

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية
الشعبية

People's Democratic republic of Algeria

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم

Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

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/2023

رقم :..... / ج .م / ك.ع.ت // 2023

MEMOIRE DE FIN D'Etudes

DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie des procédés des matériaux

Thème

Étude de problème de baisse de production d'eau dessalé au niveau du
Complexe GL2/Z

Présenté par

1-Saker Ikram

2-Smahi Rym Assila

Soutenu le 20/06/ 2023 devant le jury composé de :

Président :	BENDENIA SOUHILA	Professeur	Université de Abdelhamid ibn badiss
Examineur :	MOHAMED SGHIR ZAHIRA	MCB	Université de Abdelhamid ibn badiss
Rapporteur :	FEDDAL IMENE	MCA	Université de Abdelhamid ibn badiss

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Après avoir rendu grâce à Dieu, le tout puissant et miséricordieux, de nous avoir donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Nous désirons exprimer toute notre gratitude à notre encadreur
Mme. FEDDALE IMENE et notre encadreur à
SONATRACH Mme MAAROUF TAIBIA qui nous ont consacré tout
leur temps et nous ont bien orienté jusqu'au bout, pour leur
soutien et leur disponibilité.

Ainsi nous remercions les membres du jury
qui ont
bien voulu accepter d'examiner ce travail.

Nous tenons aussi exprimer toute notre reconnaissance et nos
sincères remerciements à l'ensemble du personnel du
département des utilités au sein du complexe GL2/Z
qui nous ont accordé très
généreusement leur temps et leur assistance ; aussi pour leur aide
Inestimable et leur gentillesse.

Enfin nos remerciements vont à nos chers parents, familles et à
toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de ce travail

Dédicaces

À mes très chers parents

Qu'aucune dédicace ne saurait suffisante pour exprimer mon amour éternel, mon respect et ma considération pour l'éducation qu'ils m'ont offerte et tous les sacrifices qu'ils ont faits et tous ce qu'ils ont donné pour mon instruction et mon bien être. Ma chère maman LEBHARI GHOUIEL qui a toujours été à mes côtés, encouragé et soutenu

jusqu'à la dernière minute. Mon cher papa SAKER CHAABANE qui inspire mon existence et qui m'a appris à être moi-même.

Ils resteront toujours ma plus grande fierté et la lumière qui éclaire ma vie.

À mes chères sœurs Dounia Imène et Mounira et à mon frère Salah

À mes chers Grands-parents

Qui nous a quitté

À mes tantes et mes oncles et à toute ma famille

à ma loula et Amirou

À mon cher binôme smahi rym

À ma chère amie houda feghoul

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs Sarah et Nabiha pour leurs encouragements permanents,
et leur soutien moral,

A mon chers frère, mesbah, pour son appui et son encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de
votre soutien infaillible, Merci d'être toujours là pour moi.

Résumé

Le complexe GL2/Z est chargé de produire et exporter du gaz naturel liquéfié (GNL), à partir du gaz naturel provenant du champ de Hassi R'mel. Le gaz naturel est traité puis liquéfié une température cryogénique de -162 °C dans six trains de liquéfaction. Les trains sont tous identiques et fonctionnent indépendamment, 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. Afin de subvenir à ses besoins en eau distillée, le complexe GL2/Z dispose de 6 unités de dessalement en l'occurrence les 2010LA/B/C/D/E, est de type détente à plusieurs étages (MSF) à simple effet. La capacité de production de chacune de ces unités est de 45,3 m³/h de distillat, soit une capacité totale de calcul de 226,5 m³/h pour ces cinq unités. L'ensemble des unités de dessalement du complexe GL2/Z présente un problème de baisse de production de l'eau dessalée. Cette baisse de production persiste depuis l'année 2010, L'objectif de notre étude est de déceler les origines de cette baisse de la production d'eau dessalée, afin de dégager un plan d'action pour une meilleure rentabilisation de ces unités.

ملخص

، باستخدام الغاز الطبيعي من حقل حاسي الرمل. تتم معالجة الغاز (LNG) مسؤول عن إنتاج وتصدير الغاز الطبيعي المسال GL2 / Z مجمع الطبيعي ثم تسيلته عند درجة حرارة مبردة تبلغ -162 درجة مئوية في ستة خطوط تسيل. جميع القطارات متطابقة وتعمل بشكل مستقل، باستخدام المنتجات المفيدة التي يوفرها قسم المرافق، مثل تبريد مياه البحر والبخار والكهرباء وجهاز الهواء والمياه من البحر المحلى. من أجل تلبية احتياجاته ، من نوع التمدد متعدد المراحل LA / B / C / D / E على 6 وحدات تحلية، في هذه الحالة GL2 / Z 2010 من المياه المقطرة، يحتوي مجمع لوحدات توليد الطاقة للإنتاج جميع القطارات تسيل، مما يعطي قدرة حسابية إجمالية قدرها (MSF). ثير التأكد مشكلة انخفاض إنتاج المياه المحلاة. استمر هذا GL2 / Z 226.5 م³ ساعة لهذه الوحدات الخمس. تمثل جميع وحدات التحلية في مجمع / الانخفاض في الإنتاج منذ عام 2010. والهدف من دراستنا هو تحديد أصول هذا الانخفاض في إنتاج المياه المحلاة، من أجل تحديد خطة عمل لتحسين ربحية هذه الوحدات

Summary

The GL2/Z complex is responsible for producing and exporting liquefied natural gas (LNG), using natural gas from the Hassi R'mel field. The natural gas is treated and then liquefied at a cryogenic temperature of -162°C in six liquefaction trains. The trains are all identical and operate independently, using useful products supplied by the utilities section, such as cooling sea water, steam, electricity, instrument air and water from desalinated sea.

In order to meet its distilled water needs, the GL2/Z complex has 6 desalination units, in this case the 2010LA/B/C/D/E, of the single-effect multi-stage expansion (MSF) type. The production capacity of each of these units is 45.3 m³/h of distillate, giving a total calculation capacity of 226.5 m³/h for these five units. All the desalination units of the GL2/Z complex present a problem of reduced production of desalinated water. This drop in production has persisted since 2010. The objective of our study is to identify the origins of this drop in the production of desalinated water, in order to identify an action plan for better profitability of these units.

