



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic republic of Algeria  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم  
Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculty of Sciences and Technology  
قسم هندسة الطرائق  
Process Engineering Department of



Department of Process Engineering

The Date

Ref :...../U.M/F.S.T/2023

قسم هندسة الطرائق

التاريخ :

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2023

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

### DEMASTER ACADEMIQUE

Filière : Les Industries Pétrochimiques

Option: Génie Pétrochimique

## Thème

**Traitement de l'eau de mer par dessalement à vapeur et  
amélioration du rendement au niveau du complexe SORFERT**

Présenté par

1- DERROUCHE MOHAMED

2- DAHAH RADIA

Soutenu le 07/06/ 2023 devant le jury composé de :

Président :	Mr TERMOUL Mourad	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Mme MOHAMED SEGHIR Zahira	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mme ZERHOUNI Anissa	MCB	Université de Mostaganem

**Remerciements**

*Toute notre parfaite gratitude, grâce et remerciement sont à Allah le*

*Tous puissant, clément et Miséricordieux qui nous a donné la force, le*

*Courage et la volonté d'élaborer ce travail.*

*C'est avec une profonde reconnaissance et une considération particulière*

*Que nous remercions notre encadrante Mme ZERHOUNI Anissa, Maitre de  
Conférences B à l'université de Mostaganem pour sa disponibilité de tous les*

*Instants ainsi que ses conseils avisés qui ont rendu ce travail possible.*

*Nous adressons également nos vifs remerciements à Mr TERMOUL Mourad,  
Maître de Conférences A à l'Université de Mostaganem, d'avoir bien voulu présider ce  
Jury.*

*Nous sommes également très reconnaissants à Mme MOHAMED SEGHIR Zahira , Maître  
De conférences B à l'Université de Mostaganem, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent également :*

*A tous nos enseignants durant toutes les étapes de notre parcours*

*Universitaire, sans exception.*

*A tous ceux qui nous ont assistés de près ou de loin dans la réalisation*

*De ce projet de fin d'étude.*

---

## ***DEDICACE***

Je dédie ce modeste travail à

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenue durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

A mon encadreur Docteur : ZERRHOUNI Anissa que Dieu la Garde en bonne Santé. A mon cher neveu Zaid mes frères Zakaria et Abdelhak et ma belle sœur Roufaida . A toute la famille DAHAH et BELAYACHI sans exception. A tous mes amies Aines Ikram et Mohammed

En fin, je remercie mon FRERE et mon binôme Mr DERROUCHE Mohamed qui a contribué à la réalisation de ce

Modeste travail.

***RADIA***

---

## **DEDICACE**

Je dédie ce modeste travail à

A ma petite famille qui ma guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma femme qui a été à mes côtés et ma soutenue durant toute ma vie, et mes parents qui ont sacrifié toute leurs vie afin de me voir devenir ce que je suis, mes frères Yousef, Zakaria, Mokhtar, et ma sœur Nadia.

Je remercie mes adorables enfants mon petit ami Abdelkader et ma princesse  
Alaa Alia Et

A mon encadreur de mémoire Docteur ZERHOUNI Anissa pour toutes  
Ses conseils et son aide jusqu'à la dernière minute, que Dieu la garde en bonne  
Santé.

A toutes Mes collègue de travail du complexe SORFERT Mr Titah Hichem,  
Yacine ,Seliman ,Zemour,Omar ,Abdelhadi, Faysel, Meftah tous mes amis  
En fin, je remercie mon âme sœur et mon binôme Melle DAHAH Radia qui a  
contribué à la  
réalisation de ce modeste travail.

**MOHAMED**

---

## Résumé

L'objectif de cette étude est de quantifier les pertes liées au calcaire dans la production d'eau dessalée, puis de minimiser l'impact de l'accumulation de calcaire en garantissant un fonctionnement fiable et en respectant les normes de conception

Ce travail étudie le diagnostic des raisons de la diminution du rendement dessalement, et celle-ci est due à la formation d'une épaisse couche de tartres.

C'est la raison pour la quel, nous proposons une solution, qui est représentée par un traitement chimique par acide chlorique, soude caustique et inhibiteur de corrosion.

Et après lessivage du processus de traitement, nous avons lancé la navigation, et il a été constaté que le taux de rendement avait augmenté à 7,94.

Et nous en concluons que le lessivage chimique que nous avons effectué nous a conduit à un résultat efficace dans l'amélioration du rendement.

---

## Abstract

The objective of this study is to quantify scale-related losses in desalinated water production and then minimize the impact of scale build-up by ensuring reliable operation and meeting design standards.

This work studies the diagnosis of the reasons for the decrease in desalination efficiency, and this is due to the formation of a thick layer of scale.

This is why we offer a solution, which is represented by a chemical treatment with chloric acid, caustic soda and corrosion inhibitor.

And after washing out of the treatment process, we started browsing, and it was found that the rate of return had increased to 7.94.

And we conclude that the chemical leaching that we carried out led us to an effective result in the improvement of the yield.

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد الخسائر المرتبطة بالحجر الجيري في إنتاج المياه المحلاة ، ثم تقليل تأثير تراكم الحجر الجيري من خلال ضمان عملية موثوقة واحترام معايير التصميم.

يدرس هذا العمل تشخيص أسباب انخفاض كفاءة التحلية ، ويرجع ذلك إلى تكوين طبقة سميكة من الميزان. هذا هو السبب في أننا نقدم حلاً يتمثل بمعالجة كيميائية بحمض الكلوريك والصودا الكاوية ومانع التآكل.

وبعد انتهاء عملية المعالجة ، بدأنا في التصفح ، ووجدنا أن معدل العائد قد ارتفع إلى 7.94.

ونستنتج أن الغسل الكيميائي الذي قمنا به قادنا إلى نتيجة فعالة في تحسين المحصول.

---

---

## Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	01
<b>CHAPITRE I : les procédés de dessalement du complexe SORFERT.</b>	
1. Généralités.....	02
1.2. Matières premières et produits finis.....	03
1.3. Zone utilités.....	03
1.3.1. Section de production d’eaux dessalées (089).....	03
1.3.2. Section de production d’eaux déminées (090).....	04
1.3.3. Réseau d’eau anti-incendie (091).....	04
1.3.4. Réseaux des douches de sécurité (056).....	04
1.4. Laboratoire.....	04
1.4.1. Section des analyses chimiques (analyse des eaux).....	04
1.5. Dessalement de l’eau de mer.....	05
1.5.1. Les méthodes de dessalement.....	05
1.5.2. Le procédé thermique : la distillation.....	05
1.5.3. Le procédé membranaire : l’osmose invers.....	05
1.5.4. Le procédé l’électrodialyse.....	07
1.5.5. La nano-filtration.....	07
1.5.6. Les avantage du dessalement.....	08
1.5.7. Les défis du dessalement.....	08
1.5.8. Les méthodes appliquées de Dessalement d’eau de mer chez SOFERT.....	09
1.5.9. Les caractéristiques L’eau de mer.....	09
1.6. Le procédé de dessalement par thermo-compression (TCD).....	11
1.6.1. Le principe de fonctionnement.....	12
1.6.2. Analyses de produit du procédé TCD .....	12
1.6.3. Le procédé de dessalement par osmose inverse OI.....	13
1.6.4. Le principe de fonctionnement .....	13
1.6.5. Analyse de produit du procédé OI.....	14
1.6.6. L’importance de l’eau dessalée dans le complexe.....	15
1.6.7. Production de l’eau déminéralisée .....	15
1.6.8. La production de vapeur.....	16

## **Chapitre II : Partie expérimentale**

1. Problématique.....	17
2. Les dépôts entartrant.....	18
2.1. Les carbonates.....	18
2.1.1 La calcite.....	19
2.2. L'aragonite.....	19
2.2.1. La latérite.....	20
2.3. Les hydroxydes.....	20
2.4. Les sulfates.....	21
3. Description du procédé de dessalement TCD 510.....	22
3.1. Le bilan matière du procédé de dessalement TCD.....	24
3.2. Inspection in site du thermo compresseur.....	27
3.3. Résultats d'analyse.....	29
4. Les Solutions du problème.....	30
4.1. Principe et fonctionnement du nettoyage.....	30
4.2. Pose et installation de la station mobile de lessivage.....	31
4.3. Description de la procédure de nettoyage appliqué sur l'unité de dessalement....	32
4.3.1. L'organigramme du procédé est schématisé ci-dessous.....	33
4.4. Résultats des analyses de lessivage.....	34
4.5. Bilan de production et rendement après le nettoyage chimique.....	41
4.5.1. L'organigramme et consommation durant le procédé de lessivage.....	42
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>43</b>
Références Bibliographique	
Annexes	

---

---

## Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique du complexe.....	02
Figure 2 : Phénomène osmotique.....	06
Figure 3 : L'osmose inverse.....	06
Figure 4 : Le procédé de l'osmose inverse a complexe sorfert .....	07
Figure 5 : Vue du haut de la zone des utilités.....	10
Figure 6 : L'unité du procédé de dessalement à thermo-compression .....	11
Figure 7 : L'unité du procédé de dessalement à osmose inverse .....	13
Figure 8 : Le réservoir eau déssalée 089T002 .....	14
Figure 9 : L'unité de déminéralisation et de polissage .....	15
Figure 10 : Cristaux de calcite pris par MEB.....	19
Figure 11 : Cristaux d'aragonite pris par MEB.....	19
Figure 12 : Cristaux de latérite pris par MEB.....	20
Figure 13 : schéma de fonctionnement un TCD.....	22
Figure 14 : La cellule d'évaporation de l'unité de dessalement U .510.....	23
Figure 15 : La cellule d'évaporation de l'unité de dessalement U .510.....	23
Figure 16 : conductivité avec le temps (jours) lors du démarrage de l'unité.....	25
Figure 17 : Evolution de la conductivité avec le temps (jours) mesure actuelle.....	25
Figure 18 : Corrosion des parois.....	27
Figure 19 : Corrosion des parois à l'intérieur des cellules 1.....	27
Figure20 : Entartrage de la surface extérieure des tubes inferieurs .....	28
Figure21 : Dépôt de tartre à la surface extérieure des tubes de l'évaporateur.....	28
Figure22 : buses de pulvérisation.....	29
Figure 23 : La station mobile de lessivage .....	31
Figure24 : Organigramme de la procédure de lessivage .....	35
Figure 25 : Résultats d'analyse des échantillons pendant la Première injection NaOH .....	36
Figure 26 : Résultats d'analyse des échantillons pendant la Première injection HCL.....	37
Figure 26 : Deuxième injection NaOH .....	36
Figure 27 : Deuxième injection HCl .....	38
Figure 28 : 3eme injection NaOH .....	38
Figure 29 : 3eme injection HCl.....	39
Figure 30 : Evolution de la conductivité après lessivage.....	40
Figure31 : l'U510 après nettoyage chimique .....	41

---

---

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Fiche technique .....	03
Tableau 2 : Les analyses de l'eau de mer au complexe SORFERT.....	10
Tableau 3 : les chiffres de consommation prévus pour un fonctionnement normal 2 TCD ....	12
Tableau 4 : Consommation des produit chimique 2 TCD.....	12
Tableau.5 : Les analyses de l'eau déssalée souhaitée du procédé TCD.....	12
Tableau 6 : Les analyses de l'eau dessalée du procédé O.I.....	14
Tableau 7 : les débits opératoires du procédé de dessalement TCD U.510 .....	24
Tableau 8 : Les débits (t/h) actuels du procédé de dessalement TCD U.510 .....	26
Tableau 9 : Résultats d'analyse des échantillons pendant l'opération .....	34
Tableau 10 : Résultats d'analyse des échantillons .....	35
Tableau11 : Les résultats de rendement après le nettoyage chimique de l'unité U.510 .....	41
Tableau 12: L'organigramme et consommation durant le procédé de lessivage.....	42

---

## LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

K's : produit de solubilité

uS/cm : micro siemence par centimètre

Ppm : partie par million

EDM : eau de mer

TCD : thermo-compression distillation

MED : multi effet distillation

MSF : multi stage flash

TVC : thermo-compression de vapeur

HP : haute pression

O.I : osmose inverse

T : tank ; bac, P : pompe

D : ballon

ADE : algérienne des eaux

BF : boucle fermée

N : agitateur

BG: bar gauge / pression atmosphérique / bar g= 1bar

Q<sub>EDM</sub>: débit de eau de mer

Q<sub>VAP</sub>: débit de vapeur

Q<sub>SAUM</sub>: débit de saumure

Q<sub>REJE</sub>: débit de rejets eau de mer

Q<sub>DIST</sub>: débit de distillation.

FIC : contrôleur indicateur de débit

DSC : système de contrôle distribué

PID : diagramme instrumentation et papin

PFD : diagramme des débits process

***INTRODUCTION GENERALE***

Le complexe industriel SORFERT FERTILIZER est l'une des réalisations industrielles les plus significative de la chaîne de traitement des hydrocarbures. Il s'agit d'un partenariat entre la société algérienne SONATRACH et la société égyptienne ORASCOM construction industries et s'étend sur une superficie de 37 hectares relevant de la loi 51/49 Conçu pour synthétiser l'ammoniac et produire des engrais uréiques selon le procédé UHDE de l'allemand Thyssen Krupp. La zone des utilités est un maillon important de tout complexe industriel afin de répondre au besoin permanent en eau dessalée, SORFERT a équipé sa zone d'utilités au sein du complexe d'un nouveau procédé de dessalement d'eau de mer. La partie dessalement comprend deux techniques principales

Ces deux processus représentent des avantages très importants car ils traitent de grandes quantités volumiques d'eau. Les procédés de dessalement thermique d'eau de mer sont confrontés à un grave problème d'entartrage qui affecte la production d'eau dessalée en raison de la réduction de la zone d'échange eau /vapeur dans le procédé, ce qui affecte à son tour l'efficacité (productive) et la consommation de l'autonomie permanente totale du complexe.

L'objectif de cette étude est de quantifier les pertes liées au calcaire en garantissant un fonctionnement fiable et en respectant les normes de conception. Pour mener à bien cette étude, notre travail a été divisé en deux grands chapitres.

Le premier comprend une présentation et description du complexe SORFERT ainsi qu'une étude théorique des procédés de dessalement existant.

Le second chapitre consiste en un plan détaillé du procédé de thermo - compression pour produire de l'eau dessalée de faible conductivité inférieure à 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un problème lié à une augmentation très importante de la conductivité liée aux phénomènes d'entartrage. La découverte est suivie d'une proposition de lessivage chimique, puis d'un examen de la conductivité et des performances de l'appareil après lessivage.

Et enfin une conclusion générale de l'étude résume l'essentielle des résultats obtenue.

**Les procédés de  
dessalement du  
complexe SORFERT.**


**1. Généralité**

Le complexe industriel d'ammoniac SORFERT est l'une des industries pétrochimique les plus importantes du pays et le monde. Cette usine fait partie d'un partenariat entre la société Algérienne SONTRACH et la société égyptienne ORASCOM construction industries, crée le 10 juin 2007 en application de la loi 51/49 et exploitée par la société SONTRACH en Algérie. Il a été développé pour assurer la production et le transport des engrais ammoniac et urée [1]



**Figure 1 :** Situation géographique du complexe.

Tableau 1 : Fiche technique

Superficie	37 Hectares
Construction	Février 2007
Date de de démarrage	Décembre 2011
Alimentation <b>du gaz naturel</b>	RTO
Procédé	Thyssen Krupp uhde
Nombre de train	2-ammoniac 1-urée 1-utilité
Capacité de stockage	75000 m <sup>3</sup> d'ammoniaque
Un hangar de stockage d'urée	100000 m <sup>3</sup>
Symbol	

## 1.2. MATIERES PREMIERES ET PRODUITS FINIS

Les matières premières nécessaires au Complexe

- . Le Gaz Naturel.
- . L'Oxygène et L'Azote (Nitrogène) de l'Air Atmosphérique.
- . Le Dioxyde de Carbone (CO<sub>2</sub>) de l'unité d'extraction du CO<sub>2</sub>.
- . La Vapeur d'eau générée par la récupération de chaleur produite par les chaudières.

