



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
Department of Process Engineering



Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

The Date :

التاريخ :

Ref :/U.M/F.S.T/2024 /

رقم : / ج.م.ك.ع.ت.2024 /

Mémoire de fin d'étude

De Master Académique

Filière: Génie des procédés

Option : Génie des procédés de l'environnement

**Etude de diminution de la production d'eau dessalée au niveau de l'unité
de dessalement de complexe GL2/Z / Sonatrach**

Présenté par :

-BETTAHAR radja

-SAIT salima

Soutenu le 13/06 / 2024 devant le jury composé de :

Président : MAHREZ Nouria Grade M.C.A Université de Mostaganem

Examineur : BELHOUARI Houriya Grade M.A.A Université de Mostaganem

Rapporteur : TOUMI Imene Grade M.C.A Université de Mostaganem

Année universitaire 2023 /2024

Résumé :

Le complexe GL2/Z a pour mission de produire et exporter du gaz naturel liquéfié (GNL) à partir du gaz naturel extrait du champ de Hassi R'mel. Le processus commence par le traitement du gaz naturel, suivi de sa liquéfaction à une température cryogénique de -162 °C dans six trains de liquéfaction. Ces trains sont identiques et fonctionnent de manière indépendante, utilisant divers produits fournis par la section utilités, tels que l'eau de mer de refroidissement, la vapeur d'eau, l'électricité, l'air instrument et l'eau de mer dessalée.

Pour répondre à ses besoins en eau distillée, le complexe GL2/Z dispose de six unités de dessalement (2010LA/2010LB/2010LC/2010LD/2010LE), basées sur la technologie de détente à plusieurs étages (MSF) à simple effet. Chaque unité a une capacité de production de 45,3 m³/h de distillat, ce qui donne une capacité totale de 226,5 m³/h pour ces cinq unités.

Cependant, l'ensemble des unités de dessalement du complexe GL2/Z fait face à un problème persistant de la diminution de production d'eau dessalée depuis l'année 2010. L'objectif de notre étude est de déterminer les causes de cette baisse de production afin de proposer un plan d'action pour améliorer la rentabilité de ces unités.

Summary :

The GL2/Z complex is responsible for producing and exporting liquefied natural gas (LNG) from natural gas extracted from the Hassi R'mel field. The process begins with the processing of natural gas, followed by its liquefaction at a cryogenic temperature of -162 °C in six liquefaction trains. These trains are identical and operate independently, using various products provided by the utilities section, such as cooling seawater, steam, electricity, the instrument air and the desalinated seawater.

To meet its distilled water needs, the GL2/Z complex has six desalination units (2010LA/2010LB/2010LC/2010LD/2010LE), based on single-acting multi-stage expansion (MSF) technology. Each unit has a production capacity of 45.3 m³/h of distillate, resulting in a total capacity of 226.5 m³/h for these five units.

However, all the desalination units of the GL2/Z complex have been facing a persistent problem of declining desalinated water production since 2010. The objective of our study is to determine the causes of this drop in production in order to propose an action plan to improve the profitability of these units.

ملخص:

مثل مهمة مجمع GL2/Z في إنتاج وتصدير الغاز الطبيعي المسال من الغاز الطبيعي المستخرج من حقل حاسي الرمل. تبدأ العملية بمعالجة الغاز الطبيعي، تليها تسييله عند درجة حرارة مبردة تبلغ -162 درجة مئوية في ستة قطارات تسييل. وهذه القطارات متطابقة وتعمل بشكل مستقل، وتستخدم مختلف المنتجات التي يوفرها قسم المرافق مثل تبريد مياه البحر، وبخار الماء، والكهرباء، وهواء الأجهزة، ومياه البحر المحلاة.

ولتلبية احتياجاته من الماء المقطر، يحتوي مجمع GL2/Z على ست وحدات لتحلية المياه (2010LA/2010LB/2010LC/2010LD/2010LE)، تعتمد على تقنية التوسع متعدد المراحل أحادية الفعل (MSF).

وتبلغ الطاقة الإنتاجية لكل وحدة 45.3 متر مكعب/ساعة من نواتج التقطير، مما يعطي قدرة إجمالية قدرها 226.5 متر مكعب/ساعة لهذه الوحدات الخمس.

ومع ذلك، تواجه جميع وحدات تحلية المياه في مجمع GL2/Z مشكلة مستمرة تتمثل في انخفاض إنتاج المياه المحلاة منذ عام 2010. والهدف من دراستنا هو تحديد أسباب هذا الانخفاض في الإنتاج من أجل اقتراح خطة عمل لتحسين ربحية هذه الوحدات.

Dédicace

Avant tout, j'exprime mes remerciements au bon Dieu, le tout puissant, qui nous a donné la santé, la force et le courage pour accomplir ce modeste travail.

On adresse également nos profondes gratitude et à toute nos reconnaissances à notre encadreur, Madame TOUMI IMENE, on saisit aussi, cette opportunité pour remercier l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation et à toutes les personnes qui de près ou de loin, aidé à la réalisation de ce travail.

Remerciement

Je dédie ce modeste travail à mes parents pour leur soutien et leur encouragement durant mon parcours scolaires et d'être toujours à mes côtés et je prie Dieu le tout puissant de les protéger du mal et de les récompenser.

A mes chères sœurs : IKRAM et AMINA

A mon cher frère : SID AHMED EL AMINE

A mes cousines : BOUCHRA et FATIMA

Raja

Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis d'atteindre ce moment important ,J'adresse des remerciements et un salut particuliers à ma mère car elle est pour moi le principal soutien dans mon parcours académique, et grâce à mon père, que Dieu ait pitié de lui, malgré son absence, mais sa mémoire suffit, et je salue tous les professeurs et personnel universitaire

SALIMA

Liste des abréviations

SONTARCH : Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures.

SONELGAZ : Société Nationale de l' Electricité et du Gaz.

GN : Gaz Naturel.

GNL : Gaz Naturel Liquéfié.

GL2 /Z : gaz liquéfié zone 2.

MSF : Multi Stage Flash.

pH : potentiel d'hydrogène.

Ppm : partie par million

KAHRAMA : combinaison de deux mots KAHRABA :électricité en arabe et MA :eau en arabe

Liste des figures

Figure I.1 : complexe GN2/Z.....	05
Figure I.2 : Zone d'utilités.....	08
Figure I.3 : Zone de procédé.....	10
Figure II .1 : Représentation des principaux composants de l'eau de mer	12
Figure II.2 : Schéma général d'une installation de dessalement.....	14
Figure II.3 : Schéma de procédés de dessalement de l'eau de mer.....	14
Figure II.4 : distillation effet simple.....	15
Figure II.5 : Installation de distillation a multiple effets.....	16
Figure II.6 : Installation Multi-Stage Flash « MSF »	17
Figure II.7 : Installation de compression de vapeur.....	17
Figure II.8 : Phénomène d'osmose, équilibre et osmose inverse.....	18
Figure II.9 : Électrodialyse.....	19
Figure III.1 : schéma de l'acheminement d'eau de mer vers les dessaleurs.....	23
Figure III.2 : pompes d'eaux distillat.....	26
Figure III.3 : principe de fonctionnement de l'unité de dessalement MSF.....	28
Figure III.4 : bouchage des tubes par le tartre.....	29
Figure III.5 : obstruction des tubes à cause de la corrosion.....	31
Figure III.6 : Corrosion	31
Figure 1 : conductimètre.....	36
Figure 2 : Variation de la conductivité électrique des eaux dessalées produites par les unités 2010 L B /2010 L D/2010 L E du mois de Mars.....	37
Figure 3 : pH-mètre.....	38

Figure 4 : Variation de pH des eaux dessalées produites par les unités 2010 L B /2010 L D/2010 L E du mois de Mars.....	39
Figure .5: Variation de chlorure des eaux dessalées produites par les unités 2010 L B /2010 L D/2010 L E du mois de Mars.....	41
Figure 6: rendement moyen des unités de dessalement durant les cinq dernières années (2018 – 2023).....	46
Figure 7: Variation de Production totale de l’eau dessalée et le taux de production correspondant des dessaleurs type MSF (Août 2023- Février 2024)	47
Figure 8: Consommation KAHRAMA mensuelle en 2022 et 2023.....	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats des mesures de la conductivité électrique de l’eau dessalée (du 01 au 16 mars 2024)	37
Tableau 2 : Résultats des mesures de pH de l’eau dessalée (du 01 au 16 mars 2024)	39
Tableau.3: Résultats des mesures de chlorure l’eau dessalée (du 01 au 16 mars 2024)	41
Tableau 4: présente les résultats des analyses de qualité d’acide sulfamique.....	42
Tableau 5: Les valeurs théoriques de la masse de l’acide sulfamique utilisé dans chaque solution.....	44
Tableau 6: Les valeurs du pH prélevées sur les cinq (05) solutions d’acide sulfamique préparés.....	44
Tableau 7 : La concentration de l’acide sulfamique en fonction du temps.....	45
Tableau 8: Production totale de l’eau dessalée et le taux de production correspondant des dessaleurs type MSF.....	47

Tableau 9 : consommation de KAHRAMA.....	48
Tableau 10 : les heures de marche de cinq (5) dessaleurs de type MSF.....	49

Sommaire

Résumé	
Dédicace	
Remerciement	
Liste des abréviations	
Listes des figures et des tableaux	
Introduction générale	01

Partie théorique

Chapitre I : Présentation du complexe GL2/Z

I. Présentation du complexe GL2/Z	05
I.1. Définition de gaz naturel.....	05
I.2. Objectif du complexe.....	06
I.2.1. Capacité de production	06
I.2.2. Capacité de production annuelle	06
I.2.3. Capacité totale de stockage.....	06
I.3. Principales zones du complexe	07
I.3.1. Zone d'utilisées.....	07
I.3.2. Zone de procédé.....	08
I.3.3. Zone de stockage et expédition	10

Chapitre II : Généralités sur les procédés de dessalement et les problèmes rencontrés dans le dessalement

II.1. Introduction.....	12
II.2. Les caractéristiques des eaux marines et les eaux saumâtres.....	12
II.2.1. Les eaux marines.....	12
II.2.1.1. Les éléments principaux de l'eau de mer.....	12

II.2.1.2. Salinité.....	13
II.2.1.3. PH des eaux de mer.....	13
II.2.1.4. La conductivité	13
II.2.2. Les eaux saumâtres	13
II.3. Définition du dessalement de l'eau de mer.....	13
II.3.1. Les étapes de dessalement de l'eau de mer	13
II.4. Les techniques de dessalement d'eau de mer	14
II.5. Les avantages et les inconvénients de dessalement.....	19
 Chapitre III : dessalement de l'eau de mer au niveau de complexe GL2/Z	
III.1. Dessalement de l'eau de mer.....	21
III.2. Description de l'unité de dessalement au niveau de complexe GL2/Z.....	21
III.3 L'unité de dessalement de type MSF	21
III.3.1. Les filtres d'eau.....	22
III.3.2. Evaporateur.....	23
III.3.3. Le réchauffeur de saumure.....	24
III.3.4. Ejecteurs et condenseurs.....	24
III.3.5. Désurchauffeur.....	25
III.3.6. Les pompes.....	25
III.3.7. Système d'injection de produits chimiques.....	26
III.3.8. Le bac de stockage.....	26
III.4. Principe de fonctionnement de l'unité de dessalement de type MSF.....	27
III.5. Les problèmes rencontrés dans le dessalement.....	28
III.5.1. L'entartrage.....	28
III.5.2. Le colmatage.....	30
III.5.3. Corrosion.....	30
III.6. La lutte contre les problèmes des dessaleurs dans le complexe GL2/Z	32
III.6.1 Les ajouts chimiques dans unité du dessalement MSF.....	32

III.6.2. Procédure de lessivage chimique.....	32
--	-----------

Partie pratique

1.Introduction.....	35
2.Le traitement des eaux dessalées dans le complexe GL2 /Z	35
2.1. Les analyses systématiques régulières	35
2.1.1. Mesure de la conductivité électrique.....	35
2.1.2. Mesure de pH.....	38
2.1.3. Dosage de chlorure.....	40
2.2. Les analyses courantes non planifiées	40
2.2.1. Mesure de l'ammoniaque NH4.....	40
3. Les analyses de qualité d'acide sulfamique.....	42
4. Le test de détartrage.....	43
4.1. Les résultats de test de détartrage.....	44
5.Caractéristiques de fonctionnement de dessaleurs	45
5.1Rendement des unités de dessalement	45
6.parametres de fonctionnement de l'unité de dessalement.....	46
6.1. Production de l'eau dessalée dans le complexe GL2/Z.....	47
7.Consommation de KAHRAMA.....	48
8. les heures de marche dessaleurs.....	49
9.Conclusion.....	50
Conclusion générale et recommandations.....	49

Référence bibliographique

Les annexes

Introduction générale

Introduction générale :

Les ressources en eau sont aussi indispensables pour les industries que pour les autres activités humaines sur notre planète. L'industrie utilise les ressources en eau en quantités importantes de différentes manières : comme eau de traitement pour refroidissement, alimentation de chaudière, agent de nettoyage, solvant, en tant que produits partiels ou facilitant l'évacuation des déchets. [1]

L'importance croissante d'utilisation industrielle de l'eau s'inscrit dans le contexte de gérer les ressources en eau d'une manière durable pour répondre aux besoins des industries et des populations. Dans ce contexte, le dessalement se présente comme une solution vitale pour garantir la disponibilité de l'eau dessalée. Le dessalement est le processus d'élimination du sel et d'autres minéraux de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre. Ce processus devient de plus en plus important en raison de l'augmentation de la demande et de la rareté de l'eau dans diverses parties du monde. [2,3]

Parallèlement, l'intérêt mondial pour le gaz naturel s'accroît constamment, et l'Algérie, avec ses vastes réserves, joue un rôle essentiel via Sonatrach en répondant à une portion significative de cette demande. Sa localisation privilégiée le long de la Méditerranée, face à l'Europe, et les gazoducs issus des champs de Hassi Ramel facilitent cette contribution. Le GNL se produit dans des complexes de liquéfaction en utilisant les produits utiles, fournis par la section utilités, tel que l'eau de mer de refroidissement, la vapeur d'eau, l'électricité, l'air instrument et l'eau de mer dessalée. Les installations de liquéfaction de gaz naturel emploient de l'eau distillée et de l'eau de refroidissement dans leurs diverses opérations à grande échelle.

Le complexe GL2/Z fait face à une diminution continue de sa capacité de produire l'eau dessalée, notre objectif de recherche vise à identifier les origines de ce déclin afin d'élaborer une stratégie visant à optimiser l'efficacité des unités de dessalement.

Pour aborder les différents aspects de notre problématique, nous avons organisé notre étude en diverse sections :

Introduction générale

Une partie théorique : comporte trois chapitres :

- **Chapitre I :** Présentation du complexe (GL2/Z).

- **Chapitre II** : Généralités sur les procédés de dessalement d'eau de mer et les problèmes rencontrés dans le dessalement.
- **Chapitre III** : description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

Une partie expérimentale : comporte :

Traitement des eaux dessalées du complexe GL2/Z.

Vérification des paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement.

Conclusion générale et recommandations.

« Partie théorique »

Chapitre I : « présentations du complexe GL_2/\mathbb{Z} »

I.PRESENTATION DU COMPLEXE GL2/Z

L'Algérie se distingue sur la scène internationale en tant que fournisseur clé d'hydrocarbures, et plus particulièrement de gaz naturel liquéfié (GNL). Ce rôle est significatif dans la diversification et à la stabilité du marché mondial du gaz. En exportant d'importantes quantités de GNL, l'Algérie facilite non seulement le commerce international mais renforce également sa position économique et stratégique à l'échelle globale.

Le complexe industriel de GL2/Z constitue l'une des plus importantes réalisations industrielles de la chaîne de transformation des hydrocarbures, exploitée par la société SONATRACH en Algérie. Il s'étend sur une superficie de 72 hectares, situé au nord Bethioua à 6 Km de la ville d'Arzew, il comprend 06 trains de liquéfaction identiques fonctionnant en parallèle. Il a été conçu pour assurer le transport sous forme liquide du gaz naturel provenant de HASSI RAMEL par gazoducs.



Figure I.1 : complexe GL2/Z.