Mots clés :

Dessalement, GL2/Z, MSF, Eau dessalée

Table des matières

Dédicaces	
Remercîment	
Listes des abréviations	
Listes des tableaux et figures	
Introduction générale et problématique	1
CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)	
.....Error! Bookmark not defined.	
I.1- Présentation du complexe GL2/Z :	3
I.2- Organigramme Générale du complexe GL2/Z :.....	4
I.3- Description et fonctionnement du complexe GL2/Z :.....	6
I.4- Les différentes unités du complexe GL2/Z :	7
I.4.1- Introduction :	7
I.4.2- Zone des procédés :	7
I.4.2.1- La démercurisation :	8
I.4.2.2- la décarbonatation et la déshydratation :	8
I.4.2.3- La liquéfaction :	10
I.4.2.4- Le fractionnement :	12
I.4.3- Zone utilités :	12
I.4.5- Zone stockage et expédition :	13
CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et	
description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z.....	18
II.1- Introduction :	18
II.2. Composition des eaux de mer :	18
II.3- Caractéristiques des eaux de mer :.....	19
II.3.1- La salinité	19
II.3.2- La dureté :	20
II.3. 3- La conductivité :	20
II .3.4- Le pH :	20
II.3.5- La solubilité :	21
II.4- Définition de dessalement :	21
II.5- Les techniques de dessalement d'eau de mer :	21
II.6- Les procédés de distillation ou de changement de phases :.....	23
II.6.1- Principe de distillation :	23
II.6.2- Procédés de distillation :	23

II.6.2.1- Introduction :	23
II.6.2.2- Distillation multi-flash (multi stage flash « MSF ») :	23
II.6.2.3- Distillation à simple effet :	24
II.6.2.4- Distillation à multiples effets (multi effet distillation « MED ») :	25
II.6.2.5- Distillation par compression de vapeur :	26
II.6.3- Les procédés membranaires :	27
II.6.3.1- Procédés d'osmose inverse :	27
II.6.3.2- Procédé d'électrodialyse :	28
II.6.4- Les critères de choix du procédé :	29
II.6.4.1- Critères économiques :	29
II.6.4.2- Critères techniques :	29
II.7- Unité de dessalement d'eau de mer :	29
II.7.1- Unité de dessalement du complexe GL2/Z :	30
II.7.2- Description de l'unité de dessalement de type « MSF » :	30
II.7.3- Principe de fonctionnement de l'unité de dessalement « MSF » :	37
CHAPITRE III : Les problèmes techniques rencontrés en dessalement d'eau de mer.....Error! Bookmark not defined.	
III.1- Introduction :	40
III.2- Problèmes d'entartrage :	40
III.2.1 - Causes de l'entartrage :	41
III.2.2- Composition et formation du tartre :	41
III.2.3- Les effets du tartre :	42
III.2.4- Classification du tartre :	42
III.2.5- Autres types de tartre :	42
III.2.6- Inhibiteurs d'entartrage :	43
III.2.7- Traitement du tartre :	43
III.3- Problèmes de corrosion :	44
III.3.1- Définition :	44
III.3.2- Causes de corrosion :	44
III.3.3- Les principaux facteurs de la corrosion par l'eau de mer :	45
III.3.4- Types de corrosion :	45
III.3.5- Les effets néfastes provoqués par la corrosion :	46
III.3.6- Méthodes de protection et de prévention contre la corrosion :	47
III.4- Problèmes de colmatage :	47
IV.1 Causes liées à la baisse de production de l'eau dessalée :	49
IV.1.1 Production de l'eau dessalée dans le complexe GL2/Z :	49

IV.1.2--Paramètres de fonctionnement des dessaleurs de type MSF :.....	50
IV.1.3-Paramètresde fonctionnement des réchauffeurs de saumures des dessaleurs :	52
Chapitre V : Contrôle de la qualité des eau dessalée et traitement des eaux dessalés	55
V.1-Introduction :	55
V.2- Traitement des eaux dessalées dans le complexe GNL2 /Z	55
V.2.1-Les analyses systématiques planifiées (quotidiennes)	55
V.2.1.1-Mesure du pH :	55
V.2.1.2-Mesure de la conductivité électrique :.....	58
V.2.1.3-Mesure des ions chlorures :	61
V.2.2--Les analyses courantes non planifiées.....	64
V.2.2.1--Mesure de l'ammonium NH_4^+ :	64
V.3-Conclusion :	65
Conclusion générale et recommandations :.....	66

Liste des figures

Figurel .1 : description du complexe GL2/Z	5
Figure I.2 : Implantation du complexe GL2Z	7
Figure I. 3: Zone des procédés.....	11
Figure I. 4: Zone stockage et expédition.....	13
Figure II.1 : Procédés de dessalement de l'eau de mer.....	20
Figure II.2 : Image représentative d'un dessaleur de type « MSF ».	22
Figure II.3 : principe de la distillation à simple effet	23
Figure II.4 : principe d'un système d'évaporateurs multiples Effets	24
Figure II.5 : dessaleur type distillation à simple effet par Compression.....	24
Figure II.6 : l'osmose et osmose inverse	25
Figure II.7 : Image explicatif du fonctionnement d'un électro dialyseur.....	26
Figure II.8 : Principe et paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement de type MSF.....	29
Figure II. 9: l'acheminement d'eau de mer vers les dessaleurs	30
Figure III.1 : Entartrage au niveau du réchauffeur.	37
Figure III.2 Image représentant la corrosion.	40
Figure III.3 : Les effets néfastes provoqués par la corrosion	42
Figure III.4 : Colmatage	43
Figure IV.1:Représentation de la production en eau dessalée des dessaleurs du complexe GL2/Z	45
Figure V.1 : Photo du pH mètre utilisé.....	52
Figure V.2 : Mesure du pH de l'eau dessalée du mois.....	54
Figure V.3 : Photo du conductimètre utilisé.....	55
Figure V.4 : Variation de la conductivité électrique des eaux dessalées produites par les unités 2010 LA/B/E du mois de février	57
Figure V.5 : Mesures des concentrations des ions chlorures des eaux dessalées produites par les unités 2010 LA/B/E du mois de février	640

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les caractéristiques des réservoirs	13
Tableau I.2 : La composition du gaz naturel liquéfié « GNL »	14
Tableau II.1 : La composition standard de l'eau de mer.	17
Tableau II.2 : Les composants de la dureté de l'eau.	18
Tableau IV.1 : Production de l'eau dessalée dans le complexe GL2/Z	45
Tableau IV.2 : paramètres de fonctionnement des dessaleurs MSF	47
Tableau IV.3 : paramètres de fonctionnement des réchauffeurs de saumures des dessaleurs	48
Tableau V.1 : Résultats des mesures du pH de l'eau dessalée du mois de février 2023	53
Tableau V.2 : Résultats des mesures de la conductivité de l'eau dessalée du mois de février	56
Tableau V.3 : Résultats de l'analyse des chlorures dans l'eau dessalée en ppm du mois de février	59

Liste des abréviations

SONATRACH : Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures

GNL : Gaz Naturel Liquéfié

APCI : Air Products and Chemicals Incorporation

MCR : Multiple Composant Réfrigérant

GN : Gaz Naturel

MEA : Mono Ethanol Amine

GNT : Gaz Naturel Traité

SONELGAZ : Société Nationale Electricité et Gaz

MSF : Multi Stage Flash

TCD : Thermo Compression Distiller

MED : Multi Effet Distillation

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

DCS : Distributed Control System

TI : Température Indicator

2 et 3D : 2 et 3 Dimension

HP : Haute Pression

BP : Basse Pression

PH : Potentiel Hydrogène

Introduction générale et problématique

Le complexe GL2/Z est chargé de produire et exporter du gaz naturel liquéfié (GNL), à partir du gaz naturel provenant du champ de Hassi R'mel. Le gaz naturel est traité puis liquéfié à une température cryogénique de -162 °C dans six trains de liquéfaction. Les trains sont tous identiques et fonctionnent indépendamment, en utilisant les produits utiles, fournis par la section utilités, tel que l'eau de mer de refroidissement, la vapeur d'eau, l'électricité.

