffeur : Echangeur de type tube et calandre son rôle est de réchauffer l'eau de mer à l'aide de la vapeur 0,7bar et 120 ° c.

c) Les éjecteurs : Ejecteur de démarrage : son rôle est délivrer le vide au démarrage. Ejecteur de maintien : son rôle est de maintenir le vide durant la marche du SIDEM. Ces éjecteurs sont munis par des condenseurs.

B-Principe de procédé

Le procédé flash consiste à vaporiser de l'eau de mer par détentes successives selon le principe, que dans une enceinte thermique isolée et ne contient que l'eau chargée de sels dissous en équilibre avec sa vapeur à la température « t » et à la pression « p » on introduit un débit d'eau de mer à la température $\ll t + dt$. Si la pression est maintenue constante dans cette enceinte, l'eau admise subit une détente qui libère de l'énergie qui permet la vaporisation d'une partie de cette eau et ramène sa température à « t ». (Voir figure II.4). [3]

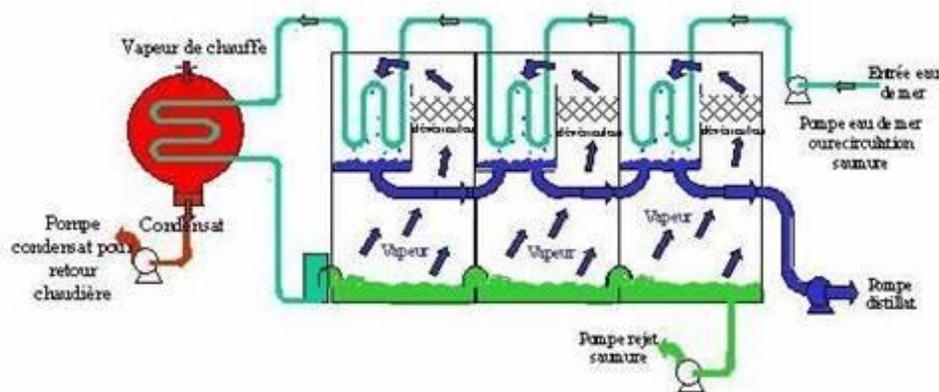


Figure II.4 : Principe de fonctionnement d'un système d'évaporation par détentes successives (MSF) à étages

II.4.1.2 Le procédé de distillation par thermo-compression

A - Description de l'installation

a) Evaporateur

L'évaporateur se présente sous la forme d'un bloc cylindrique partagé en 4 cellules d'évaporation. Chaque cellule contient un faisceau de chauffe tubulaire arrosé en eau de mer par un système de pulvérisation. La saumure recueillie en bas de chaque cellule, passe à la cellule suivante par les orifices réglables. La cellule froide n ° 4 est reliée à un condenseur placé parallèlement à l'évaporateur qui permet le refroidissement du système, en condensant une partie de la vapeur. L'eau distillée produite dans les différents faisceaux de chauffe est récupérée dans des tubes de faisceaux et transférée par tube en (U) de cellule, jusqu'au caisson d'aspiration d'eau distillée placé au-dessous du condenseur.

b) Ejecteur

La mise sous vide de l'installation est assurée par une batterie d'éjecteur à jet de vapeur :

- 1 - Ejecteur de démarrage : pour la mise sous vide initiale, un éjecteur est prévu à cet effet.
- 2 - Ejecteur de maintien pour maintenir le vide au cours du fonctionnement.

B- Principe de procédé

Si l'on ne dispose pas de source de chaleur à basse température, on utilise la compression de vapeur, en installant un appareil qui aspire la vapeur produite dans le dernier effet d'un évaporateur à effet multiples et qui la comprimée pour alimenter le faisceau de chauffe de l'effet le plus chaud. Ce procédé connaît actuellement un développement très rapide car il permet la réalisation d'installation autonome. (Voir figure II.5).

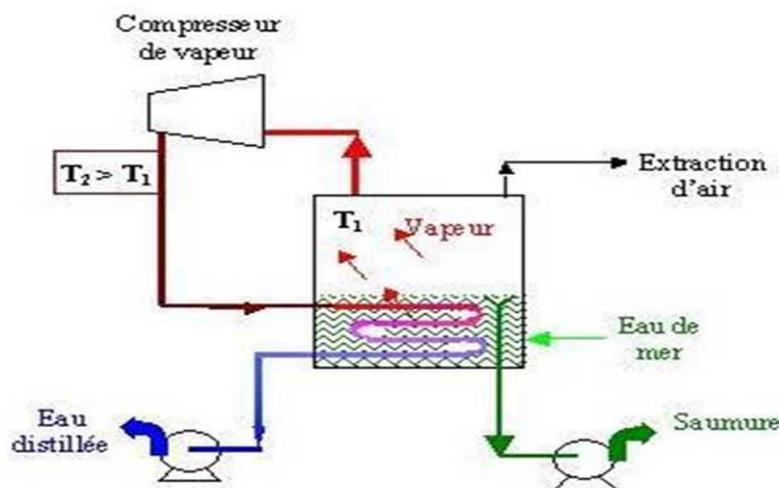


Figure II.5 : Principe de fonctionnement d'une unité d'évaporation simple effet avec compression de vapeur

II.4.2 Procédés de dessalement thermique

a) Distillation à simple et à multiple effets

La distillation à simple effet est une technique longtemps utilisée sur les navires où les moteurs diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe se base sur la reproduction du cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de chauffage porte à ébullition l'eau de mer. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables. Un groupe électropompe soutire le distillat (eau condensée) et l'eau de mer concentrée ou saumure [1].

En juxtaposant plusieurs cellules ou effets qui fonctionnent selon le principe de l'effet simple, on obtient ainsi un système à multiple effets. L'une des caractéristiques de ce système est la diminution progressive de la pression et de la température d'évaporation à travers les différents effets. Cela permet ainsi la circulation de la vapeur produite d'un effet vers un autre an composant intermédiaire. Dans un effet, l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau de mer provient de la vapeur de l'effet qui le précède. Ce procédé se répète jusqu'au dernier dont la vapeur se condense grâce à un condenseur. Le condenseur final réchauffe l'eau de mer dont une partie alimente l'unité de dessalement et le reste est rejeté à la mer.

b) Multiple effet avec compression de vapeur

Le dessalement par compression de vapeur consiste à comprimer une partie ou toute la vapeur issue d'un effet, afin d'augmenter son énergie. Elle est ensuite réintroduite dans la même enceinte comme source d'énergie. En se condensant, elle permet ainsi l'évaporation de l'eau de mer. La compression peut se faire soit par un éjecteur, on parle alors de thermo compression (Figure II.6) ou grâce à un compresseur, il s'agit alors du dessalement par compression mécanique de vapeur (Figure II.7).

Le principe de fonctionnement du système est similaire à celui de la distillation à multiple effets décrit plus haut. Dans le cadre d'une distillation par compression de vapeur, en plus de l'unité de dessalement, un éjecteur ou un compresseur est utilisé pour la compression. Lorsqu'un éjecteur est utilisé, l'apport d'une vapeur motrice est nécessaire afin d'entraîner seulement une partie de la vapeur issue du dernier effet avant condensation. Le compresseur quant à lui comprime toute la vapeur du dernier effet pour alimenter l'unité de dessalement. La compression mécanique de la vapeur ne requiert aucune source thermique externe. [1]

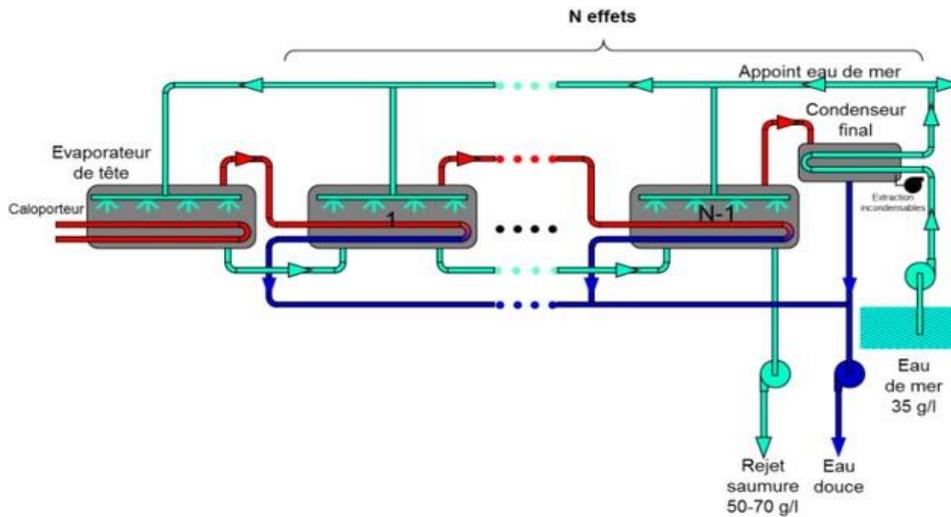


Figure II.6 : Distillation par thermo-compression de vapeur à multiple effets

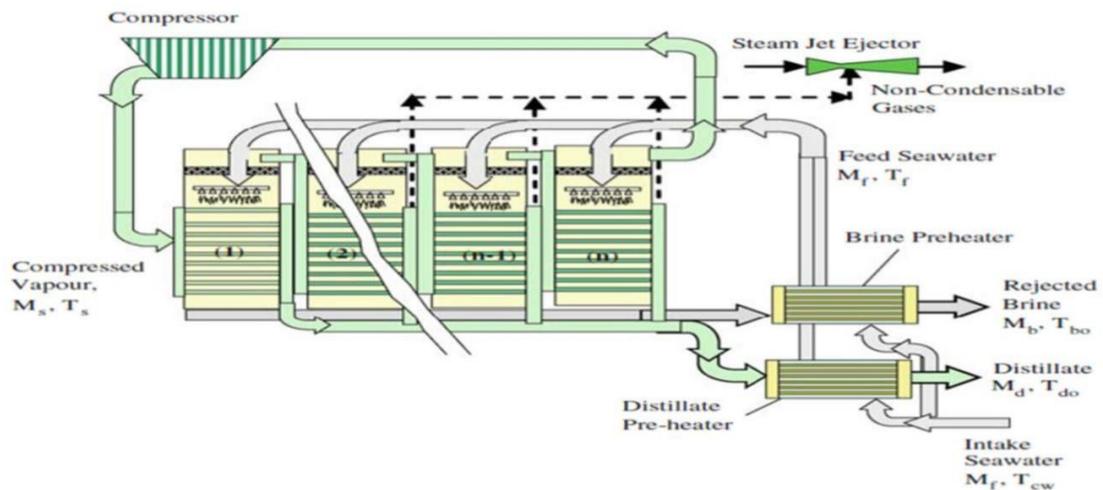


Figure II.7 : Distillation par compression mécanique de vapeur à multiple effets

c) Distillation par détentes successives (procédé flash)

L'eau de mer prétraitée est introduite à une température T_0 dans les condensateurs placés en série dans une succession de chambres. Cette eau s'échauffe dans ces condensateurs jusqu'à une température T_1 puis elle est introduite dans un réchauffeur qui l'élève à une température T_{max} . Le réchauffeur est alimenté par de la vapeur d'une chaudière ou l'échappement, l'eau de mer chaude est introduite dans le bas de la première chambre où règne une pression inférieure à celle de saturation de la vapeur. Il en résulte une vaporisation instantanée appelée « flash » : la vapeur produite va se condenser sur la surface du condenseur. Le condensat de cette vapeur

va se condenser sous le condenseur et produit de l'eau douce de la 1^{ère} chambre. Ce phénomène se produit jusqu'à la nième chambre. Les températures des chambres vont en décroissant et par conséquent les pressions aussi. Ce sont les écarts de pression qui autorisent ce processus. L'installation fonctionne sous vide, tout au moins pour les chambres d'une température inférieure à 100 °C. Il y a toujours des entrées d'air inévitables ainsi que du CO₂ dû à la décomposition des ions bicarbonates qui se dégagent dans les chambres. Un système extrait en permanence les gaz incondensables.