I.1 Définition de gaz naturel :

Le gaz naturel est formé par la dégradation de matière organique accumulée au cours des millions d'années passées [4]

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures légers comprenant du méthane (CH₄) en grande proportion ainsi que d'autre hydrocarbure gazeux tel que l'éthane, le propane, le butane, le pentane et l'hexane en proportion décroissante. Sa composition révèle en outre suivant les cas, la présence d'hélium, d'azote, de gaz carbonique, de sulfure et de vapeur d'eau.

I.2. Objectif du complexe :

Le complexe GL2/Z a pour mission de traiter le gaz naturel transporté par gazoduc en provenance des champs gaziers de HASSI RAMEL en gaz naturel liquéfié(GNL) avec possibilité d'extraction de la gazoline, ce GNL est ensuite transporté dans des méthaniers vers l'étranger.

I.2.1. Capacité de production :

L'usine GL2/Z compose six trains ou module de liquéfaction identiques d'une capacité de production de 9.000m³/jour conçus pour fonctionnement autonome, et disposant chacun de :

- ❖ Sa propre production de vapeur.
- ❖ Section de décarbonatation.
- ❖ Liquéfaction.
- ❖ Compression.
- ❖ Fractionnement des hydrocarbures.

Les données suivantes indiquent les capacités de production et de stockage au niveau du complexe :

I.2.2. Capacité de production annuelle :

- ❖ GNL : 17,8Millions m³/an
- ❖ Propane : 410 000 Tonnes /an
- ❖ Butane : 327 000 Tonnes / an
- ❖ Gazoline : 196 000 Tonnes /an

I.2.3. Capacité Totale de stockage :

- ❖ Trois bacs de 100 000 m³ chacun pour le GNL.
- ❖ Deux bacs de 14 500 m³ chacun pour la gazoline.

La production de propane et de butane est acheminée par canalisation vers le complexe

GP1/Z.

I.3. Principale zones du complexe :

I.3.1. Zone d'utilités :

Le complexe est équipé d'installations essentielles pour assurer la fourniture dont le procédé a besoin et lui assurer une autonomie de fonctionnement pendant le démarrage et la marche normale des trains de liquéfaction ainsi que les autres installations de production :

- ❖ **Source d'énergie :** la vapeur d'eau produite par la chaudière est une source d'énergie pour le complexe (trois chaudières haute pression 60 bars et 440 °C et une chaudière basse pression 4,5 bars et 210 °C)
- ❖ **Energie électrique :** l'électricité se produit à travers **trois** (03) turbogénérateurs d'une capacité de 20 MW chacun, et de la source SONELGAZ pour également 20 MW.
- ❖ **Production d'air comprimé :** La production de l'air comprimé est assurée par quatre (04) compresseurs servant la réglementation pneumatique pour toutes les installations.
- ❖ **Eau de refroidissement :** Elle est fournie par six (06) pompes d'eau de mer d'une capacité de 32000 m³ par heure chacune.
- ❖ **Eau dessalée :** Elle est fournie par six (06) unités de dessalement produisant chacune 45 tonnes par heure utilisée comme eau d'appoint pour les chaudières.
- ❖ **Azote :** L'azote est fourni par l'entreprise nationale des gaz industriel (ENGI), et utilise pour l'inertage des installations pour la préparation aux travaux de maintenance ainsi que les démarrages.



Figure I .2 : Zone utilités.

I.3.2. Zone de procédé :

Le gaz naturel est converti en liquide à travers un processus connu sous le nom de liquéfaction, consiste à abaisser l'enthalpie de GN par réfrigération jusqu'à atteindre une température de stockage environ -162°C ce qui réduit considérablement son volume pour un stockage et un transport plus aisés.

L'usine comprend six trains de procédé indépendants, fonctionnant en parallèle. Initialement le gaz naturel entrant dans chaque train doit être nettoyé de toute impureté avant d'être liquéfié.

Certains composants des gaz naturels doivent être extraits, soit pour des raisons imposées par les étapes ultérieures de traitement ou de transport, soit pour se conformer à des spécifications commerciales ou de réglementaires. [5]

Le traitement du gaz naturel consiste à séparer partiellement ou totalement les constituants présents à la sortie du puits, tel que l'eau, les gaz acides et les hydrocarbures lourds [6]

Donc ces composants du gaz naturel (la vapeur d'eau, le gaz carbonique et les hydrocarbures lourds) ont tendance à se solidifier aux zones froide de l'usine ($70^{\circ}\text{C} / 0^{\circ}\text{C}$) provoquent l'obstruction au niveau des tuyauteries de service.

Chaque train est prévu pour produire l'équivalent de 8870 m^3 de GNL par jour. Le gaz naturel arrive à une pression de 42 bars et à une température de 38°C et subit différents traitements à savoir :

Dans chaque train le gaz d'alimentation passe par trois (03) différentes étapes de traitement :

a) Section du traitement de gaz : comprend trois (03) étapes :

- ❖ **Décarbonatation :** est le processus qui consiste à éliminer le dioxyde de carbone (CO₂).
- ❖ **Déshydratation :** consiste à la réduction de la vapeur d'eau.
- ❖ **Démercurisation :** est une étape importante dans le traitement du gaz naturel. Elle vise à retirer le mercure (Hg) du gaz pour prévenir la corrosion des équipements de traitement et de transport du gaz.

b) Section de séparation et de liquéfaction : comprend deux (02) étapes :

- ❖ **Séparation :** consiste de séparer des hydrocarbures lourds de gaz naturel
- ❖ **Liquéfaction :** consiste à liquéfaction du propane.

c) Section de fractionnement :

Les composants séparés, tels que l'éthane, le propane, le butane et le pentane, sont ensuite fractionnés dans des colonnes de distillation spécifiques. Chaque colonne est conçue pour extraire un hydrocarbure particulier, il comprend (03) étapes :

- ❖ **Dé-éthamination :** consiste à la récupération de l'éthane.
- ❖ **Dépropanisations:** consiste à la récupération du propane.
- ❖ **Débutanisation de l'azote :** consiste à la récupération du butane.



Figure I.3 : Zone de procédé.

I.3.3. Zone de stockage et expédition :

La localisation stratégique de la zone de stockage de gaz naturel (GNL) en bord de mer simplifie le chargement du GNL sur les méthaniers.

La zone de stockage contient :

- Trois (03) réservoirs de GNL d'une capacité de 100000 m³ chacun.
- Le chargement du produit est assuré au niveau de deux (02) quais de chargement pouvant recevoir des méthaniers d'une capacité de 40 000 à 145 000 m³GNL.
- Le stockage de la gazoline produite est assuré par deux (02) bacs de 14.000 m³ chacun.

**CHAPITRE II : « Généralités sur les
procèdes de dessalement et les
problèmes rencontrées dans le
dessalement »**

II. GENERALITES SUR LES PROCEDES DE DESSALMENT :

II.1. Introduction :

La terre est riche en eau 1.38 milliard de kilomètres carrés. Cependant la majeure partie est composée d'eau de mer (97.2%) et la glace (2.15%) qui ne peuvent pas être utilisées directement. [7]

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mise en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. [7]

II.2. Les caractéristiques des eaux marines et les eaux saumâtres :

II.2.1. Les eaux marines :

La masse totale des sels dissous dans 1 kg d'eau de mer peut varier d'une eau de mer à une autre (plus de 40 g/kg d'eau de mer, en mer Rouge, moins de 10 g/kg en certaines régions de la mer Baltique). Par contre, les proportions relatives des principaux sels restent constantes. [8]

II.2.1.1. Les éléments principaux de l'eau de mer :

L'eau de mer est une solution complexe qui contient des éléments principaux qui contribuent à la masse de sel dissous dans les océans.

Les éléments sont présentés dans la **figure II.1**.

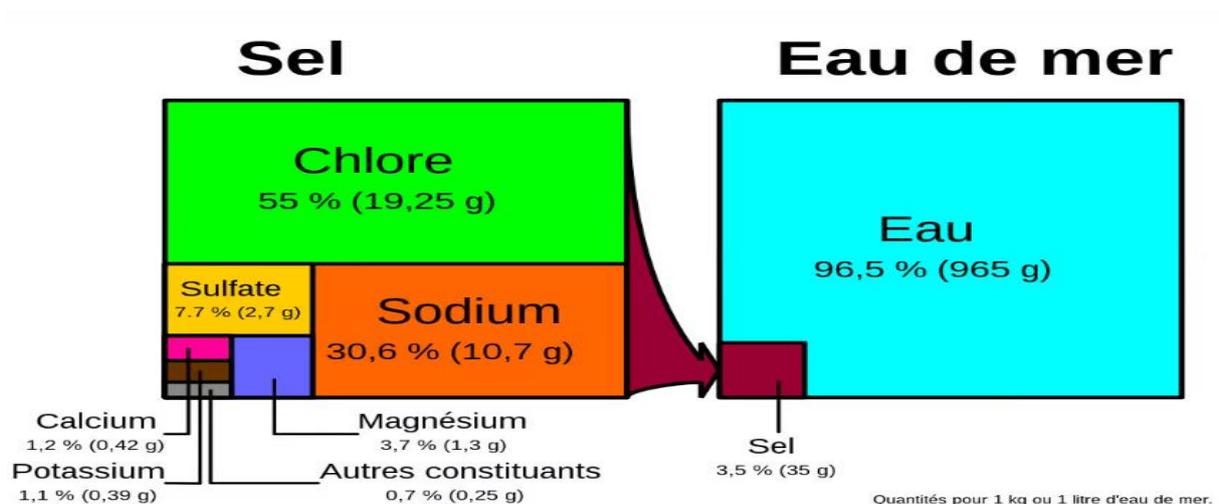


Figure II .1 : Représentation des principaux composants de l'eau de mer.

II.2.1.2. Salinité :

La salinité moyenne de l'eau de mer est de 35 g/1 000 g d'eau de mer qui varie d'un endroit à l'autre dans l'océan, mais la composition globale de l'eau de mer est la même d'un endroit à l'autre, cette variation est en rapport avec l'évaporation et la précipitation.

II.2.1.3. pH des eaux de mer :

L'eau de mer a un pH qui varie entre 7.5 et 8.5, cette variation est généralement liée à la différence de l'alcalinité locale jusqu'à que l'eau atteigne la saturation en carbonate de calcium (CaCO₃).

II.2.1.4. La conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm² de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau. [9]

II.2.2. Les eaux saumâtres :

L'eau de saumâtre est une eau qui contient une concentration de sel dissous inférieure à celle de l'eau de mer avec une teneur comprise entre 1 et 10 g/L.

La quantité de sel dissous dans l'eau saumâtre est mesurée par la salinité. Techniquement, l'eau saumâtre contient entre 500 et 30 000 ppm de sel, généralement exprimée entre 0,05 et 3 %.

II.3. Définition du dessalement de l'eau de mer :

Le dessalement de l'eau de mer est devenu ces dernières années une alternative éminente pour parer à la crise de l'eau potable dans le monde. [10]

Les processus de dessalement sont caractérisés par leur rendement pour produire une eau douce par le principe d'élimination du sel et d'autres sels minéraux à partir d'une eau saumâtre.

II.3.1. Les étapes de dessalement de l'eau de mer :

Le procédé de dessalement de l'eau de mer passe par des étapes :

- La collecte d'eau de mer
- Le prétraitement
- Les différents procédés de dessalement.
- Le post-traitement avec une éventuelle minéralisation de l'eau produite.

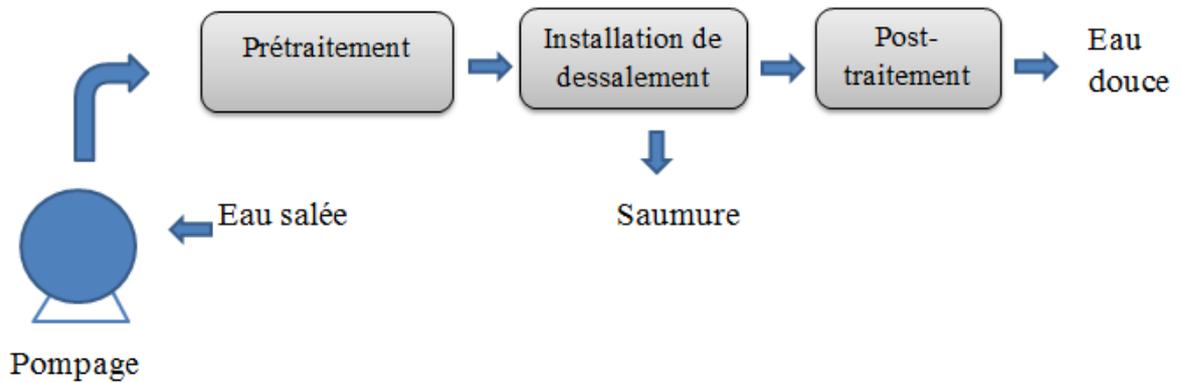


Figure II.2 : Schéma général d'une installation de dessalement.

II.4. Les techniques de dessalement d'eau de mer :

Les procédés de dessalement sont variés pour adapter au besoin spécifique, ils se divisent en deux catégories :

- Procédé distillation (thermique) : multi stage flash (**MSF**), la distillation multi effet distillation (**MED**) et compression vapeur.
- Procédé membranaire : osmose inverse et électrodialyse.

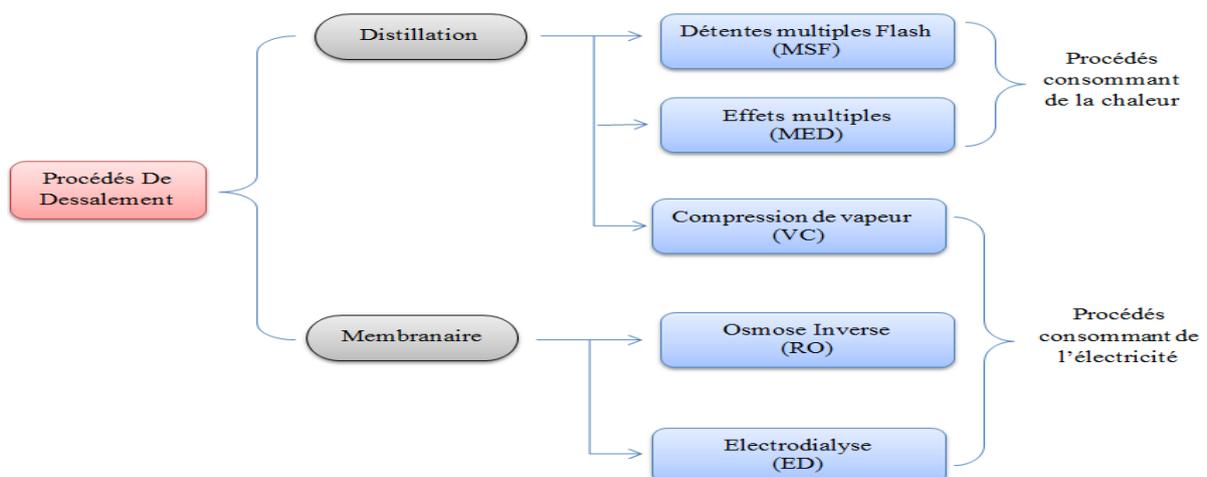


Figure II.3 : Schéma de procédés de dessalement de l'eau de mer.

II.4.1. La distillation :

La distillation est la technique de dessalement de l'eau de mer la plus ancienne. Elle s'appuie sur les propriétés d'évaporation-condensation de l'eau : le chauffage de la solution à purifier permet la vaporisation de l'eau et sa récupération par condensation. Elle conduit à la production d'une eau pure et d'une solution concentrée, le concentrât. [11]

II.4.1.1. Les procédés par distillation :

II.4.1.1.1. Distillation effet simple :

La distillation à effet simple est un processus de dessalement de l'eau de mer, similaire au cycle d'évaporation et condensation qui se produit dans la nature.

Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage 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. [12]

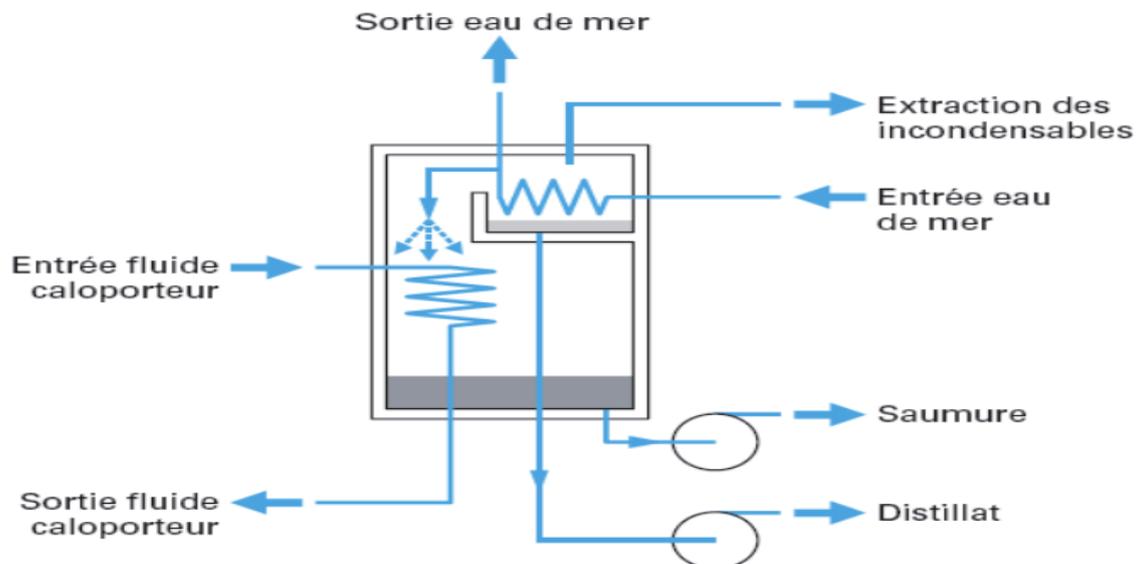


Figure II.4 : distillation effet simple.

II.4.1.1.2. Distillation multiple effet :

La distillation à multiple effet repose sur le principe d'évaporation d'une partie de l'eau de mer préchauffée, où elle est assurée par une détente au sien des évaporateurs en série appelés étages.

La vapeur ainsi produite dans le 1^{er} effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite. Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. [7]

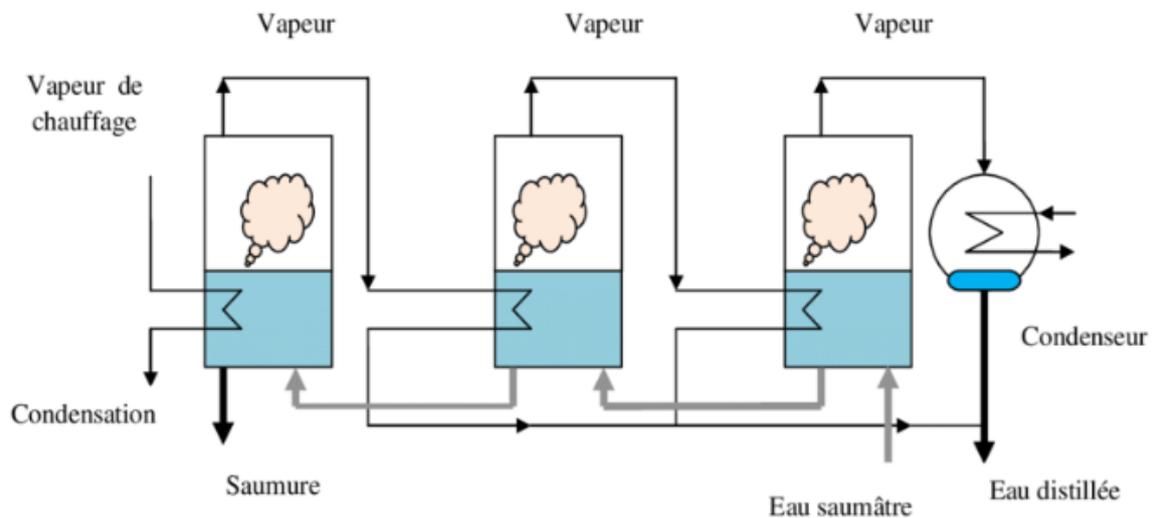


Figure II.5 : Installation de distillation a multiple effets.

II.4.1.1.3. Distillation flash multi-étages (MSF) :

L'eau de mer est préchauffée dans un évaporateur puis chauffée dans un réchauffeur de saumure, ensuite elle est introduite dans un premier étage à faible pression, où elle est immédiatement vaporisée, cette vapeur est après condensée et récupérée à l'état aqueux.

La saumure qui ne se sera pas évaporée elle sera récupérée puis transférée dans le deuxième étage ayant une pression inférieure à celle du premier étage.

L'opération est alors répétée plusieurs fois à la suite d'où le nom de multi flash. (Il existe des usines de dessalement dans lesquels l'opération se répète dans 40 compartiments). [13]

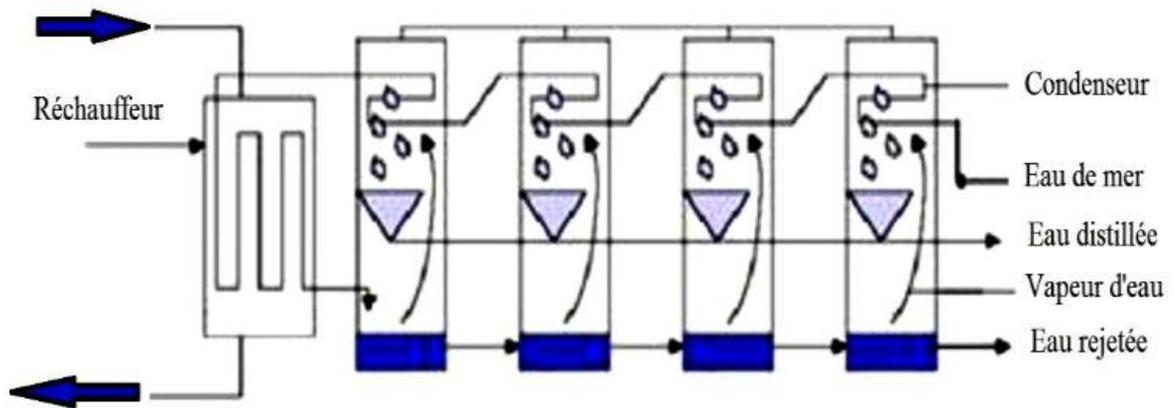


Figure II.6 : Installation Multi-Stage Flash « MSF ».

II.4.1.1.4 Compression de vapeur :

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée. La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée. [14]

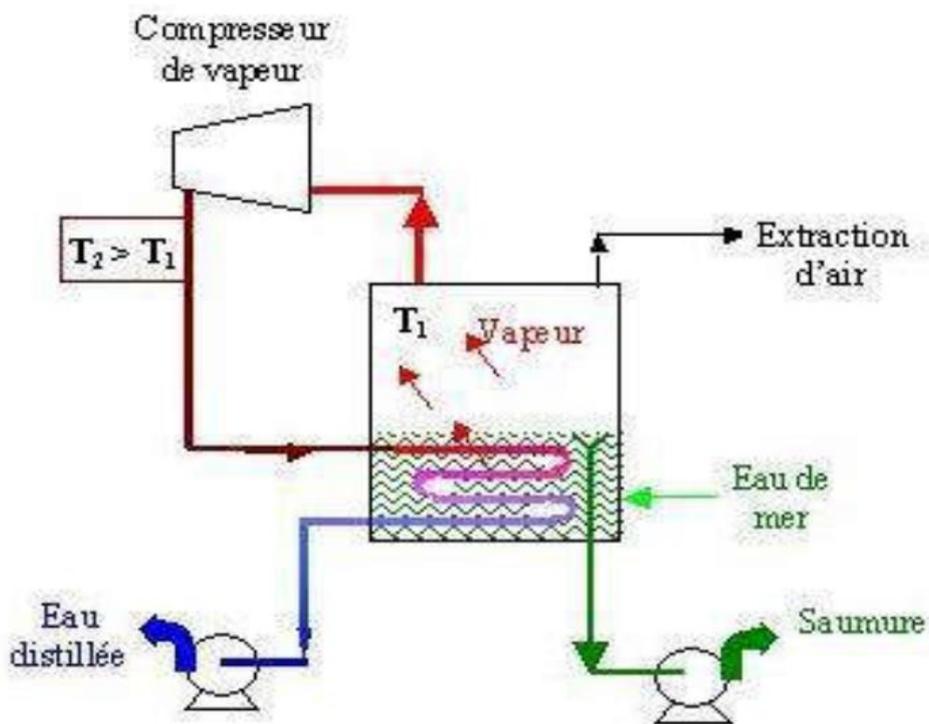


Figure II.7: Installation de compression de vapeur.

II.4.2 Procédé membranaire :

Les procédés membranaires ce sont des technologies essentiellement utilisées dans de nombreux domaines notamment le traitement des eaux, ces méthodes présentes multiples bénéfices comme la réduction significative de la consommation énergétique et l'efficacité de traitement.

II.4.2.1. Osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10 - 7 mm de taille. [15]

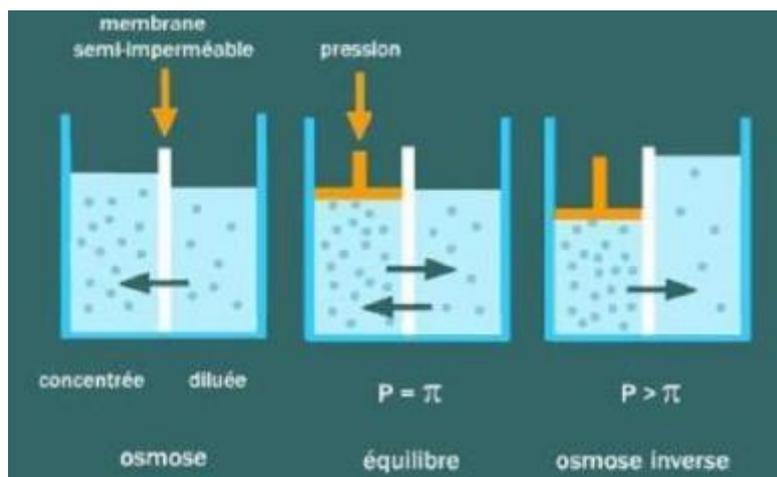


Figure II.8: Phénomène d'osmose, équilibre et osmose inverse.

II.4.2.2. Électrodialyse :

L'électrodialyse consiste à transférer des ions de sels dissous à travers des membranes qui ne laisse pas passer l'eau épurée, le mouvement des ions est provoqué par un champ électrique, l'électrode négative (cathode) attire les cations, tandis que les anions se déplacent vers l'électrode positive (anode). [16]

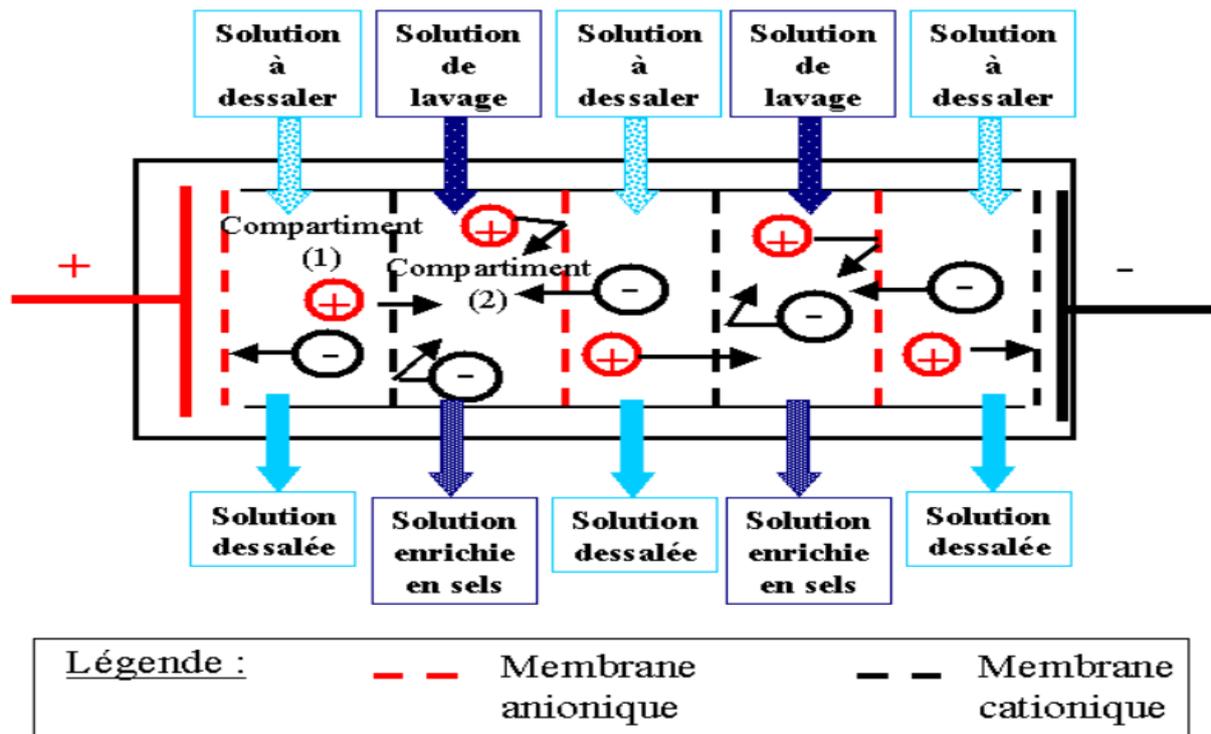


Figure II.9 : Électrodialyse.

II.5. Les avantages et les inconvénients de dessalement :

Le dessalement est effectivement une solution pour répondre à la demande croissante d'eau potable. Cependant cette technologie est bénéfique comme elle a des inconvénients.

II.5.1. Les avantages :

Le dessalement de l'eau de mer présente de nombreux avantages :

- Lutter contre la pénurie d'eau et améliorer l'accès à l'eau potable.
- Aide à fournir un stock d'eau douce de réserve.

II.5.2. Les inconvénients :

- Le dessalement met la vie de plusieurs espèces aquatiques en danger pendant l'aspiration de l'eau de mer conduit à une dégradation de l'environnement marin
- Une haute consommation d'énergie et coûte cher.
- Le volume d'eau produit faible par rapport au volume d'eau de mer prélevé.

**CHAPITRE III : « dessalement de
l'eau de mer au niveau de complexe
GL2/Z »**

III.1. DESSALEMENT DE L'EAU DE MER :

Le rôle principal de l'unité de dessalement de l'eau de mer est de fournir l'eau d'appoint nécessaire, qui sera utilisée comme l'alimentation des chaudières, d'eau de refroidissement et pour divers équipements de toutes les unités du complexe (procédé et utilités).

III.2. Description de l'unité de dessalement au niveau de complexe GL2/Z:

Le complexe GL2/Z est équipé de six unités de dessalement. Trois d'entre elles (items 2010LA /2010LB/2010LC) sont des produits SASAKURA, installées lors de la mise en place du complexe en 1978. Deux autres unités (items 2010LE/2010LD) sont des produits AQUACHEM, ajoutées lors de la rénovation du complexe en 1994. La sixième unité (item 2010 LF) est un produit WEIR ENTROPIE, ajoutée par le complexe en 2004.

L'unité de dessalement 2010 LF est un distillateur de type thermo compression (TCD) qui fonctionne par évaporation et condensation sous vide. Sa capacité de production est de 60 m³/h de distillat et 12 m³/h de condensât de vapeur à 17 bars.

Il est important de noter que les cinq autres unités de dessalement (2010LA/2010LB/2010LC/2010LD/2010LE) utilisent un procédé de distillation à détente à plusieurs étages (MSF) à simple effet. Chacune de ces unités à une capacité de production de 45,3 m³/h de distillat, ce qui donne une capacité totale de 226,5 m³/h pour ces cinq unités.

L'eau distillée produite est principalement utilisée pour alimenter les chaudières. Chaque unité peut fonctionner de manière indépendante ou en parallèle avec les autres. L'eau distillée produite est dirigée vers un bac de stockage (2041 F) et la saumure vers le canal de rejet.

Si nécessaire, il est possible de se procurer de l'eau distillée à partir du complexe GL1/Z grâce à une connexion interne.

III.3 L'unité de dessalement de type MSF :

Initialement l'eau de mer est acheminée vers un bassin de distribution, de là elle subit une série de prétraitement avant d'être alimenter.

L'unité de dessalement de l'eau de mer est principalement constitué d'un évaporateur à multi flash **MSF** constitué de 8 étages (cellules) allongé dans une configuration à deux passes où s'effectue le flash, favorisé par la présence du vide créé par l'éjecteur.