Les complexes de GNL sont de grands consommateurs de vapeur qui est, à la fois, une source d'énergie de chauffe et la force motrice des machines tournantes.

L'eau distillée ou dessalée est utilisée essentiellement pour générer de la vapeur ou encore comme réfrigérant dans les échangeurs et les condenseurs situés dans la zone des utilités.

Afin de subvenir à ses besoins en eau distillée, le complexe GL2/Z dispose de 5 unités de dessalement en l'occurrence les 2010LA/B/C/D/E, est de type détente à plusieurs étages (MSF) à simple effet. La capacité de production de chacune de ces unités est de $45,3\text{ m}^3/\text{h}$ de distillat, soit une capacité totale de calcul de $226,5\text{ m}^3/\text{h}$ pour ces cinq unités.

Actuellement, le complexe GL2/Z fonctionne avec un taux de production moyen d'environ 27 % pour les cinq dessaleurs.

L'ensemble des unités de dessalement du complexe GL2/Z présente un problème de baisse de production de l'eau dessalée. Cette baisse de production persiste depuis l'année 2010. L'objectif de notre étude est de déceler les origines de cette baisse de la production d'eau dessalée, afin de dégager un plan d'actions pour une meilleure rentabilisation de ces unités.

Pour cerner tous les éléments de notre problématique, nous avons scindé notre travail En :

- Présentation du lieu de préparation de notre travail : Le complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)
- Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z
- Les problèmes techniques du dessalement en MSF
- Contrôle de la qualité et traitement des eaux dessalées
- Conclusion et recommandations

CHAPITRE I:

Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

I.1- Présentation du complexe GL2/Z :

Le complexe GL2/Z est un site industriel de production de gaz naturel liquéfié (GNL), situé dans la zone industrielle d'Arzew, au Nord-Ouest de l'Algérie.

Après la découverte d'énormes réserves de gaz naturel à HASSI R'MEL le pays a procédé aux installations des complexes de liquéfaction du gaz naturel. Et c'est ce qui a fait l'existence du complexe GL2/Z [1].

Il a été construit sur une surface de 70 hectares par la société américaine PULLMAN KELLOG. Le contrat a été signé avec cette dernière le 09/02/1976, sa réalisation a été commencée en début 1978 pour être opérationnel en début 1981.

La première production de GNL a été effectuée le 29/01/1981 et la première expédition était le 20/07/1981 [1].

Dans l'ensemble, l'implantation du complexe est divisée en trois parties bien distinctes :

- Les utilités.
- Les trains de procédés.
- La zone de stockage et expédition.

Capacités de production :

- GNL : 17,8 Millions m³/ an.
- Propane : 410.000 t / an.
- Butane : 327.000 t / an.
- Gazoline : 196.000 t / an.

Capacité totale de stockage :

- 03 bacs aériens de stockage GNL : 100.000 m³ chacun.
- 02 bacs de gazoline : 14000 m³ chacun.

I.2- Organigramme Générale du complexe GL2/Z :

Le complexe GL2/Z contient plusieurs départements qui assurent des travaux bien déterminés, représentés dans [2] :

- **Département Sécurité :** Le département de sécurité a pour rôle d'intervenir sur les équipements et les installations, faire de la prévention et la sensibilisation auprès du personnel du complexe. Le département de sécurité est lié directement à la direction. Il a comme politique : « qu'aucun travail n'est urgent au point qu'il ne puisse être effectué de la manière la plus sûre possible »
- **Département Maintenance :**
La fonction principale du département de maintenance consiste à mettre en œuvre les moyens humains et matériels pour l'entretien et la répartition de l'appareil de production et de ses annexes.
- **Département finances :**
Il a pour objectif d'établir le bilan de chaque fin d'année de gérer et justifier toutes les opérations financières, juridiques, budgétaires, trésoreries et leur comptabilisation.
- **Département travaux neufs :**
Il s'occupe de la réalisation des investissements ainsi que la grande maintenance et assure le procurement.
- **Département technique :**
Il est relié directement avec la direction, il a pour mission l'étude des projets d'installation des moyens de production.
- **Département production :**
Sa mission est la liquéfaction du gaz naturel ainsi que le contrôle de la production du GNL, propane, butane et la gazoline et de leur stockage et chargement.