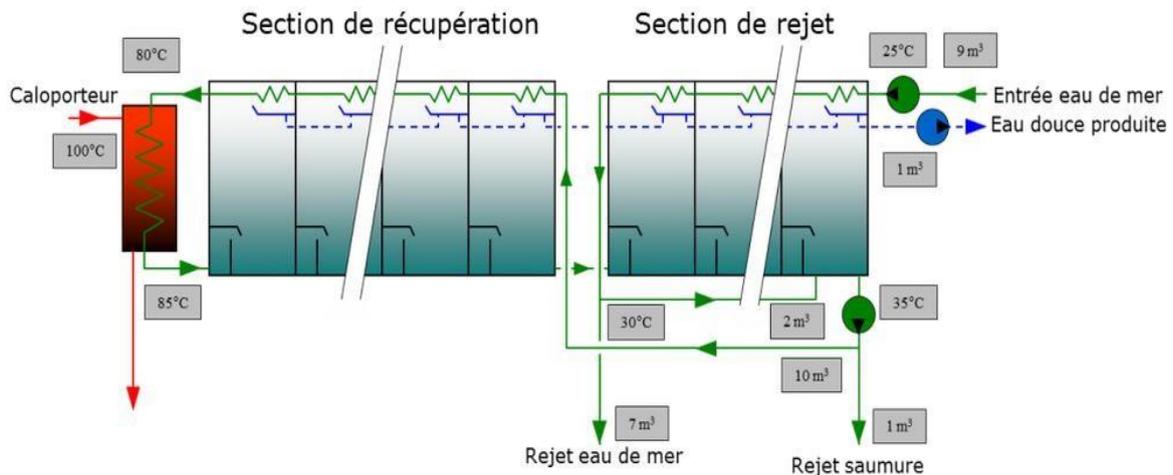


Figure II.8 : Installation MSF industrielle

II.5 Le Dessalement de l'eau de mer par l'osmose inverse

IL est basé sur le phénomène contraire de l'osmose qui s'opère à chaque fois qu'il se réalise naturellement le transfert de l'eau à travers une membrane semi - perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Aussi, au lieu d'avoir le transfert de l'eau du compartiment de plus faible concentration à celui de plus forte concentration, l'osmose inverse, sous l'action d'une pression instaurée l'évolution contraire. Plus cette pression est importante et plus ce transfert est favorisé Le solvant eau va s'écouler en continu à travers une membrane dense sans porosité (véritable barrière aux éléments) qui en agissant sélectivement, retient les particules à la fois dissoutes et en suspension contenues dans ce solvant L'écoulement s'effectue tangentiellement à cette membrane qui laisse passer le solvant et arrête les ions: il y a séparation entre l'eau et les sels qu'elle renferme. Ce processus de séparation s'effectue en phase liquide par permutation sous l'effet d'un gradient de pression. Autrement dit, au cours du processus, l'eau

est fortement pressée contre une membrane en polyamide dont les micropores ne laissent passer que les molécules d'eau et rien d'autres, pas même les microbes et virus. Suivant ce principe, des procédés sont mis en place pour débarrasser l'eau de mer de sa charge minérale : l'osmose inverse permet d'obtenir de l'eau des salée. La pression osmotique étant proportionnelle à la concentration de la solution, l'énergie nécessaire à la sélection des éléments au niveau de la membrane augmente avec la quantité des sels dissous. En pratique, l'osmose inverse est précédée d'un prétraitement poussé de l'eau de mer pour éliminer les matières en suspension. (Voir figure II.10). [3]

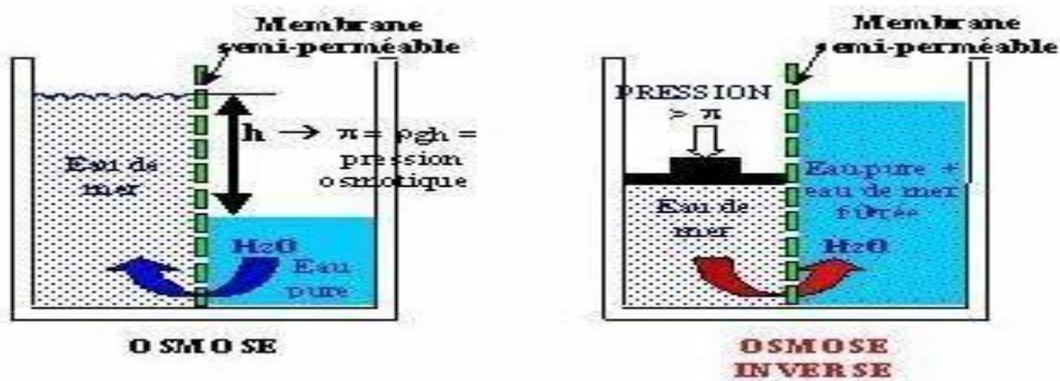


Figure II.9 : Dessalement d'eau de mer par l'osmose inverse

II.6 Les avantages et inconvénients des différents procédés

Tableau II.2 Avantages et inconvénients des différents procédés

Méthode de dessalement	Avantages	Inconvénients
Multiple effet	Grande capacité de production Faible coût d'investissement Haut degré de pureté (<30 ppm) L'apport d'énergie indépendant de la salinité Service minimal.	Dépendant du type d'énergie disponible. Durée de construction longue Le contrôle de la qualité de l'eau difficile Rapport de production (30 % -40%) Nécessite de Main-d'œuvre Encombrant.
Osmose inverse	Adapté à l'eau de mer et saumâtre Flexibilité par rapport à la quantité et à la qualité d'eau Faible consommation d'énergie par rapport au MED et au VC Non encombrant Souplesse à l'arrêt et au démarrage du système	Basse qualité (250-500 ppm) Nécessite haute eau d'alimentation de qualité Investissement et coût d'exploitation relativement élevés Pression d'alimentation assez grande Durée de construction longue pour une production à grande échelle.
Compression de vapeur	Qualité de l'eau élevée (20 ppm) Haute charge opérationnelle Durée de construction courte Souplesse d'exploitation et de production.	Coûts d'exploitation élevés Forte consommation d'énergie Absence de contrôle de la qualité de l'eau.
Electrodialyse	Exploitation à faible coût en capital et Source d'énergie flexible Taux de conversion élevé (80%) Faible consommation d'énergie Faible encombrement et besoins en matériaux.	Faible à la capacité de l'eau saumâtre à moyen (3000 ppm) Nécessite un prétraitement avec soin les aliments eau Faible capacité de production Pureté affectée par la qualité de l'eau d'alimentation
Multi-flash	Flexibilité de la salinité de l'eau d'alimentation. La production de haute pureté (<30 ppm) Grande capacité de production Exigences de compétence faible La production de l'eau et électricité Entrée haute énergie.	Rapport de production faible (30% - 40%) Coûts d'exploitation élevés Exigences élevées de construction Potentiellement limité pour l'amélioration.

Comme nous l'avons vu le rôle des unités de dessalage est d'éliminer les sels contenus dans l'eau de mer, afin d'éviter:

- _ L'encrassement rapide des échangeurs de préchauffe.
- _ La corrosion de la tuyauterie et des têtes de colonnes par les acides chlorhydriques produits lors de l'hydrolyse des sels. [1]

II.7 Schémas de principe

L'eau de mer arrive par la cheminée d'équilibre et par gravité passe par un filtre choisi et entre dans la 20,19 et 18^{ème} cellule côté tube, à la sortie du condenseur de la 18^{ème} cellule une fraction du débit d'eau de mer rejetée vers égout et l'autre traverse les condenseurs d'éjecteurs (amont et aval), avant d'être introduite par la vanne d'appoint (une partie eau d'appoint et l'autre eau de barrage) dans la 20^{ème} cellule côté cuve, On laisse le niveau d'eau de mer dans la 20^{ème} cellule monter jusqu'à la moitié de le hublot, dès que ce niveau eau de mer dans la 20^{ème} cellule est atteint, a démarrer la pompe de recyclage, pour être refoulé vers la 18^{ème} cellule, l'eau de mer rempli successivement les condenseur de cellules la 17^{ème} jusqu'à la 1^{er} cellule puis passe le réchauffeur côté tube, L'eau de mer rentre alors dans l'évaporateur côté cuve de la 1^{er} cellule. Elle s'écoule de cellule en cellule et revient en 20^{ème} cellule, la boucle de recyclage est terminée, le niveau dans la 20^{ème} cellule baisse, remonte par la vanne d'appoint jusqu'à 400 m³ à ce moment démarrer la pompe de saumure pour maintenir le niveau. Puis on met l'évaporateur et le réchauffeur sous vide à l'aide de l'éjecteur de démarrage (par la vapeur HP 40 bars), et à la fin L'eau de mer est chauffée à 88°C dans le réchauffeur. Elle est ensuite envoyée dans 1^{er} cellule côté cuve à faible pression. L'eau est alors immédiatement transformée en vapeur par détente ce procédé est appelé « Flash ». La vapeur résultante va entrer au contact du premier condenseur dans lesquels passe l'eau de mer. Ces condenseurs, froids, vont alors provoquer la condensation de cette vapeur qui est alors récupérée à l'état d'eau distillé. L'eau qui ne se sera pas évaporée est la 1^{er} cellule, sera récupérée puis transférée dans une 2^{ème} cellule du même type ayant une pression atmosphérique moindre par rapport au premier. L'opération est alors répétée plusieurs fois jusqu'à 20^{ème} cellule à la suite d'où le nom de multi-flash. [4]

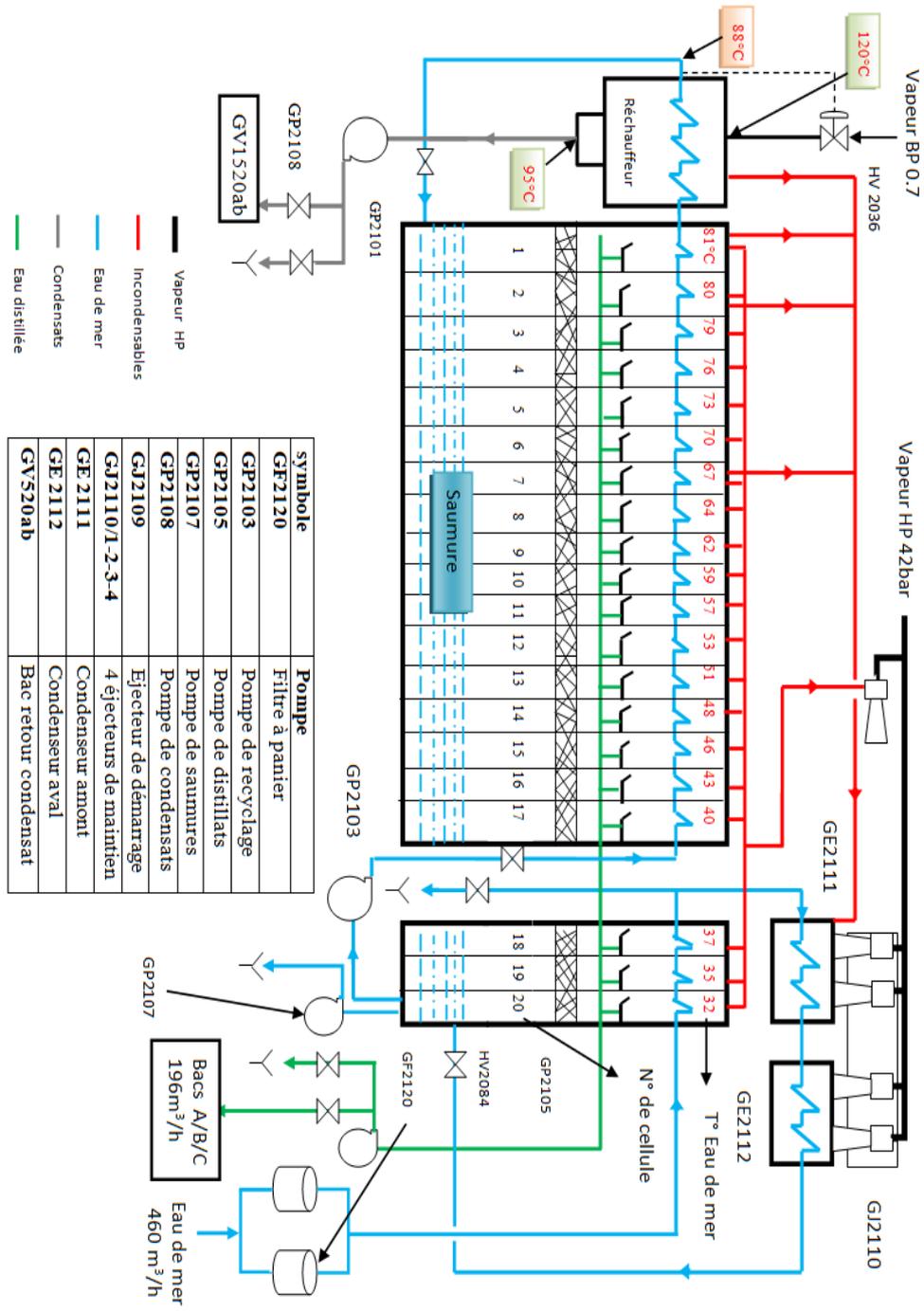


Figure II.10- Procédés de dessalement de l'eau de mer [1]

II.8 Description du procédé Multi-Stage Flash

II.8.1 Généralités

Le procédé de distillation utilisé est la distillation par détente successive du procédé flash avec recyclage de saumure. Il consiste à vaporiser de l'eau de mer par détente successive selon le principe que dans une enceinte thermiquement isolée et ne contenant que l'eau chargée de sels dissous en équilibre avec sa vapeur à la température (t) et à la pression (P) on introduit un débit d'eau de mer à la température ($t+dt$). Si la pression est maintenue constante dans cette enceinte, l'eau admise subit une détente qui libère de l'énergie qui permet la vaporisation d'une partie de cette eau et ramène sa température.