L'unité comporte aussi un condenseur incorporé qui sert à préchauffer l'alimentation sur sa partie externe, il condense l'eau distillée produite. De plus, un réchauffeur de saumure est présent pour atteindre le gradient de température souhaité de l'alimentation. Elle est également équipée d'un système de pompes qui permettent la circulation des différents liquides à l'intérieur de l'unité et aussi des équipements auxiliaires destinés à l'injection de divers produits chimiques tels que des agents antitartres ou anti-mousse.

Les équipements, composant une unité de dessalement, sont les suivants :

- Filtre d'eau de mer : 2010 L A, 2010L B, 2010LC, 2010L D, 2010LE ;
- Évaporateur : 2010 LI A, 2010L B, 2010LC, 2010LD, 2010LE ;
- Réchauffeur de saumure : 2010 C A, 2010C B, 2010C C, 2010C D, 2010C E ;
- Éjecteur et condenseur : 2010 J5 A, 2010 J5 B, 2010 J5 C, 2010 J5 D, 2010 J5 E ;
- Pompe de surpression d'eau de mer : 2010 J1 A, 2010 J1 B, 2010 J1 C, 2010 J1 D, 2010 J1 E ;
- Pompe de purge de saumure : 2010 J2 A, 2010 J2 B, 2010 J2 C, 2010 J2 D, 2010 J2 E ;
- Pompe à eau distillée : 2010 J3 A, 2010 J3 B, 2010 J3 C, 2010 J3 D, 2010 J3 E ;
- Pompe à condensât : 2010 J4 A, 2010 J4 B, 2010 J4 C, 2010 J4 D, 2010 J4 E ;
- Pompe d'injection de produits chimiques : 2010 J/JA A, 2010 J/JB B, 2010 J/JC C, 2010 J/JD D, 2010 J/JE E ;
- Désurchauffeur : 2010 M A, 2010 M B, 2010 M C, 2010 M D, 2010 M E ;
- Bac de produits chimiques de nettoyage : 2010 JJF A, 2010 JJF B, 2010 JJF C, 2010 JJF D, 2010 JJF E ;
- Pompe à produits chimiques de nettoyage : 2010 JJ/JJA A, 2010 JJ/JJB B, 2010 JJ/JJC C, 2010 JJ/JJD D, 2010 JJ/JJE E.

III.3.1. Les filtres d'eau :

L'eau de mer d'alimentation passe par des filtres (2010 LA, 2010LB, 2010LC, 2010LD, 2010LE), ces filtres qui fonctionnent sans interruption, sont équipées par un lavage cyclique prédéterminé en contre-courant (33 mm à 24 h). **Voir l'annexe 1.**

Les filtres destinés à l'eau de mer ont un rôle essentiel de purification. Ils permettent de retenir les particules de grande taille ainsi que les solides présents dans l'eau.

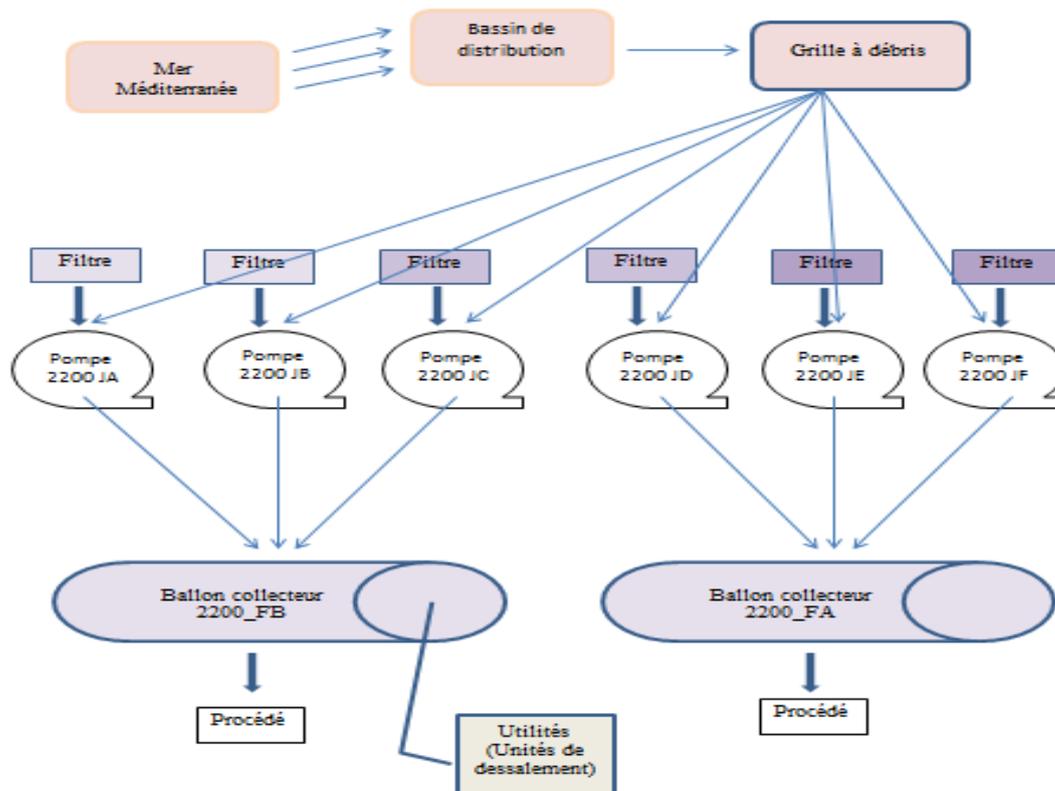


Figure III.1 : schéma de l'acheminement d'eau de mer vers les dessaleurs.

III.3.2. Evaporateur :

A la sortie des filtres, l'eau est reprise par une pompe de surpression d'eau de mer (2010 JI A/B/C/D/E) qui refoule: vers l'évaporateur et vers l'éjecteur condenseur.

L'eau de mer (saumure) dirigée vers l'évaporateur est distribuée à l'intérieur des 8 compartiments par un faisceau tubulaire qui fait office de condenseur au contact avec la vapeur produite par l'eau qui s'évapore. L'eau de mer est ensuite réchauffée par un réchauffeur de saumure (2010C A/2010C B/2010C C/2010C D/2010C E). La saumure portée à une température de 90°C revient au vaporisateur et circule à contre-courant des faisceaux tubulaires. **Voir l'annexe 2.** L'effet conjoint de la saumure chauffée et du vide généré par les éjecteurs de vapeur permet une évaporation.

Dans chaque compartiment, la vapeur passe par un tamis débrumeur pour retenir les gouttelettes de saumure, elle est ensuite condensée au contact du condenseur (faisceau). L'eau douce ainsi recueillie s'écoule dans le bac d'eau distillée au travers de chaque compartiment, du N° 1 au N° 8, puis elle est refoulée par la pompe à eau distillée (2010 J3 A/2010 J3 B/2010 J3 C/2010 J3 D/2010 J3 E) vers le bac de stockage (2041F).

Afin de maintenir le niveau de saumure au dernier étage celle-ci est dirigée vers un canal de rejet par la pompe de purge de saumure (2010 J2 A, 2010 J2 B, 2010 J2 C, 2010 J2 D, 2010 J2 E). Les gaz incondensables sont évacués par un système de vide vers l'éjecteur.

III.3.3. Le réchauffeur de saumure :

Afin d'optimiser l'évaporation de la saumure on utilise un échangeur à calandre aussi appelé réchauffeur de saumure, qui apporte un supplément de chaleur (de 76° à 90°). L'eau de mer qui entre dans le côté tube du réchauffeur présente une température initiale de 76 °C puis chauffé jusqu'à 90 °C par l'action de la vapeur désurchauffée. Pour la récupération de la vapeur condensée une citerne au fond de la calandre est installée. Le niveau du condensat est maintenu constant dans la citerne au moyen d'un régulateur de niveau.

Une pompe de condensat (2010 J4 A/2010 J4 B/2010 J4 C/2010 J4 D/2010 J4 E) renvoie le condensat vers le désurchauffeur (2010 MA/2010 MB/2010 MC/2010 MD/2010 ME) ou vers le retour de condensat. Les gaz incondensables sont évacués en utilisant l'éjecteur.

Voir l'annexe 3.

III.3.4. Ejecteurs et condenseurs :

Le vide à l'intérieur de l'évaporateur est obtenu grâce à 2 éjecteurs à 2 étages chacun ainsi qu'un condenseur divisé en 2 étages : condenseur intermédiaire et condenseur secondaire.

Voir l'annexe 4.

Le 1er éjecteur qui crée le vide décharge à l'intérieur du condenseur intermédiaire. Les gaz incondensables provenant de l'évaporateur et du réchauffeur de saumure se déchargent par les lignes d'évent dans le système éjecteurs-condenseurs et sont ensuite mis à l'atmosphère.

La vapeur qui alimente les éjecteurs provient du réseau 17 bars et se décharge dans le condenseur, le fluide réfrigérant des condenseurs est de l'eau de mer qui provient de la pompe de surpression d'eau de mer.

L'intérêt d'avoir une basse pression dans les étages est de réaliser la détente à de faible température, pour éviter la formation du tartre dur et diminuer le moussage.

III.3.5. Désurchauffeur :

La vapeur alimentant le réchauffeur de saumure est d'abord passée par un désurchauffeur (2010 M.A/2010 M.B/2010 M.C/2010 M.D/2010 M.E) pour avoir de la vapeur saturée à 100°C. Ce désurchauffeur reçoit de la vapeur à 4,5bar et l'eau de désurchauffage est issue du circuit condensat alimenté par la pompe de condensat (2040 J4- A/2040 J4- B/2040 J4- C/2040 J4- D/2040 J4- E). **Voir l'annexe 5.**

III.3.6. Les pompes :

- **Pompe surpression :** Après avoir l'eau de mer traversée les filtres, elle se dirige vers l'évaporateur et le système éjecteurs à vapeur-condenseurs par l'aspiration de la pompe surpression.
- **Pompe condensat :** elle aspire la vapeur condensée de réchauffeur de saumure et la pomper dans le central électrique
- **Pompe distillat :** elle aspire l'eau distillée provenant du dernier étage (N° 8) de l'évaporateur et le refoule vers le bac de stockage d'eau distillée 2041-F.
- **Pompe de saumure :** elle achemine la saumure vers des dispositifs de rejet au de traitement



Figure III.2 : pompes d'eaux distillat.

III.3.7. Système d'injection de produits chimiques :

Le système de traitement par produits chimiques a pour fonction de retarder les dépôts de tartre et la formation de mousse dans l'unité de dessalement ce système est composé des éléments suivants :

- Un réservoir contenant divers produits chimiques (2010 F A, 2010 F B, 2010 F C, 2010 F D, 2010 F E).
- Des pompes doseuses (2010 J/JA A, 2010 J/JB B, 2010 J/JC C, 2010 J/JD D, 2010L/JE E) pour injecter ces produits chimiques.
- Un indicateur de débit (FI4304).
- Un régulateur de pression (PCV-4301) situé à la sortie de la pompe.
- Un agitateur pour mélanger les produits chimiques dans le réservoir.

III.3.8. Le bac de stockage :

Le bac de stockage d'eau distillée (2041 F) a une capacité de 8710 m³ et il est pressurisé en continu avec de l'azote pour éviter le contact de l'eau avec l'air.

Les pompes d'appoint (2010 J A, 2010 J B, 2010 J C, 2010 J D, 2010 J E) envoient l'eau distillée dans le collecteur d'eau d'appoint (alimentation chaudières). **Voir l'annexe 6.**

III.4. Principe de fonctionnement de l'unité de dessalement de type MSF :

L'évaporateur multi flash (MSF) est conçu pour générer de l'eau distillée à partir de l'eau salée. Le procédé consiste à chauffer l'eau de mer jusqu'à son point de flash, créant ainsi de la vapeur qui est acheminée vers un condenseur où elle se condense en distillat.

Dans le premier compartiment de l'évaporateur maintenu à une pression réduite à celle de la pression atmosphérique, la saumure s'évapore instantanément.

Des appareils nommés dévésiculeurs sont utilisés pour retirer les fines gouttelettes d'eau salée (saumure) transportée par la vapeur, ensuite la vapeur est condensée à un liquide sur la surface des tubes du condenseur.

Ce processus fonctionne grâce à une pression faible au niveau de premier étage, cette différence de pression est importante pour assurer la répétition du processus en continu. Afin de préserver le vide requis pour ce procédé dans les divers compartiments, un système de vide est installé à la partie supérieure de l'équipement de dessalement. Ce système se compose d'éjecteurs et de condenseurs barométriques servent l'évaporation des gaz non condensables émis durant le processus.

L'eau de mer d'alimentation est introduite dans le système via un collecteur utilitaire puis elle est pompée par une pompe booster et filtrée, ensuite chauffée progressivement par la vapeur de saumure condensée sur la surface des tuyaux du condenseur et dirigée vers la boîte de distribution et les tubes du condenseur pour continuer le cycle de la distillation.

l'eau de mer est initialement préchauffée à environ 73°C dans l'évaporateur après elle sera chauffée à une température proche de 90°C dans le réchauffeur de saumure avant d'être introduite avec un débit régulier dans la première cellule. La vapeur qui se forme suite à la condensation de l'eau de mer d'alimentation réchauffée est dirigée vers le ballon de condensat par la pompe **J3** puis vers un collecteur de condensat dans chaque cellule de l'évaporateur, la vapeur subit une détente progressive et elle est finalement recueillie dans le réservoir de l'étage **8**.

Si la vapeur est satisfaite aux critères de qualité définis, elle est alors dirigée par la pompe **J4** pour être stockée. Il est important de noter que les systèmes de condensat et de produit sont tous les deux équipés d'un dispositif de contrôle appelée « conductimètre » avec le mode rejet pour

évacuer la vapeur si elle ne répond pas aux normes spécifiques de qualité requi

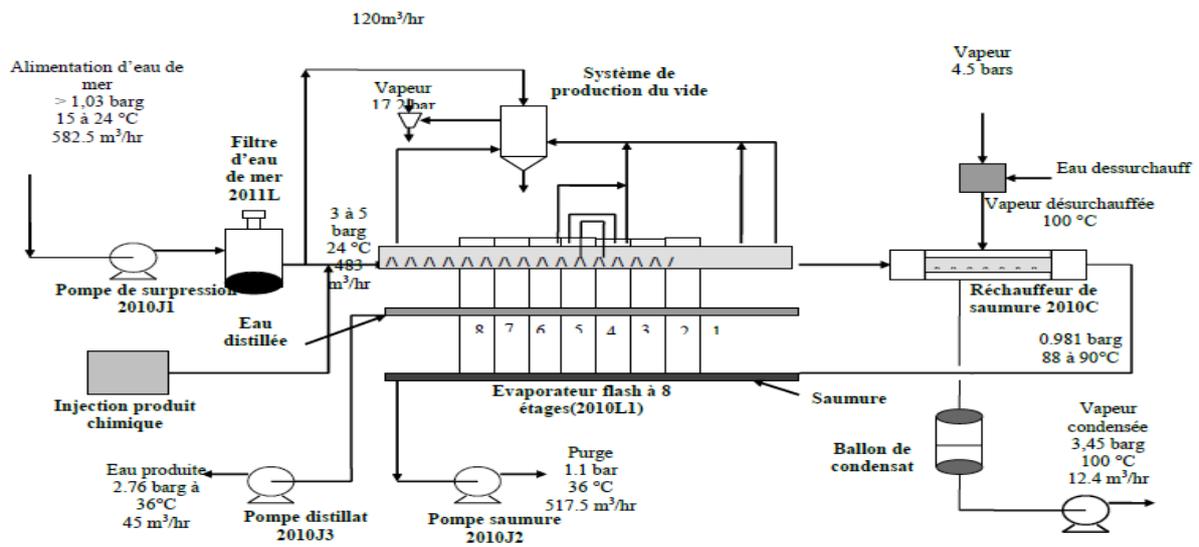


Figure III.3 : principe de fonctionnement de l'unité de dessalement MSF.

III.5. Les problèmes rencontrés dans le dessalement :

Il se trouve de différentes technologies de dessalement mais aucune n'est tout à fait idéale, la transformation de l'eau salée en eau douce provoque de nombreux problèmes incluent dans l'entartrage, corrosion, colmatage et d'autres divers problèmes.