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

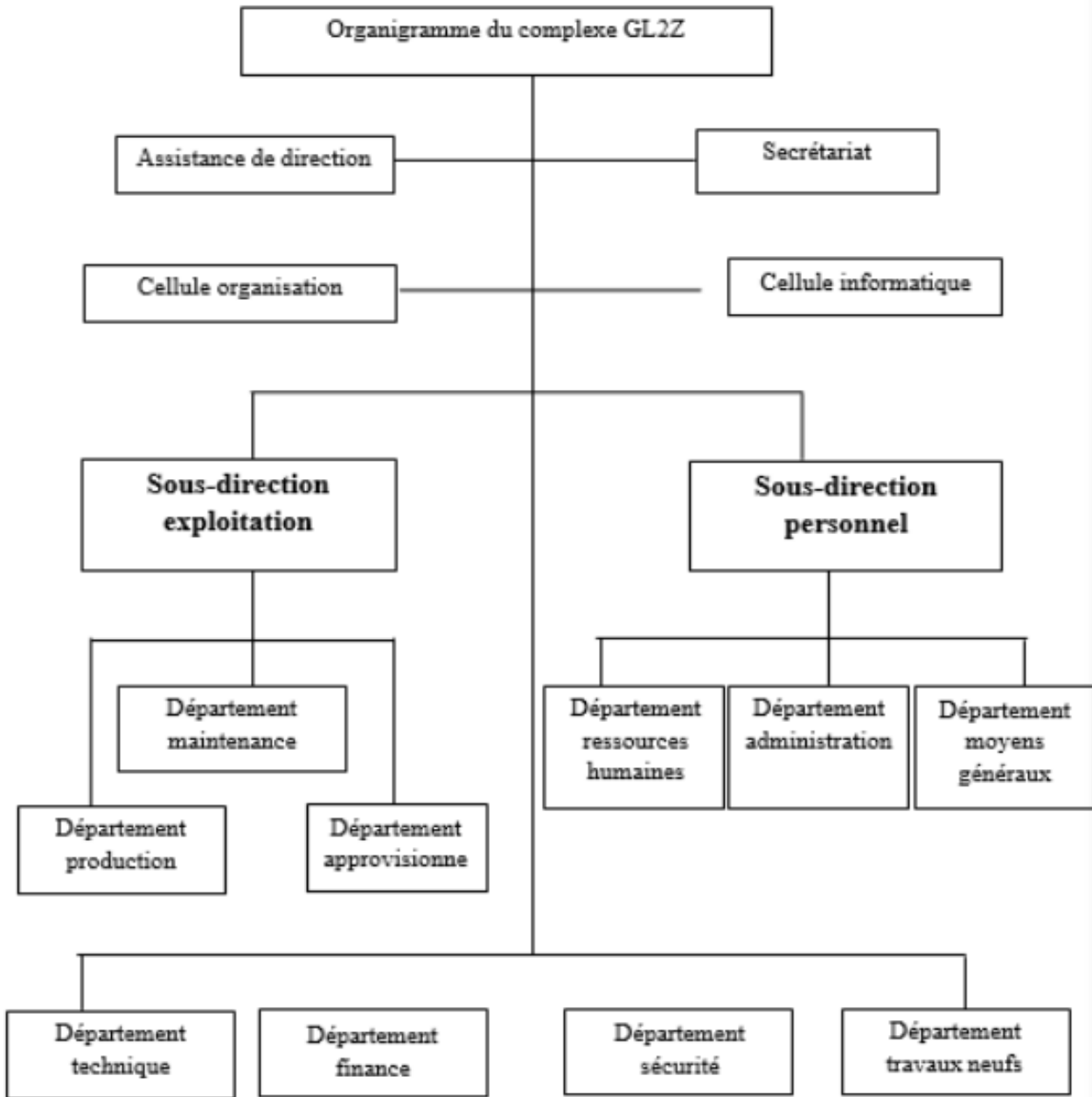


Figure I.1 : description du complexe GL2/Z

I.3- Description et fonctionnement du complexe GL2/Z :

Le Complexe GL2/Z a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant de champs gaziers de HASSI R'MEL, avec possibilité d'extraction du propane, butane et de la gazoline. Le GNL est pompé et est chargé dans des méthaniers spécialement conçus pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger [3].

Le complexe GL2/Z comporte six trains de liquéfaction indépendants fonctionnant en parallèle. Après traitement dans les trains de liquéfaction, le gaz liquéfié est stocké à la température de -162 °C dans trois bacs cryogéniques de 100.000 m³ de capacité unitaire. Avant d'être exporté la production des utiles nécessaires au fonctionnement des trains est comme suite [4] :

L'air de service, l'azote, l'eau potable, l'eau de mer, l'électricité et la vapeur d'eau, Pour cela le complexe dispose de :

- 06 chaudières haute pression 62 BAR d'une capacité de 400t/h dont 4 Chaudières ABB (770UA UB UC UD ET 02 chaudières 770UE UF
- 03 turbogénérateurs d'une capacité de 20 MW chacun.
- 05 unités de dessalement d'une capacité de 45t/h chacune.
- 01 station de pompage d'eau de mer qui se compose
- 06 pompes d'aspiration d'eau de mer d'une capacité de 32000 m³/h.

A son arrivée au complexe via les gazoducs, le gaz naturel est composé essentiellement de méthane (83 % de CH₄) et en proportions décroissantes, d'éthane(C₂H₆), de propane (C₃H₈), de butane (C₄H₁₀), de gazoline (C₅⁺) et de traces de mercure (Hg), de dioxyde de carbone (CO₂), de vapeur d'eau (H₂O), d'azote (N₂) et d'hélium (He).

La production du GNL destiné à l'exportation qui a atteint [3] :

- ✓ Une production journalière de 67669 m³ le 27Janvier 1999.
- ✓ Une production annuelle de 20 469 427 m³ en Aout 1999.Le complexe produit :
 - 410.000 t/an de propane destiné à la commercialisation.
 - 327.000t/an de butane également destiné à la commercialisation.
 - Le propane et le butane sont acheminés par canalisation vers le complexeGP1Z.

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

- 196.000 t/an de gazoline destinée à l'exportation.
- Le gaz de charge destiné à l'extraction de l'hélium dans l'industrie « Hélios »

I.4- Les différentes unités du complexe GL2/Z :

I.4.1- Introduction :

L'usine est composée de trois zones à savoir (figure I.2) :

- Zone des procédés.
- Zone des utilités.
- Zone de stockage et expédition.



Figure I.2 : Implantation du complexe GL2Z

I.4.2- Zone des procédés :

Cette zone dispose de quatre sections :

- Une section de démercurisation,
- Une section de décarbonatation et de déshydratation du gaz naturel,
- Une section de liquéfaction,
- Une section de fractionnement.

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

I.4.2.1- La démercurisation :

La démercurisation est réalisée par le phénomène d'adsorption moléculaire qui a pour objet d'éliminer le mercure qui provoque la corrosion des échangeurs en aluminium. Un lit de tamis moléculaire recouvert de sulfate de cuivre (CuSO_4) est contenu dans le ballon démercuriseur 142 D. Le diamètre des billes est de 5 mm. Ce lit est maintenu par une couche de billes d'alumine (diamètre 20 mm) posée sur une grille métallique. Le gaz traverse le lit de haut en bas. La capacité d'adsorption et la faible quantité de mercure contenue dans le gaz naturel (GN) (moins de $1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$) exigent un temps de fonctionnement relativement long et permettent d'éviter une régénération des tamis du démercuriseur. Il est toutefois, prévu un séchage du tamis par gaz chaud, réalisé par une installation démontable. Celui-ci peut, en effet,

se charger d'humidité lors du remplissage ou pendant un arrêt prolongé (maximum de mercure dans le GN $100 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$) [5].

I.4.2.2- la décarbonatation et la déshydratation :

a) la décarbonatation :

La décarbonatation a pour objet d'éliminer le dioxyde de carbone ou CO_2 qui cause le bouchage au niveau de la section liquéfaction. Elle est basée sur le phénomène d'absorption

➤ Réaction chimique :

Dans ce cas, il y a une réaction de neutralisation :



Une solution aqueuse de monoéthanolamine (MEA) entre 15 et 20 % est mise en contact, dans une colonne à plateaux, avec le gaz riche en CO_2 , la solution entrant par le haut et le gaz par le bas, le contact se fera à contre-courant [5].

La réaction par laquelle le CO_2 est absorbé par le MEA peut être représentée comme suit :

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)



➤ Avec : **R** : C₂H₄OH

Sa température d'amorçage est de 38 °C

✓ **Régénération de la solution de MEA :**

La solution MEA, pauvre en CO₂, sort de l'absorbeur, riche en CO₂, et doit être régénérée pour être utilisée de nouveau. Cette opération s'effectue dans la colonne de régénération « X32E ».

Le MEA riche est d'abord détendu dans un ballon « X37F » pour séparer les hydrocarbures, éventuellement dissous, puis chauffé jusqu'à 102°C par échange thermique avec le MEA pauvre (régénéré) successivement dans quatre échangeurs « X33C1/C2/C3/C4 ».