II.8.2 Installation de dessalement

L'installation comprend 3 unités de dessalement d'eau de mer ayant une production unitaire de 4700 m³/jour d'eau distillée de haute pureté (3ppm). Chaque unité comprend:

- L'évaporateur.
- Le circuit de recyclage.
- Le circuit de rejet de saumure.
- Le circuit d'eau de mer.
- Le circuit d'appoint d'eau de mer.
- Le circuit d'eau distillée.
- Le circuit de vapeur B.P. (basse pression).
- Le circuit vapeur H.P. (haute pression).
- Le circuit condensat.
- Le circuit d'extraction des gaz incondensables ou circuit de ventilation.
- Le circuit d'injection de vapeur.

a) L'évaporateur

L'évaporateur (**Figure II.11**) de type multi-flash avec recirculation de saumure, comprend 20 étages de détente. Chaque cellule comprend dans sa partie supérieure: un faisceau tubulaire horizontal où circule de l'eau de mer (circuit de réfrigération étages 18 à 20) où l'eau de recirculation de saumure (circuit de recyclage étages 1 à 17). Cette eau récupère la chaleur de condensation de la vapeur. L'eau distillée ainsi obtenue circule de cellule en cellule et est extraite dans la dernière cellule (20^{ème}). [5]

Les tubes des condenseurs sont disposés transversalement par rapport à la circulation de l'eau de mer dans les chambres de flashing.

Chaque chambre comprend les éléments nécessaires au bon fonctionnement du poste de dessalement. Des chambres sont équipées notamment de:

- Séparateurs qui permettent l'obtention d'une eau haute pureté.
- Collecteurs d'eau distillée.
- Indicateurs de niveau de saumure et d'eau distillée (conformément à notre schéma de connections et d'instrumentation).
- Un hublot d'inspection, d'un système d'éclairage et d'une porte permettant d'assurer l'entretien de l'évaporateur et le nettoyage.
- Prise de température, d'indicateur de température et de pression (conformément à notre schéma de connections et d'instrumentation).

L'évaporateur est en acier au carbone pour éviter le contact direct entre cet acier et l'eau de mer, l'intérieur des étages est protégé par une peinture époxydique. Les boîtes à eau de l'évaporateur sont réalisées en alliage cuivreux-massif. Les boîtes à eau sont démontables d'un seul côté de l'évaporateur ce qui permet le dé tubage ou le rebutage éventuel du faisceau tubulaire. [6]

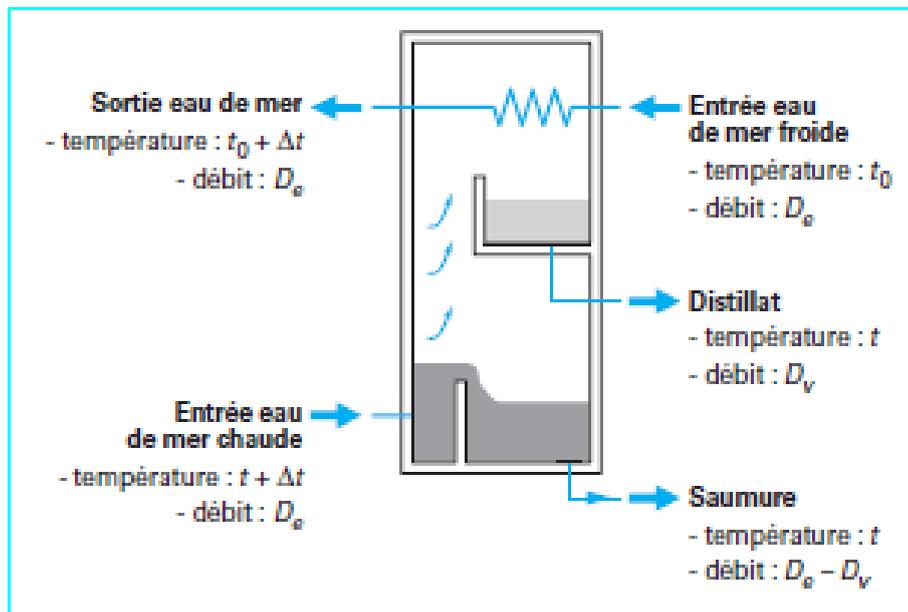


Figure II.11- Échanges thermiques dans une cellule d'un distillateur à détentés successives

b) Circuit de recyclage

IL comprend les éléments suivants:

- La pompe de recyclage GP 2103, dont l'aspiration se fait dans la dernière cellule (cellule 20).
- Les condenseurs des 17 chambres de la section de récupération des calories de l'évaporateur où la pompe de recyclage refoule l'eau de mer concentrée extraite de la cellule 20.
- Le réchauffeur GE 2102.
- La vanne de réglage du débit de recyclage HV 2101.
- 20 chambres de détente de la saumure : aux 10 premières chambres correspondent les 17 condenseurs de la section de récupération des calories de l'évaporateur, aux 3 dernières les 3 condenseurs de la section d'évacuation des calories de l'évaporateur.

Ainsi l'eau de mer concentrée préalablement réchauffée circule de cellule en cellule de la 1^{ère} à la 20^{ème} avant d'être reprise par la pompe de recyclage (après mélange avec l'appoint).

Circuit de rejet de saumure

IL comprend les éléments suivants :

- La pompe de saumure GP 2107 dont l'aspiration se fait dans la 20^{ème} cellule de l'évaporateur.
- La vanne de régulation LV 2015 commandée par le contrôleur de niveau de saumure dans la dernière chambre.
- La tuyauterie de rejet de saumure au caniveau.

c) Circuit d'eau de mer

IL comprend les principaux éléments suivants :

- Une tuyauterie d'alimentation d'eau de mer par unité.
- Les filtres d'eau de mer GF 2120.
- Les condenseurs des 3 chambres N° 18 à 20 de la section de rejet des calories de l'évaporateur.
- La tuyauterie de rejet d'eau de mer au caniveau.

Le circuit de recirculation d'une partie de cette eau de rejet sur lequel se trouve la pompe de recirculation GP2104 qui fonctionne en hiver.

d) Circuit d'appoint d'eau de mer

Une fraction du débit de réfrigération est prélevée à la sortie du condenseur de la cellule n° 18, elle traverse les condenseurs d'éjecteurs (amont et aval), avant d'être introduite dans la 20^{ème} cellule.

e) Circuit d'eau distillée

IL comprend :

- La pompe d'extraction de l'eau distillée GP 2105.
- La vanne de régulation LV 2021 commandée par le contrôleur de niveau de distillat dans la dernière chambre.
- Un salinomètre contrôle la qualité de l'eau produite et agit par l'intermédiaire d'une électrovanne sur la position de deux vannes l'une permettant le rejet de l'eau distillée en cas de salinité trop élevée, l'autre permettant d'acheminer le distillat vers les réservoirs d'eau distillée.

f) Circuit vapeur B.P.

La vapeur B.P est amenée du réchauffeur où elle se condense. Elle apporte l'énergie thermique nécessaire au processus. Cette chaleur est cédée à l'eau de mer concentrée de recyclage et assure son échauffement complémentaire. Le recyclage atteint ainsi sa température de design.

Le circuit comprend ainsi:

- Une vanne d'isolement motorisée HV 2064.
- La vanne de régulation TV 2036 du débit de vapeur B.P commandée par le régulateur de température de saumure à la sortie du réchauffeur.

g) Circuit vapeur H.P.

IL comprend :

- Une vanne d'isolement motorisée HV 2057 sur la tuyauterie d'alimentation en vapeur des éjecteurs (démarrage, amont, aval).
- Tuyauterie d'alimentation avec purgeurs, vanne, instruments.

h) Circuit condensat

1. Condensats du réchauffeur : Les condensats sont extraits du réchauffeur par la pompe d'extraction du condensat et renvoyés sur le réseau d'eau des chaudières.

Le circuit comprend ainsi :

- La pompe d'extraction des condensats GP 2108.
- La vanne de régulation LV 2026 commandée par le contrôleur de niveau des condensats dans le réchauffeur.

Le salinomètre qui contrôle la qualité de l'eau produite et agit par l'intermédiaire d'une électrovanne pilote sur l'électrovanne 3 voies CV 2120 dont le fonctionnement est le suivant :

- Si la salinité est mauvaise, le clapet de la vanne pneumatique est positionné de telle sorte que le fluide est rejeté à l'égout.

2. Condensats des éjecteurs d'entretien: Les condensats sont extraits des condenseurs d'éjecteurs par deux pompes d'extraction GP 2113 (l'une fonctionnant en stand-by puis rejetés à l'égout.

i) Circuit d'extraction des gaz incondensable

1. Ejecteurs d'entretien: L'extraction des gaz incondensables se fait au moyen d'une batterie d'éjecteurs double à deux étages. Le circuit comprend :

- 2 éjecteurs amont (1 en secours) GJ 2110/1 et 2.
- 2 éjecteurs avals (1 en secours) GJ 2110/3 et 4.
- 1 condenseur aval à surface GE 2111
- 1 condenseur inter étage à surface GE 2111
- 1 tuyauterie de liaison entre le condenseur et l'aspiration de l'éjecteur aval.
- Le condenseur d'éjecteur aval est équipé d'un évent de mise à l'air libre.
- Le réchauffeur, les cellules, 1, 2, 3 et 7 sont ventilées en parallèle et reliés au condenseur d'éjecteur amont par l'intermédiaire de tubulures munies de diaphragmes.
- Les cellules 4, 5, 6 sont ventilées en cascade sur la 7^{ème} cellule.
- Les cellules 8 à 19 sont ventilées en cascade sur la 20^{ème} cellule et ce dernier est reliée à l'aspiration de l'éjecteur amont par l'intermédiaire des tubulures munies de diaphragmes.

2. L'éjecteur de démarrage GJ2109: Cet éjecteur refoulant à l'atmosphère, permet d'obtenir rapidement le vide dans l'installation. Il est relié à la tuyauterie d'extraction des incondensables de la 20^{ème} cellule de l'évaporateur.

Le circuit d'éjecteur d'HAGEVAP

- L'injection a pour but de limiter l'entartrage des tubes par l'eau de mer mise en température.
- L'injection du poly phosphate de sodium se fait par l'intermédiaire d'une pompe doseuse GP 2114 au refoulement de la pompe de recyclage.
L'unité de prévention de l'entartrage comprend:
 - Un réservoir avec une arrivée d'eau distillée.
 - Un agitateur entraîné par une arrivée d'eau distillée.
 - Deux pompes doseuses (une en fonctionnement – une en secours)



Figure II.12 : Bloc de dessalement (Fertil Annaba)

II.9 Réchauffeur de la section de dessalement

Le principe général d'un échangeur consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. De manière générale, les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid. Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi d'où le nom de l'appareil. Le principal problème que l'on rencontre pendant la conception d'un échangeur consiste à définir une surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire au bain d'eau chaude. La quantité de chaleur transférée dépend de la surface d'échange entre les deux fluides mais aussi de nombreux autres paramètres qui rendent une étude d'un échangeur assez complexe. [7].

II.9.1 Mode de transmission de chaleur

On distingue conventionnellement trois modes de transmission de la chaleur: la conduction, la convection et le rayonnement.

a) La conduction

Ce mode de transmission de chaleur s'applique plus particulièrement aux solides, mais concerne aussi les fluides au repos. C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. Il correspond

à une propagation de la chaleur de proche en proche au sein de la matière, le passage de la chaleur se faisant par contact entre particules (atomes ou molécules) voisines. La matière se comporte véritablement comme un conducteur de la chaleur.