III.5.1. L'entartrage :

Tartre est un terme générique faisant référence à diverses précipites. Compte tenu de la qualité des sols et donc des eaux naturelles, le tartre est principalement formé de carbonate de calcium (CaCO_3), mais il fait référence par extension à d'autres composés que l'on peut trouver en industrie, tels que le sulfate de calcium (CaSO_4), l'oxalate de calcium (CaC_2O_4), le phosphate de calcium ($\text{CO}_3(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), des silicates de calcium ou de magnésium (CaSiO_4), etc. [17]



Figure III.4 : bouchage des tubes par le tartre.

III.5.1.1. Les problèmes causés par le tartre :

Les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement :

- Réduction de section de passage
- Une mauvaise conductivité thermique causée par la formation de la pellicule isolante et incrustante a la surface des tuyaux.
- Augmentation de pression à l'intérieur de conduites qui conduit à une grande consommation énergétique
- Réduction de la qualité de l'eau produite
- Dysfonctionnement fréquent des équipements industriels

III.5.1.2. Les causes de tartre :

De nombreux facteurs à l'origine de l'accumulation de tartre, principalement présenté dans :

- **Eau dure :** l'eau dure contient des minéraux tels que le **calcium** et le **magnésium**, lorsque cette eau circule dans les tuyaux, ces minéraux peuvent se déposer et former un dépôt de tartre.
- **Stagnation de l'eau :** l'eau stagnante dans les conduites peut se permettre aux minéraux de se déposer plus facilement.

- **La température élevée :** l'élévation de la température qui libère les gaz carboniques qui conduisent à une accélération de la précipitation du tartre.

III.5.1.3. Le traitement de tartre :

Le phénomène d'entartrage se caractérise par la formation de dépôts incrustants qui mènent à endommager le fonctionnement des installations industrielles. Le traitement de tartre est essentiel pour garantir le bon fonctionnement et la prolongation de la durée de vie des équipements pour éviter leur remplacement coûteux.

Parmi les méthodes de traitement les plus courantes on peut mentionner :

- ✓ Traitement dès le début par la filtration de l'eau pour l'élimination de particules susceptibles de contribuer l'entartrage et le contrôle fréquent de la qualité de l'eau qui circule.
- ✓ La maintenance et le nettoyage régulier des installations industrielles.
- ✓ Ajout des inhibiteurs chimiques.

III.5.2. Le colmatage :

Le colmatage est défini comme l'accumulation de matière à la surface de la membrane, les eaux naturelles contiennent la plupart du temps des matières organiques en suspension qui vont avoir tendance à se déposer sur les surfaces d'échanges et à les colmater [18].

III.5.2.1. La lutte contre colmatage :

Il est essentiel de maintenir des mesures de préventions tout en minimisant les problèmes de colmatage.

- Effectuer une surveillance constante de l'état des équipements et de réaliser leur maintenance d'une manière régulière afin de prévenir le colmatage.
- La sélection des équipements peut aussi contribuer à la prévention du colmatage, certains types d'équipements étant plus résistants au colmatage que d'autres.

III.5.3. Corrosion :

C'est la conséquence de l'agressivité marquée de l'eau de mer aux températures élevée, elle s'explique par la teneur élevée en ions de chlorures qui facilitent le développement d'effet

galvaniques favorisé par la présence d'oxygène dissous, des bactéries, d'organismes marins divers et de sulfure d'hydrogène [19]



Figure III.5 : obstruction des tubes à cause de la corrosion.

Ce phénomène intervient dans la dégradation des caractéristiques de filtration d'une membrane et généré l'obstruction des sections de passage.



Figure III.6 : Corrosion.

III.5.3.1. Méthodes de l'élimination des facteurs de la corrosion :

- Utilisation des inhibiteurs de corrosion (cathodiques, anodiques et mixte anodiques et cathodiques).
- Neutralisation des substances acides
- Les revêtements des équipements pour la protection physique par les revêtements métalliques (l'acier galvanisé) ou les revêtements organiques (les peintures...).

III.6. La lutte contre les problèmes des dessaleurs dans le complexe GL2/Z :

III.6.1 Les ajouts chimiques dans unité du dessalement MSF :

❖ Agents anti tartre :

Les installations de dessalement sont régulièrement confrontées à l'accumulation des dépôts de tartre sur leurs surfaces ce qui entraîne divers problèmes d'exploitation et de la baisse de production et afin de lutte contre ces problèmes, des additifs anti tartre son utilisée.

Les agents anti tartre les plus utilisés sont les polymères dérivés de l'acide maléique, ils possèdent la propriété de prévenir précipitation des substances dissoutes et l'accumulation de dépôt sur les surfaces.

❖ Agents anti mousse :

Un anti mousse est un agent chimique utilisé pour réduire la formation de mousse dans le liquide.

Dans le processus de distillation multi flash la mousse générée par l'eau de mer est plus problématique lorsque les séparateurs sont proches de la surface de circuit de saumure, cette configuration ne permet la séparation que d'un volume limité entre la phase liquide et la phase vapeur. Les agents anti mousse utilisé son généralement des poly glycols alkylés, des acides gras et des asters d'acides gras. Ces agents tensioactifs la formation de mousse.

Cette formation de mousse est principalement due aux constituants organiques de l'eau de mer et la dégradation d'algues planctoniques.

III.6.2. Procédure de lessivage chimique :

Le lessivage acide est utilisé dans divers industrie pour la maintenance des équipements, qui sert à éliminer les dépôts de tartre accumulés avec le temps. Cette méthode consiste à faire circuler une solution d'une forte concentration composée d'acide sulfamique et de Rhodine 141 M pour une élimination efficace tout en préservant l'intégrité des tubes des faisceaux.

Pendant l'évaporation, il est important de prendre en considération la quantité d'acide utilisé, la durée, les changements de pH et la température de l'eau de dilution.

L'acide sulfamique est à utiliser dans le lessivage chimique en solution avec une concentration maximale **8 à 10%** en poids et il est inhibé par l'ajout de Rhodine 141 M à hauteur de **2 à 5%** en poids.

III.6.2.1. Les conditions préliminaires de lessivage d'acide :

- ❖ Utilisation d'inhibiteur de corrosion (Rhodine 141) compatible avec l'acide sulfamique
- ❖ Une la concentration d'acide sulfamique à 5% massique.
- ❖ Contrôle de la température du système qui doit être maintenue entre 50 et 60°C pour une optimisation efficace de nettoyage.
- ❖ Effectuation de processus de lessivage doit être en mode circulation pour assurer la distribution uniforme de l'acide.
- ❖ Les tubes des condenseurs et d'évaporateurs ne doivent être complètement obstrués par les dépôts pour éviter empêchement d'écoulement.

« **Partie expérimentale** »

1. Introduction :

Le complexe GL2/Z est équipé par un service laboratoire où il permet d'effectuer des analyses régulières et des contrôles de la production et de la qualité des produits finis, avec une surveillance de tous les paramètres qui influent sur la durée de vie des différents équipements et installations.

En raison des problèmes déjà mentionnés précédemment (la corrosion, entartrage, colmatage,), la production de l'eau dessalée est en diminution constamment avec le temps, ce qui nous emmène à une vérification des paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement au niveau de complexe GL2/Z.

2. Le traitement des eaux dessalées dans le complexe GL2 /Z :

Le laboratoire du complexe GNL2/Z réalise deux catégories d'analyses pour maintenir et vérifier la qualité de l'eau dessalée produite. Les analyses effectuées sont les suivantes :

- a) **Analyses systématiques régulières :** effectuées quotidiennement selon un planning établi.
- b) **Analyses courantes non planifiées :** réalisées selon les besoins et les demandes spécifiques du département de production.

2.1. Les analyses systématiques régulières :

2.1.1. Mesure de la conductivité électrique :

□ Définition :

La conductivité électrique est une propriété qui caractérise la capacité d'un matériau ou d'une solution à permettre le déplacement libre des charges électriques, Elle est mesurée en $S.m^{-1}$ (siemens par mètre) selon le système international d'unités.

Le conductimètre **Figure 1** est utilisé pour mesurer la conductivité électrique d'une solution pour identifier la présence d'électrolytes dissous dans l'eau comme l'eau alimentant les chaudières, l'eau dessalée et l'eau de refroidissement.

La conductivité a tendu d'augmenter avec la concentration de sels ioniques dissous et la température influençant par la présence d'ions dans l'eau, généralement la température standard d'évaluation de la conductivité est 25 °C.

La conductivité est un paramètre très important à surveiller pour assurer le bon fonctionnement des systèmes donc la conductivité ne doit pas dépasser $8 \mu\text{S}/\text{cm}$.



Figure 1: conductimètre.

□ **Le but de traitement :**

Cette procédure estime la conductivité électrique de l'eau qui sert à déterminer approximativement la concentration des électrolyses dissous dans l'eau d'alimentation des chaudières, les eaux de refroidissement.

□ **Mode opératoire :**

- ✓ Allumer l'appareil,
- ✓ Rincer la sonde avec l'eau distillée avant chaque utilisation,
- ✓ Rincer la sonde une fois avec l'échantillon,
- ✓ Plonger la sonde dans le bêcher contenant l'échantillon,
- ✓ Lire la valeur de la conductivité indiquée sur le cadran du conductimètre

□ **Objectif de manipulation :**

En utilisant un conductimètre, nous pouvons mesurer la conductivité de l'eau, ce qui nous permet d'évaluer sa qualité et vérifier sa pureté.

Les résultats de la conductivité de l'eau dessalée produite par le complexe sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Résultats des mesures de la conductivité électrique de l'eau dessalée (du 01 au 16 mars 2024).

Date	2010LB	2010LD	2010LE	La norme
01/03/2024	3,1	2,6	3,6	8
02/03/2024	2	2,2	3	8
03/03/2024	2,2	2,4	3	8
04/03/2024	-	2,3	3,1	8
05/03/2024	-	2,3	4,2	8
06/03/2024	3,6	2,6	3,7	8
07/03/2024	3,8	2,9	3,7	8
08/03/2024	2,8	2,8	3,4	8
09/03/2024	2,7	2,9	3,1	8
10/03/2024	2,3	3,1	3,3	8
11/03/2024	1,7	1,9	2,6	8
12/03/2024	2,6	2,9	3,5	8
13/03/2024	3	2,4	4,2	8
14/03/2024	2,2	2,6	3,4	8
15/03/2024	2,1	2,6	3,7	8
16/03/2024	2,7	3,6	2,9	8

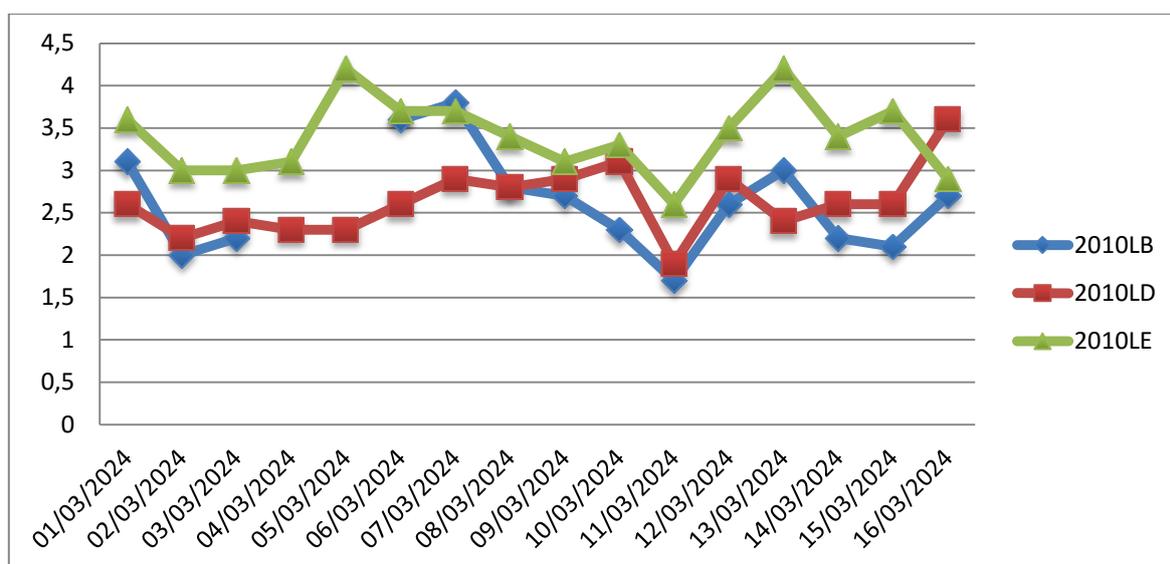


Figure 2 : Variation de la conductivité électrique des eaux dessalées produites par les unités 2010 L B /2010LD/2010LE du mois de Mars.

□ **Interprétation des résultats :**

D'après le graphe de la **Figure 2**, on constate que les conductivités électriques des 3 dessaleurs ne dépassent pas la limite de 8 dans l'eau distillée. Elles varient entre 1,7 μ s/cm et 4,2 μ s/cm qui sont des valeurs dans les normes.

2.1.2. Mesure de pH :

□ **Définition :**

Le pH ou le potentiel hydrogène, c'est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogènes en solution indiquant son acidité ou basicité. Ces ions sont présents sous forme d'ions hydronium. Le pH du dessaleur varie dans un intervalle de [6 – 8].

L'analyse du pH se fait à température ambiante et il se mesure par le pH-mètre **Figure 3**.



Figure 3: pH-mètre

Les résultats de la mesure pH de l'eau dessalée produite par le complexe sont représentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 2 : Résultats des mesures de pH de l'eau dessalée (du 01 au 16 mars 2024).

Date	2010LB	2010LD	2010LE
01/03/2024	6,7	6,7	6,6
02/03/2024	6,6	6,6	6,6
03/03/2024	6,6	6,7	6,7
04/03/2024	-	6,6	6,5
05/03/2024	-	6,4	6,6
06/03/2024	6,7	6,6	6,5
07/03/2024	6,6	6,5	6,6
08/03/2024	6,5	6,4	6,6
09/03/2024	6,5	6,5	6,5
10/03/2024	6,6	6,6	6,5
11/03/2024	6,7	6,6	6,6
12/03/2024	6,4	6,5	6,5
13/03/2024	6,5	6,6	6,6
14/03/2024	6,4	6,4	6,4
15/03/2024	6,5	6,5	6,4
16/03/2024	6,5	6,6	6,5

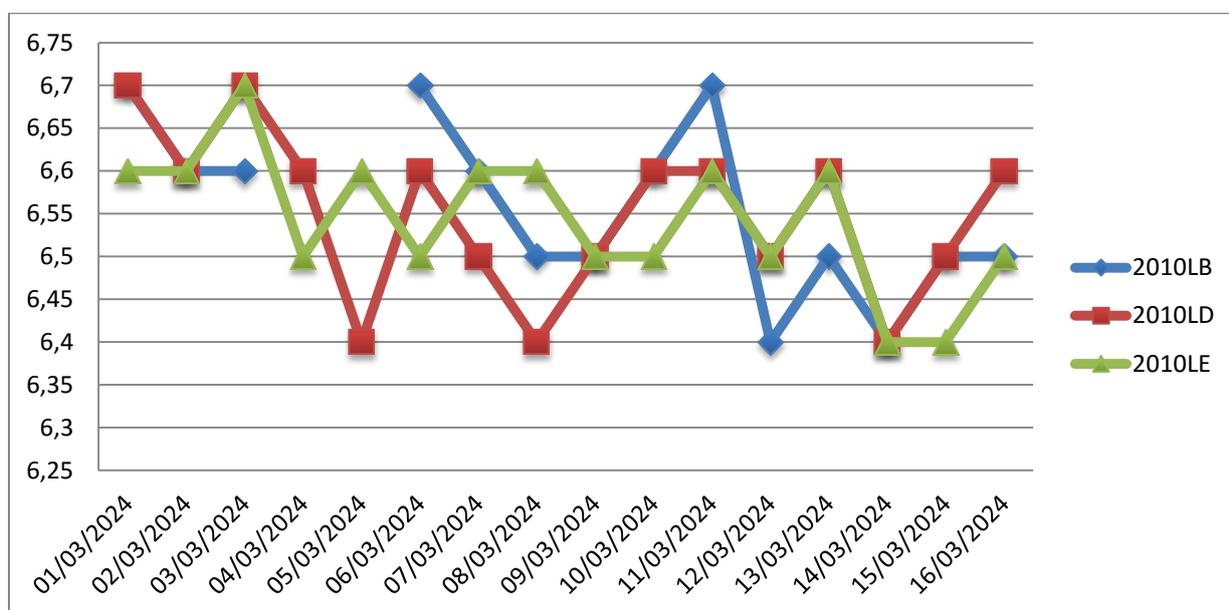


Figure 4 : Variation de pH des eaux dessalées produites par les unités 2010 L B /2010LD/2010LE du mois de Mars.