Le MEA riche est alors introduit en tête de la colonne de régénération fonctionnant à 110°C et 01 bar en fond de colonne. La solution descend dans la colonne pour y être épurée par les gaz ascendants provenant de l'évaporation du produit de fond grâce à un rebouilleur « X34C » utilisant de la vapeur à 4,5 bars

Les vapeurs de tête de colonne sont condensées dans un échangeur à eau de mer « X35C », puis débarrassées du CO₂ dans le ballon « X33 F » et sont réinjectées dans la colonne comme reflux au moyen des pompes de reflux « X32J/JA ».

Le MEA pauvre en CO₂ sort par le fond de colonne, passe dans les échangeurs « X33C1/C2/C3/C4 » puis dans un autre échangeur à eau de mer « X32C », pour être refroidi à 38 °C, et sera refoulé vers la colonne d'absorption au moyen des pompes « X31J/JA » (une partie de cette solution MEA pauvre est filtrée dans un filtre à charbon « X32F » en continu) [6].

L'étape de régénération comporte également un vaporisateur « X36C » utilisant de la vapeur à 17 bars, pour épurer en continu des résidus décomposés une partie du MEA, pauvre à la sortie du régénérateur « X32E ».

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

Le circuit MEA comporte également un réservoir « X35F » pour stockage, muni d'une pompe « X33J » pour le refoulement et un puisard « X34F » pour la préparation et les appoints de MEA dans le circuit.

b) La déshydratation :

Le GN, à la sortie de la décarbonatation, est saturé en eau.

La section sera chargée d'enlever complètement cette eau pour obtenir une concentration inférieure à 0.5 ppm

Cette déshydratation se fera en deux étapes :

- Refroidissement et condensation à 21 °C.
- Séchage par adsorption dans les sécheurs à tamis moléculaire, ce dernier se charge donc d'une certaine quantité d'eau et de CO₂. Sa régénération se fera simplement par augmentation de la température du lit qui libérera les molécules emprisonnées [4] (voir le schéma attaché à l'annexe A 2).

I.4.2.3- La liquéfaction :

La liquéfaction d'un gaz n'est possible que si le gaz est refroidi à une température inférieure à son point de rosée. Cette température est fonction de la pression. Pour un mélange gazeux tel que le gaz naturel, la condensation se fait dans un intervalle de température compris entre le point de rosée et le point de bulle [3].

Le gaz naturel traité, riche en constituants légers à -33 °C et 37 bar absolus, pénètre dans le faisceau central de l'échangeur principal X16C dans lequel il circule de bas en haut.

La liquéfaction dans le faisceau central se fait en deux temps :

Le gaz est réfrigéré à -110 °C par échange thermique avec le faisceau MCR liquide et vapeur, puis le gaz, partiellement condensé, sera liquéfié complètement par le MCR vapeur condensé.

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

Le gaz naturel liquéfié (GNL), sortant en tête de l'échangeur principal Sous forme de liquide à 24,3 bars absolus et -148 °C, passe dans L'échangeur de rejet et se combine à sa sortie avec la réinjection du propane et de l'éthane venant du fractionnement [4].

Ce mélange à -151 °C sera détendu à 4,8 bar par flash dans le ballon de gaz combustible à haute pression. Ce flash a pour effet de libérer l'azote et l'hélium dissous dans la phase liquide du GNL [3].

Ce liquide sera refroidi à -156 °C avant de pénétrer en tête de la colonne du déazoteur X02E par échange avec le liquide de fond. La phase liquide GNL est récupérée au fond du déazoteur et sera acheminée par des pompes X10J/JA vers les bacs de stockage à -162 °C. Les vapeurs de tête passent dans l'échangeur de rejet où elles se réchauffent au contact du MCR du GN, avec des réinjections d'éthane, de propane et du gaz combustible venant de la tête du ballon flash et déchargent dans le circuit fuel gaz [7] (**Voir le schéma attaché à l'annexe n A3**).

✓ Boucle propane :

La boucle de réfrigération au propane est utilisée dans les procédés de liquéfaction du gaz naturel comme pré-refroidissement visant à éliminer la chaleur d'un cycle de réfrigérant multi-composant qu'est le MCR, et à pré-refroidir le gaz naturel avant l'étape de la liquéfaction. [7] (**Voir le schéma attaché à l'annexe n A4**).

✓ Boucle du MCR :

Cette boucle permet le refroidissement final du gaz de charge, le MCR (réfrigérant à composants multiples ou mixtes) se compose de quatre constituants :

$$N_2 = 3.2 \% ; CH_4 = 40,2 \% ; C_2H_6 = 54,4 \% ; C_3H_8 = 2.2 \%$$

Dans ce cycle, la réfrigération est assurée par la compression, le refroidissement, la détente et l'évaporation. Le refroidissement à des températures supérieures à 35 °C sera assuré par des refroidisseurs à eau de mer, entre 35 et -35 °C par le propane, entre -35 °C et -150 °C par le MCR et enfin de -150 à -160 °C par la détente de l'azote (détente JOULES-THOMPSON)

[7] (**Voir le schéma attaché à l'annexe n A5**).

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

I.4.2.4- Le fractionnement :

Au niveau de cette section, la charge lourde de la tour de lavage sera traitée dans trois colonnes de distillation pour en extraire successivement l'éthane, le propane, le butane et la gazoline [7].



Figure I.3 : Zone des procédés

I.4.3- Zone utilités :

Cette zone est essentiellement autonome et assure la fourniture de toutes les utilités, pendant le démarrage et la mise en marche des six (06) trains de liquéfaction, et de toutes les installations de production. Elle consiste principalement à la production et la fourniture de ce qui suit [7] :

- ✓ **Énergie électrique :** elle est fournie en grande partie par trois (03) turbos générateurs d'une capacité de 20 MW chacun et un réseau SONELGAZ de 20 MW, soit un total de 80 MW.
- ✓ **Vapeur :** Elle est fournie par un ensemble de chaudières de différents tonnages répartis comme suit :
 - Quatre (04) chaudières HP (62 bars) type ABB d'une capacité de 400 t/h chacune.

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

- ✓ **Eau dessalée** : elle est fournie par cinq (05) unités de dessalement de type détente à plusieurs étages (MSF), produisant chacune 45,3 m³/h de distillat
- ✓ **Air** : il est fourni par quatre (04) compresseurs d'air permettant la production de l'air instrument, servant pour toutes les installations de production, et de l'air service pour les autres besoins du complexe.
- ✓ **Eau de refroidissement** : elle est fournie par six (06) pompes d'eau de mer d'une capacité de 37 000 m³/h chacune.

I.4.5- Zone stockage et expédition :

✓ **Stockage et chargement du GNL/gazoline :**

Le GNL est stocké à -162°C dans trois (03) bacs d'une capacité unitaire de 100 000 m³ chacun (figure I.4). 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 m³chacun [8].