Loi de fourrier :

$$q = -K * \frac{dT}{dx}$$

b) La convection

La transmission de chaleur par convection met en jeu le mouvement des fluides (gaz ou liquides). Ce mouvement permet l'échange de chaleur entre le fluide et une paroi et facilite la diffusion de la chaleur au sein de l'ensemble du fluide grâce à l'agitation produite. Dans la transmission de chaleur par convection, le fluide se comporte comme un véhicule de la chaleur.

La convection est dite naturelle ou libre lorsque le mouvement du fluide est créé par les différences de masse volumique existant au sein du fluide du fait des différences de températures. Lorsque le mouvement est communiqué par une machine agitateur, pompe, compresseur ou ventilateur, la convection est dite forcée.

La puissance transférée par convection est donnée par la Loi de newton suivante:

$$q = h.S.(T_f - T_p)$$

c) Le rayonnement

La transmission de chaleur par rayonnement correspond au transport d'énergie thermique sous forme d'ondes électromagnétiques analogues à celle de la lumière. C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation

$$\varphi = \sigma.\varepsilon_p.S(T_p^4 - T_\infty^4)$$

Avec φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement [W]

σ : Constante de Stefan Boltzmann [$5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$]

ε_p : Facteur d'émission de la surface

T_p : Température de la surface [K]

T_∞ : Température du milieu environnant la surface [K]

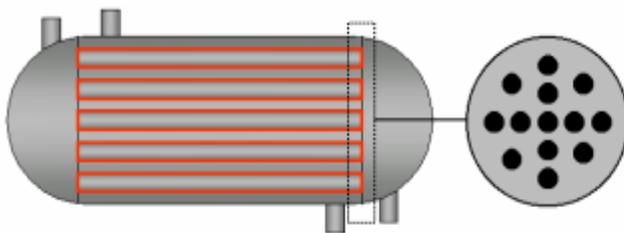
S : Aire de la surface [m^2]

II.10 Echangeurs à tubes et calandres

C'est de loin le type d'échangeur le plus répandu mais la part qu'il représente ne cesse de diminuer au profit des configurations plus efficaces. Dans ce type d'échangeurs, l'un des fluides circule dans un réservoir autour de tubes qui le traversent tandis que l'autre fluide circule à l'intérieur des tubes. Le modèle le plus simple sera constitué d'un réservoir dans lequel sera plongé un serpentin. La (Figure II.13) représente le schéma de principe d'un échangeur à tubes et calandres.



Figure II.13- Réchauffeur de la section de dessalement



II.14.a Faisceau tubulaire

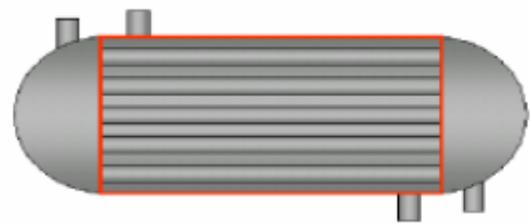


Figure II.14.b Calandre

Figure II.14 : La calandre est un tube cylindrique de gros diamètre dans laquelle est placé le faisceau tubulaire [8]

II.11 Principe de fonctionnement

Pour fonctionner, l'échangeur thermique dispose de réseaux parallèles à travers lesquels circulent les fluides à des températures différentes. Ces derniers sont séparés par une paroi aux capacités conductrices optimales. C'est l'écart de température entre les deux fluides qui permet l'échange de chaleur. En effet, le plus chaud va naturellement se diriger vers le plus

froid, le réchauffant immédiatement, tout en perdant des calories. Ainsi, lorsqu'il entre chaud dans l'échangeur thermique, le fluide primaire va réchauffer le fluide secondaire qui est froid. Il sort alors refroidi, tandis que le second fluide est réchauffé. Les facteurs limitant l'échange de chaleur sont particulièrement l'entartrage et la corrosion

Conclusion

Le dessalement de l'eau de mer est la technique qui couramment utilisée pour obtenir une eau douce ou dessalée. Il existe plusieurs méthodes et techniques de dessalement, mais reste le dessalement par détente successif (MSF) et l'osmose inverse comme les deux techniques les plus utilisées, et en particulier la technique MSF qui occupe un grand volume à l'échelle des industriels qui demandent l'utilisation de l'eau dessalée en grande quantités.

Références bibliographiques

- [1] RAFAY Rym . Qualité de l'eau dessalée et caractérisation des dépôts de tartre du dessaleur de l'unité de la Centrale - utilité 2 (FERTIAL ANNABA) . Université Badji Mokhtar – Annaba. 2017
- [2] ALIOUAT Mohamed. Etude du phénomène d'entartrage dans un dessaleur de la centrale d'utilité II par la chronoampérométrie. Université Badji Mokhtar - Annaba. 2008
- [3] BELKHIR Souheila, KEBBAB F.Zahra . Etude de Phénomène d'entartrage dans le Dessaleur de l'unité Centrale 2. Université Badji Mokhtar – Annaba. 2006
- [4] Documentation, Service technique de process-FERTIAL-ANNABA
- [5] Manuel opératoire d'exploitation. unité de dessalement 212 sel. Sonatrach
- [6] Danis P (2003) Dessalement de l'eau de mer. technique de l'ingénieur .j 2700 p.4
- [7] Technique de l'ingénieur G1 environnement
- [8] Technique de l'ingénieur J2. Génie des procédés

Chapitre III

Etude du phénomène d'entartrage

Introduction

L'eau de mer est chargée de sels, de gaz dissous et de solides en suspension. Elle contient une variété très riche de flore et de faune. Par conséquent, si elle n'est pas traitée, son utilisation pose un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent l'efficacité des installations et qui sont dus principalement

- ✓ À l'entartrage et au colmatage des lignes et autres équipements par les matières en suspension, en particulier dans les échangeurs thermiques, dans les membranes d'osmose inverse... etc., et par suite de la rupture des conditions d'équilibre (variation de pression, de température ...) ou au mélange d'eaux incompatibles ;

- ✓ Au développement des bactéries et d'autres organismes qui entraîne, entre autres, la formation de dépôts organiques

- ✓ À la corrosion et à la corrosion - érosion des équipements dans les installations de traitement de l'injection sous l'effet de l'oxygène dissous, de la salinité, des dépôts, de la vitesse de circulation, etc.

Dans l'industrie de dessalement, l'eau de mer passe par nombreuses étapes de traitement préalables avant de la dessalée (dégrillage, dessablage, décantation, floculation, filtration, etc.), pour diminuer leur agressivité et éliminer certains problèmes qui la provoquent (colmatage, corrosion par piqure, etc.).

L'entartrage des lignes gêne la circulation du fluide. Le tartre, s'il est adhérent et peu poreux, protège les matériaux métalliques contre la corrosion, mais les dépôts non - adhérents ou poreux favorisent la corrosion sous dépôt.

Dans les échangeurs thermiques, la formation de tartre provoque un abaissement du coefficient de transfert thermique et un accroissement des pertes de charge.

Dans les usines de dessalement d'eau de mer, les dépôts peuvent provoquer des obturations des tubes (évaporateurs).

Tous ces problèmes doivent être étudiés avec beaucoup de précaution afin de trouver un traitement cohérent et finalement obtenir une Eau de mer « utilisable ». Par conséquent, les deux points suivants doivent être respectés

- ✓ _ l'agressivité de l'eau de mer doit être réduite afin de ne pas compromettre la durée de vie des équipements (15 à 20 ans) ;

- ✓ _Les dépôts formés et les produits de corrosion doivent être minimisés pour ne pas entraîner l'entartrage, voire le colmatage des lignes, des échangeurs de chaleur, des filtres ... etc.

III. Le phénomène d'entartrage

Certaines solutions, dites incrustantes, ont tendance à entartrer les surfaces d'échange. C'est - à - dire à y déposer des sels mauvais conducteurs de la chaleur qui réduisent l'efficacité de l'échange.

Les sels entartrant sont des sels à solubilité inverse, c'est - à - dire des sels dont la solubilité diminue lorsque la température augmente. Pour ces sels, c'est donc au contact de la paroi chauffante où la température est maximale, que la solubilité est minimale. Il en résulte une précipitation des sels sur la paroi d'échange, généralement sous forme de tartre dur, dense et fortement adhérent. Si les sels à solubilité normale sont précipités dans l'évaporateur, on les trouve mélangés au sel entartrant dans des proportions variables, mais c'est presque toujours le sel à solubilité inverse (sulfate de calcium, sulfate de sodium anhydre, carbonate de sodium) qui est à l'origine de l'entartrage. [1]

Ce phénomène peut se manifester :

- _à l'intérieure des chaudières,
- _ lors d'utilisation particulières de l'eau ;
- _sur les réseaux de distribution, dans les circuits de chauffage de refroidissement et plus spécifiquement dans les échangeurs de température.

Une cause générale de ce phénomène est la rupture de l'équilibre carbonique. Elle est particulièrement rapide et complète dans le cas des chaudières. Dans les autres cas, le phénomène est plus compliqué car il s'agit de réactions relativement lentes, portant sur de grands volumes d'eaux qui sont fréquemment des eaux potables. [2]

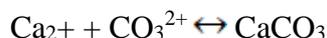
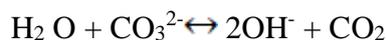
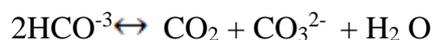
III.1 Les différents paramètres favorisant l'entartrage

Les paramètres favorisant l'entartrage sont :

- *La dureté de l'eau
- * La température de l'eau
- * La présence dans l'eau d'éléments favorisant
- * Influence de la nature de canalisation

a) La dureté de l'eau

La présence de sels de calcium, et dans une moindre mesure, de magnésium dans l'eau est le premier facteur qui contribue au caractère entartrant de l'eau. Ainsi, plus la dureté de l'eau est élevée, plus il y a prédisposition au dépôt de calcaire (en fait, du carbonate de calcium CaCO_3) sur les parois en contact avec l'eau. Mais la présence de sel de calcium dans l'eau n'est pas suffisante pour provoquer l'entartrage.



b) La température de l'eau

La réaction chimique qui provoque la précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température qui, en libérant du gaz carbonique, accélère la précipitation du tartre. Il n'y a pas ou très peu d'entartrage sur les canalisations d'eau froide. En revanche, les circuits d'eau chaude sanitaire représentent un terrain favorable à l'entartrage. A un degré plus important, les circuits internes de chauffe - eau sont très facilement entartrés.

On peut noter, en revanche, que les circuits de chauffage s'entartrant très peu malgré la température puisqu'il n'y a pas de renouvellement d'eau, le phénomène d'entartrage s'arrêtant de lui-même lorsque tout le CaCO_3 contenu a été déposé.

c) La présence dans l'eau d'éléments favorisants

On a pu constater que deux types d'eau de composition identique et placées dans les mêmes conditions n'avaient pas forcément le même pouvoir entartrant. Le phénomène tient à la présence dans l'eau en quantité infinitésimale susceptible de déclencher le phénomène d'entartrage. Ainsi, la présence dans l'eau d'ions cuivre ou d'ion zinc freine le dépôt de tartre qui reste en suspension dans l'eau.

En revanche l'ion Fe^{2+} est connu être un élément favorisant. Les quantités nécessaires sont très faibles, de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de microgrammes par litre.

d) Influence de la nature de la canalisation

Dans le cas des eaux moyennement ou peu entartrées, le cuivre peut empêcher l'apparition des premières traces de tartre et bloquer ainsi le développement naturel du processus d'entartrage. Le cuivre a donc un avantage décisif sur les autres matériaux avec lesquels il y a toujours amorces d'entartrage.

Dans le cas des eaux très entartrées, il y a aussi un avantage au cuivre mais d'un autre ordre. Le tartre déposé sur un tube de cuivre contient lui-même des traces de cuivre qui jouent pleinement leurs rôles bactéricides vis-à-vis des eaux transportées par la canalisation. On sait que le tartre favorise le développement de certaines bactéries comme celle de la

légionellose, mais si la canalisation est en cuivre, la présence de ces traces de cuivre dans le tartre va inhiber le risque de prolifération de ces micro - organismes. [1]

III.2 Les dépôts entartrants

Certaines espèces chimiques qui se trouvent sous forme ionisée en solution peuvent, dans certaines conditions, se recombinaison pour former des composés qui précipitent. Ceci est dû au fait que l'eau a une capacité limitée pour dissoudre ces produits ; il faut donc faire intervenir la notion de « solubilité ».