□ **Mode opératoire :**

- ✓ Mettre l'appareil en service, le laisser chauffer et le ramener à l'équilibre électrique.
- ✓ Rincer l'électrode et le bécher avant chaque utilisation avec de l'eau distillée, calibrer le pH mètre avec les solutions tampons.
- ✓ Amener l'échantillon à une température voisine de la température ambiante, pour obtenir une bonne précision de mesure,
- ✓ Placer l'électrode dans le bécher, contenant l'échantillon, et laisser la valeur se stabiliser sur le cadran avant la lecture du résultat.

□ **Interprétation des résultats :**

À partir du graphe de **Figure 4** qui illustre les résultats de mesure du pH réalisée sur des échantillons d'eau dessalée produite par les dessaleurs 2010 LA/B/E du complexe GL2/Z, on remarque une légère variation du pH, mais ce dernier reste toujours dans les normes.

2.1.3. Dosage de chlorure :

La méthode de dosage est basée sur la fixation des ions **Cl** par les ions **Hg²⁺** en un sel, pour former un composé qui se caractérise par sa faible solubilité appelé **HgCl₂** . Durant cette réaction chimique, on effectue le titrage en utilisant une solution de nitrate de mercure. La réaction est la suivante :



La méthode de dosage nous permet de mesurer la teneur des chlorures dans l'eau qui ne doit pas dépasser 1 ppm d'après le design.

□ **Mode opératoire :**

- ✓ Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml.
- ✓ Ajouter 1 ml d'acide nitrique HNO₃ à (0,1 N).
- ✓ Ajouter 2 à 3 gouttes de diphénylcarbazon, puis agiter (on obtient une coloration jaune),
- ✓ Remplir la burette de précision de 50 ml avec la solution de nitrate de mercure Hg(NO₃)₂ à (0,0014 N). Ajouter, goutte à goutte, la solution mercurique dans l'erlenmeyer, jusqu'à ce que l'on obtienne une coloration bleu violacé.
- ✓ Noter le volume écoulé de la solution d'Hg (NO₂)₂.

Les résultats se trouvent dans le tableau ci-dessous :

Tableau.3: Résultats des mesures de chlorure l'eau dessalée (du 01 au 16 mars 2024).

Date	2010LB	2010LD	2010LE
01/03/2024	0,2	0,2	0,2
02/03/2024	0,2	0,2	0,2
03/03/2024	0,2	0,2	0,2
04/03/2024		0,2	0,2
05/03/2024			0,6
06/03/2024	0.45	0,2	0,2
07/03/2024	0,2	0,2	0,2
08/03/2024	0,2	0,2	0,2
09/03/2024	0,2	0,2	0,2
10/03/2024	0,2	0,2	0,2
11/03/2024	0,2	0,2	0,5
12/03/2024	0,2	0,2	0,2
13/03/2024	0,2	0,2	0,4
14/03/2024	0,2	0,2	0,2
15/03/2024	0,2	0,2	0,2
16/03/2024	0,2	0,2	0,2

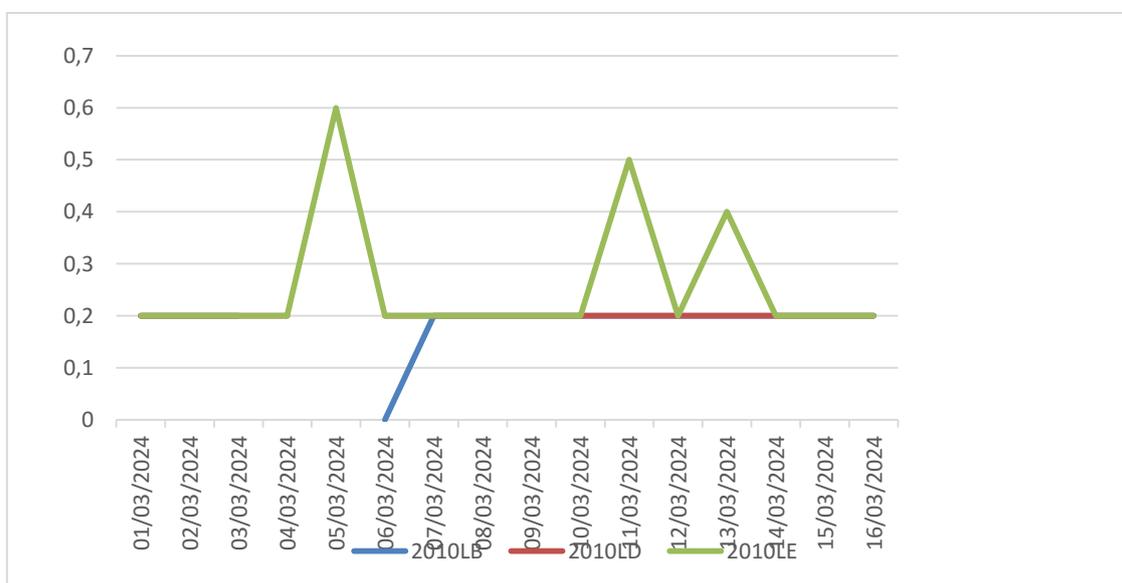


Figure 5: Variation de chlorure des eaux dessalées produites par les unités 2010 L B /2010LD/2010LE du mois de Mars.

□ **Interprétation des résultats :**

D'après le **Tableau 3**, on constate que les teneurs des ions de chlorure ne dépassent pas la limite de 1 ppm dans l'eau dessalé. Leur concentration varie entre -0.2 ppm et 0.6 ppm, les valeurs sont dans la norme

2.2. Les analyses courantes non planifiées :

2.2.1. Mesure de l'ammoniaque NH₄ :

Cette mesure est pour but de déterminer de la teneur en ammoniaque, car une concentration élevée de cette dernière favorise la corrosion de l'alliage en cuivre. NH₄⁺ est un agent corrosif très puissant qui peut attaquer la tuyauterie en alliage de cuivre. C'est une base forte qui favorise la prolifération des micro-organismes et augmente la conductivité de l'eau dessalée et engendre, par conséquent, la mise à l'égout de l'eau dessalée (perte considérable du produit dessalé)

□ Mode opératoire :

- Prendre 25 ml d'échantillon.
- Ajouter 1 ml de réactif de Nessler, agiter.
- Attendre entre 10 et 25 minutes.
- Passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde = 425 nm.
- Lire l'absorbance.

3. Les analyses de qualité d'acide sulfamique :

Avant de faire le détartrage, il est nécessaire de vérifier la qualité d'acide sulfamique utilisée. Les résultats d'analyse de qualité d'acide sulfamique présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4: présente les résultats des analyses de qualité d'acide sulfamique. (Le19.02.2023)

Paramètre	Spécification, sources (demandeurs)	Résultats laboratoire GL2Z	Méthode (normes), procédure
Aspect	poudre	poudre	Examen visuel
Couleur	Blanc	Blanc	Examen visuel
Densité	2.15	2.12	Pesée

pH à 10%	<1	0.64	pH – mètre
Concentration	95 %	94.8%	Dosage acido basique

□ **Remarque :**

A partir des résultats du Tableau 4, on remarque que l'acide sulfamique est en bonne qualité.

4. Le test de détartrage :

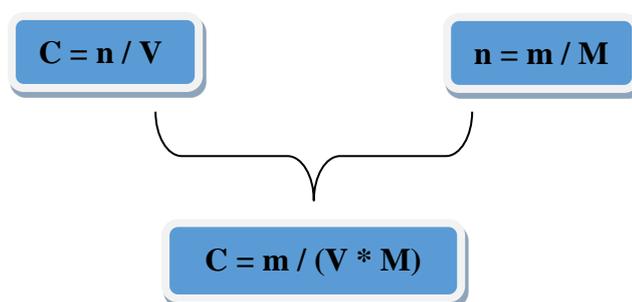
Le test de détartrage est une méthode effectuera avec de l'acide sulfamique ($\text{NH}_2 \text{SO}_3\text{H}$) comme agent nettoyant, additionné d'un inhibiteur de corrosion « Rhodine 141 » pour limiter l'effet corrosif de l'acide.

Cette méthode consiste a déterminé la concentration appropriée de l'acide sulfamique qu'il faut utiliser lors d'un lessivage chimique des unités de dessalement en fonction de temps.

□ **Mode opératoire :**

Préparation des solutions d'acide sulfamique à différentes concentrations (3%, 4%, 5%, 7%, 10%).

Calcul théorique de la masse de l'acide sulfamique appropriée à chaque concentration :



Avec : $M = 97,1 \text{ g / mol}$; $V = 250 \text{ ml}$.

Exemple de calcul :

Calcul de la masse de l'acide sulfamique introduite dans la solution de concentration de 3% :

La masse (m) = C * V * M = 0,03 * 250 * 10⁻³ * 97,1 = 0,73 g.

Le tableau suivant résume toutes les masses utilisées à différentes concentrations lors de la manipulation :

Tableau 5: Les valeurs théoriques de la masse de l'acide sulfamique utilisé dans chaque solution.

Concentration (C)	3 %	4 %	5 %	7 %	10 %
Masse (m)	0,73 g	1,21 g	1,69 g	2,42 g	2,91 g

4.1. Les résultats de test de détartrage :

Tableau 6: Les valeurs du pH prélevées sur les cinq (05) solutions d'acide sulfamique préparés.

TEMPS (MIN)	PH DE LA SOLUTION A 3%	PH DE LA SOLUTION A 4%	PH DE LA SOLUTION A 5%	PH DE LA SOLUTION A 7%	PH DE LA SOLUTION A 10%
0	0,81	0,71	0,62	0,45	0,27
15	0,84	0,76	0,70	0,55	0,39
30	0,88	0,81	0,77	0,64	0,50
45	0,90	0,84	0,82	0,70	0,55
60	0,94	0,88	0,85	0,73	0,55
75	0,96	0,91	0,87	0,74	0,55
90	0,98	0,93	0,87	0,74	--
105	1,0	0,95	0,87	--	--
120	1,03	0,95	--	--	--
135	1,03	0,95	--	--	--

□ Interprétation des résultats :

Le **tableau 6** présente chaque solution d'acide sulfamique avec sa propre concentration et la stabilisation du pH indique la fin du test de détartrage.

Chaque concentration d'acide sulfamique a dissocié la masse de tartre introduite dans cette dernière. Le temps de détartrage pour chaque concentration est représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 : La concentration de l'acide sulfamique en fonction du temps.

Concentration d'acide sulfamique en (%)	Temps de détartrage en (min)
3	120
4	105
5	75
7	60
10	45

5.Caractéristiques de fonctionnement de dessaleurs :

5.1Rendement des unités de dessalement :

Unité de dessalement	Taux de fonctionnement	Taux de production
Dessaleur 2010LA	83 %	40%
Dessaleur 2010 LB	58 %	29%
Dessaleur 2010 LC	62 %	28 %
Dessaleur 2010 LD	86%	43 %
Dessaleur 2010 LE	77 %	31 %



Figure 6: rendement moyen des unités de dessalement durant les cinq dernières années (2018 – 2023).

Durant les cinq dernières années, nous remarquons que les unités de dessalement 2010LD/2010LA/2010LE étaient les plus rentables.

En comparant les unités de dessalement nous trouvons que les unités 2010LB/2010LC étaient les moins rentables

Le taux de fonctionnement des dessaleurs de l'unité de dessalement au niveau de complexe GL2/Z durant les 5 dernières années est différent au taux de fonctionnement au début de la marche de l'unité, où l'unité atteignait un taux de fonctionnement maximale de 98 % correspondant à un débit maximale de $45 \text{ m}^3 / \text{h}$ dans ses débuts.

6. paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement :

6.1. Production de l'eau dessalée dans le complexe GL2/Z :

Tableau 8: Production totale de l'eau dessalée et le taux de production correspondant des dessaleurs type MSF.

Temps (mois)	Production totale E.Dm ³ /h	Production design	Taux de production
Août 2023	45,556	101,110	20,11 %
Septembre 2023	47,768	97,848	21,08 %

Octobre 2023	50,641	101,110	22,35 %
Novembre 2023	28,039	97,848	12,37 %
Décembre 2023	40,532	101,110	17,89 %
Janvier 2024	39,813	101,110	17,57 %
Février 2024	41,220	91,325	18,19 %

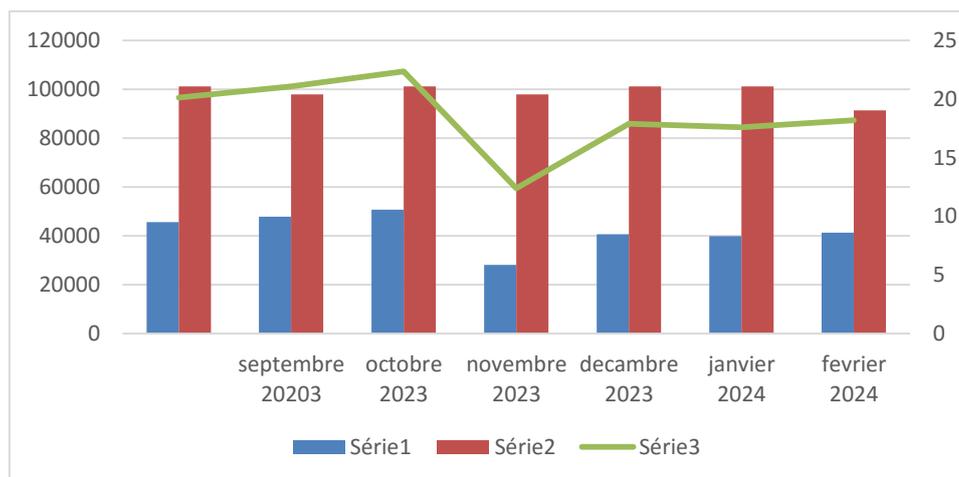


Figure 7: Variation de Production totale de l'eau dessalée et le taux de production correspondant des dessaleurs type MSF (Août 2023- Février 2024).

□ Interprétation des résultats :

Les données présentées dans le graphe de la **Figure 6**, illustrent l'évolution de la production ainsi que le taux de production correspondant de l'eau dessalée produite par les dessaleurs de type MSF, sur une période d'étude qui s'étale sur les sept (07) mois, d'août2023 à février 2024.

On remarque clairement qu'une diminution significative de la production d'eau distillée au cours des deux années pour atteindre le taux le plus bas qui est de **12,37 %** en **Novembre 2023**. Ce qui équivaut à une production d'eau dessalée égale à **28,039m³ / h**

Nous constatons ainsi que la production moyenne des cinq (05) dessaleurs de type MSF est de **28,039m³/h**, au lieu de la valeur de **226,5m³/h**, préconisée par le design.

7. Consommation de KAHRAMA :

La production de l'eau dessalée est en diminution très remarquable, à cet effet l'importation de l'eau d'appoint à partir KAHRAMA est devenue indispensable pour le fonctionnement des chaudières.

La consommation de l'eau d'appoint de KAHRAMA est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : consommation de KAHRAMA.