✓ **Installations d'expédition et de chargement du GNL :**

Elles sont composées de [7] :

- Cinq (05) pompes de chargement d'une capacité unitaire de 2500 m³/h ;
- Une (01) pompe de transfert d'une capacité de 2500 m³/h ;
- Deux (02) pompes de refroidissement d'une capacité unitaire de 60 m³/h ;
- Deux (02) quais de chargement composés chacun de cinq (05) bras de chargement dont un (01) est destiné au retour de la vapeur en provenance des navires. Chacun des deux (02) quais est conçu pour réceptionner des méthaniers d'une capacité située entre 50. 000 et 130. 000 m³de GNL, la production du propane (410.000 tonnes/an) et du butane (327.000 tonnes/an) est acheminée par canalisation vers le complexe GP1/Z.

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

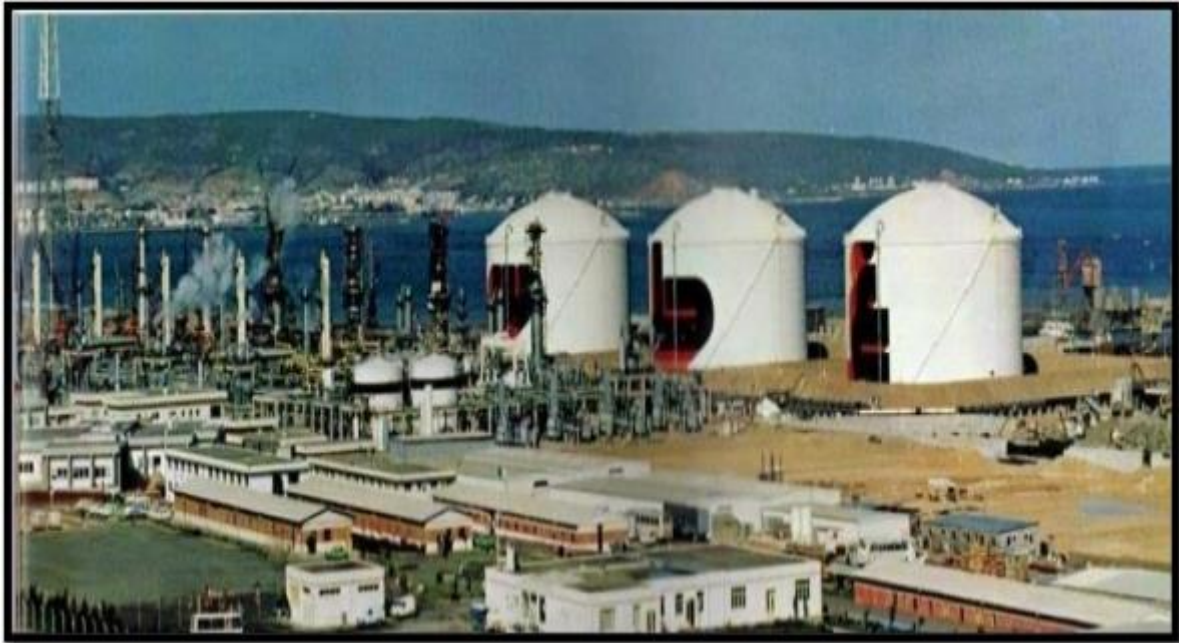


Figure I.4 : Zone stockage et expédition

Les caractéristiques des réservoirs et la composition chimique du GNL sont regroupées dans les tableaux I.1 et I.2 :

Tableau I.1 : Les caractéristiques des réservoirs

Capacité	100.000 m ³
Diamètre extérieur	76,8 m
Hauteur paroi verticale	34,9 m
Température de service	-163 °C
Pression de service	1,05 bar absolu
Taux d'évaporation	Inférieur à 0,07 % de la capacité totale

CHAPITRE I : Présentation de complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL2/Z)

Tableau I.2 : La composition du gaz naturel liquéfié « GNL »

Composants	Pourcentage Molaire Moyen (%)
He	0,20
N ₂	5,90
CH ₄	84,52
C ₂ H ₆	7,77
C ₃ H ₈	1,52
iC ₄ H ₁₀	0,04
nC ₄ H ₁₀	0,03
iC ₅ H ₁₂	0,02

CHAPITRE II :

Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

II.1- Introduction :

Plus de 97.5% l'eau à la surface de la terre est de l'eau salée. Du fait de l'accroissement de la population mondiale, la pénurie en eau douce va devenir un problème majeur, en particulier plusieurs régions arides [9].

Le dessalement d'eau de mer pour la production d'eau potable est donc une solution alternative qui permet d'augmenter les ressources en eau disponible, de fournir une solution en cas de sécheresse et de lutter contre les pénuries [10].

Le présent chapitre a pour objet la description des différents procédés utilisés dans le domaine du dessalement de l'eau de mer [11].

II.2. Composition des eaux de mer :

Dans l'eau de mer, des éléments tels que le carbone, l'azote et le phosphore-en relation avec l'oxygène dissous et les nutriments sont à la base de toute la chaîne alimentaire marine.

D'autres, comme le calcium, le magnésium et le strontium reflètent la dynamique des échanges continent océan atmosphère et sont des outils précis eux en paléo océanographie ou pour la modélisation des climats du passé.

L'eau de mer est composée de 96,5% D'eau pure et de 3,5% de substances dissoutes (sels gaz). Elle est composée de magnésium, calcium, potassium, strontium, sulfates, bicarbonates, bromures, fluorures, et une grande quantité de chlorures et sodium.

Les gaz dessous dans l'eau de mer comprennent principalement 64% d'azote, 34% d'oxygène, 1.8% dioxyde de carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre).

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

Tableau II.1 : La composition standard de l'eau de mer.

Constituants	Composition en %
Sodium (Na)	30,64%
Chlore (Cl)	55,08%
Calcium (Ca)	1,16%
Magnésium (Mg)	3,69%
Bicarbonate (HCO₃)	0,41%
Sulfate (SO₄²⁻)	7,69%
Potassium (K)	1,10%
Bromure (Br⁻)	0,19%
Fluor (F⁻)	0,04%

II.3- Caractéristiques des eaux de mer :

II.3.1- La salinité

Est un des paramètres les plus importants de l'eau de mer, et désigne la teneur en sels dissous. Elle chute dans les régions plus fraîches, en raison de la fonte des glaces. La salinité des océans est en moyenne de 35 grammes de sel par litre (pacifique) Sauf régionalement, elle varie peu :

- Mer Baltique : 7 grammes de sel par litre
- Océan Antarctique : 34,7 grammes de sel par litre
- Océan Indien : 36,5 grammes de sel par litre
- Océan Atlantique : 36,5 grammes de sel par litre
- Mer Méditerranée : 38,5 grammes de sel par litre
- Mer Rouge : 39,7 grammes de sel par litre [11]

En remarque que l'eau méditerranée est moins salinité par rapport au Mer rouge, et plus salinité par rapport au Océan Antarctique, Mer Baltique, Océan Indien, Océan Atlantique

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

II.3.2- La dureté :

L'eau de mer est l'eau la plus dure avec un TH=750°F. Elle est riche en sels dissous dont les plus importants sont le calcium et le magnésium et composent du sulfate de magnésium, chlorure de magnésium, et sulfate de calcium ... selon les valeurs suivantes :

Tableau II.2 : Les composants de la dureté de l'eau.