La solubilité peut être définie comme la quantité maximale d'un soluté qui peut être dissous dans un volume unitaire de solvant dans des conditions bien définies. Pour qu'il y ait dépôt entartrant, deux conditions doivent être réunies : Il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est - à - dire qu'il y ait sursaturation c'est l'aspect thermodynamique ; Il faut ensuite que la vitesse de dépôt soit suffisamment rapide, c'est l'aspect cinétique. La formation d'un dépôt entartrant peut se produire dans diverses conditions.

Changement des conditions physiques (température, pression, etc.) d'une eau contenant des ions capables de donner un précipité en se recombinant ;

✓ Modification de la composition d'eau due au mélange de deux eaux « incompatibles », c'est - à - dire deux eaux contenant des ions capables de former un précipité après mélange, Modification par évaporation et augmentation des concentrations (dessalement);

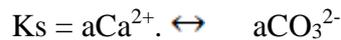
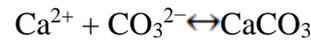
✓ Alcalinisation au voisinage de la surface métallique par la protection cathodique

Une partie de ces précipités peuvent rester en suspension dans l'eau mais généralement ils forment un dépôt adhérent à la surface du matériau en contact avec l'eau. Dans le premier cas, ils peuvent, par exemple, boucher le milieu poreux aux abords des puits lors d'une injection d'eau. Dans le deuxième cas, ils freinent l'échange thermique. Ils peuvent même gêner la circulation d'eau par suite du rétrécissement du diamètre interne et entraîner également l'endommagement des équipements par corrosion / érosion et corrosion sous dépôts.

Les dépôts les plus courants sont les carbonates, les hydroxydes et les sulfates [3]

III.2.1 Les carbonates

Les carbonates les plus courants sont les carbonates de calcium (CaCO_3) et de magnésium (MgCO_3). Les dépôts formés sont compacts avec des grains fins. Leur solubilité dépend de la pression partielle de CO_2 , de la température et d'autres composés dissous. La précipitation des carbonates dépend principalement de la température, du pH et des gaz dissous, rarement du mélange d'eaux incompatibles. Les réactions de précipitation sont les suivantes :

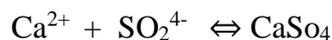


III.2.2 Les sulfates

Les dépôts de sulfates sont dus généralement au mélange d'eaux incompatibles, mais ils peuvent également précipiter par concentration comme les autres sels.

Dans l'eau de mer, les teneurs en Ba^{2+} et Sr^{2+} sont très faibles du fait de la forte teneur en sulfate et de la faible solubilité des sulfates de baryum et de strontium. Par contre, la teneur en calcium étant beaucoup plus élevée, il y aura un risque de précipitation de sulfate de calcium par chauffage. La précipitation du sulfate anhydre CaSO_4 , (anhydrite) conduit à la formation d'un dépôt dur, compact, avec des grains fins. La solubilité de CaSO_4 dépend principalement de la température, de la pression et d'autres composés dissous.

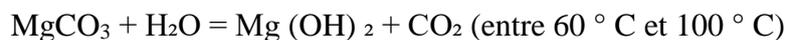
Les sulfates hydratés de calcium $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gypse) et $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (hémi hydrate) précipitent sous forme d'un dépôt compact avec des cristaux allongés. Leurs solubilités dépendent des mêmes paramètres que celle du sulfate anhydre. La réaction de précipitation est la suivante :



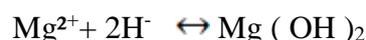
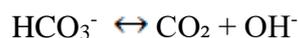
III.2.3 Les hydroxydes

Le plus courant des hydroxydes est l'hydroxyde de magnésium, mais on ne le rencontre pas aussi souvent que les sulfates et les carbonates.

La précipitation de $\text{Mg}(\text{OH})_2$, se produit souvent dans les bouilleurs / évaporateurs par suite d'un traitement insuffisant de l'eau. L'évaporation de l'eau de mer à des températures élevées et / ou à des pH élevés entraîne la précipitation selon les réactions suivantes :



Ou bien :



Il s'agit donc de la décomposition des carbonates ou des ions bicarbonates qui conduit à l'alcalinisation de l'eau et ensuite à la précipitation de $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Au – dessous de 90 ° C, l'entartrage est dû surtout au bicarbonate de calcium. A partir de 90 ° C et au – dessus d'une certaine concentration on constate en outre la précipitation du sulfate de calcium et de magnésium. [3]

III.3 Les facteurs de précipitation d'entartrage

Habituellement la formation de dépôts est associée à la précipitation qui ne conduit pas nécessairement à l'entartrage. Bien que ce soit rare, il peut arriver que les précipités n'adhèrent pas à la paroi et que les matières en suspension ne forment pas de dépôts.

Pour la précipitation il faut considérer les facteurs thermodynamiques suivants :

- _ La température ;
- _ La pression ;
- _ Les gaz dissous ;
- _ Les caractéristiques de l'eau telles que la force ionique et les teneurs en calcium et magnésium ;
- _ Les facteurs cinétiques.

Pour l'entartrage, d'autres facteurs interviennent :

- _ La nature et l'état de surface du matériau ;
- _ L'adsorption d'autres matières ;
- _ L'adhérence des précipités sur la paroi ;
- _ Les forces de cisaillement dues au mouvement du fluide ;
- _ Les conditions hydrodynamiques. [4]

III.3.1. Les facteurs thermodynamiques

Les paramètres qui affectent le plus souvent la solubilité des carbonates sont la température et la pression. La solubilité ou le déplacement des équilibres chimiques dépend de la température; la solubilité des gaz dissous, donc le pH, dépend de la température et de la pression.

Le gaz qui a la plus grande influence est l'anhydride carbonique. Parmi les dépôts les plus courants, seuls les carbonates sont influencés par la présence de ce gaz. En effet, la solubilité des carbonates augmente avec la quantité de CO₂ dissous.

Ce gaz dissous se trouve sous deux formes:

- _ Le CO₂ libre;
- _ Le CO₂ associé : il se trouve sous forme d'acide carbonique qui s'ionise en ions HCO₃⁻ et CO₃²⁻ :



La solubilité de CO_2 diminue quand la température augmente. Ceci entraîne le déplacement de l'équilibre (équation III.2) et la diminution de la solubilité des carbonates. La figure III.I montre l'influence de la température sur la solubilité du carbonate de calcium.

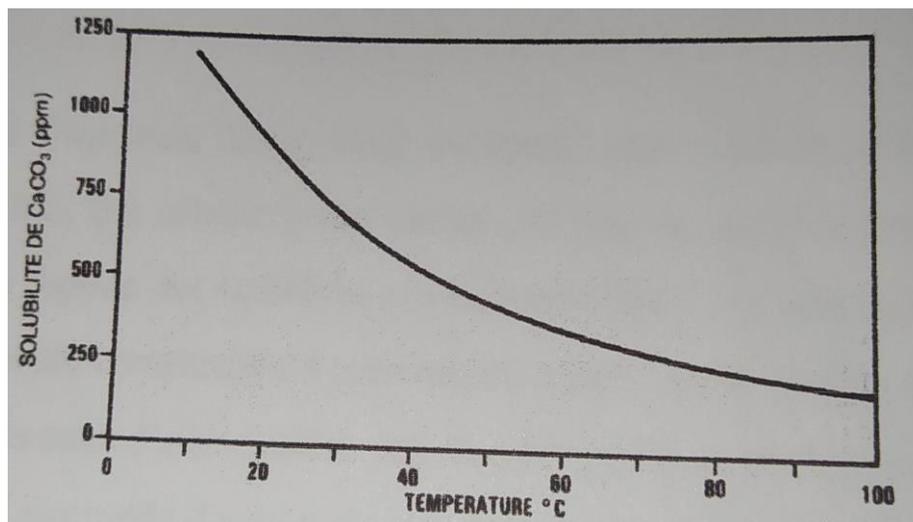


Figure III.1 La solubilité de CaCO_3 en fonction de la température (Pression partielle de $\text{CO}_2 = 1$ bar)

La solubilité de CO_2 augmente avec l'augmentation de la pression, car la quantité de CO_2 dissous dans l'eau dépend de la pression partielle de ce gaz. Ainsi, l'augmentation de la pression accroît la solubilité des carbonates puisque l'équilibre (III.2) se déplace vers la gauche. Inversement, si une diminution de pression intervient dans le système, il y a dégazage partiel ou total de la solution.

La réaction (III. 2) se déplace vers la droite et les carbonates précipitent.

Les caractéristiques de l'eau (le pH et la salinité plus particulièrement) interviennent également dans la solubilité des carbonates.

Le CO_2 dissous modifie le pH de l'eau selon les réactions (III.4), (III.5) et (III.6). [4]

III.4. Inconvénients d'entartrage

S'il n'est pas traité, l'entartrage entraîne une baisse progressive du rendement des échangeurs, en agissant comme isolant. Eventuellement, la composition du tartre causera une surchauffe et une rupture des tubes.

Les dépôts dans les échangeurs peuvent aussi entraîner des bouchages ou une obstruction partielle due à l'attaque corrosive sous les dépôts peut se produire. En général, les dépôts peuvent affecter l'efficacité opérationnelle, produire des dommages, des interruptions non programmées des échangeurs, et une augmentation des dépenses dues au nettoyage. [5]

III.5. Traitement contre l'entartrage

L'eau de mer contient des ions calcium et des ions bicarbonates; la concentration de ces ions à l'état dissous est régie par des réactions d'équilibre chimique. Globalement, la réaction est:



Par le jeu combiné de l'augmentation de température et de l'élimination du dioxyde de carbone dissous, la distillation favorise la précipitation du carbonate de calcium. Ce sel se dépose de préférence sur la paroi des échangeurs et réduit de ce fait la vitesse de transfert de chaleur. En l'absence de mesures, l'échangeur devient vite inutilisable.

Pour éviter cet incident majeur, les méthodes relèvent de la prévention et de l'entretien. [6]

III.5.1. L'injection des produits antitartres

Le but de l'injection des produits antitartres dans l'eau est d'éviter la formation des dépôts solides (tartre), très adhérents aux parois, qui peut se produire dans les circuits d'eau de mer par suite de la rupture des équilibres physico-chimiques. Il s'agit, en fait, de l'application à ces circuits de procédés comparables à ceux mis en œuvre, depuis de nombreuses années, pour le conditionnement des eaux d'alimentation des chaudières. De nombreux composés ont été étudiés et commercialisés. Leur mode d'action n'a pas toujours été clairement élucidé.

Avant l'adoption d'un produit, il convient de s'assurer de sa compatibilité avec les autres additifs qui peuvent être utilisés dans le circuit et aussi de la température limite d'utilisation. En générale, le traitement s'effectue par l'injection en continue, à l'aide d'une pompe doseuse, à une concentration faible de l'ordre de quelques ppm. Les principales familles de produits antitartres sont examinées ci-après.

III.5.2. Les inhibiteurs d'entartrage

Elle se fait par l'injection de produit chimique anti tartre. Elle est basée sur le phosphate, Il joue un rôle de dispersant et inhibe la réaction entre Ca^{2+} et CO_3^{2-} , Mg^{2+} et CO_3^{2-}

Tableau III.1: Les principales familles de produits tartrifuges [7]

Poly phosphates	$-(\text{PO}_3 \text{Na})_n-$
Organo-phosphates	Phosphates
	Polyols-esters
	Amino-phosphates
	Carboxyle-phosphates COO^- et PO_3^{2-}
Polymères carboxyliques	Polyacrylates
	Polyméthacrylates
	Polymaléates

III.6. Le nettoyage (Lessivage)

III.6.1. Nettoyage chimique

Le nettoyage chimique est un procédé d'élimination des dépôts à l'aide de solutions chimiques. L'action de nettoyage peut être entièrement chimique par l'utilisation d'acides ou de bases, mais elle peut être aussi physico-chimique par l'emploi de solvant, vapeur ou eau chaude. La plupart des dépôts minéraux peuvent être éliminés par l'emploi d'acides.

III.6.2. Les agents nettoyants

Pour le nettoyage chimique, un grand nombre d'agents nettoyants sont disponibles.

III.6.2.1. L'acide chlorhydrique

Cet acide est employé principalement parce qu'il est relativement bon marché et disponible. Il agit effectivement sur la plupart des dépôts minéraux contenant par exemple les carbonates. Comme il est très corrosif pour la plupart des métaux, des inhibiteurs de corrosion efficaces doivent être employés pour réduire la corrosion sans affecter l'action de nettoyage.