## 1.3. ZONE UTILITES

Les utilités sont des services de support au procédé. Elles sont créées pour produire et manipuler les produits finis du complexe, comme elles sont nécessaires pour supporter l'outil de production.

Les utilités se composent des sections suivantes :

### 1.3.1. Section de production d'eaux dessalées (089)

Comprend deux unités :

L'unité de dessalement par osmose inverse produira de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer durant l'opération de démarrage quand l'unité de dessalement par évaporation n'est pas en service.

L'unité de dessalement thermo compression produira de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer pour assurer le fonctionnement des unités d'ammoniac et d'urée.

#### 1.3.2. Section de production d'eaux déminées (090)

L'unité est conçue pour fournir de l'eau polissée en quantité nécessaire pour l'exploitation de l'unité d'ammoniac, d'urée.

L'eau déminéralisée est produite à partir de condensat de procédé prétraité et d'eau de mer dessalée à partir de la technique résine échangeuse d'ions (anioniques et cationiques) à lit mixte fournit de l'eau entièrement déminéralisée, cette eau est utilisée pour la génération de la vapeur HP dans les chaudières autonomes.

#### 1.3.3. Réseau d'eau anti-incendie (091)

Un réseau d'eau anti-incendie est prévu pour alimenter en eau les systèmes pour la distribution et la protection des installations. Ce réseau comporte le réseau de conduites d'incendie, les boucles d'incendie, les moniteurs et les systèmes d'aspiration.

L'admission d'eau de mer inclue aussi les lignes de transfert vers le site de production.

#### 1.3.4. Réseaux des douches de sécurité (056)

Les douchettes de sécurité de différentes zones du complexe sont raccordées à la boucle de douchettes de sécurité qui est alimentée en eau potable provenant soit du réseau de L'ADE ou du bac eau dessalée comme appoint. [2]

### **1.4. LABORATOIRE**

En manipulant, le chimiste est exposé en permanence au danger, en conséquence dans l'organisation industrielle, le département de sécurité assure l'application des consignes de sécurité pour prévenir tout incident et intervention si besoin.

#### 1.4.1. Section des analyses chimiques (analyse des eaux)

Les analyses des eaux (traitement-contrôle) ont pour but de maintenir l'exploitation des unités de production dans des conditions optimums avec les paramètres exacts auxquelles, elles ont été conçues.

Les eaux qui sont utilisées pour la production de l'ammoniac sont :

- Eaux de l'entropie (eau dessalée).
- Eaux déminéralisées.
- Eaux de refroidissement.
- Eaux de chaudière. [3]

## **1.5. Dessalement de l'eau de mer**

Le Dessalement de l'eau de mer est un processus qui permet de transformer l'eau salée en eau potable. Cette technologie est de plus en plus utilisée dans les régions où l'eau douce est rare ou contaminée. Il existe plusieurs méthodes de Dessalement de l'eau de mer, mais elles ont toutes un coût élevé et nécessitent une grande quantité d'énergie. Cependant, avec la croissance de la population mondiale et le changement climatique, le Dessalement de l'eau de mer devient de plus en plus important pour assurer la sécurité de l'approvisionnement en eau potable.

### **1.5.1. Les méthodes de Dessalement**

Il existe deux principales méthodes de Dessalement de l'eau de mer : l'osmose inverse et la distillation. L'osmose inverse utilise une membrane semi-perméable pour éliminer le sel et les impuretés de l'eau, tandis que la distillation bouillir l'eau salée pour la faire évaporer et condenser la vapeur pour obtenir de l'eau pure. Il y a aussi des méthodes moins courantes, comme l'électrodialyse et la nano-filtration

### **1.5.2. Le procédé thermique : la distillation**

Il s'agit de la première technique historiquement utilisée dans le Dessalement de l'eau, du fait, probablement, de sa simplicité. Elle consiste à faire évaporer l'eau, contenant le sel, grâce à la chaleur produite par une chaudière ou plus simplement par le soleil. Par ce processus, les sels ainsi que les autres composés dissous se déposent tandis que de la vapeur d'eau s'élève. Cette dernière est ensuite recondensée afin d'obtenir de l'eau douce.[4]

### **1.5.3. Le procédé membranaire : l'osmose inverse**

Pour expliquer le fonctionnement de ce procédé, il convient tout d'abord de rappeler le principe de l'osmose. L'osmose correspond à la relation entre un soluté (ici le sel, principalement) et le liquide (ici, l'eau) dans lequel il est dissout. La pression osmotique est la pression exercée par la solution (= le liquide + le soluté) sur les différentes parois avec lesquelles elle est en contact.

Dans le cas d'un système avec une membrane semi-perméable, le liquide de la solution la moins concentrée (ici l'eau pure) vient diluer la solution la plus concentrée (eau salée) afin d'atteindre un état d'équilibre dit équilibre osmotique, soit, une concentration en sel égale de part et d'autre de la membrane. Ce phénomène est illustré par le schéma ci-dessous

Phénomène d'osmose : l'eau pure va naturellement vers l'eau salée

Dans l'osmose inverse, l'action du piston vient contrer cet équilibre. Lorsque la pression exercée par le piston sur l'eau salée est suffisante (c'est à dire supérieure à la pression osmotique), celle-ci a tendance à migrer à travers la membrane semi-imperméable : cette

Dernière retient les sels grâce à la petitesse de ses trous. Ainsi, de l'eau douce peut être produite grâce à ce procédé, comme illustré dans le schéma ci-dessous.

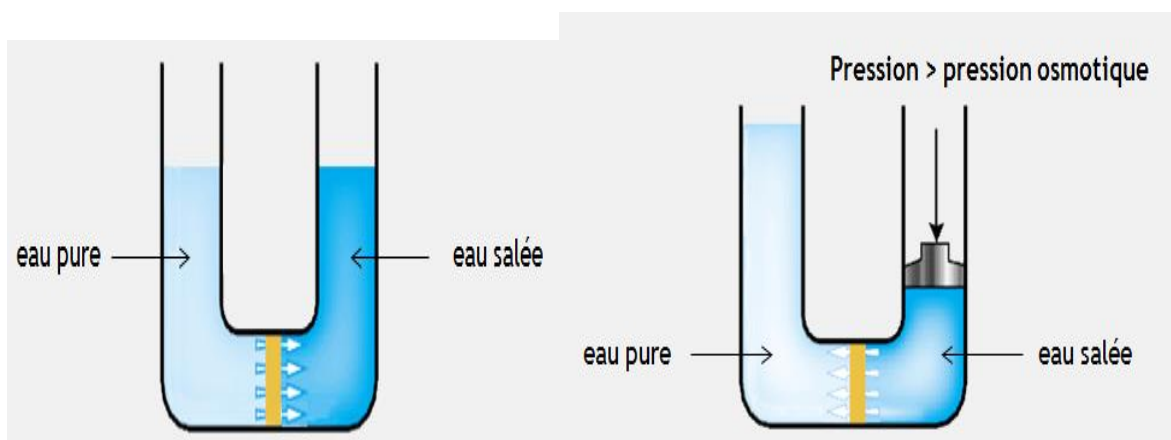


Figure 2 : phénomène osmotique

Figure 3 : L'osmose inverse

Le procédé de l'osmose inverse est de plus en plus répandu pour différentes raisons. Cette technique consomme tout d'abord beaucoup moins d'énergie que la distillation : seuls 4 à 5kWh sont nécessaires pour traiter un mètre cube d'eau contre 15 kWh pour le procédé thermique. De plus, ces consommations tendent à baisser régulièrement, grâce à des innovations permettant de récupérer l'énergie utilisée pour forcer l'eau de mer à passer à travers les membranes. Des travaux sont également en cours pour mettre au point des membranes beaucoup plus fines (en graphène notamment) qui réduiraient considérablement la pression nécessaire à la désalinisation.[5]

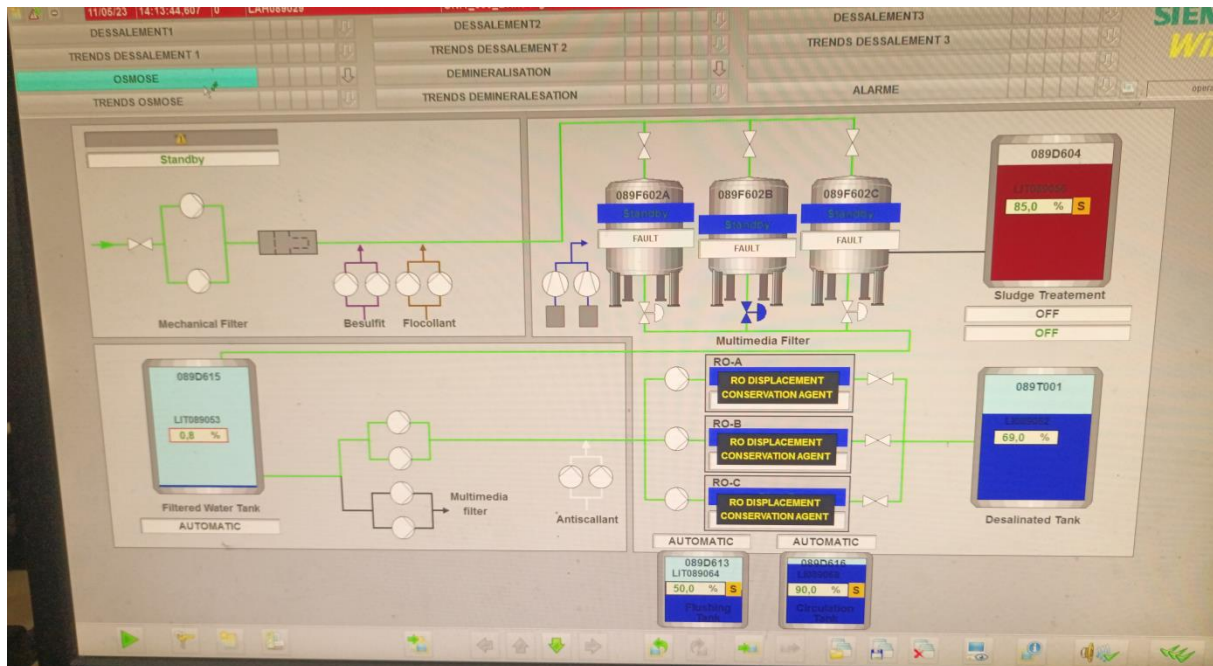


Figure 4 : Le procédé de l'osmose inverse a complexe Sorfert

#### 1.5.4. Le procédé l'électrodialyse

Est une méthode de dessalement qui utilise des membranes chargées électriquement pour séparer les ions de l'eau salée.

Les membranes sont alternativement et l'eau salée est poussée à travers ces membranes en utilisant un champ électrique

Les ions sont ainsi produits de l'eau salée ce qui permet de produire de l'eau douce

Cette méthode est souvent utilisée pour dessaler l'eau de mer. [6]

#### 1.5.5. La nano-filtration

Est une méthode de dessalement qui utilise une membrane plus fine que celle utilisée dans l'osmose inverse.

Cette membrane permet de filtrer l'eau salée à un niveau plus fin, ce qui permet de retenir des particules plus petites.

Cela signifie que la nano-filtration peut être utilisée pour enlever des contaminants plus petits que l'osmose inverse comme les virus et les bactéries

### **1.5.6. Les avantages du dessalement**

Le dessalement de l'eau de mer présente de nombreux avantages, notamment la production d'eau potable à partir de sources autrefois inutilisables.

De plus, cette technologie peut aider à réduire la dépendance aux ressources en eau douce, ce qui est particulièrement important dans les régions arides ou touchées par la sécheresse.

1. Fournit des personnes avec de l'eau potable (eau potable propre et frais).
2. Fournit de l'eau à l'industrie agricole.
3. Qualité de l'eau est sans danger (non dangereux ou dangereux pour toute chose vivante).
4. Les utilisations ont essayé et testé la technologie (la méthode est éprouvée et efficace).
5. Aide à préserver l'approvisionnement en eau douce actuelles.
6. Illimité l'eau de mer comme source.
7. Indépendamment de l'évolution des facteurs.
8. Les plantes sont situées en toute sécurité.
9. Aide à la protection de l'habitat.[7]

### **1.5.7. Les défis du dessalement**

Bien que le dessalement de l'eau de mer soit une solution prometteuse, il présente également des défis importants. Le coût élevé de cette technologie ainsi que sa consommation énergétique sont des facteurs à prendre en compte, tout comme les impacts environnementaux potentiels du rejet des saumures.

Alors que la demande en eau potable continue de croître, le dessalement de l'eau de mer deviendra de plus en plus important pour répondre aux besoins en eau potable dans les régions arides et désertiques. Cependant, il reste encore des défis à relever pour rendre le dessalement plus durable et plus abordable.

Des recherches sont en cours pour développer des technologies de dessalement plus efficaces et moins énergivores, ainsi que pour trouver des moyens de réduire l'impact environnemental du dessalement. Il est également important de trouver des moyens de financer la construction

et l'exploitation des installations de dessalement, en particulier dans les régions les plus pauvres du monde.[8]

### **1.5.8. Les méthodes appliquées de Dessalement d'eau de mer chez SOFERT**

L'utilisation de l'eau dans l'industrie des hydrocarbures est beaucoup plus axée sur l'alimentation des échangeurs de chaleur et des chaudières qui constituent le cœur de l'usine. L'eau de mer est la matière première d'eau douce de l'usine, Soit une installation de section des procédés de dessalement pour se débarrasser des sels dissous. [9]

### **1.5.9. Les caractéristiques L'eau de mer**

La qualité de l'eau de mer varie selon les saisons en raison des fortes fluctuations de la température ambiante et des conditions d'afflux d'eau de mer (l'emplacement à proximité des ports et les activités de navigation affectent également la qualité). La caractéristique la plus importante de l'eau de mer est sa salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium, magnésium, sulfates et carbonates) est la moyenne méditerranéenne 35 g.L<sup>-1</sup> (27,2 g.L<sup>-1</sup> NaCl, 3,8 g.L<sup>-1</sup> MgCl<sub>2</sub>, 1,7 g.L<sup>-1</sup> MgSO<sub>4</sub>, 1,26 g.L<sup>-1</sup> CaSO<sub>4</sub>, 0,86 g.L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). L'eau de mer qui alimente le complexe d'ammoniac SOFERT est prétraitée dans des usines de filtration et d'électro-chloration. Le tableau ci-dessous présente les analyses de l'eau de mer du complexe.[10]

Tableau 2 : Les analyses de l'eau de mer au complexe Sorfert

<i>Les composants</i>	<i>Les quantités (normes)</i>
Calcium Ca <sup>++</sup>	844 ppm
Magnésium Mg <sup>++</sup>	1355 ppm
Sodium Na <sup>+</sup>	10660 à 12000 ppm
Carbonate CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	18 ppm
Potassium K <sup>+</sup>	470 ppm
Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	2700 ppm
Bicarbonate HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	120 ppm
Chlorure Cl <sup>-</sup>	19900 à 20680
pH	8.5
TDS	37.300 à 38.554
Conductivité	40.800 à 41.300 μS/cm
Température	10 à 30 °C



Figure 5 : Vue du haut de la zone des utilités

**1.6. Le procédé de dessalement par thermo - compression (TCD)**

L'unité de dessalement comprend trois trains identiques 089U510, 089U520, 089U530, deux fonctionnent en parallèle, chacun étant conçu pour au minimum 50% de la demande normal en eau, le troisième train est en attente d'un débit nominal à 100m<sup>3</sup>/h par train.[11]



**Figure 6 :** L'unité du procédé de dessalement à thermo-compression

### 1.6.1. Le principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement consiste à la distillation par thermo-compression (TCD) et la distillation à effet multiples (MED), ces unités dessalent l'eau de mer par le procédé d'évaporation et de condensation en biais de deux cellules d'évaporations et un condenseur, tous les sels sont piégés dans la saumure, et la vapeur condensée est pratiquement exempte de sel.[12]

Afin d'améliorer le rendement thermique de la distillation à effet multiples, les unités de dessalement utilisent un procédé pompe à chaleur (TCD), à travers un thermo-compresseur.