Mois	Consommation Kahrama 2022	Consommation Kahrama 2023
JAN	22 010	89 060
FEV	40 750	67 170
MARS	62 740	74 280
AVRIL	87 810	64 260
MAI	53 190	106 540
JUIN	70 750	97 970
JUILLET	90 580	103 620
AOUT	64 870	109 810
SEP	62 400	115 190
OCT	66 220	135 920
NOV	69 500	104 850
DEC	92 540	102 550

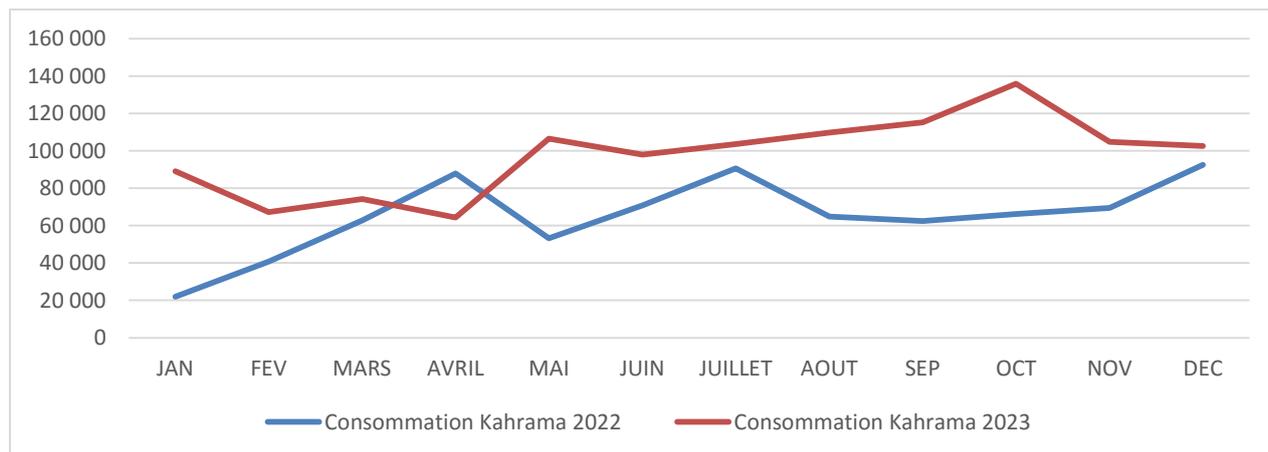


Figure 8: Consommation KAHRAMA mensuelle en 2022 et 2023.

□ **Interprétation des résultats :**

À partir du graphe de la **Figure 7**, on remarque que la consommation de KAHRAMA a augmenté au cours des deux dernières années, avec un écart significatif entre 2022 et 2023, en particulier en 2023 où la consommation a été nettement plus élevée. La dépendance croissante du complexe GL2Z à l’égard de KAHRAMA pour contrebalancer la réduction de sa production d’eau distillée.

8. les heures de marche dessaleurs:

La diminution de production de l’eau dessalée est causée par le dysfonctionnement des dessaleurs qui est favorisé par des problèmes de tartre et de corrosion.

Ce dysfonctionnement contribue à l’indisponibilité des dessaleurs et le tableau ci dessous montre les heures de marche des dessaleurs pendant deux mois (janvier et février) :

Tableau 10 : les heures de marche de cinq (5) dessaleurs de type MSF.

	Dessaleur 2010 LA		Dessaleur 2010 LB		Dessaleur 2010 LC		Dessaleur 2010 LD		Dessaleur 2010 LE	
	Hs	Hvst	Hs	Hvst	Hs	Hvst	Hs	Hvst	Hs	Hvst
Janvier 2024	0	0	644.67	643.35	0	0	507.7	510.28	744	742.92
Février 2024	0	0	312.25	291.70	0	0	439.15	438.58	696	694.97

Hs : heures de service.

Hvst : heures vers stockage.

□ **Interprétation résultats :**

On remarque d'après le **tableau 10** que les deux dessaleurs **2010 LA /2010 LC** n'ont pas fonctionnés au cours du mois de janvier et février et le fonctionnement des deux dessaleurs **2010 LB /2010LD** a diminué.

Le dessaleur 2010LE a fonctionné durant tous les deux mois sans arrêt.

9. Conclusion :

D'après les résultats de l'analyse de l'eau dessalée produite par les trois dessaleurs on remarque que :

- La conductivité des trois dessaleurs reste inférieure à la norme (8 $\mu\text{s}/\text{cm}$)
- Les valeurs du pH au niveau des trois dessaleurs restent dans la moyenne entre 6 et 8 donc les valeurs sont dans la norme,
- Les chlorures ne dépassent pas l'unité de 1 ppm donc ils sont dans la norme.

D'après les résultats obtenus, on constate que le procédé MSF utilisé dans le complexe GL2/Z est performant pour produire de l'eau de bonne qualité à partir du traitement de l'eau de mer mais après la vérification des paramètres de fonctionnement on constate qu'il ya une limitation de production de l'eau dessalée au niveau de l'unité de dessalement de complexe GL2/Z.

« Conclusion générale et les recommandations »

Conclusion générale et recommandations

Les recherches effectuées dans le cadre de cette thèse ont permis d'étudier le procédé de dessalement de l'eau de mer par MSF au complexe de GL2/Z et les dysfonctionnements qui conduisent au problème de la réduction de production de l'eau dessalée des unités de dessalement du complexe GL2/Z.

Les unités de dessalement peuvent être vulnérables à l'accumulation de tartre, qui a un impact principalement sur le réchauffeur de saumure et le condenseur de l'évaporateur et les raisons potentielles qui limitent la production d'eau dessalée sont exposées dans les points suivants :

Bouchage fréquent des réchauffeurs de saumure suite aux :

- Dysfonctionnement de l'unité de chloration.
- Dysfonctionnement du système autonettoyant des filtres arrivé EDM du dessaleur 2010LA/2010LB/2010LC/2010LD/2010LE

Dysfonctionnement de système de vide suite aux :

- Percement des tubes d'éjecteurs qui provoque la pénétration d'air dans la cellule sous vide de l'unité en présence d'une corrosion avancée sur la paroi externe des condenseurs éjecteurs.

Problèmes au niveau du bac de lessivage chimique à cause de :

- Dysfonctionnement de l'agitateur qui influe sur le bon déroulement de l'opération
- Fissuration du fond de la cuvette due à la réaction chimique de la solution.
- Chute de performance des deux pompes de circulation d'acide (baisse de débit et pression de refoulement).

Le mauvais dosage de l'anti tartre et l'anti mousse.

Après avoir examiné la situation, nous recommandons :

- ✓ L'amélioration des procédés de prétraitement de l'eau de mer, avant son arrivée à l'installation (la chloration).
- ✓ Remettre en service le système automatique des filtres autonettoyants des dessaleurs.

- ✓ Effectuer automatiquement un nettoyage chimique de chaque unité de dessalement après une période de six mois pour maintenir les performances et la durabilité des équipements et s'assurer que la quantité d'acide nécessaire est disponible avant de lancer l'opération de lessivage
- ✓ Le revêtement des installations pour éviter la corrosion qui conduisent à l'obstruction des équipements.
- ✓ Amélioration et, si nécessaire, remplacement des pompes chimiques et des moteurs d'agitateur
- ✓ Respecter la dose de l'anti tartre et l'anti mousse indiqué par le design.

« Références bibliographiques »

Références bibliographiques :

- [1] Thomas Wintgens, Yusong Li , Christian Kazner , Water resources and industry , march-june 2013
- [2] Hala Al-Fulaij, Andrea Cipollina, David Bogle, and Hisham Ettouney. 2010. Steady state and dynamic models of multistage flash desalination: A review. Desalination and Water Treatment 13, 1-3 (2010), 42–52.
- [3] Bashir Brika. Water resources and desalination in Libya: A review. In Proceedings, Vol. 2. MDPI, Greece, 586. 2018
- [4] Sylvie Cornot-Gandolphe, Jean-Marie Jost, Bernard Durand (ingénieur).Le gaz naturel de la production aux marchés, 2013
- [5] Le gaz naturel, Par Gaz de France. Département des relations publiques · 1981
- [6] BENHALLOU Wassila, BAHA Imene, Contribution à l'étude de l'élimination de dioxyde de carbone du gaz naturel Algérien par PVC membranaire, mémoire de fin d'étude, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2022.
- [7] BOUABDALLAH HALIME, BEHILIL MED. EL-AMINE, étude de procédé et la conductivité du dessalement de l'eau de mer de la station de la station de Mostaganem, mémoire de fin d'étude, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2021.
- [8] Gérard COPIN-MONTÉGUT, Propriétés physiques de l'eau de mer, technique -ingénieur, 18 mars 2024.
- [9] ATALLAH .ABDERRAZAK, Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station HONAINE. Mémoire de fin d'étude, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 99 pages, 2014.
- [10] REZIM Fatiha, TACHETAOUI Kheira, étude de performance de station dessalement d'eau de mer de FOUKA wilaya de TIPAZA, Mémoire de fin d'étude, UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA1, 2020.
- [11] KEDDARI Fella, Concept et paramètres de traitement de l'eau de mer par la Station de Dessalement de Ténès, Mémoire de Licence professionnelle, l'Université Akli M'hand Oulhadj – Bouira ,2020.

[12] BOUKELLAL Imane, HANANE Abdelghan, Etude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station de cap Djinet de la wilaya de Boumerdes, mémoire de fin d'étude, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2015.

[13] KHITER SOUAD, suivi de cycle de production de l'eau distillée au niveau de FERTIAL, Mémoire de fin d'étude, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2016.

[14] Rovel Jean-Marie., Dessalement de l'eau de mer, Techniques-Ingénieur, (2012),

[15] BOURAHLA Fares Et DJELLID RabeH, Réalisation d'un appareil de distillation pour le dessalement d'eau de mer, mémoire de fin d'étude, université akli mohand oulhadj-bouira, 2022.

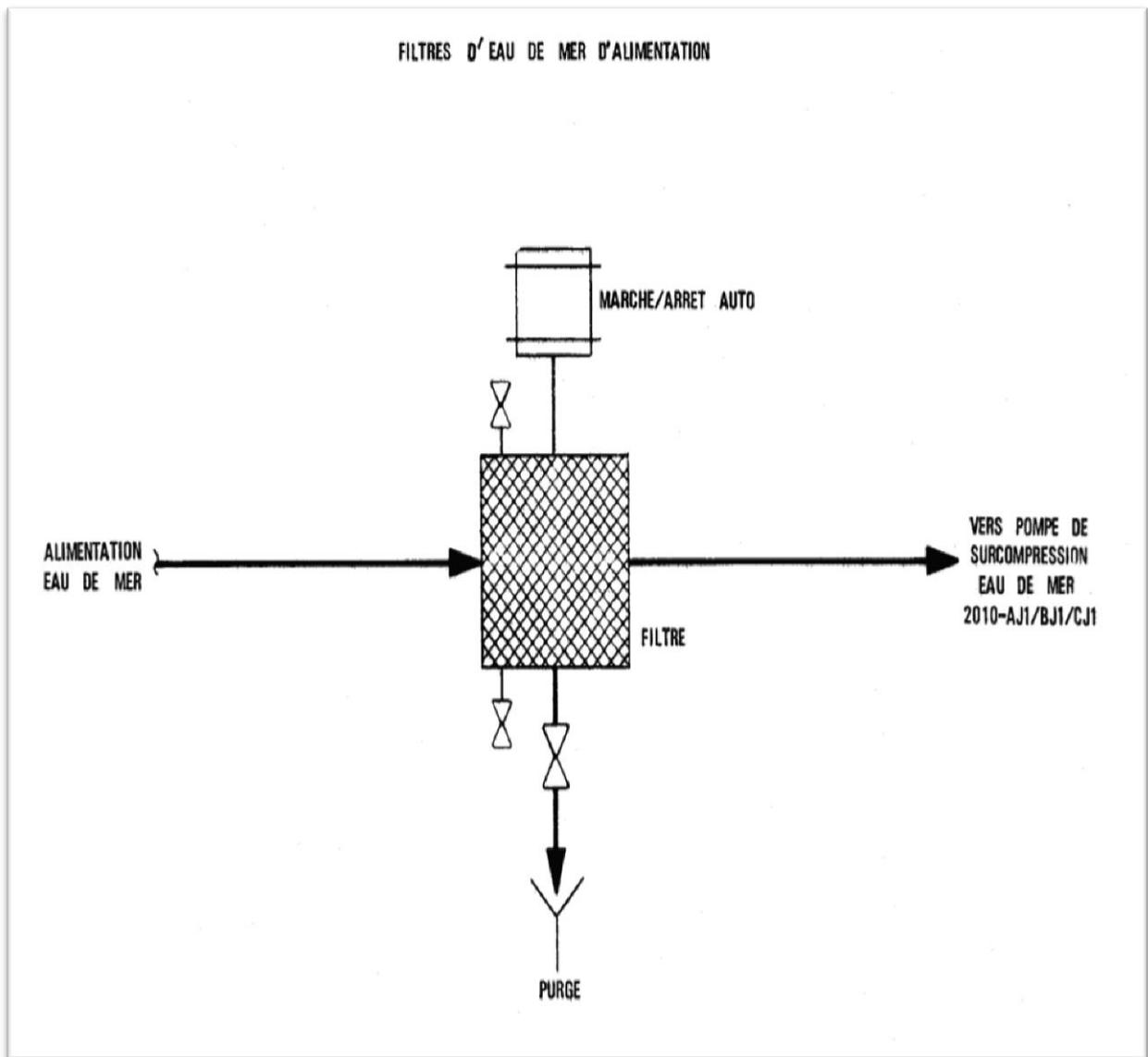
[16] Mourad AMITOUICHE, Impacts Des Rejets Des Stations De Dessalement Sur Le Milieu Recepteur, Mémoire fin d'étude, Université Mohamed Khider – Biskra, 2016.

[17] Amaury BUVIGNIER, Hélène CHEAP-CHARPENTIER, Fabrice CHAUSSEC, Guénolé CHAUSSEC, l'entartrage et son inhibition dans les réseaux d'eaux industrielles, techniques-Ingénieur, 10 avr 2023.

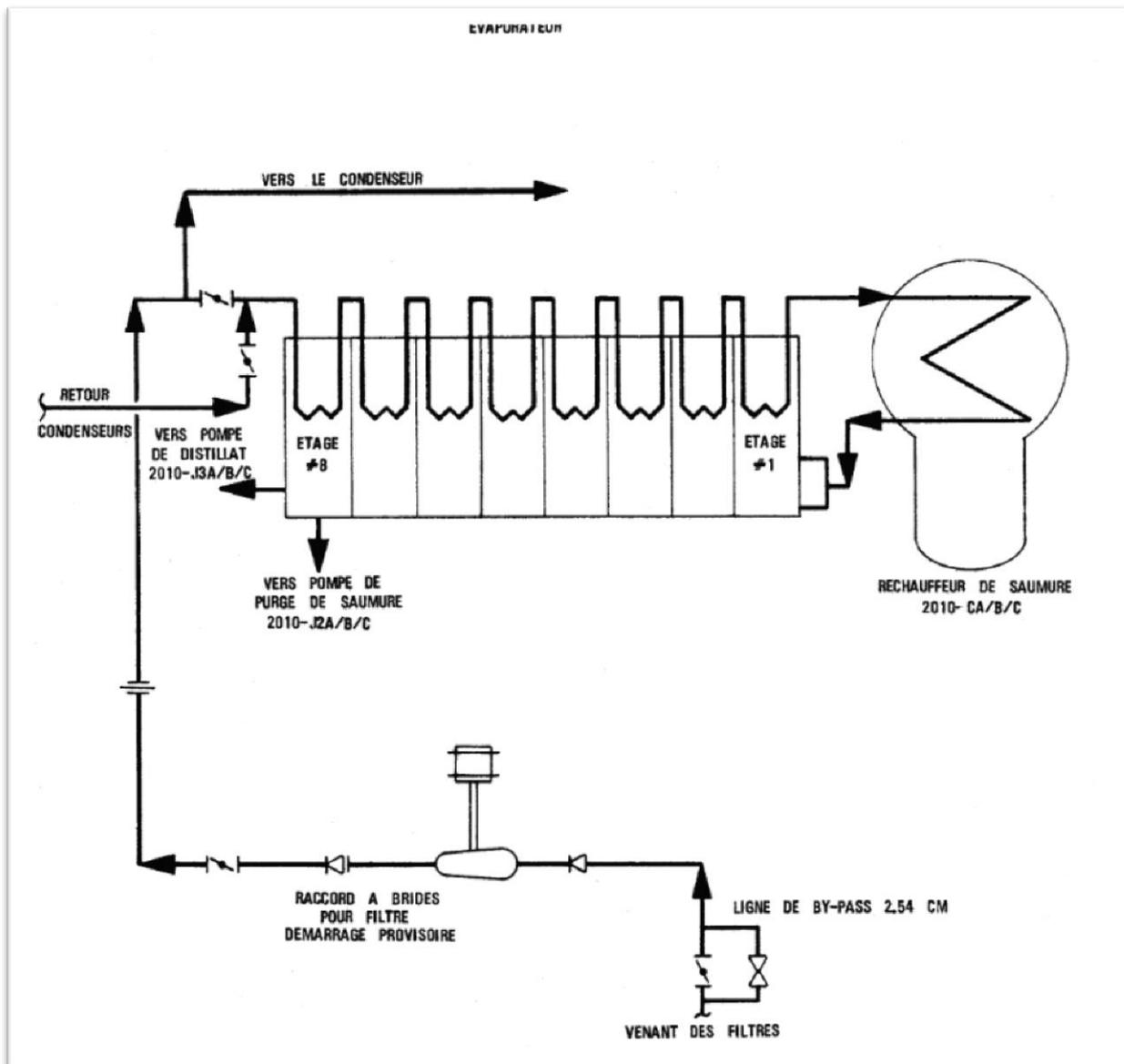
[18] BENDAHMANE Imane, ZEBBAR Mohamed, l'évaluation des performances d'osmose inverse, mémoire de fin d'étude, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.