L'acide chlorhydrique doit être employé à une concentration de 5 à 10% en poids et à des températures de l'ambiante jusqu'à 65°C maximum. Quand le nettoyage s'effectue par circulation, la vitesse doit être limitée à 0,5 m/s, car à plus grande vitesse l'inhibiteur de corrosion n'aurait plus d'effet.

III.6.2.2. L'acide sulfurique

L'acide sulfurique est d'usage moins fréquent que l'acide chlorhydrique mais il le remplace quelque fois quand il y a risque de corrosion sous tension. Il peut former des sels insolubles avec le calcium par exemple. Des inhibiteurs efficaces doivent être employés. L'acide sulfurique doit être utilisé à des concentrations de 5 à 10 % en poids et à des températures maximales de 75 °C. Quand le nettoyage s'effectue par circulation, la vitesse doit être limitée à 0,5 m/s.

III.6.2.3. L'acide citrique

L'acide citrique est disponible sous forme cristallisée. Il est surtout utilisé pour les équipements délicats. Bien que la vitesse de corrosion soit faible des inhibiteurs efficaces doivent être ajoutés.

Il doit être employé à des dosages de 5 à 6 % en poids. Des températures de nettoyage plus élevées sont permises (jusqu'à 95 °C). Ceci réduit le temps de nettoyage comparativement aux autres acides et compense son prix plus élevé.

Il peut être utilisé pour des nombreux matériaux, en particulier en présence d'aciers inoxydables austénitiques. [4]

III.6.3. Nettoyage physique

III.6.3.1. Nettoyage hydrodynamique

Le nettoyage hydrodynamique est généralement utilisé à la place des moyens conventionnels de nettoyage mécanique pour de nombreuses applications et il l'est aussi pour compléter un nettoyage chimique.

III.6.3.2. Nettoyage par l'utilisation des billes

Ce procédé utilise des billes malléables de diamètre un peu supérieur à celui des tubes des échangeurs. Leur passage forcé dans les tubes décroche le tartre en formation sur les parois. Cela se fait sans arrêt de la production en les incorporant dans la saumure avant recyclage. Les billes sont récupérées à la sortie. La plupart des unités de distillation à détentes successives sont maintenant équipées de ce procédé qui permet de réduire la fréquence des lavages à l'acide. [7]

Conclusion

La solubilité des carbonates de calcium dépend, en fait, de l'effet combiné de la quantité de CO_2 dissous et du pH. D'une façon générale, plus le Ph est faible, moins la précipitation des carbonates est craindre.

A partir de ce point, les procédés de protection contre le phénomène d'entartrage et de nettoyage des dépôts sont mis en marche.

Références bibliographiques

- [1] BELKHIR Souheila, KEBBAB F. Zahra. Etude de phénomène d'Entartrage dans le dessaleur de l'unité Centrale 2. Université Badji Mokhtar – Annaba. 2006
- [2] ALIOUAT Mohamed. Etude du phénomène d'entartrage dans un dessaleur de la Centrale d'utilité II par la chronoampérométrie. Université Badji Mokhtar – Annaba 2008
- [3] chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, comité des techniciens : circuit eau de mer ; Traitement et matériaux. Edition Technipe, 1993
- [4] Documentation, Service technique de process -FERTIAL-ANNABA.
- [5] Documentation, unité de centrale utilité II, FERTIAL-ANNABA.
- [6] Guide de traitement des circuits aéroréfrigérentes, Technical Report, 2006. Chapitre 3 :
- [4] Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, Comité des techniciens : Circuits eau de mer ; Traitement et matériaux. Edition Technique, 1993.
- [5] H. Tadjne « phénomène d'entartrage et influence de quelques paramètres sur le rendement de distillat (multi flash) », mémoire fin d'étude, département génie de procédé
- [6] ONDEO Degremont : Water Treatment Handbook Memeto Technique De L'eau 6^{ème} édition (Anglais) / 9^{ème} édition (Français) ; CD-ROM ; Edition Lavoisier, 2002.
- [7] Partick DANIS : Dessalement de l'eau de mer ; Technique de l'ingénieur ; J 2 700

Chapitre IV

Etude de l'entartrage

au niveau de dessaleur et

*Analyses des paramètres physico –
chimiques de l'eau de mer avant et
après dessalement*

Problématique

L'eau de mer est chargée de sels, de gaz dissous et de solides en suspension. Elle contient une variété très riche de faune et de flore. Par conséquent, si elle n'est pas traitée, son utilisation pose un certain nombre de problèmes opérationnels qui limitent l'efficacité des installations, parmi lesquels « l'entartrage ». Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, il nous a été demandé d'étudier le problème d'entartrage qui se pose au niveau de l'unité centrale II.

A cet effet, on a essayé dans ce chapitre au premier lieu, de présenter un état explicatif et plus détaillé sur le phénomène d'entartrage et sur les essais de l'entartrage accéléré au niveau de l'unité centrale II, notamment dans les conduites du dessaleur. Cet état est argumenté par des images photographiques réelles sur l'entartrage et la corrosion à l'intérieur du dessaleur.

Au second lieu, nous avons effectué des analyses physicochimiques de l'eau de mer avant et après dessalement. Ces analyses sont pH, conductivité, dureté totale et chlore résiduel. Ces analyses ont été accompagnées par des essais de l'entartrage de l'eau dessalée.

IV.1 Entartrage au niveau de dessaleur



a) Dépôt de tartre dans
Les tubes de 2^{ème} cellule

b) Dépôt de tartre dans
Les tubes de 3^{ème} cellule

c) Dépôt de tartre
blanchâtre

Figure IV.1 : les différentes images sur le problème de l'entartrage dans les conduites du dessaleur

Les images **a**, **b** et **c** de la figure 1 projettent clairement des dépôts de boues, de produits de corrosion et des tartres. Quant aux photos **a**, **b**, **c** et **d** de la figure 3 exposent des types de corrosion, notamment généralisée. Les origines de ces constats sont probablement dues à plusieurs conditions :

- ✓ L'eau de mer entrante vers le SIDEM contient des particules qui obstruent les parois, des conduites et dans ce cas elle offre l'oxydation très rapide du métal parce que l'eau contient en fait des éléments électro-négatifs.
- ✓ A l'occasion de la visite du vaporisateur C, qui a été mis hors du travail, on a noté des restes de matières organiques (les coquillages, les planctons), que signifie qu'il y a une mauvaise injection de chlore.
- ✓ La mauvaise filtration permet l'entrée de particules solides (sable). L'écoulement de cette eau va éroder les parois des conduites.
- ✓ Les sels qui ont échappé aux traitements sont connus à être insolubles aux températures élevées ; ce qui résulte donc une précipitation des sels sur la proie d'échange où la température est élevée.
- ✓ En outre, la formation de dépôt conduit à la diminution de l'échange de chaleur se répercutant sur le rendement de l'unité.
- ✓ Le blocage des tubes par les dépôts conduit à empêcher le passage de l'eau de mer, qui a pour conséquence, avec l'élévation de la température, de provoquer la combustion des tubes (pas d'échange de chaleur) inculquant d'énormes dégâts.
- ✓ Les perforations des tubes ont provoqué des fuites d'eau de mer dans l'eau dessalée ce qui a enchaîné une augmentation de la conductivité de l'eau dessalée attribuant une diminution de la cadence de la production.
- ✓ Les séparateurs de la première, de la deuxième, de la troisième et de la quatrième cellule sont les plus corrosifs et sont sujettes à être brûlés à cause de l'élévation de la température. Les dernières cellules sont plus exposées à l'encrassement et à l'entartrage. (Figures 2, 3) [1]



Figure IV.2 : Séparateur après
L'utilisation dans les dernières cellules



Figure IV.3 : Séparation après
l'utilisation dans les premières cellules

VI.2 Essai de l'entartrage accéléré

VI.2.1. Rappels sur l'équilibre calco - carbonique

L'entartrage est un phénomène fréquent à la technologie de dessalement de l'eau de mer, il est caractérisé par l'apparition sur une surface métallique ou non d'un dépôt minéral constitué essentiellement de carbonate de calcium selon la réaction :



Cet équilibre, dit « calco - carbonique » est régi par la loi d'action de masse qui établit entre les concentrations des ions Ca^{2+} et CO_3^{2-} selon la relation :

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] = K_s \quad (\text{V.1})$$

K_s dépend de la température et de la force ionique de la solution. Si l'eau n'est pas en équilibre thermodynamique avec le carbonate de calcium, on définit un coefficient « δ » de sursaturation par :

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] = \delta K_s' \quad (\text{V.2})$$

$\delta < 1$: l'eau est dite agressive, elle peut dissoudre du carbonate de calcium ;

$\delta > 1$: l'eau est sursaturée, elle peut déposer du carbonate de calcium . Elle est dite calcifiante ;

$\delta > 40$: il y a précipitation spontanée du carbonate de calcium. Lorsque le dépôt de CaCO_3 adhère fortement aux parois, les eaux sont dites incrustantes. On peut donc qualifier les eaux selon la Figure III.10

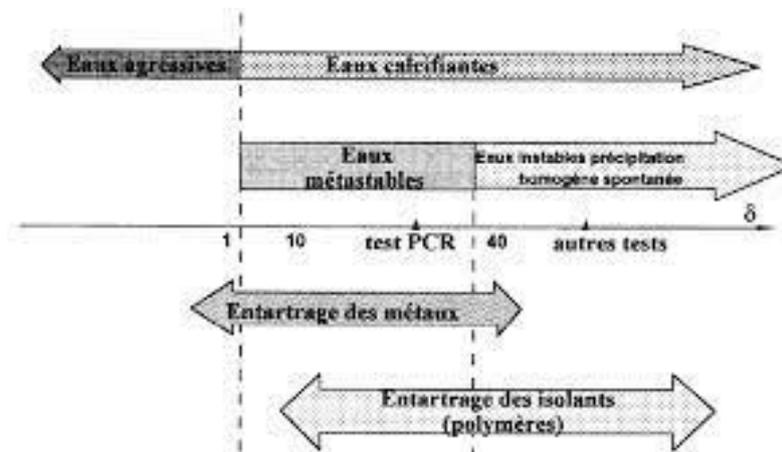


Figure IV.4 : Domaines thermodynamiques des entartrages

VI.2.2. Principe de l'essai d'entartrage accéléré par le chrono-ampèremètre

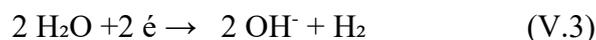
Cette technique a été mise au point par Lédion, et il a fait l'objet de divers développements et de diverses améliorations.

Le principe consiste selon Leroy et al. Et Bornhauser et al. à recouvrir de carbonate de calcium une surface métallique portée à un potentiel négatif fixe par rapport à une électrode de référence au calomel saturé en KCl.

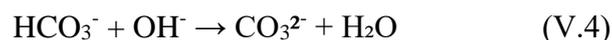
L'application de ce potentiel entraîne à la surface du métal essentiellement la réduction de l'oxygène selon l'équation :



Ou



Au voisinage de cette électrode. La présence des ions hydroxydes entraîne une augmentation du pH localement et les ions hydrogénocarbonates peuvent être alors transformés en ions carbonates selon la réaction :



L'augmentation de la teneur en CO_3^{2-} entraîne alors la précipitation du carbonate de calcium à la surface de l'électrode selon la réaction :



III.8.3. Exploitation de l'essai d'entartrage accéléré

Lorsqu'on est en présence d'une eau entartrant, la Figure 5 donne l'allure de la courbe qui représente l'enregistrement de l'intensité du courant en fonction du temps.