Composants	Teneur(g/l)
Chlorure de magnésium	3.8
Sulfate de magnésium	1.65
Sulfate de calcium	1.26
Carbonate de calcium	0.12
Bromure de magnésium	0.076

II.3. 3- La conductivité :

La conductivité est directement proportionnelle à la quantité des sels dissous dans l'eau.

Ainsi, plus la concentration en sels sera importante, plus la conductivité sera élevée

II .3.4- Le pH :

L'eau de mer a un pH d'environ 8.2, bien qu'il puisse varier entre 7.5 et 8.5 en fonction de sa salinité locale. Le pH augmente avec la salinité jusqu'à ce que l'eau atteigne la saturation en carbonate et ont donc une plus élevée en raison de la teneur en carbonate et ont donc une plus grande capacité à tamponner les ions hydrogène libres.

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

II.3.5- La solubilité :

On trouve 30 à 40 g de sels dissous pour 1 kg d'eau de mer à 20°C. La solubilité du sel dans l'eau augmente quand la température de la solution augmente.

II.4- Définition de dessalement :

- Le dessalement de l'eau de mer (également appelé Dessalage) est un processus qui permet de retirer les sels de l'eau salée ou saumâtre pour la rendre potable ou l'utiliser pour l'irrigation.
- Le dessalement est un procédé de déminéralisation.

Il a pour but l'obtention d'eau de salinité voisine de celle des eaux douces naturelles à partir de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre.

- La désalinisation est la suppression du sel et minéraux de

L'eau de mer pour la rendre propre à la consommation humaine et utilisation industrielle.

II.5- Les techniques de dessalement d'eau de mer :

- Procédés de distillation (ou d'évaporation).
- Procédés membranaires.

Les procédés qui font intervenir un changement de phase : la distillation, « Distillation (MSF) Multi stage flash », « distillation (MED) Multi effet distillation », où l'eau de mer est évaporée puis condensée afin d'obtenir de l'eau distillée. Le procédé utilisant des membranes, à l'exemple de l'électrolyse et l'osmose inverse [11].

Le schéma suivant présente les procédés de dessalement de l'eau de mer.

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

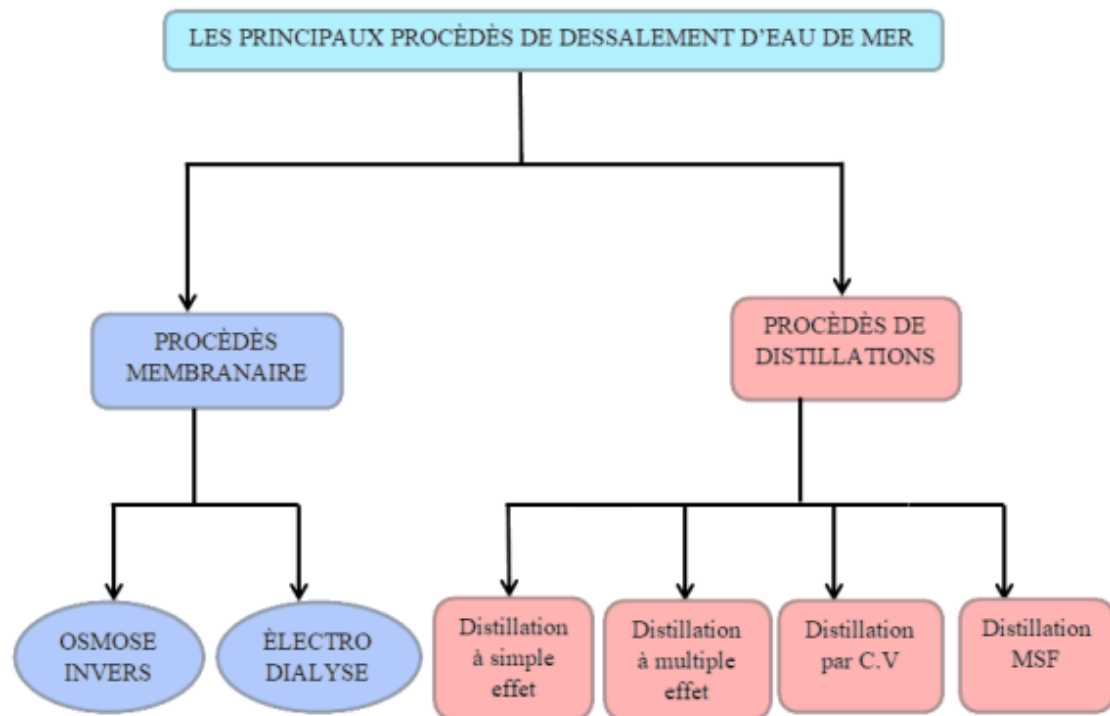


Figure II.1 : Procédés de dessalement de l'eau de mer

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement de l'eau de mer.

En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor dans le domaine, à cause des problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et à l'importance des investissements qu'ils requièrent [10].

Quel que soient le procédé de dessalement et l'eau utilisée, toutes les installations de dessalement comportent trois étapes [10] :

- ✓ Une prise de l'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- ✓ Un prétraitement avec une filtration plus fine
- ✓ Le procédé de dessalement lui-même

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

II.6- Les procédés de distillation ou de changement de phases :

II.6.1- Principe de distillation :

Le principe est de chauffer de l'eau pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite se débarrasse, dans son ascension, des particules lourdes, en particulier des sels. Elle se condense ensuite pour donner de l'eau douce liquide. Dans les processus de distillation, la répétition en chaîne de cette séparation améliore au fur et à mesure l'élimination des sels [10].

II.6.2- Procédés de distillation :

II.6.2.1- Introduction :

Le procédé de distillation est utilisé depuis très longtemps pour dessaler de l'eau de mer selon un principe simple : l'eau salée est chauffée jusqu'à sa température d'ébullition.

Il y a d'un côté production de vapeur d'eau (l'eau douce) qu'il faut ensuite condenser et d'un autre côté une eau fortement concentrée en sels (la saumure). On peut diviser ce procédé en plusieurs catégories.

II.6.2.2- Distillation multi-flash (multi stage flash « MSF ») :

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage.

Lorsque l'eau de mer atteint une température de 120 °C, elle est introduite dans un "étage" où la pression est faible. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'étage.

L'eau de mer chaude se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation et l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré.

Ce phénomène est reproduit ensuite dans un second étage où règne une pression encore plus faible et ainsi de suite. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière [8]. .

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

L'unité comporte aussi un ensemble de pompes, servant à véhiculer les différents liquides au sein de l'unité, et des équipements auxiliaires qui sont destinés à l'injection des différents produits chimiques (l'anti-tarte et l'anti-mousse) [8].