**Tableau 3** : les chiffres de consommation prévus pour un fonctionnement normal TCD

<b>Puissance électrique</b>	<b>376 KW/H</b>
<b>Air instrumentation</b>	20Nm <sup>3</sup> /H
<b>Vapeur MP</b>	37 T/J

**Tableau 4** : Consommation des produit chimique TCD

<b>Agent antitartre (Belgrade EV 2030)</b>	<b>67 kg/jour</b>
<b>Agent anti mousse (Belite M8)</b>	<b>2 kg / jour</b>

### 1.6.2. Analyses de produit du procédé TCD

**Tableau 5** :Les analyses de l'eau dessalé souhaitée du procédé TCD

<i>Paramètre</i>	<i>Unité</i>	<i>Quantité</i>
<b>Valeur de Ph</b>		6.0-7.5
<b>Conductivité</b>	μS/cm	< 10
<b>Solide totaux en suspension TTS</b>	mg/l	< 1
<b>Solide totaux dissous TDS</b>	mg/l	< 5

### 1.6.3. Le procédé de dessalement par osmose inverse O.I

L'unité comporte trois trains identiques deux fonctionnent en parallèle chacun étant conçu pour au minimum 50% de la demande normal en eau, pendant le démarrage de l'unité le troisième train est en attente et doit être utilisé en cas de nettoyage des membranes, le débit nominal est égal 34 m<sup>3</sup>/h.



Figure 7 : L'unité du procédé de dessalement à osmose inverse

### 1.6.4. Le principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement est l'osmose inverse appliqué, Dans ce principe physique les molécules d'eau traversent la membrane semi perméable ou environs 99 % des sels dissous restent dans le flux de concentrât, ajoutées aux substances organiques extraites de l'eau. Les ions alcalins se filtrent plus facilement que les ions bi ou trivalent et les molécules plus grandes présentes une masse moléculaire moyenne ou élevée. La différence des concentrations dans le filtrat et le concentrât crée la pression osmotique entre les deux solutions séparées par la membrane, cette pression atteignant jusqu'à 80 bars doit être surcompense en pompant l'alimentation en eau de mer brute vers le côté concentrât de la membrane, la pression en amont de la membrane est ainsi le moteur du procédé d'osmose inverse. [13]

### 1.6.5. Analyse de produit du procédé O.I

L'eau dessalée en aval de l'échangeur d'anions doit se conformer aux exigences de qualité mentionnées le tableau ci-dessous :

Tableau 6 : Les analyses de l'eau dessalé du procédés O.I

Paramètre	Unité	Quantité
Valeur de Ph		6.0-7.5
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$	< 700
Solide totaux en suspension TTS	Mg/l	< 1
Solide totaux dissous TDS	Mg/l	< 5

À noter que l'eau dessalée produite est stockée dans le réservoir de l'eau dessalée 089T002 d'une capacité de 6000 m<sup>3</sup>. [14]



Figure 8 : Le réservoir eau dessalée 089T002

### 1.6.6. L'importance de l'eau dessalée dans le complexe

La production de l'eau dessalée après le stockage est acheminée directement vers les différents traitements de filtration du procédé de déminéralisation des unités U.100 et U.200. L'unité U.100 qui compose de lits séparés anion et cation, l'eau déminée produite est de conductivité inférieure à  $5 \mu\text{S}/\text{cm}$  et l'unité U.200 qui compose de 4 lits mixtes, l'eau polie produite est de conductivité de  $0.16 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 1.6.7 Production de l'eau déminéralisée

L'unité de déminéralisation est conçue pour fournir de l'eau polie en quantité nécessaire pour l'exploitation de l'unité d'ammoniaque/d'urée, y compris les unités hors site et services. L'eau déminéralisée est produite à partir de condensat du procédé prétraité et d'eau de mer dessalée provenant de l'unité de dessalement thermique 089U500, à partir de laquelle l'eau mieux dessalée est directement acheminée vers l'unité de polissage 090U200. L'eau déminéralisée produite est récupérée et stockée dans le réservoir de l'eau déminéralisée 090T001 d'une capacité de  $3500 \text{ m}^3$ .

L'eau polie est produite à partir d'eau déminéralisée, de l'eau dessalée et de retour de condensat des turbines / vapeur très faiblement polluée.

Le traitement par le filtre à lit mélangé de l'unité 090U200 fournit de l'eau entièrement déminéralisée utilisée pour la génération de la vapeur HP dans les chaudières autonomes 089U100/200/300, l'eau polie est collectée dans le réservoir d'eau polie 090T002. Cette eau sert à alimenter les chaudières pour la production de vapeur, en outre cette eau est utilisée aussi comme fluide de refroidissement pour certains équipements mécanique.[15]



Figure 9 : L'unité de déminéralisation et de polissage

**1.6.8. La production de vapeur**

La production de la vapeur joue un rôle très important, en tant que source d'énergie pour le fonctionnement de divers équipements :

- Les turbines des générateurs : production d'électricité
- Les turbines des compresseurs : compression de gaz
- Les réchauffeurs de Gaz
- Les turbines des pompes

Cette vapeur est produite par un ensemble de trois chaudières de capacité de 166 tonnes/heure de vapeur chacune, avec une température de 510°Cdegrés. [16]

# Chapitre II

## Partie expérimentale

**1.Problématique**

Profitant de l'arrêt d'un train d'ammoniac, Sorfert a organisé le nettoyage chimique (lessivage) des trois unités de dessalement. Entropie rappelle que le dernier audit a montré que le fonctionnement permanent des unités n'est pas préconisé pour répondre complètement aux besoins de l'usine due à la baisse du rendement et de ce fait effectuer la maintenance préventive nécessaire. Cette baisse de rendement a été causé par la surproductivité des unités et l'entartrage cumuler sans arrêt.

L'entartrage se matérialise par une forme d'incrustations adhérentes et dures sur les surfaces d'échanges généralement métalliques. Lorsque la limite de solubilité du sel contenu dans l'eau est dépassée, la vitesse du dépôt est très rapide et donc on a entartrage.

Avec ce nettoyage chimique. Sorfert souhaite retrouver un bon rendement pour les trois unités et demande entropie pour les assister dans cette tâche. En même temps quelques entretiens mécaniques sur le vide système.

Le nettoyage chimique (lessivage) a commencé par l'unité 530 qui avait la plus faible production, puis l'unité 510. Une seule unité

Peut être maintenu à l'arrêt même avec un train arrêté. Le nettoyage chimique (lessivage) doivent donc être effectués successivement un par un. Le besoin d'eau distillée n'a pas laissé suffisamment de temps pour effectuer le nettoyage à l'acide sur l'unité 520. Avant le démarrage de chaque nettoyage chimique (lessivage), une inspection interne doit être effectuée pour vérifier l'état des faisceaux de tubes avant le nettoyage et également pour vérifier l'état interne général de l'unité et En particulier le problème de corrosion dû au chlore libre restant dans l'eau de mer.

Capacité brute moyenne pour chaque unité avant nettoyage à l'acide :

Unité 1 (U510) : 86 m<sup>3</sup>/h Unité 2 (U520) : 90 m<sup>3</sup>/h Unité 3 (U530) : 88 m<sup>3</sup>/h

Conductivité du distillat : 5 à 15  $\mu$ S/cm.

## 2. Les dépôts entartrant

Certaines espèces chimiques qui se trouvent sous forme ionisée en solution peuvent dans certaines conditions, se recombines pour former des composés qui précipitent, ceci est dû au fait que l'eau à une capacité limite pour dissoudre ces produits, il faut donc faire intervenir la notion de solubilité pour expliquer ce phénomène.

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, les principaux ions directement ou indirectement responsables de l'entartrage sont : calcium, magnésium, bicarbonates et sulfates.

La composition des dépôts dépend de la température :

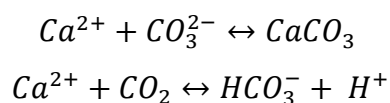
- En dessous de 85°C, le dépôt de  $\text{CaCO}_3$  est presque pur.
- De 85°C à 120°C, il ya prédominance de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .
- Au-dessus de 120°C il ya prédominance de  $\text{CaSO}_4$ .

Les dépôts les plus rencontrés dans l'industrie sont : Les carbonates, les hydroxydes et les sulfates.

### 2.1. Les carbonates

Les carbonates les plus courants sont les carbonates de calcium et les carbonates de magnésium, leur précipitation dépend principalement de la température, du pH et des gaz dissous, rarement d'un mélange d'eaux incompatibles.

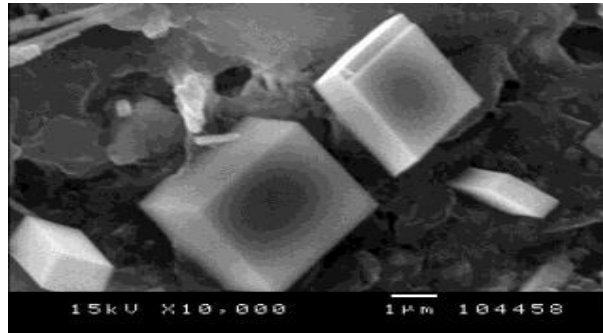
Les réactions de précipitation sont les suivantes :



Les différentes formes cristallines de carbonates de calcium sont :

### 2.1.1 La calcite

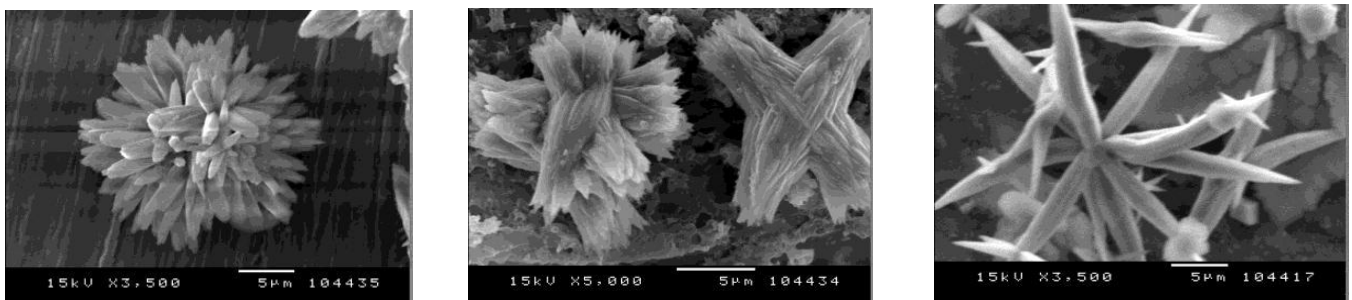
C'est un minéral qui présente de très nombreux faciès, il est rencontré ordinairement sous la forme de rhomboèdre, c'est la forme la plus stable thermodynamiquement de toutes les variétés du carbonate de calcium.



**Figure 10** : Cristaux de calcite pris par MEB

### 2.2. L'aragonite

Elle est moins stable que la calcite. Les faciès les plus fréquemment rencontrés sont constitués par des aiguilles plus ou moins allongées rassemblées en amas plus ou moins fournies. Ces amas ont des allures très variées qui ont été baptisées "croix", "fagots" et "oursin". Cette forme est stable à une température supérieure à 50 °C et en présence des ions magnésium.



**Figure 11** : Cristaux d'aragonite pris par MEB

### 2.2.1. La latérite

Trois faciès sont couramment rencontrés, les faciès dits en "lentilles", en "fleurs" et le "rose des sables" qui est un groupement de lentilles. La transformation de la latérite en aragonite est facilement observable, elle s'amorce par les extrémités de la lentille qui se garnit pour constituer finalement un "fagot" d'aragonite, elle est la moins stable des trois formes anhydres.

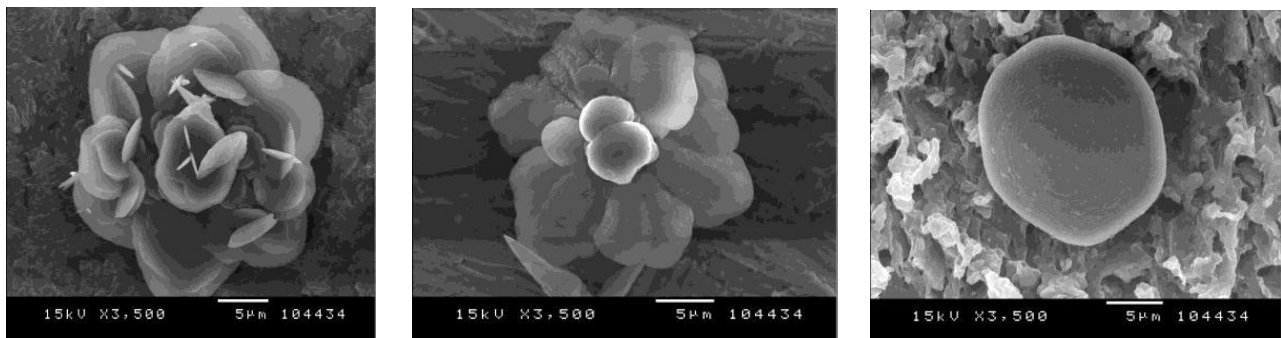
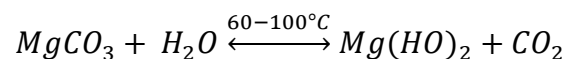


Figure 12 : Cristaux de latérite pris par MEB

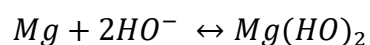
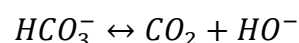
### 2.3. Les hydroxydes

Les hydroxydes le plus courant est l'hydroxyde de magnésium, on peut rencontrer pas aussi souvent que les sulfates et les carbonates.

La précipitation de  $Mg(OH)_2$  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 :



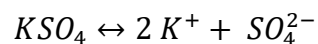
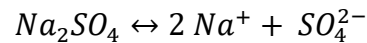
Ou bien :



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

## 2.4. Les sulfates

Les sulfates les plus courants rencontrés sont les sulfates de calcium, de sodium et de potassium, les dépôts de sulfates sont dus généralement aux mélanges d'eaux incompatibles, mais ils peuvent également précipiter par concentration comme les autres sels.