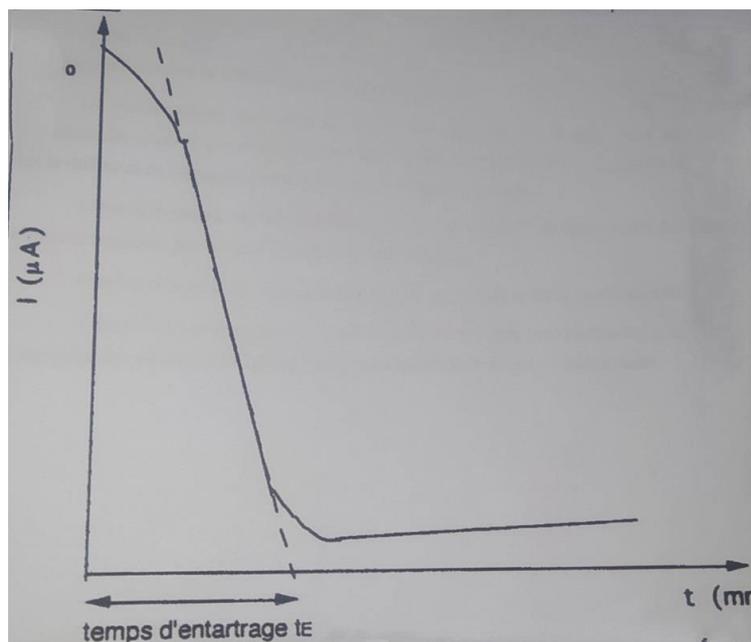


Figure IV.5 : Courbe type d'entartrage accéléré

Au cours du temps le dépôt de carbonate de calcium recouvre progressivement la surface métallique. Ce dépôt isole progressivement le métal de l'eau. L'intensité diminue au fur et à mesure que le recouvrement de la surface se fait et la pente correspondante donne une idée comparative des vitesses d'entartrage (formation du dépôt). L'intersection de la tangente d'inflexion de la courbe d'entartrage accéléré et l'axe du temps correspond à t_E (temps d'entartrage conventionnel).

Ce temps représente le délai nécessaire au recouvrement total de l'électrode par du carbonate de calcium et il caractérise le pouvoir entartrant de l'eau utilisée.

Plus le temps d'entartrage est court, plus l'eau est entartrante. L'intensité initiale I_0 est directement proportionnelle à la teneur en oxygène de cette eau.

Selon Nguyen, le dépôt de carbonate de calcium formé est isolant électriquement et constitue une barrière à la diffusion de l'oxygène à l'électrode. Le recouvrement de l'électrode a lieu ainsi plus ou moins rapidement selon la diminution des cristaux de calcite et la porosité du dépôt. Plus les cristaux sont de petite taille et plus la diffusion de l'oxygène à travers les pores du dépôt est difficile.

Lorsque la surface de l'électrode est recouverte en totalité d'un dépôt isolant de CaCO_3 , celui-ci n'augmente plus ou tout au moins que très lentement.

Pour les essais sur des eaux peu ou pas entartrantes, l'allure de la courbe est différente. Alberty et al. Donnent dans la Figure 6 le cas des eaux non entartrantes, souterraines et superficielles où ils donnent des informations supplémentaires sur le courant limite.

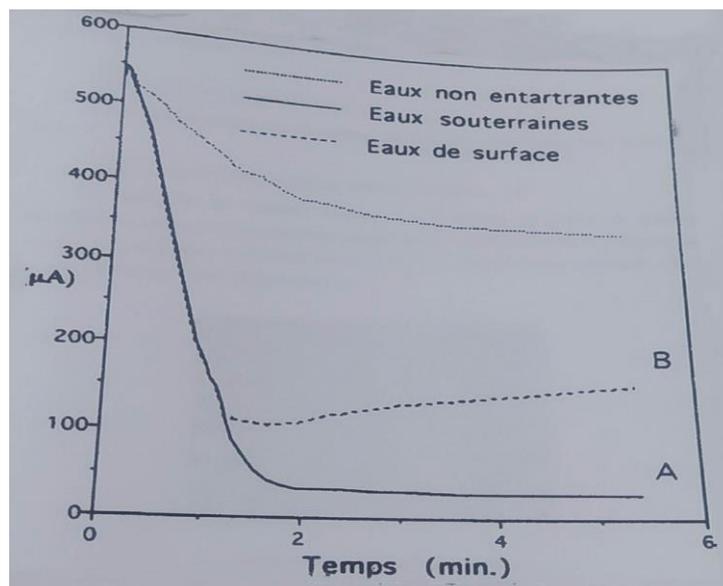


Figure IV.6 : Courbe types d'électrodéposition.

Dans le cas de la courbe (A) l'intensité diminue pour atteindre des valeurs résiduelles extrêmement faibles (inférieure à $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Ceci donne un tartre bien cristallisé.

En revanche la courbe (B) des eaux polluées par certaines matières organiques ou minérales donne des remontées d'intensité. Ceci traduit une mauvaise cristallisation du tartre déposé qui est suivie d'une réorganisation du dépôt.

Globalement, l'entartrage est caractérisé par deux paramètres : le temps d'entartrage t_E et la valeur du courant résiduel.

VI.3. Analyse des paramètres physico-chimiques

VI.3.1. Analyse de l'eau de mer et l'eau dessalée dans les conditions idéales

Ces analyses consistent à mesurer quelques paramètres caractérisant l'eau de mer et l'eau dessalée, les modes opératoires effectués pour faire les analyses de l'eau.

Le tableau IV.1 rassemble les résultats des analyses accompagnés pour l'eau de mer utilisée au niveau du complexe << ASMIDAL >>, et les valeurs sous les normes :

Tableau IV.1 : Caractéristique physico-chimiques de l'eau mer.

Analyse	Eau de mer analysée (ASMIDAL)	Eau de mer (selon les Normes)
TA (°F)	0	0
TAC (°F)	12	12,8
TH (°F)	723	760
TH _{ca} ²⁺ (°F)	106	110
PH	8,04	8,2
Λ	54,90	53,025

D'après ce tableau, on remarque que les résultats obtenus sont proches des normes, et cette différence est due au plusieurs facteurs (l'origine et la salinité de l'eau de mer, la saison de prélèvement des échantillons, les traitements préliminaires de l'eau analysée, etc.).

Le tableau IV.2 rassemble les résultats des analyses pour l'eau dessalée obtenue au niveau de la centrale d'utilité II (ASMIDAL), ces valeurs sont accompagnées par les normes d'une eau dessalée.

Tableau IV.2 : Caractéristique physico-chimiques de l'eau dessalée.

Analyses	Eau dessalée (ASMIDAL)	Eau dessalée (selon les Normes)
TA (°F)	0	0
TAC (°F)	0,02	0,023
TH (°F)	0,05	0,055
TH _{ca²⁺} (°F)	0,8	–
Ph	6,22	6,50
Λ	15,3	<40

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que les résultats obtenus sont très proches des normes. Cela reste vrai dans le cas où il n'y a pas le problème d'entartrage, c'est à dire que soit le dessaleur est neuf ou il est bien entretenu après plusieurs utilisations.

VI.3.2. Analyse de l'eau dessalée dans les conditions réelles

La qualité de l'eau dessalée à une importante influence sur le fonctionnement des différentes installations. Pour justifier la qualité des eaux, on a réalisé des analyses physico-chimiques comme un moyen d'étude analytique. Pour cela et pendant notre stage au niveau du complexe FERTIAL de la willaya d'ANNABA, soit au cours du mois mars à avril de l'année 2023, on a effectué des analyses de ce type d'eau à des heures fixées.

Le pH, le TH, le chlore résiduel, le chlore actif, la conductivité, la silice SiO₂, Fe, TA, TAC, Ca²⁺, sont des paramètres de suivi de la qualité de l'eau. Cependant, pour des considérations de coûts et d'indispensabilité de matériels ou de réactifs, ou encore de protocole analytique, on a été dans l'obligation et selon le programme du laboratoire FERTIAL, de réaliser les analyses que du pH, TH, CI et conductivité.

Les méthodes requises des analyses de ces paramètres sont résumées dans ce tableau.

Tableau IV.3 : Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques

Paramètres	Unités	Méthodes	Instrument	Normes des analyses
Ph	/	Electrochimique	ph – mètre à 25°C	7,5-8
Conductivité(X)	En µs/cm	Electrochimique	Conductimètre avec électrodes thermomètre	10µs/cm
Dureté total	En °f	Volumétrique : titrage par EDT à 0,02 N au NZT	Matériels courant de laboratoire	00.00°f
Chlore résiduelle	Ppm ou mg/l	Mercuriomètre : titrage par le nitrate d'argent	Matériels courant de laboratoire	0.45mg/l

VI.3.2. 1 Exploitations des résultats

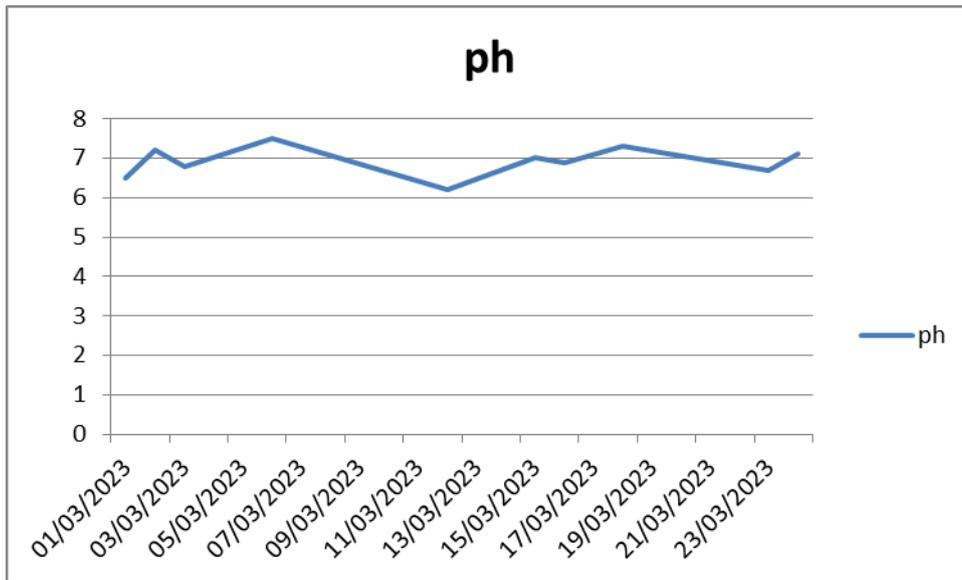
Les résultats des analyses du mois de mars 2023 sont reportés dans les tableaux.

On a renforcé les résultats d'analyses par des représentations graphiques dont l'objectif de faciliter le suivi des paramètres physico-chimiques de ces eaux.

Tableau IV.4 : Résultat d'analyse de l'eau dessalée

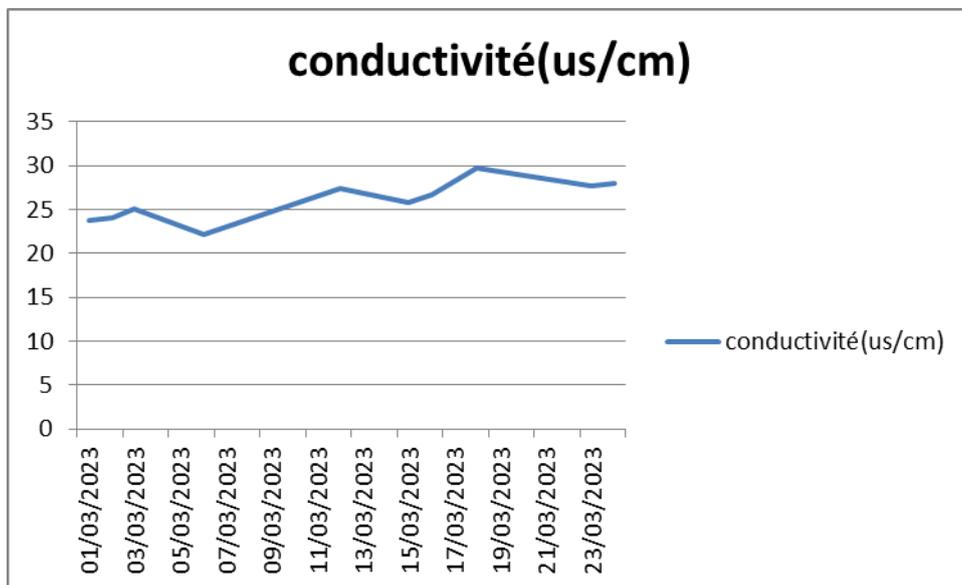
Paramètres Jour	Condensat				Distillat
	pH	TH	Cl ⁻ (mg/L)	Conductivité (μS/cm)	Conductivité (μS/cm)
01/03/2023	6,5	0	0,45	1,89	23,80
02/03/2023	7,2	0	0,45	1,39	24,00
03/03/2023	6,8	0	0,45	2,62	25,10
06/03/2023	7,5	0	0,45	3,08	22,10
12/03/2023	6,2	0	0,45	0,99	27,40
15/03/2023	7	0	0,45	5,50	25,80
16/03/2023	6,9	0	0,45	3,07	26,60
18/03/2023	7,3	0	0,45	1,21	29,70
23/03/2023	6,7	0	0,22	2,38	27,70
24/03/2023	7,1	0	0,45	3,03	27,90