[19] A.Lassouani et H. Benlebna. Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, station de Bousfer-Oran. Mémoire de magister, Université des sciences et la technologie Mohamed Boudiaf (Oran), 2016.

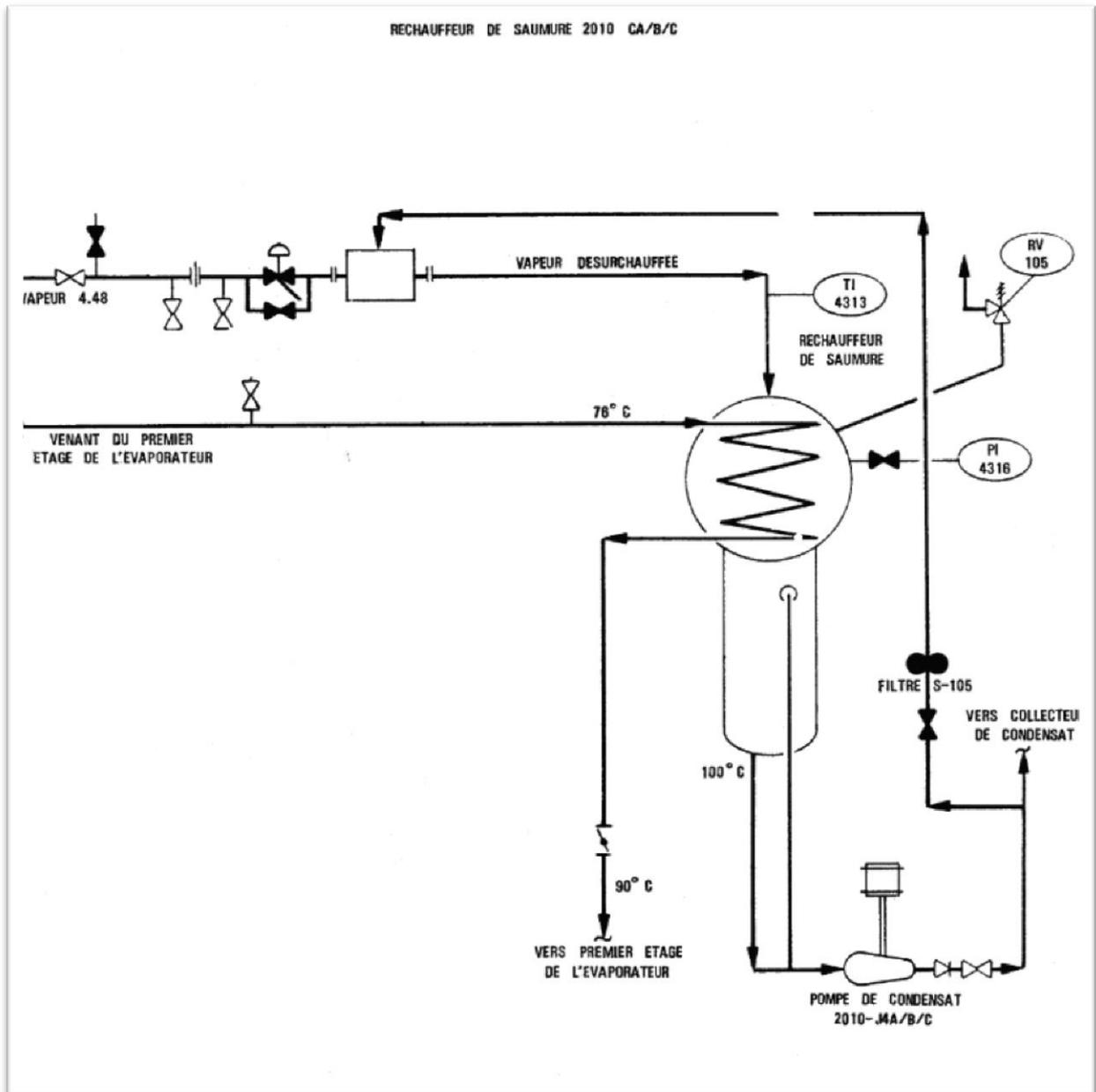
Les Annexes



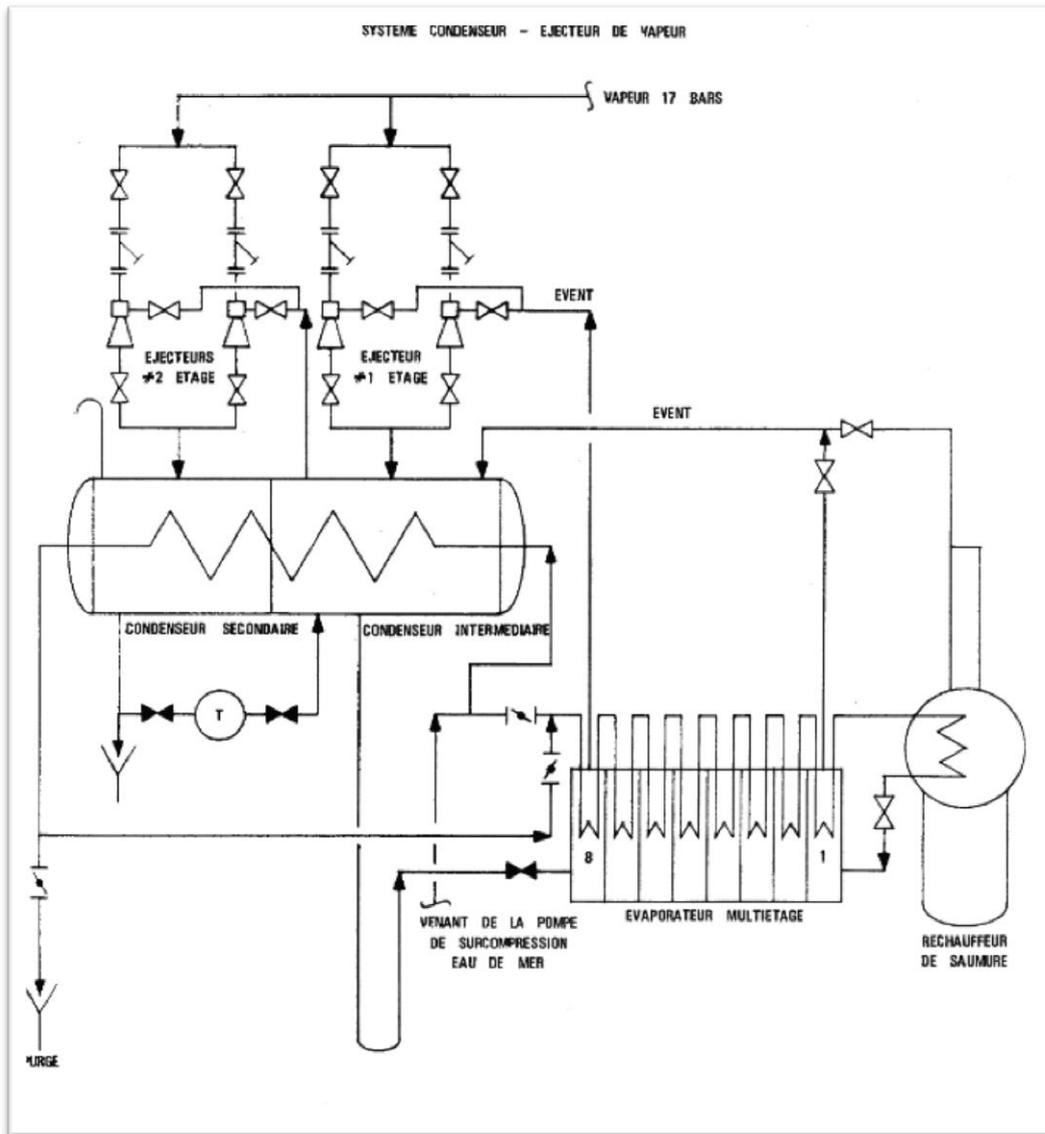
Annexe 1. A1 : Schéma simplifié d'un filtre d'eau de mer.



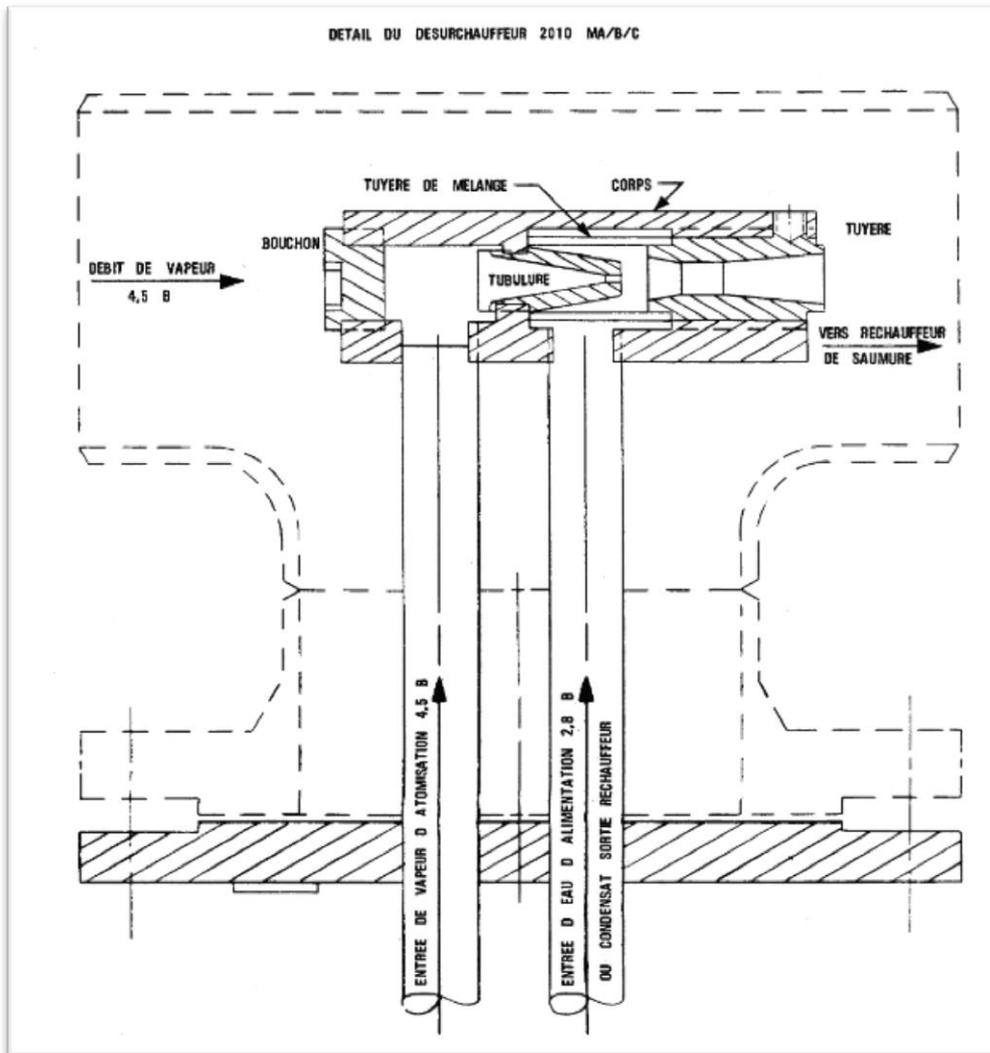
Annexe 2. A2 : Schéma simplifié d'un évaporateur.



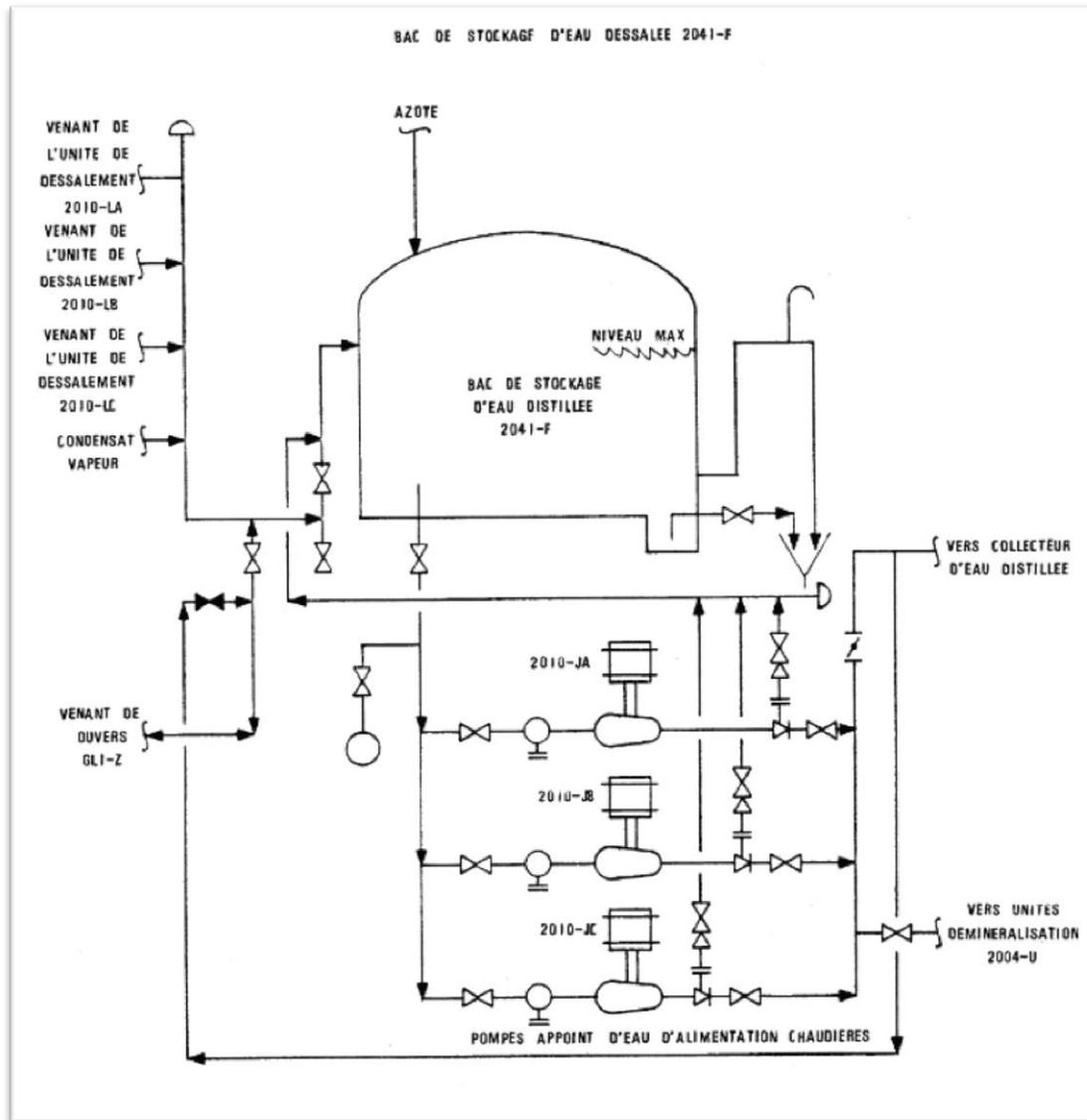
Annexe 3. A3 : Schéma simplifié d'un réchauffeur de saumure.



Annexe 4.A4 :schéma simplifié de système condenseur – éjecteur de vapeur.



Annexe 5. A5 : Schéma de désurchauffeur de vapeur.



Annexe 6. A6 : Schéma simplifié d'un bac de stockage d'eau dessalée.