Les procédés thermiques de dessalement des eaux de mer rencontrent un sérieux problème de dépôt de sel dit entartrage. Ce dernier influe sur la production de l'eau dessalée suite à la diminution de la surface d'échange eau/vapeur du procédé, ce qui influe de son tour sur le rendement en eau distillée et la consommation du complexe qui exige une autonomie constante.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études relatif à l'amélioration de la capacité de production du procédé de dessalement à thermo -compression dans l'unité U 150 du complexe SOFERT, notre objectif consiste à :

- \_Quantifier les pertes de production dues à l'entartrage.
- \_Minimiser l'effet entartrage, tout en assurant une exploitation fiable et conforme aux normes du design

### 3. Description du procédé de dessalement TCD U.510

Le procédé de dessalement comporte principalement une chambre d'évaporation doté d'un système de pulvérisation d'eau de mer en son sommet, un puisard de saumure, un faisceau tubulaire de chauffage /condensation et un tamis debrumeur à la sortie vapeur. La vapeur prévenante du thermo compresseur est introduite dans la première cellule est condensée dans la finalité des faisceaux tubulaires, la vapeur produite de la première cellule (évaporateur) passe à travers les tubes de la deuxième cellule via les tamis debrumeur et se condense pour être récupérée par le fond vers le condenseur.

Les figures 15a/15b : représentent les cellules d'évaporation du procédé TCD U.510

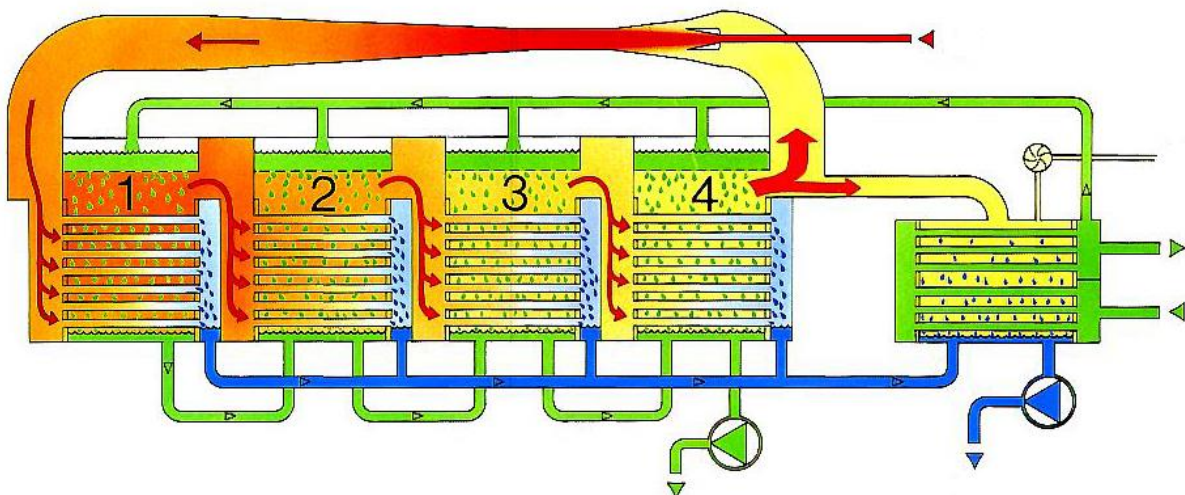
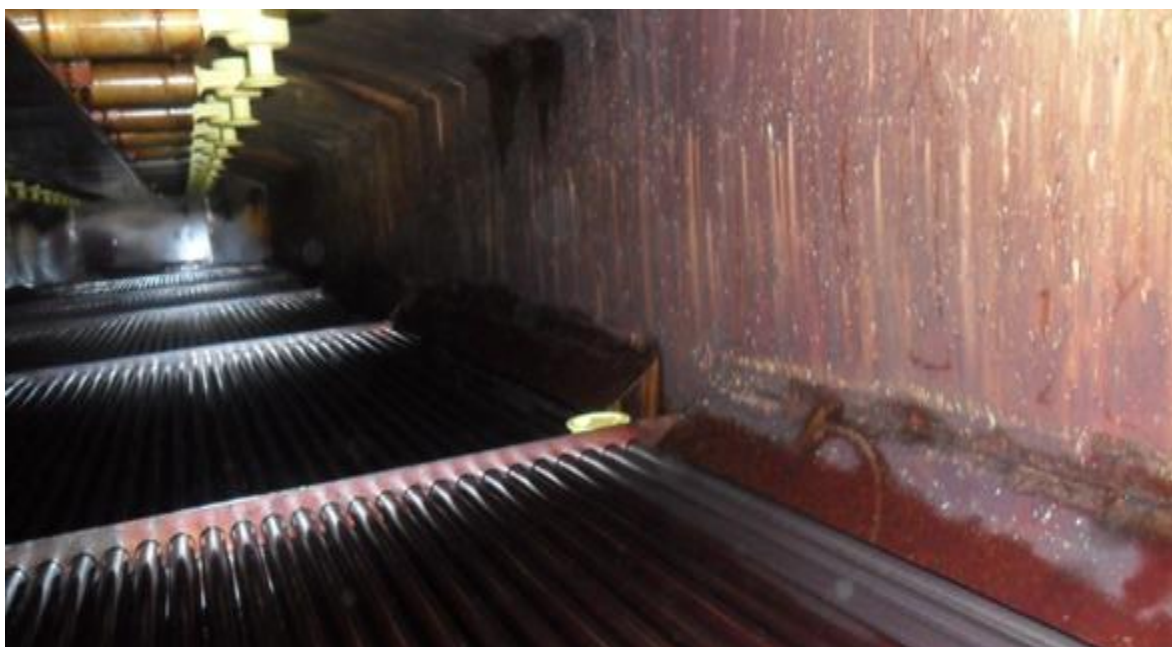


Figure 13 : schéma de fonctionnement un TCD



**Figure 14** : La cellule d'évaporation de l'unité de dessalement U .510



**Figure 15** : La cellule d'évaporation de l'unité de dessalement U .510

La production du procédé de dessalement par thermo-compression est acheminée vers le stockage de l'eau dessalée. La conductivité de l'eau dessalée via ce procédé est estimée à moins de 10  $\mu\text{S/cm}$  selon le design avec les débits opératoires présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 7** : les débits opératoires du procédé de dessalement TCD U.510

	<i>Entrée Vapeur</i>	<i>Reject Saumur</i>	<i>Entrée eau de mer</i>	<i>Retour EDM</i>
Debits Q (t/h)	18.5	230	545	215

### 3.1. Le bilan matière du procédé de dessalement TCD

Est établi comme suit

$$\sum Q_{\text{ENTREES}} = \sum Q_{\text{SORTIES}}$$

$$Q_{\text{EDM}} + Q_{\text{VAP}} = Q_{\text{SAUM}} + Q_{\text{REJET}} + Q_{\text{DISTILLEE}}$$

$$Q_{\text{DISTILLEE}} = (Q_{\text{EDM}} + Q_{\text{VAP}}) - (Q_{\text{SAUM}} + Q_{\text{REJ}}) = (545 + 18.5) - (230 + 215) = 118.5 \text{ t/h}$$

Le courant d'eau de mer distillée selon le design est estimé à 118.5 t/h

Depuis le démarrage du procédé de dessalement EDM U.510, l'unité a fonctionné correctement jusqu'aux dernières années, où il a été enregistré une augmentation dans la conductivité de l'eau dessalée, accompagnée d'une perte de production alors une baisse de rendement.

Pour bien mener notre étude, nous avons mesuré la conductivité de l'eau dessalée à plusieurs intervalles de temps puis nous l'avons comparée à une ancienne mesure au début du démarrage de l'unité.

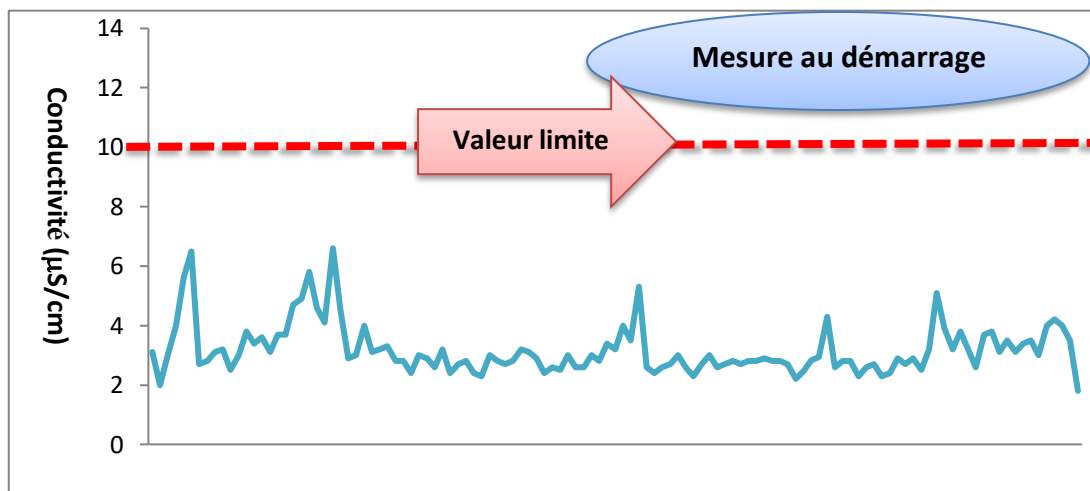


Figure 16 : Evolution de la conductivité avec le temps (jours) lors du démarrage de l'unité

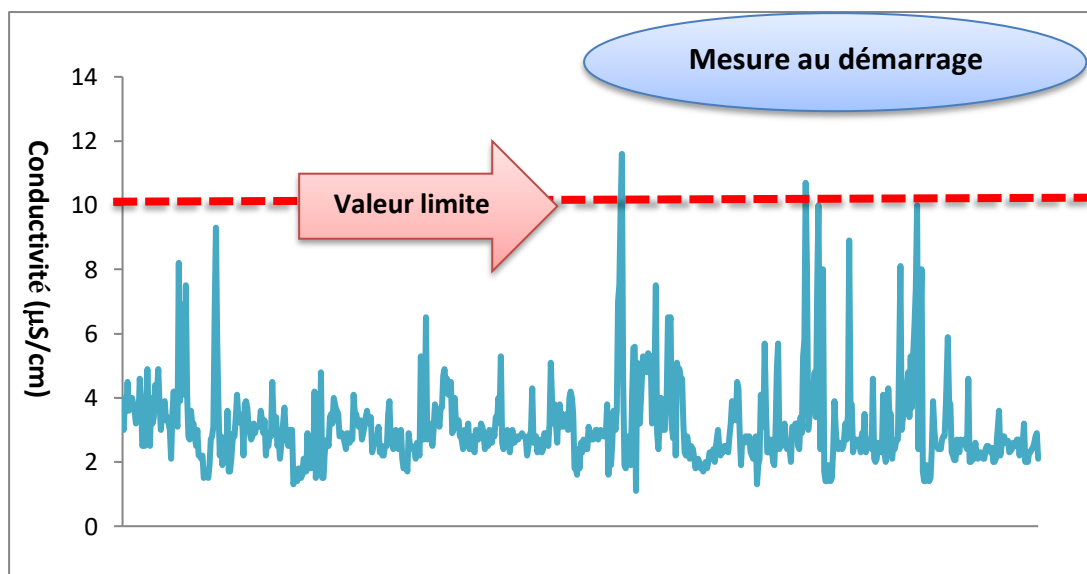


Figure 17 : Evolution de la conductivité avec le temps (jours) mesure actuelle

Nous remarquons qu'au démarrage de l'unité, la valeur maximale de la conductivité est de  $6\mu\text{S}/\text{cm}$  et une moyenne autour de  $4\mu\text{S}/\text{cm}$ , quant à la mesure actuelle, elle montre clairement une augmentation dans les valeurs de la conductivité de l'eau dessalée à la sortie de l'unité T510 ou les valeurs sont carrément doublées dans certaines analyses dépassant la valeur limite exigée par les chaudières ( $< 10\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cette variation peut être due à des pénétrations d'air humide en eau de mer dans la cellule d'évaporation provoquées par des fissures ou des perforations sur les conduites de système de vide.

En parallèle, nous avons vérifié les débits opératoires puis nous avons calculé les rendements selon l'équation suivante :

$$\eta = \frac{Q_{\text{mesuré}}}{Q_{\text{théorique}}}$$

Rappelons que la valeur du débit d'eau de mer distillée est égale à 118.5 t/h selon le design et la valeur mesurée est estimée selon le bilan de matière déjà établi auparavant.

Le procédé de dessalement TCD fonctionne sous un système DCS, les valeurs des débits ont été relevées à partir des contrôleurs (FIC) combinés avec des calculateurs de sommation mise en place de chaque FIC, le tableau suivant représente la production et le rendement du procédé TCD U.510 (actuel)

**Tableau 8 :** Les débits (t/h) actuels du procédé de dessalement TCD U.510

jour	Entrée vapeur	Entrée EMD	Retour Saumure	Rejet EMD	Eau Dessalée	Rendement
	18,2	545	239,4	218,4	105,4	88,94%
	18,3	546,1	240,8	217,8	105,8	89,28%
	18,4	544	242	216	104,4	88,10%
	18,5	545	238,7	220	104,8	88,43%
	18,38	547	242	219,3	104,08	87,83%

Le tableau indique clairement une baisse dans le rendement du procédé d'environ **11.48%**. Cette baisse bien qu'elle soit moyenne, elle influe directement sur les valeurs des conductivités dépassant la valeur exigée. Elle pourra être liée directement au phénomène d'entartrage encrassant la surface d'échange extérieure des tubes d'évaporateur du procédé TCD U.510.

### 3.2. Inspection in site du thermo compresseur

Nous avons effectué une inspection in-site du thermo compresseur, il en ressort :

- ✓ un début de dépôt de tartre à la surface extérieure des tubes de l'évaporateur.
- ✓ Corrosion des parois.
- ✓ Dégradation de la peinture de la calandre



**Figure 18** : Corrosion des parois



**Figure 19** : Corrosion des parois à l'intérieur des cellules 1



Figure 20 : Entartrage de la surface extérieure des tubes inférieurs



Figure 21 : Dépôt de tartre à la surface extérieure des tubes de l'évaporateur

### 3.3. Résultats d'analyse

Les résultats d'analyse du dépôt des faisceaux tubulaires de l'évaporateur faite par le laboratoire du constructeur UHDE entropie, indique la présence des sels de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  et de sulfate de calcium  $\text{CaSO}_4$  avec des pourcentages massique respectivement de 47 % et de 32%.

La cause principale de ces tartres est le débit d'arrosage d'eau de mer faible sous la température élevée de la vapeur entrante dans la cellule coté tubes, ajouté au mauvais dosage des antitartres et de l'anti-mousse.

La présence des tartres diminue la transmission de la chaleur du métal vers le fluide d'où risque d'un échauffement local du métal, ayant pour conséquence une baisse des caractéristiques mécaniques réduisant la durée de vie de l'appareil.