A- pH

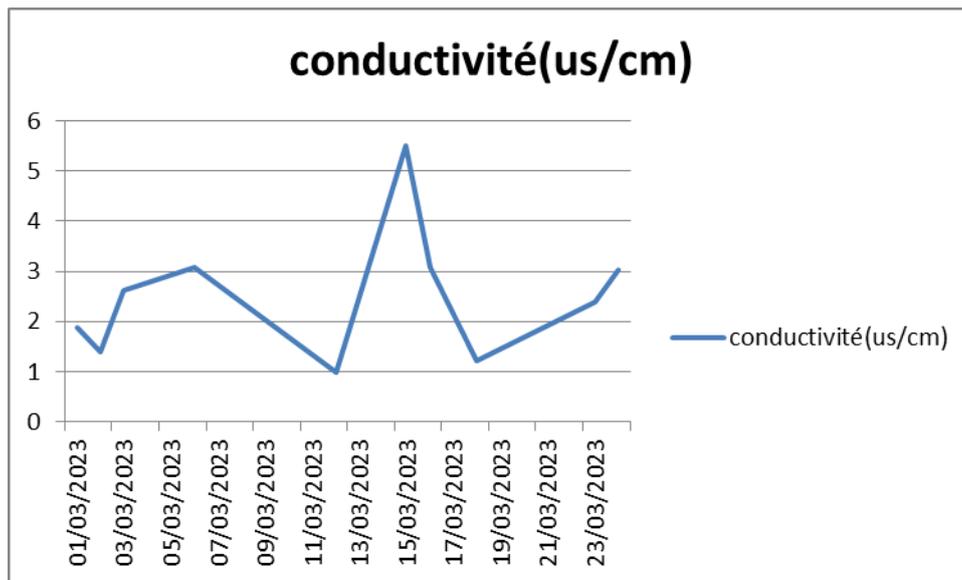


Graphe IV.1: pH de l'eau dessalée au cours du moins mars 2023.

B- Conductivité

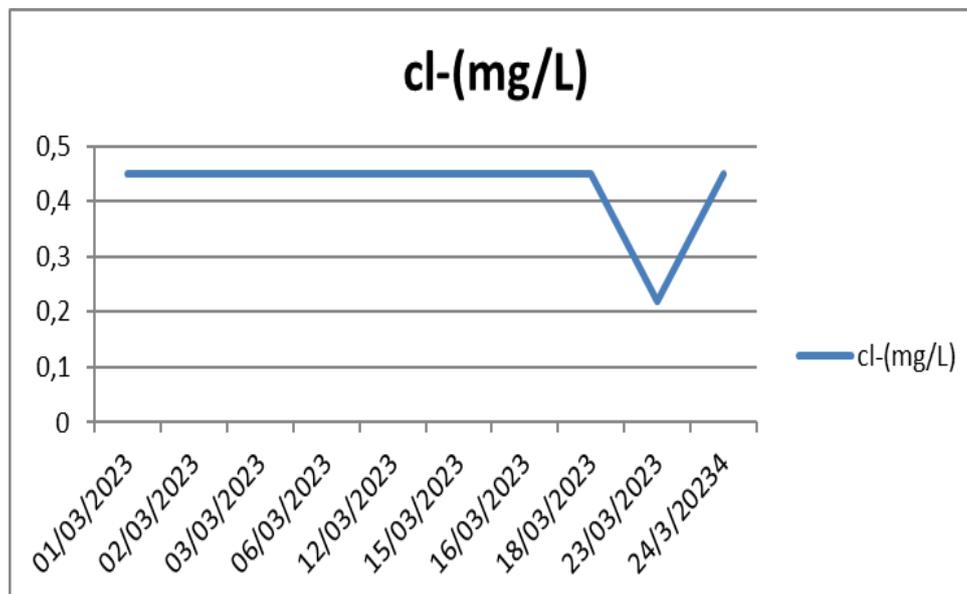


Graphe IV.2 : Analyse de conductivité de l'eau dessalée au cours du moins mars 2023



Graph IV.3 : L'analyse de conductivité de l'eau condensat au cours du moins mars 2023

C- Ions de chlorure (cl⁻)



Graph IV.4 : L'analyse de chlorure au cours du moins mars 2023

VI.3.2. 2 Discussions des résultats

- *Pour le pH*

Le pH de l'eau dessalée obtenu par un procédé de dessalement multi flash dépend de plusieurs facteurs, tels que la composition chimique de l'eau d'origine, les paramètres de fonctionnement du procédé et les étapes de post traitement éventuelles. En général, l'eau dessalée produite par un procédé de dessalement multi flash est généralement légèrement acide, avec un PH inférieur à 7. Cela est dû à l'élimination des sels minéraux, y compris les ions alcalins, qui ont tendance à augmenter le pH de l'eau. Cependant, le pH exact peut varier en fonction des conditions spécifiques du procédé et des caractéristiques de l'eau d'origine. Des paramètres tels que la pression, la température, la salinité de l'eau d'origine et le débit peuvent influencer le pH de l'eau dessalée.

- *Pour la conductivité*

La mesure de la conductivité électrique représente l'un des moyens pour valider les analyses physico - chimiques de l'eau ; en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions dans des zones de mélange. Pour cela, des mesures côté condensat et côté distillat ont été effectuées durant notre période de stage.

Les valeurs enregistrées après analyse sont comprises entre 0,99 et 5,50 μ S/cm avec une valeur moyenne mensuelle de 2,516 μ S/cm. Celles du côté distillat fluctuent dans l'intervalle 23-27 μ S/cm en restant inférieures à la valeur de 40 μ S/cm.

On peut donc dire que les valeurs de la conductivité électrique pour l'eau dessalée sont conformes à la norme (conductivité < 40 μ S / cm).

- *Pour les ions chlorure (cl)*

Dans la qualité d'eau, il faut tenir compte de la teneur en ions chlorure. Les résultats suivis sont illustrés sur le graphe. On voit que la concentration en Cl⁻ de l'eau dessalée est stable (0,45mg/L) à l'exception de celle mesurée la valeur moyenne mensuelle indiquée par le service technique est de 0,44 mg / L. Cette valeur est largement inférieure à la valeur préconisée par l'OMS qui est de 5mg / L.

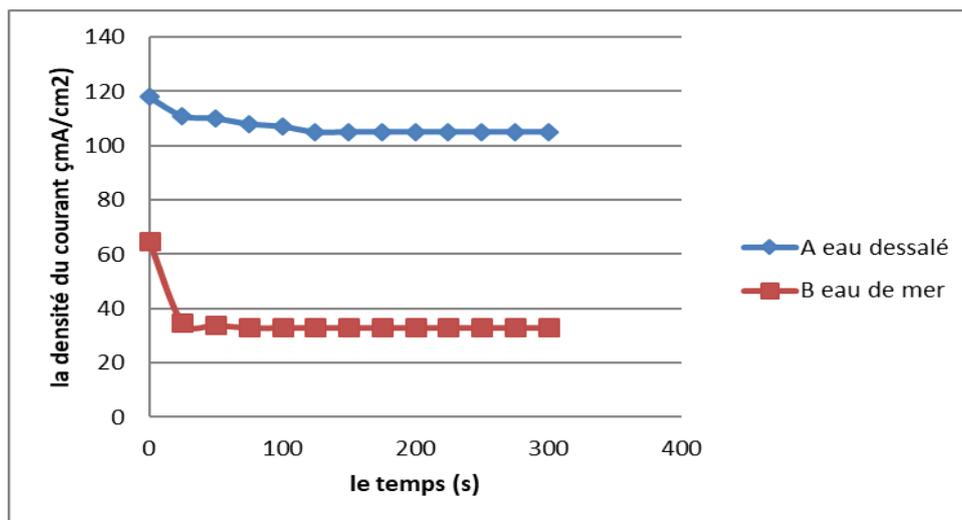
VI.3. Essai d'entartrage sur l'eau de mer dessalée

Cet essai a pour but de voir l'efficacité de la procédure de dessalement au niveau de la centrale d'utilité II (ASMIDAL) et comparer l'effet entrant de celle-ci avec celui de l'eau de mer. L'essai a été fait à une température de 20°C (la température ambiante).

Mode opératoire

- 1) Polissage de l'électrode de travail au papier abrasif 240.
- 2) Positionnement des trois électrodes dans le bécher (l'électrode de travail doit être la plus proche possible de l'électrode de platine et à distance constante).
- 3) Remplissage de la cellule mère de 500 ml et à la température souhaitée pour l'essai dans un bain marie avec une légère agitation.
- 4) Enregistrement de la courbe $I = f(t)$ et détermination du temps d'entartrage conventionnel t . L'agitation doit être moyenne.
- 5) Puis nettoyage par papier abrasif entre chaque essai.

Les résultats de cet essai sont représentés sur le graphe suivant:



Graphique IV.5 : L'effet entartrant de l'eau de mer et l'eau dessalée.

On remarque qu'on ne peut pas tracer la tangente d'inflexion de la courbe A (la courbe l'effet entartrant de l'eau dessalée) qui tend vers l'infini, alors on ne peut pas déterminer le temps d'entartrage de cette eau ; par contre, dans le cas de l'eau de mer, la tangente est facile de tracer, et par conséquent de déterminer leur temps d'entartrage.

Conclusion

L'entartrage est un phénomène qui accompagne surtout le dessalement de l'eau de mer, à cause de sa teneur très élevée de CaCO₃. Aussi, la température élevée accélère ce phénomène, alors, elle complique plus en plus la méthode thermique de dessalement de l'eau de mer.

Pour diminuer les effets de l'entartrage il faut ajouter des produits chimiques qui ralentissent la formation de dépôt et par conséquent influent sur l'équilibre calco-carbonique (les inhibiteurs d'entartrage). Et parmi ces inhibiteurs, on a utilisé « l'Hydrogal 1133 » pour étudier son efficacité sur l'entartrage.

Références bibliographiques

- [1] S. belkhir, f. kebab « étude de phénomène d'entartrage dans le dessaleur de l'unité central II à ASMIDAL ANNABA » mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en génie de l'environnement, université Badji Mokhtar Annaba 2006.
- [2] **Samira** Ghizellaoui, Jean Ledion, Souheila Ghizellaoui, Aissa Chibani : Etude de l'inhibition du pouvoir des eaux du Hamma par précipitation contrôlée rapide et par un essai d'entartrage accéléré ; DESALINATION 166(2004) 315-327.
- [3] **ALIOUT MOHAMED** : étude de phénomène d'entartrage dans un dessaleur de la centrale d'utilité II ASMIDAL par la chronoampérométrie, université Badji Mokhtar Annaba 2006.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'entartrage est un problème mondial rencontré dans toutes les usines de dessalement de l'eau de mer, il provoque : Mauvaise circulation de l'eau ; Accroissement des pertes de charge ; Obturation des tubes (évaporateurs). Tous ces problèmes doivent être étudiés avec beaucoup de précautions, afin de trouver un traitement cohérent pour obtenir une eau de mer utilisable.

Le but de cette étude a été d'essayer de contribuer à résoudre l'un des sérieux problèmes rencontrés au niveau de l'Unité de Centrale Utilité 2 qui est l'entartrage. D'après les résultats des analyses de l'eau dessalée, les paramètres clés indiquant la susceptibilité que les éléments de l'eau favorisent l'entartrage, soient pH 7, TH, sont dans les normes (TH - 0 ° f et la conductivité en moyenne de 26,1 us / cm durant notre période d'étude. Le chlore, qui est un élément à une certaine entrainant la corrosion par piqûres, est en moyenne de 0.44 mg / l. Cette valeur, normalement n'a pas à enchaîner une corrosion.

La seule explication plausible qu'on a pu émettre est que probablement la qualité de l'eau qui était distribuée a pu provoquer des problèmes. En outre, la mauvaise maîtrise des préparations des doses d'anti tartre ou autres produits laisserait l'enclenchement des formations de tartre.

De plus, vu la dégradation du site (mauvais nettoyage), provoquant des corrosions mauvaises sous dépôts, en entraînant des fuites d'eau des tubes ou autres équipements, la situation a influé sur la qualité de l'eau dessalée, Par conséquent, l'engagement des bonnes conditions de fonctionnement aide à préserver les équipements de tout endommagement.

Cette étude nous a été bénéfique dans l'orientation de notre formation et la perspective qu'on pourrait proposer pour la bonne marche de l'unité est de tester les produits quand le fournisseur les propose.