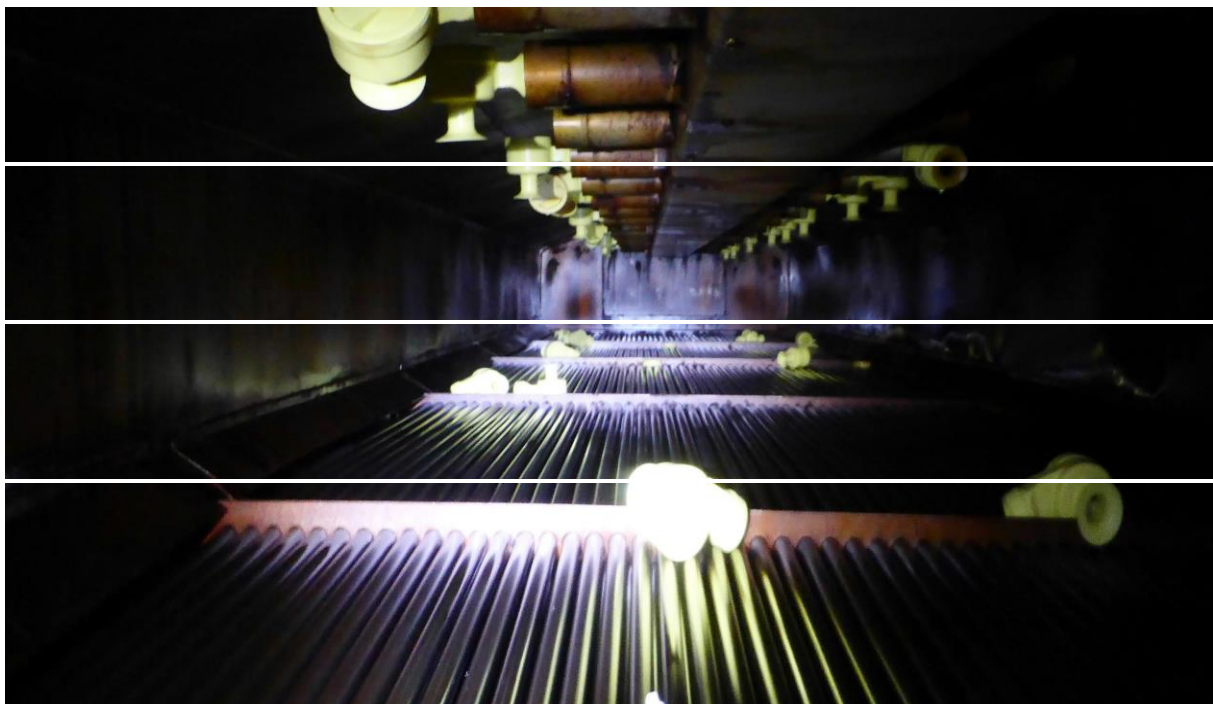


Figure 22 : buses de pulvérisation

#### Problème de buses de pulvérisation

Sur les cellules 1 et 2, plusieurs buses ont été trouvées cassées (le couvercle supérieur a été séparé du corps principal), certaines sont tombées sur la botte et d'autres ont été tordues avec un mauvais angle pour la botte. (Corps principal)

#### 4. Les Solutions du problème

Suite aux constats établis, nous avons proposé une solution pour détartre les évaporateurs du procédé TCD U.510 par un nettoyage chimique (lessivage) . L'unité de dessalement U.510 est arrêtée et inspectée avec attention avant d'entamer l'opération de nettoyage, le faisceau tubulaire, les filtres et le condenseur principal sont inspectés et nettoyés, afin de permettre un arrosage correct de la solution de nettoyage.

Dans notre cas, nous avons réalisé un nettoyage chimique basique avec une procédure développée selon le type de tartre que nous avons trouvé. Cette procédure est adaptée en coordination avec le département production service utilité sur les mesures durant le nettoyage, en utilisant la station de lessivage qui fait partie des trois unités de dessalement du complexe SORFERT.

##### 4.1. Principe et fonctionnement du nettoyage

Deux produits chimiques ont été utilisés pour le nettoyage

##### -Acide chlorhydrique : HCl 33%

Le HCl est utilisé pour dissoudre le dépôt de CaCO<sub>3</sub> (carbonate de calcium) suivant la réaction ci-dessous



##### - Soude caustique : NaOH 50%

La Soude caustique sera utilisée pour attaquer le CaSO<sub>4</sub> (sulfate de calcium) suivant la réaction ci-dessous :



HCl sera également utilisé pour dissoudre le Ca(OH)<sub>2</sub> formé lors du nettoyage au NaOH. Il est donc préférable de terminer le nettoyage avec de l'acide qui est aussi beaucoup plus facile à éliminer par rinçage à l'eau.

- De plus, un inhibiteur de corrosion sera utilisé pour inhiber l'attaque de l'acide chlorhydrique sur l'acier.

Produits chimiques disponibles sur place pour le nettoyage :

Soude caustique : 300 tonnes

Acide hydrochlorique. 240 tonnes

Inhibiteur de corrosion RODINE M140 : 150 Kg

Inhibiteur de corrosion DODICORE 2725 NF : 1000 kg (enfin non utilisé)

Les produits chimiques ont été stockés dans un IBC de 1000 kg et l'inhibiteur (poudre) dans un fût de 40 kg

L'opération globale de nettoyage a été découpée en une succession de nettoyages avec ces 2 produits chimiques HCl & NaOH

Le choix des séquences est à définir et à adapter en fonction de l'évolution des paramètres chimiques suivis de la solution de nettoyage recerclée : pH, Ca, SO<sub>4</sub> (et l'engagement de respecter le temps imparti et l'impératif de la production)

Entre chaque nettoyage, l'évaporateur doit être rincé et vidangé une ou deux fois.

#### **4.2. Pose et installation de la station mobile de lessivage**

Nous avons mis en place la station de lessivage dans un emplacement adéquat pour le branchement, puis nous avons effectué les tests de disponibilité de la station, l'alimentation électrique, l'étanchéité du flexible et citerne, Enfin, un test de rotation pour le bon sens de la pompe.



**Figure 23** : La station mobile de lessivage

**4.3. Description de la procédure de nettoyage appliqué sur l'unité de dessalement U510**

La procédure est décrite suivant les étapes ci-dessous :

Etape 1 : rinçage des évaporateurs TCD

Etape 2 : nettoyage par soude caustique NaOH 50%

Etape 3 : prise des échantillons et analyses

Etape 4 : évacuation de la solution

Etape 5 : préparation du nettoyage acide

Etape 6 : prise des échantillons et analyses

Etape 7 : addition de l'acide HCl30% + inhibiteur de corrosion

Après le préchauffage de l'unité par la vapeur MP, on fait un rinçage des évaporateurs. On commence le nettoyage par l'injection de 4 m<sup>3</sup> de la soude caustique de 50% en trois reprises. Une injection d'inhibiteur de corrosion environ de 22kg diluée dans 200*litre* en eau de service, avant l'injection de 3 m<sup>3</sup> d'acide HCl de 30% de en trois également. Le tout est lessivé avec un rinçage à l'eau.

4.3.1. L'organigramme du procédé est schématisé ci-dessous.

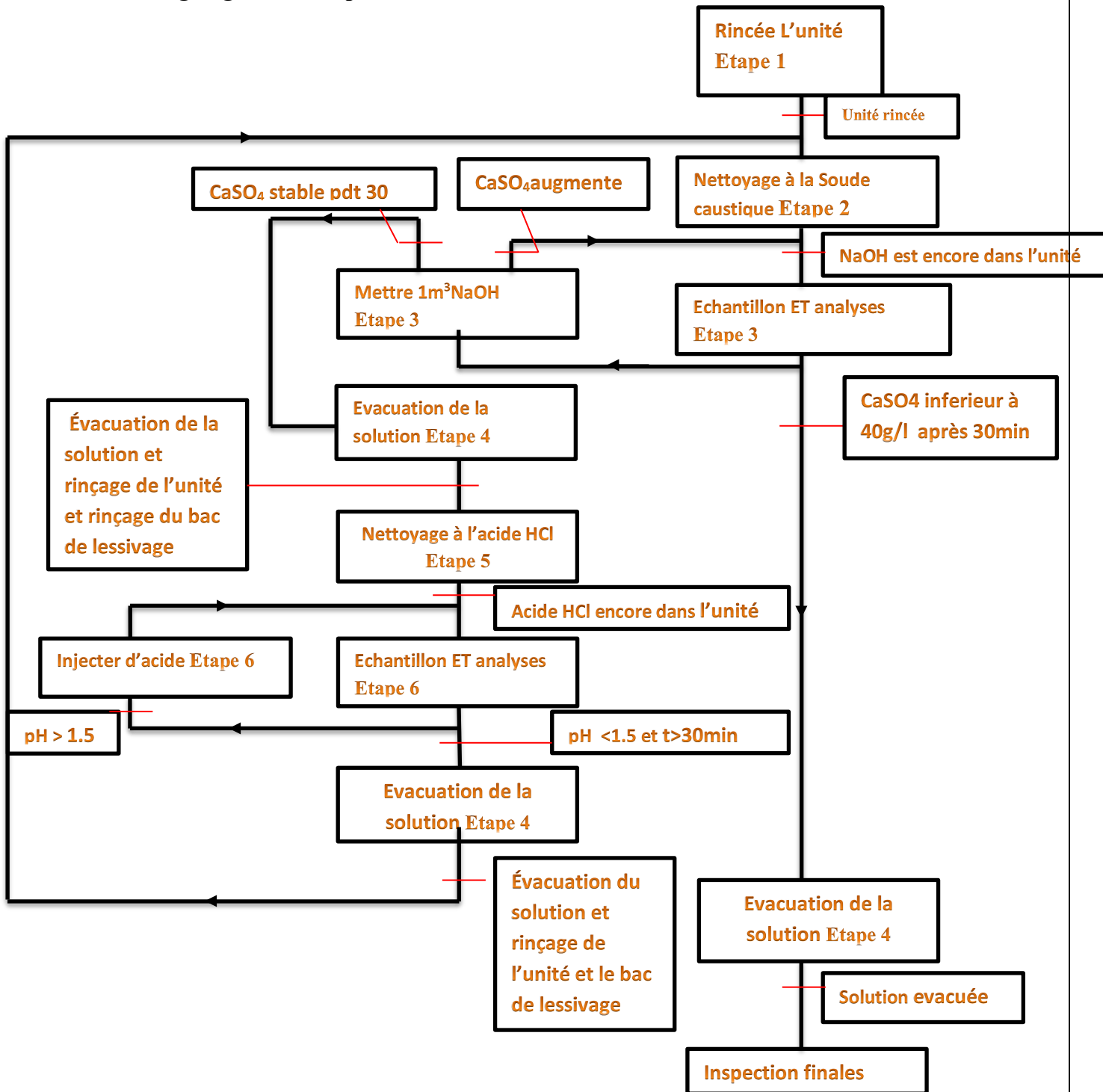


Figure 23 : Organigramme de la procédure de lessivage

#### 4.4. Résultats des analyses de lessivage

Nous avons effectué des échantillonnages à différents temps de lessivage (4 jours) en fonction des injections simultanées de NaOH et HCl, nous avons mesuré la concentration résiduelle de NaOH, le Ph et la concentration des ions  $\text{Ca}^{2+}$ . Les résultats sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

**Tableau 9** : Résultats d'analyse des échantillons pendant l'opération

	<i>Temps de prise d'échantillon</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Résultats (%)</i>
<b>Première injection NaOH</b>	17H00	[NaOH]	Pas d'échantillon
		pH	Pas d'échantillon
	17H30	[NaOH]	Pas d'échantillon
		pH	Pas d'échantillon
	18H00	[NaOH]	Pas d'échantillon
		pH	Pas d'échantillon
	18H30	[NaOH]	2,01
		pH	12,70
	19H00	[NaOH]	1,93
		pH	12,98
	20H30	[NaOH]	3,56
		pH	12,93
	21H00	[NaOH]	3,39
		pH	12,94
	21H30	[NaOH]	5,23
		pH	12,87
	22H00	[NaOH]	4,96
		pH	12,80
	22H30	[NaOH]	6,96
		pH	12,83
23H00	[NaOH]	7,14	
	pH	12,83	
23H30	[NaOH]	8,92	
	pH	12,85	
00H00	[NaOH]	8,85	
	pH	12,81	

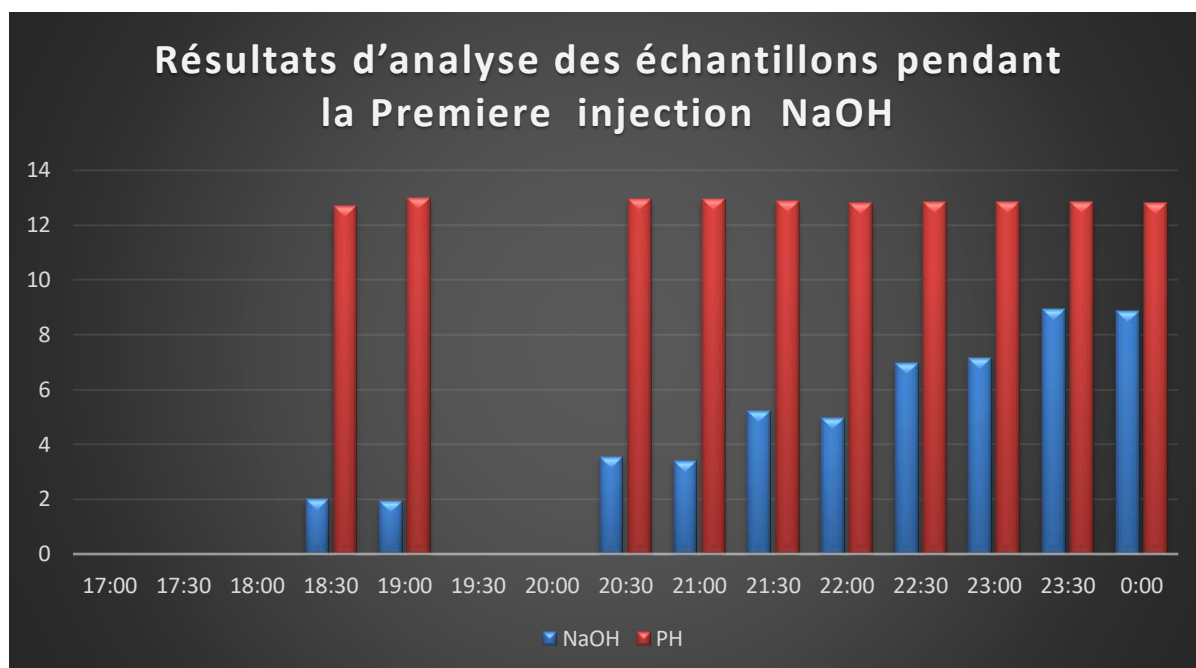
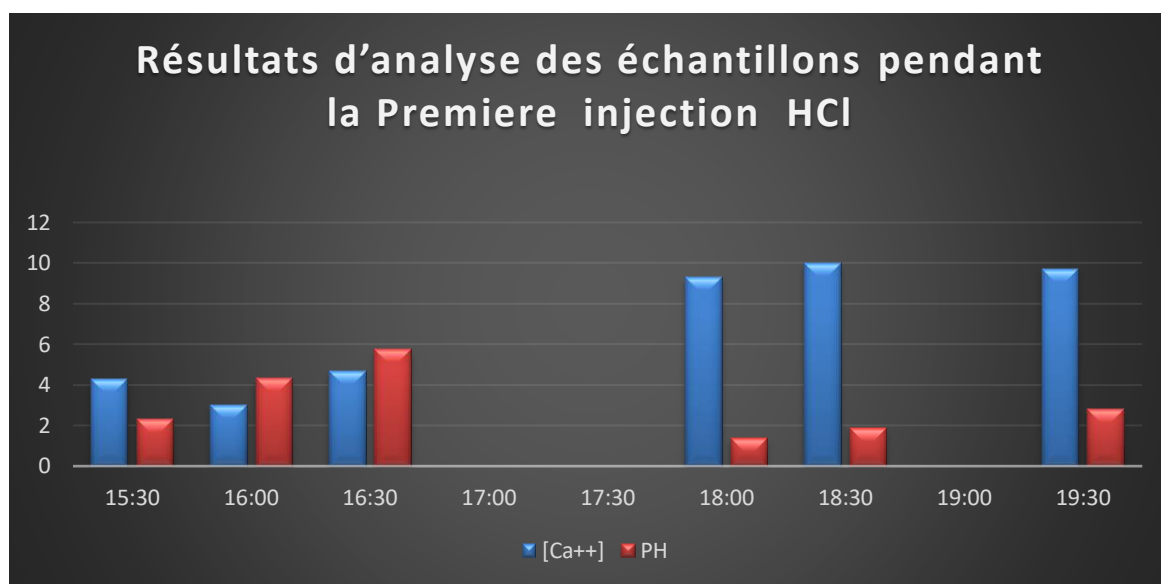


Figure 24 : Résultats d'analyse des échantillons pendant la Première injection NaOH

Tableau 10 : Résultats d'analyse des échantillons

	Temps de prise d'échantillon	Paramètres	Résultats (mg/l)
Première injection HCl	15H30	[Ca <sup>++</sup> ]	4300
		pH	2,32
	16H00	[Ca <sup>++</sup> ]	3000
		pH	4,32
	16H30	[Ca <sup>++</sup> ]	4700
		pH	5,73
	17H00	[Ca <sup>++</sup> ]	Pas d'échantillon
		pH	
	17H30	[Ca <sup>++</sup> ]	Pas d'échantillon
		pH	
	18H00	[Ca <sup>++</sup> ]	9300
		pH	1,37
	18H30	[Ca <sup>++</sup> ]	>10000
		pH	1,88
19H30	[Ca <sup>++</sup> ]	9700	
	pH	2,81	



**Figure 25** : Résultats d'analyse des échantillons pendant la Première injection HCl

	<i>Temps de prise d'échantillon</i>	<i>Paramètres</i>	<i>Résultats (%)</i>
<b>Deuxième injection NaOH</b>	18H00	[NaOH]	2,64
		pH	12,85
	18H30	[NaOH]	4,94
		pH	13,02
	20H30	[NaOH]	7,43
		pH	12,64
	21H30	[NaOH]	8,51
		pH	12,62
	22HH00	[NaOH]	9,4
		pH	12,60
	23H00	[NaOH]	9,7
		pH	12,99
	23H30	[NaOH]	11,06
		pH	13,02
	00H00	[NaOH]	11,46
		pH	13,11
	01H30	[NaOH]	12,27
		pH	12,68

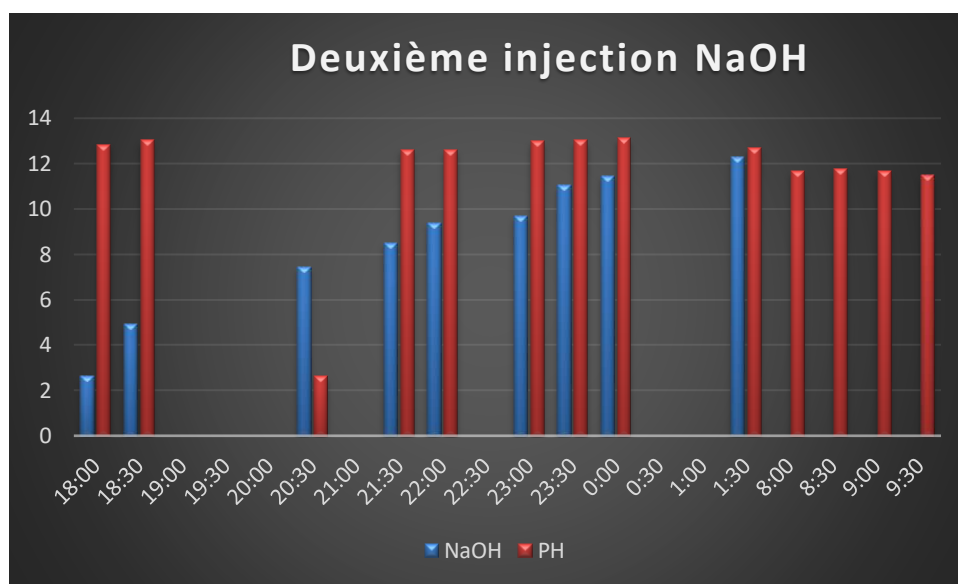


Figure 26 : Deuxième injection NaOH

	Temps de prise d'échantillon	Paramètres	Résultats (%)
2 <sup>eme</sup> Injection NaOH	08H00	pH	11,64
	08H30	pH	11,77
	09H00	pH	11,66
	09H30	pH	11,48
2 <sup>eme</sup> Injection HCl	14H00	[Ca <sup>++</sup> ]	12
	16H00	pH	1,15
		[Ca <sup>++</sup> ]	< 10
		pH	1,25
	17H00	[Ca <sup>++</sup> ]	3,32
	18H00	pH	5,71
3 <sup>eme</sup> injection NaOH	20H00	[NaOH]	2,06
		pH	12,95
	21H00	[NaOH]	4,51
		pH	12,93
	22H00	[NaOH]	6,75
		pH	13,6
	23H30	[NaOH]	12,81
		pH	13,87
	00H30	[NaOH]	12,98
		pH	13,29
01H30	[NaOH]	13,26	
	pH	13,08	

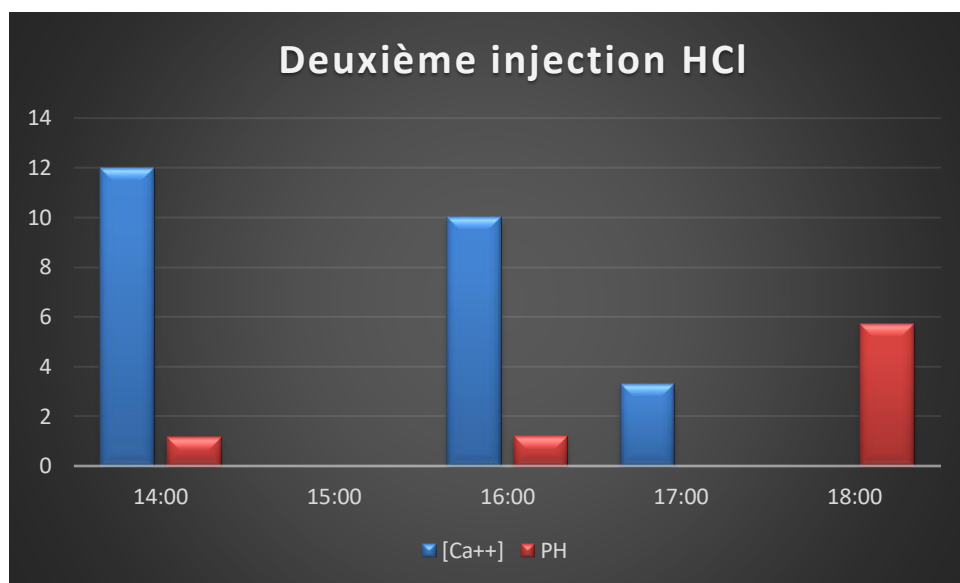


Figure 27 : Deuxième injection HCl

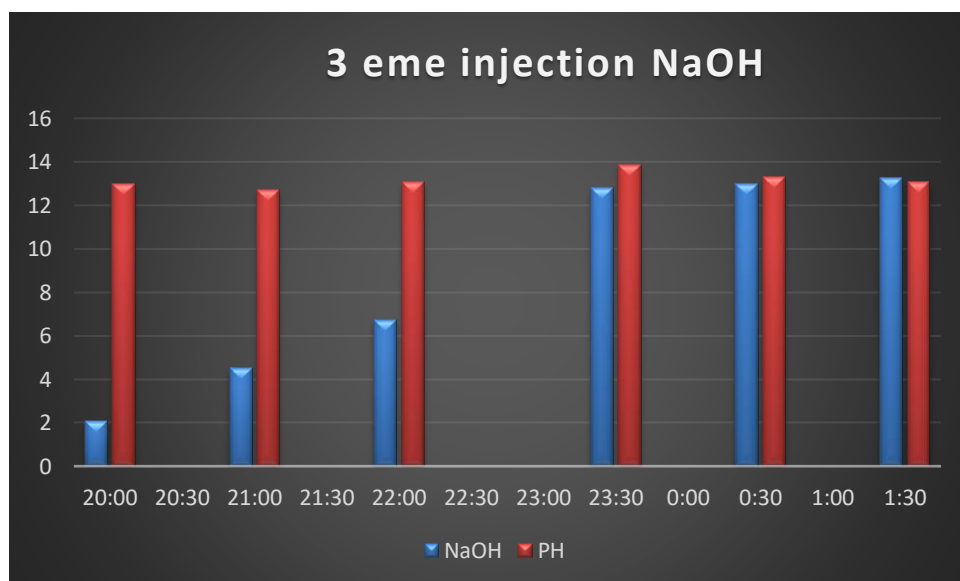


Figure 28 : 3eme injection NaOH

	Temps	Paramètres	Résultats (ppm)
3eme injection HCl	14H30	[Ca <sup>++</sup> ]	1400
		pH	2,14
	16H15	[Ca <sup>++</sup> ]	3600
		pH	1,17
	16H45	[Ca <sup>++</sup> ]	4900
		pH	1,3
	17H15	[Ca <sup>++</sup> ]	4400
		pH	1,34

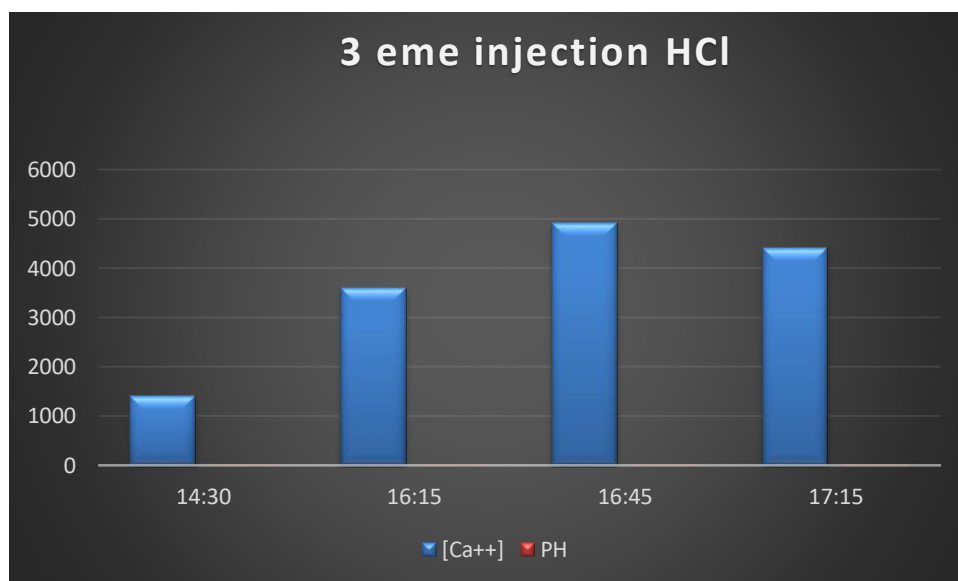
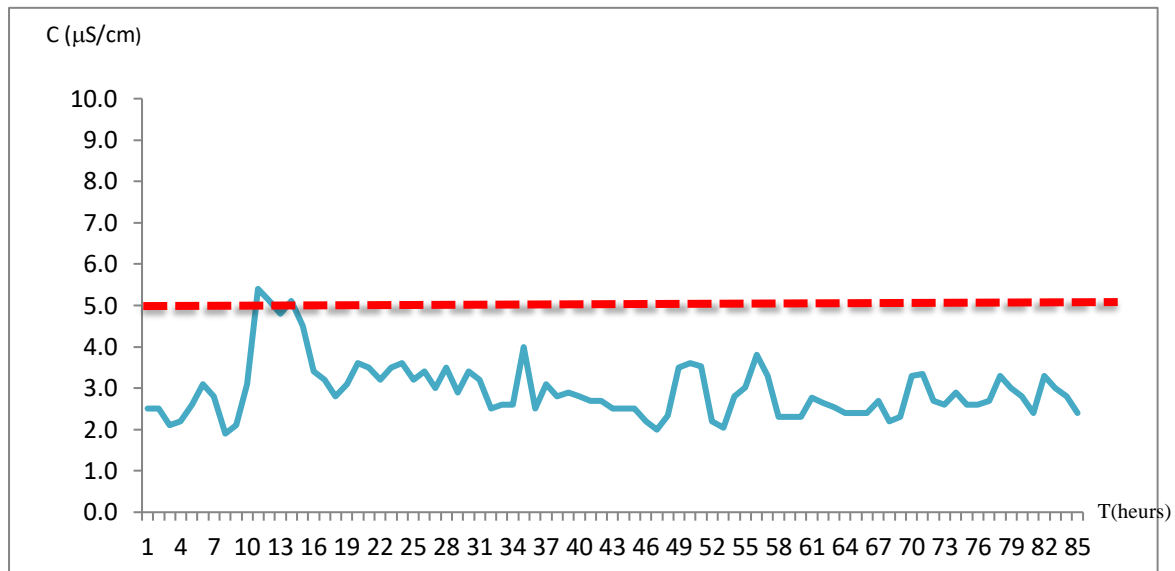


Figure 29 : 3eme injection HCl

A partir des résultats des analyses trouvées il en ressort :

- L'efficacité de l'injection acide est prouvée par un détartrage partiel des tartres déposés au niveau de la surface extérieur des tubes des évaporateurs. (Ca<sup>2+</sup> évacuées dans la solution acide)
- L'efficacité de l'injection de la base est prouvée par un détartrage partiel du tartre déposé au niveau de la surface extérieur des tubes des évaporateurs. (SO<sub>4</sub> dans la solution basique).
- Les tartres encrassant les évaporateurs sont de type CaSO<sub>4</sub>

Enfin, nous avons vérifié la variation de la conductivité de l'eau dessalée durant une semaine après le lessivage acido-basique et le rinçage à l'eau autrement dit après le redémarrage du procédé thermo-compression. Les résultats sont présentés dans le tracé ci-dessous :



**Figure 30** : Evolution de la conductivité après lessivage

Les résultats du suivi de la conductivité post lessivage nous rappellent ceux trouvés lors de la mise en marche de l'équipement ou cette dernière a baissé à moins de 6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une moyenne autour de 4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 4.5. Bilan de production et rendement après le nettoyage chimique

Après le nettoyage chimique du procédé de dessalement U.510 nous avons repris le bilan de matière depuis les débite des quantités de matière entrantes et sortantes. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau 11** : Les résultats de rendement après le nettoyage chimique de l'unité U.510

<i>Entrée vapeur</i>	<i>Entrée EDM</i>	<i>Retour saumure</i>	<i>Rejet EDM</i>	<i>Eau dessalée</i>	<i>Rendement %</i>
<b>18.4</b>	546.5	232.2	217.3	115.4	97.3%
<b>18.3</b>	547	234.4	216.8	114.1	96.2%
<b>18.5</b>	547.6	233.6	218.1	114.4	96.5%
<b>18.3</b>	546.9	234	217.2	114	96.2%
<b>18.4</b>	546.7	234.7	217.7	113.9	96.1%
<b>(moy) 18.38</b>	<b>546.94</b>	<b>233.78</b>	<b>217.42 t/h</b>	<b>114.36</b>	<b>96.46 %</b>

Le rendement de la production s'est amélioré de **7.94 %** après le nettoyage chimique des composantes du thermo compresseur.



**Figure 31** : l'U510 après nettoyage chimique

## 4.5.1. Consommation durant le procédé de lessivage

La consommation durant le procédé est mentionnée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 12** : tableau récapitulatif de la consommation durant le procédé de lessivage

U510						total
Date de début	02/01/2023	03/01/23	05/01/23	06/01/23	07/01/23	
Heure de début	18 :00	09 :00	11 :00	15 :00	15 :30	
Date d'arrêt	03/01/2023	04/01/23	06/01/23	07/01/23	09/01/23	08 jours
Heure d'arrêt	08 :00	09 :00	10 :00	13 :30	00 :00	
Durée (heure)	38h	24h	23h	22h30	32h30	140h
Produit chimique utilisé	HCl 33%	NaOH 50%	HCl 33%	NaOH 50%	HCl 33%	HCL :9,7tons
inconvénients (kg)	4,25	4	3,45	3	2	NaOH :7tons
Unibiteur chimique (kg)	50	_	40	_	40	130kg
pH moyen	2	13,3	1,7	12,5	1,02	
Température moyen C	50,6	58,2	56,6	60,2	58,2	
Remplissage partiel	3	2	2	1	1	
Volume total estimé M3	25	20	20	20	20	
Concentration maximal en Ca Mg/L	40000	Pas de résultat	50000	Pas de résultat	42000	
Concentration maximale de SO4 Mg/L	Pas de résultat	4000	400	6000	Pas de résultat	
Volume drainé , évaporation ,fuites M3	10	5	5	5	5	
Résultats	Fuite	fuite	Fuite			

## CONCLUSION GENERALE

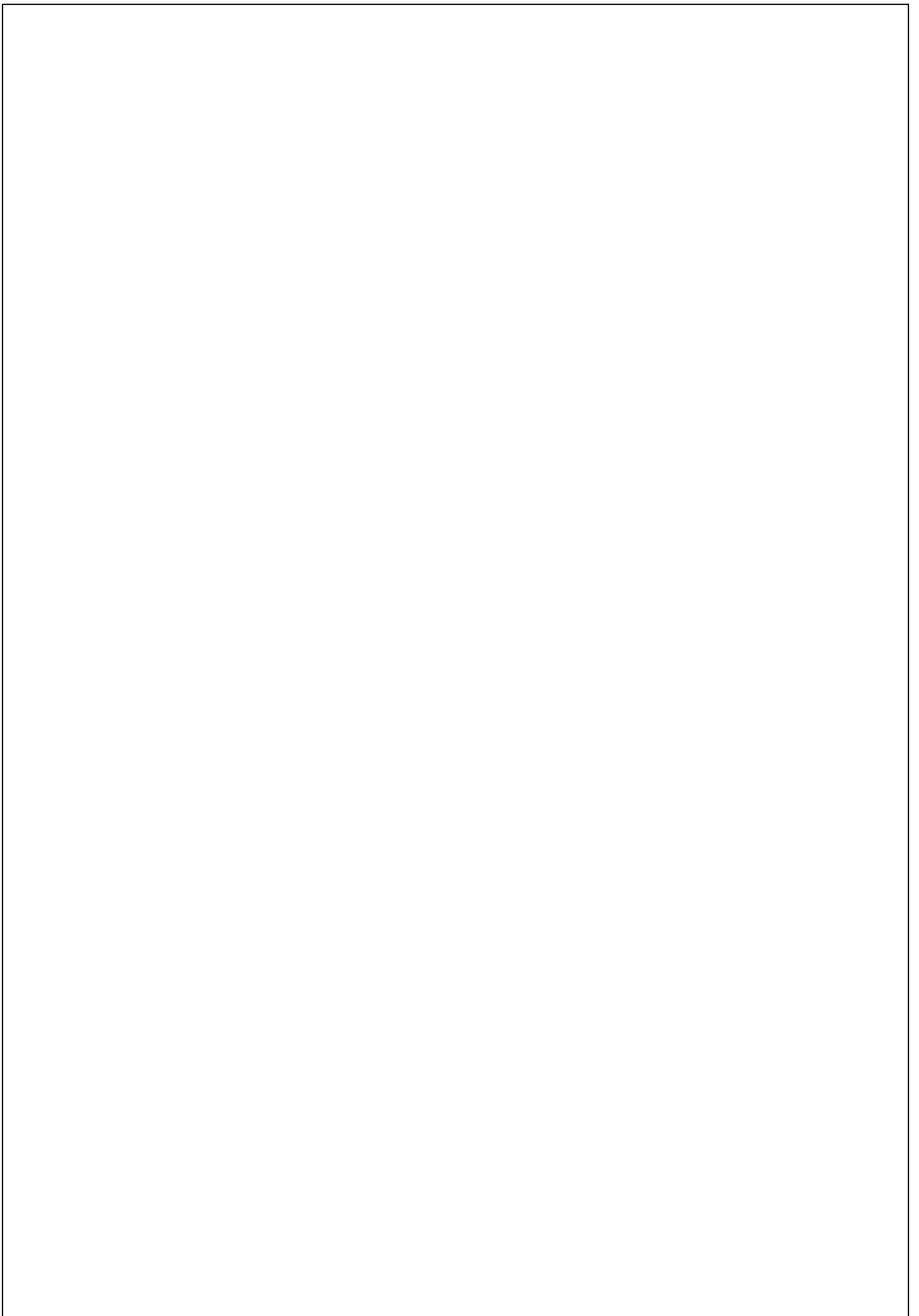
Le travail en question est une contribution à la résolution de certains problèmes vécus au niveau du procédé de dessalement eau de mer à thermo - compression au niveau du complexe SOFERT dont une perte de production et une baisse de rendement ont été enregistré.

- Le mauvais rendement du procédé dessalement U.510 et l'augmentation de la conductivité de l'eau dessalée ( $>10 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) sont dus principalement à l'Entartrage de de la surface d'échange extérieure de tubes d'évaporateur des cellules. Cela est confirmé par une inspection visuelle au niveau de l'unité du thermo-compresseur. Nous avons remarqué :
  - ✓ Un début de dépôt de tartre à la surface extérieure des tubes de l'évaporateur.
  - ✓ Surface des matériaux corrodée
  - ✓ Peintures des parois dans un état dégradé.
  - ✓ la paroi externe est colmatée par des dépôts de tartre, suite à un faible l'arrosage d'eau de mer et la température élevée de la vapeur entrante dans la cellule coté tubes, ajouter à un mauvais dosage de l'antitartre et l'anti mousse.
- Les résultats d'analyse du dépôt des faisceaux tubulaires de l'évaporateur E511A/B de procédé de dessalement U.510 mettent en évidence la présence Dessel de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  et de sulfate de calcium  $\text{CaSO}_4$  avec un pourcentage massique respectivement de 47 % et 32%.
- La pénétration d'air dans les cellules sous vide de l'unité indique des fissures ou perforation des conduites du système de vide.

Pour remédier aux problèmes d'entartage ; un lessivage chimique en alternance avec HCl et NaOH des tubes externes des évaporateurs fut réaliser un suivant un protocole d'injection bien précis durant 8 jours. Les analyses post lessivage ont montré :

- une baisse significative dans la conductivité de l'eau dessalée produite.
- Lessivage des ions sulfates dans la solution basique et ceux de calcium dans la solution acide
- Le rendement de U.510 est 97%.

L'étude effectuée a été rentable pour le complexe du moment que le rendement a été amélioré de plus de 7.94 %.



## Références bibliographiques

- [1] : Manuel de formation de l'unité de dessalement de complexe.
- [2] : RADJAH Sofiane ; 2015 ; rapport de stage ; école national polytechnique ; Alger.
- [3] :PRESENTATION de l'Entropie.
- [4] : Manuel de formation de production de l'ammoniac de complexe.
- [5] : Manuel de formation de production d'urée de complexe.
- [6] : ATTOUCHE Nabil;2015; contrôle des effluents liquides de l'usine SORFERT ; mémoire de fin d'étude ; université d'USTO-Oran.
- [7] : DEKHIL Soror Wahiba, ZAIBET Manel ; 2013 traitement des eaux usées urbaines par boue activée au niveau de la ville de Bourdj Bou Arreridj ; mémoire de fin d'étude ; université Mohamed El Bachir Elibrahimi – Bourdj bou Arreridj.
- [8] : MALEK Faiza, ABELLACHE Khadidja ; 2016 ; suivi de l'évaluation des performances des deux unités de traitement des effluents liquides de la raffinerie d'Arzew ; mémoire de fin d'étude ; université M'hamed Bougara.
- [9] : KHIT soraya ; BENBAHRIA Amina ; 2011 ; identification des métaux dans les eaux d'irrigation de l'Oued Safsaf ( Skikda) ; mémoire de Master ; université de MentouriConstantine. [10] : Jean RODIER ; 2009 ; L'analyse de l'eau ; 7eme édition ; Dunod ; 1600 pages ; technique et ingénierie.
- [10] : Claude CARDOT ; 2010 ; les traitements des eaux usées pour l'ingénieur ; 2eme édition ; 32, rue Bargue 75740 Paris cedex 15 ; Ellipses ; 302 pages ; technosup.
- [11] : Manuel de formation de la station d'épuration des eaux usées domestiques de la wilaya de Mostaganem.
- [12] : Abdelrazak ATTALAH ; 2014 ; procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau ; mémoire de Master ; université Abou Bakr Belkaid –Telemcen.
- [13] : Mohand-Said OUALI ; procédés unitaires biologiques et traitement des eaux ; 2017 ; 4334 ; OPU ; 168 pages ; chimie industrielle.
- [14] : [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unesco\\_traitement\\_des\\_eaux\\_par\\_lagunage.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unesco_traitement_des_eaux_par_lagunage.pdf)
- [15] :Jean-Pierre BECHAC ; Pierre BOUTIN ; BERNARD MERCIER ; Pierre NUER ; Traitement des eaux usées ; traitements des eaux usées ; 61, Bd St Germain 75005 PARIS 1984 ; eyrolles ; 281 pages. 37
- [16] : Zahir BAKIRI ; 2007 ; traitement des eaux usées par des procédés biologiques classiques ; mémoire de Magister ; université FERHAT Abes – Sétif.

## ANNEXES

### Annexes 1

#### ❖ LES PARAMETRES ETUDIES

#### ❖ **LE PH (partie pratique – les analyses de lessivage)**

Le pH a été mesuré suivant la méthode électrométrique par un pH –mètre, muni d'une électrode.

#### ❖ **LA CONDUCTIVITE (partie pratique – les analyses de l'eau dessalée)**

La conductivité exprime la propriété d'un matériau de conduire le courant électrique. Dans les cas des métaux, c'est le mouvement des électrons qui assure le passage du courant. Dans les solutions aqueuses, ce sont les ions qui effectuent le transport des charges. Les ions résultent de la dissolution de sels, acides et bases. Plus le liquide ne contient d'ions, mieux il conduit le courant, elle exprime la quantité des ions dissous dans l'eau.

La mesure a été réalisée par un conductivimètre, la constante de cellule est égale= (1)

#### ❖ **CONSTANTE DE CELLULE**

La conductivité, comme la résistance, dépend des dimensions physiques des conducteurs électriques. La longueur et la section du conducteur déterminent la constante de cellule

#### ❖ METHODE D'ANALYSE ET CONTROLE DE L'EAU DESSALEE

(CONDUCTIVITE)

#### ❖ Mesure de la conductivité

##### 1 But

Cette méthode couvre les mesures de la conductivité électrique de l'eau, c'est la méthode approximativement pour la détermination des électrolytes dissous dans les eaux d'alimentation des chaudières et eau de refroidissement.

## 2 Appareillage et réactifs

- Conductivimètre
- Cellule de conductivité
- Flacon à large encolure
- Solution standard de conductivité

## 3 Procédure de détermination de la conductivité

- Rincer la cellule avec de l'eau distillée avant chaque utilisation
- Lire la valeur de la conductivité directement sur le cadran de l'appareil.

Le tableau suivant rappelle la relation entre la concentration de sel taux des chlorures et conductivité.

<i>Eau ou solution aqueuse</i>	<i>Plage de conductivité à 25 °C</i>	<i>Concentration en sel</i>
<b>Eau ultra-pure</b>	0,055 µS/cm	0 mg/l
<b>Eau déminéralisée</b>	0,055 à 2 µS/cm	0 à 1 mg/l
<b>Eau de pluie</b>	10 à 50 µS/cm	5 à 20 mg/l
<b>Eaux souterraines, eaux de ruissellement et eau potable</b>	50 à 1000 µS/cm	20 à 50 mg/l
<b>Eau de mer</b>	20 à 60 mS/cm	10 à 40 g/l
<b>Solution de sel</b>	77 à 250 mS/cm	50 à 250 g/l

❖ LES PARAMETRES OPERATOIRES DE L'UNITE U.510

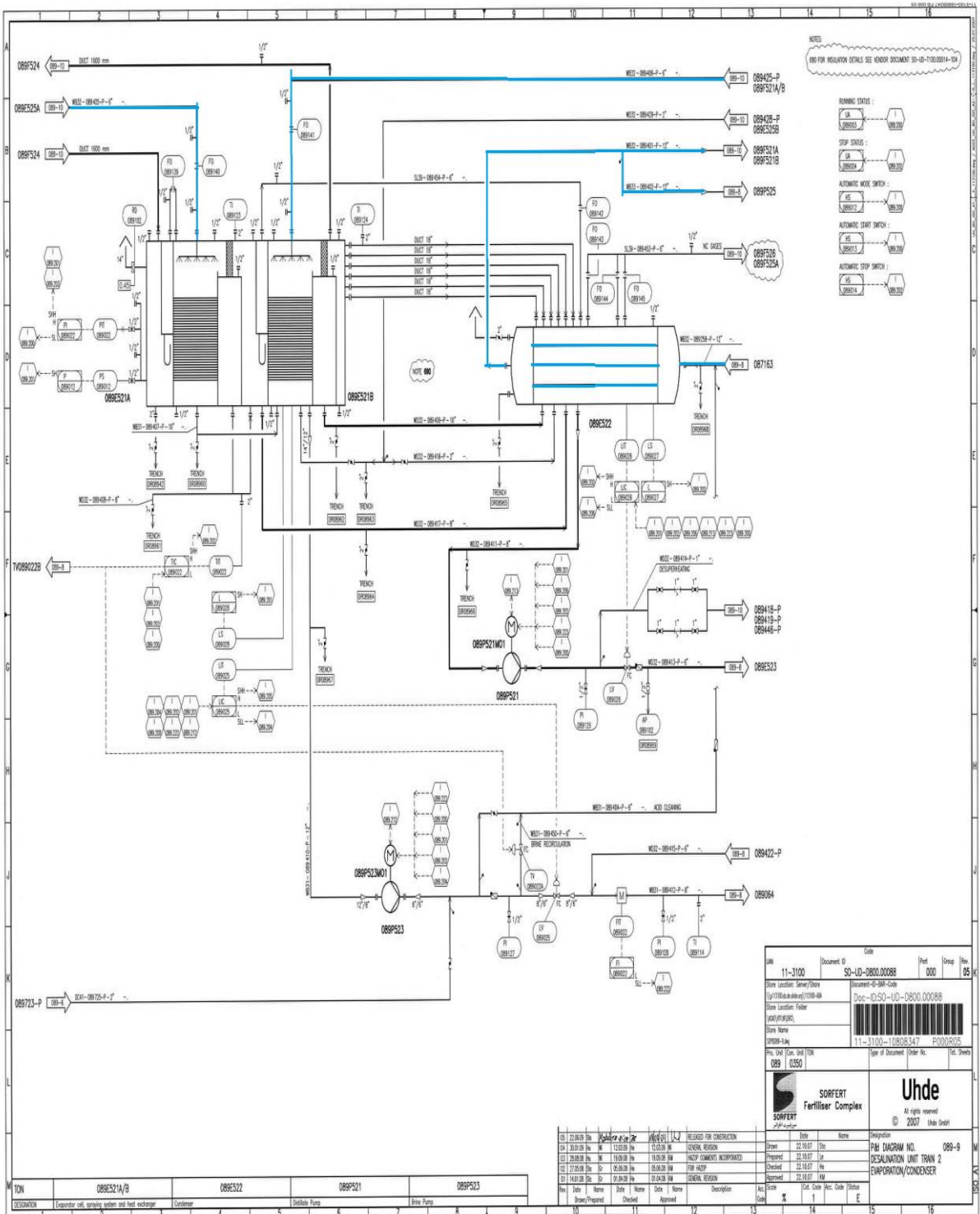
	<i>Vapeur</i>	<i>Air instrument</i>	<i>Saumure</i>	<i>Distillat</i>	<i>Eau de mer</i>	<i>Rejet EDM</i>
<b>Pression design</b>	25 Bg	10 Bg	FV-6 Bg	6 Bg	FV-10 Bg	6 Bg
<b>Température design</b>	250 °C	65°C	85°C	70°C	65°C	70°C
<b>Pression opératoire</b>	22.5 Bg	4.5-7 Bg	3.5 Bg	3.5 Bg	2.7 Bg	3.5 Bg
<b>Température opératoire</b>	230°C	3-40°C	58°C	50°C	>30°C	50°C







# SCHEMAS ALIMENTATION EAU DE MER COTE CONDENSURR



Code		Doc		Rev	
11-3100	SO-UD-0800.0008	000	000	000	05
Site Location: Sewer/Block		Document ID: SO-UD-0800.0008			
Site Location: Folder		Doc ID: SO-UD-0800.0008			
Site Name					
Site No		11-3100-10805.047			
Site Date		21.04.08			
Site Type		Type of Document: Other No.			
Site No		Site No			
Site No		Site No			

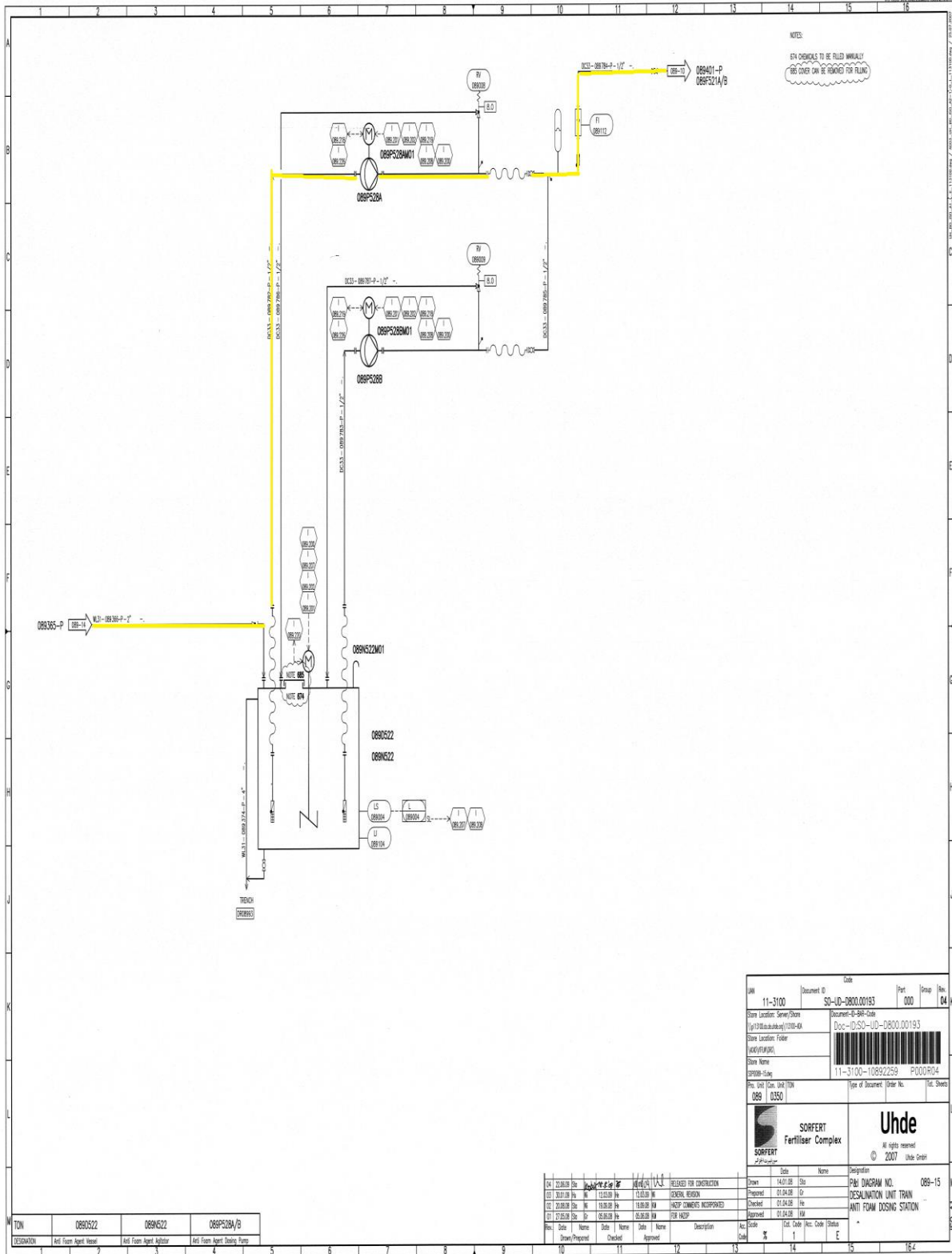
**SORFERT**  
Fertiliser Complex

**Uhde**  
All rights reserved  
© 2007 Uhde GmbH

Rev	Date	Name	Date	Name	Date	Name	Description	Acc. Size	Mod. Code	Mod. Code	Status
01	21.04.08	Dr	21.04.08	Dr	21.04.08	Dr	RELEASED FOR CONSTRUCTION				
02	21.04.08	Dr	21.04.08	Dr	21.04.08	Dr	GENERAL REVISION				
03	21.04.08	Dr	21.04.08	Dr	21.04.08	Dr	HAZOP COMMENTS INCORPORATED				
04	21.04.08	Dr	21.04.08	Dr	21.04.08	Dr	FOR HAZOP				
05	14.01.08	Dr	01.04.08	Dr	01.04.08	Dr	GENERAL REVISION				

TON	OB8723/P	OB8723-P	OB8723
OB8723/P	OB8723-P	OB8723	OB8723

# SCHEMAS DOSAGE PRODUIT CHIMIES ANTI FOAM



Unit	11-3100	Document ID	SO-UD-0800.00193	Part	000	Group	04
Store Location: Server/Share	Document-089-Code						
Store Location: Folder	\\17308\ms\uk\dms\1100-04						
Store Name	11-3100-10892259_P000.R04						
File Unit (Loc. 1/48/70)	089	Type of Document	Order No.	P000.R04			
Doc. Code	0350						



No.	Date	By	Name	Description	Code	Doc. Code	Acc. Code	Status
04	20.08.08	Pa	089P228A/B	RELEASED FOR CONSTRUCTION	089	0350		
05	20.08.08	Pa	089G22	GENERAL REVISION	089	0350		
06	20.08.08	Pa	089P228A/B	HAZOP DIMENSIONS INCORPORATED	089	0350		
07	23.08.08	Pa	089G22	FOR HAZOP	089	0350		

TON	089G22	089G22	089P228A/B
DESIGNATION	Anti Foam Agent Vessel	Anti Foam Agent Agitator	Anti Foam Agent Dosing Pump



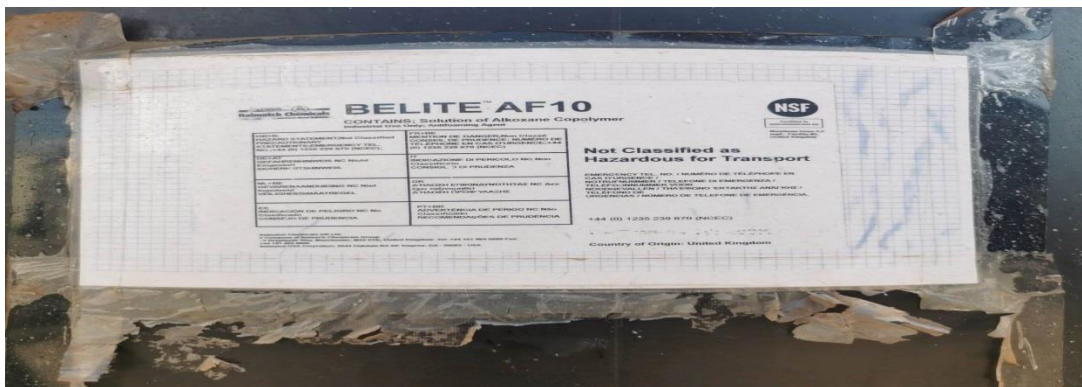


Les mesures de préparation la solution d'injection d'antitartre (Belgard)

Hauteur de Belgard EV 2030 à ajouter	Hauteur de solution antitartre à préparer (cm)
0	0
2	1
4	1
6	2
8	2
10	3
12	3
14	4
16	4
18	4
20	5
22	5
24	6
26	6
28	7
30	7
32	8
34	8
36	8
38	9
40	9
42	10
44	10
46	11
48	11
50	11
52	12
54	12
56	13
58	13
60	14
62	14
64	15
66	15
68	15
70	16
72	16
74	17
76	17
78	18
80	18
82	19
84	19
86	19
88	20
90	20
92	21
94	21
96	22
98	22
100	22

*Les mesures d'injection d'antitartre (Belgard)*

Et pour la solution **anti-mousse 1%** de solution équivalent **99% de hauteur BELITR AF10**



## *Annexe 3*

### *❖ LA PROCEDURE DE LESSIVAGE STANDARD DU CONSTRUCTEUR*

#### *STAGE 1- PREPARATION DE L'EVAPORATEUR*

Placer l'unité de dessalement en mode maintenance, fermer l'entrer vapeur, fermer la vanne manuelle d'isolement eau de mer ainsi que la sortie de saumure, ouvrir la vanne casse vide ouvrir toutes les trappes d'accès coté des cellules d'évaporateur (ventilation /dégazage)

Ouvrer la vanne de recirculation de la solution acide depuis la pompe saumure vers l'entrer du condenseur principale, assurer que toutes les vannes de recirculation saumurent est ouvert, assurer que toutes les vannes de drains et que toutes les prises d'échantillon soient fermer.

#### *STAGE 2-PREPARATION DE LA SOLUTION DANS SKID ACIDE*

La solution doit être préparé en utilisant le skid acide fournit par ENTROPIE.

Ce skid est compose d'un bac acide (1m<sup>3</sup>), d'une pompe centrifuge et d'un bac d'inhibiteur de corrosion installe sur la tuyauterie de recirculation saumure une fois qu'un bac de solution acide est prêt, il doit être injectet dans l'évaporateur puis un autre bac doit être préparé et injecte ainsi de suite, placer le skid mobile à proximité de point d'injection sur la dalle de dessalement (au voisinage de la pompe saumure au nord est de l'unité), connecter le flexible acide 2 au point d'injection de dessalement, connecter l'alimentation électrique de la pompe acide.

Remplisse le bac inhibiteur avec la quantité nécessaire, remplisse le bac acide avec la quantité d'eau de service puis complète avec la quantité nécessaire d'acide HCL 33%, Injecter tout le contenu du bac après l'opération d'homogénéisation du bac, Préparer un autre bac si nécessaire.

### ***STAGE 3- REMPLISSAGE DE L'EVAPORATEUR ET CIRCULATION DE LA SOLUTION DE NETTOYAGE***

Connecter le flexible acide au point d'injection de l'unité de dessalement, remplisse l'évaporateur en solution acide de nettoyage jusqu'à ce que le niveau soit entre 50 et 100mm sous les tubes, démarrer la pompe saumure et démarrer la recirculation la solution acide de nettoyage circule désormais à l'intérieur de l'évaporateur sur l'extérieur des tubes.

### ***STAGE 4-PRIS D'ECHANTILLON ET ANALYSE***

Au cours du nettoyage, prélevez un échantillon de la solution en recirculation toutes les 15 minutes en utilisant la vanne de prise d'échantillon

-Si le pH de la solution est supérieur à 1.5 alors rajoutez de l'acide en suivant les instructions 2 et 3, la quantité d'acide à ajouter doit ajuster en fonction du pH mesuré.

-si le pH de la solution reste inférieur à 1.5 pendant 15 m, cela signifie que les cellules doivent être propres par précaution, faites circuler la solution de nettoyage pendant 15 m supplémentaire avant de considérer que les cellules sont propres puis évacuez la solution acide en suivant les instructions du stage 5 et rincez l'unité suivant le stage 6

### ***STAGE 5-EVACUER DE LA SOLUTION DE NETTOYAGE***

La solution acide doit être envoyée vers le bassin de neutralisation et en fermant la vanne de recirculation de la solution acide depuis la sortie de la pompe saumure vers l'entrée du condenseur principale.

### ***STAGE-6 ACHEVEMENT DE LESSIVAGE***

Une fois que le lessivage acide est terminé et que la solution a été évacuée de l'unité, rincez l'unité avec l'eau de service pendant une heure, arrêtez l'unité et drainez par la tuyauterie d'aspiration de la pompe saumure ou des dépôts de tartre ont pu s'accumuler et nettoyez-la si nécessaire fermez la trappe d'accès et la vanne case vide qui avaient été ouvertes pour le nettoyage acide.

Redémarrer l'unit et faites la fonctionner pendant 24h, après 24h de fonctionnement l'unité doit être stoppée pour procéder à son inspection, avant d'entrer dans l'évaporateur l'unité doit être drainée, tous les trous d'homme et trous de point doivent être ouverts.

La solution circulant dans les cellules ne devra pas avoir une concentration en acide HCl 33% supérieur à 10 % ou > 3.3 % de solution acide pure.

❖ **DONNEE PHYSIQUE DE L'ACIDE HCL**

<b>ETAT</b>	<b>LIQUIDE</b>
<b>APPARENCE</b>	LIQUIDE
<b>ODEUR</b>	ARQUE
<b>DENSITE</b>	1.05 10%)
<b>PH</b>	> 1
<b>CORROSION</b>	CORROSIF POUR TOUS LES MATERIAUX SAUF LES NOBLES
<b>STABILITE S</b>	STABLE
<b>PRECAUTION DE STOKAGE</b>	DOIT ETRE STOKE AVEC PRECAUTION DANS U LOCAL FERME BIEN VENTILLE