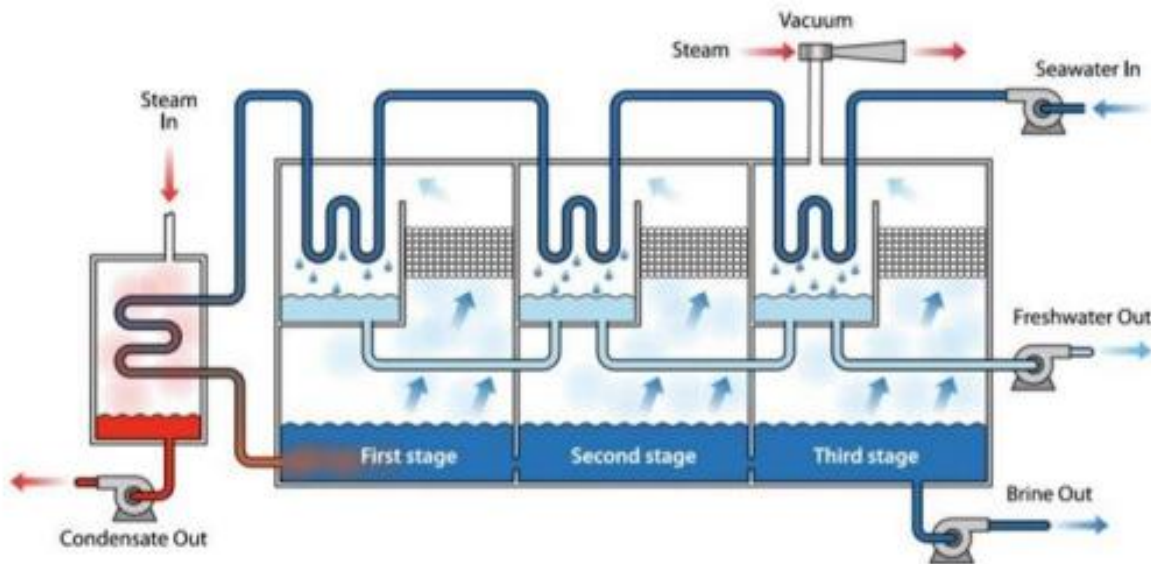


Figure II.2 : Image représentative d'un dessaléur de type « MSF ».

On procède à la vaporisation, en fournissant de l'énergie sous forme de chaleur. Dans la distillation moderne, la température de travail varie entre 85 °C et 95 °C. La salinité de l'eau douce, obtenue par ce procédé, est inférieure à 100 mg/L [13].

II.6.2.3- Distillation à simple effet :

Une distillation à simple effet est un procédé de dessalement de l'eau.

La distillation à multiples effets et l'osmose inverse sont généralement considérés comme les Procédés les plus économiques pour dessaler de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre à l'échelle industrielle.

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

Le principe de base de la distillation est simple : les sels dissous n'étant pas vaporisables dans les mêmes conditions que l'eau, la vapeur obtenue par chauffage d'eau salée est constituée d'eau pure [10].

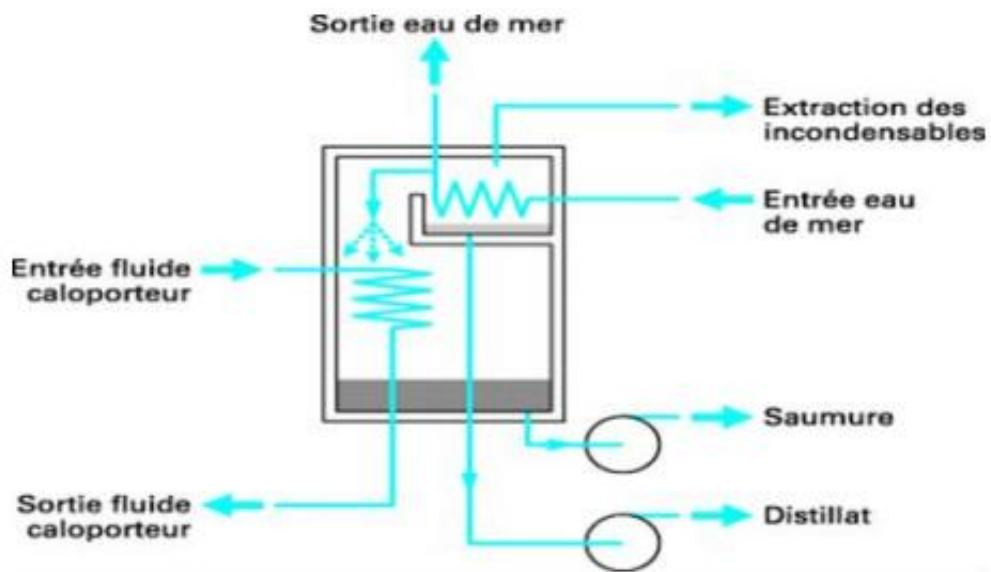


Figure II.3 : principe de la distillation à simple effet

II.6.2.4- Distillation à multiples effets (multi effet distillation « MED ») :

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80 °C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent. La chaleur transférée à travers cette surface est apportée, soit par de la vapeur produite, soit par de l'eau chaude. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure. La chaleur de condensation qu'elle cède permet ainsi d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

et ainsi de suite. (Voir figure 4) Seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite) [13].

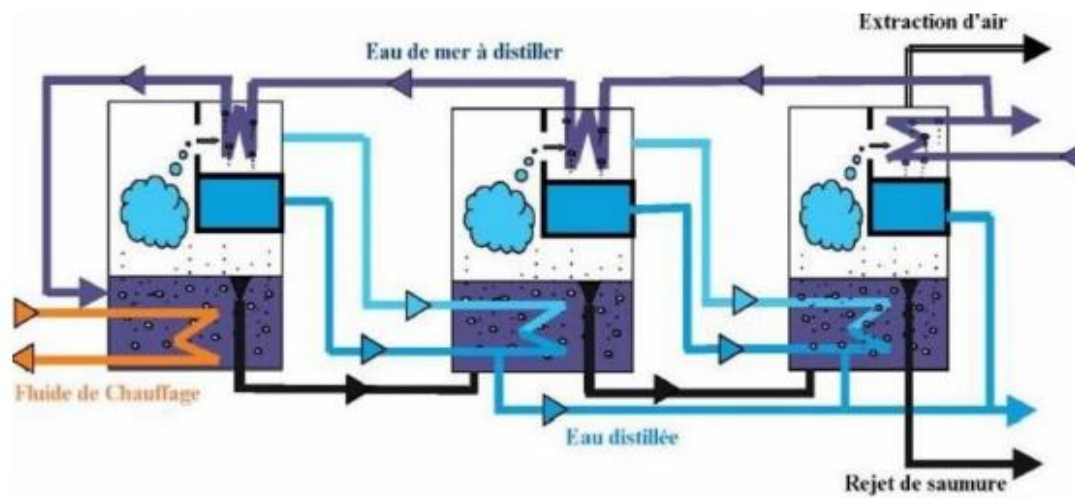


Figure II.4 : principe d'un système d'évaporateurs multiples Effets

II.6.2.5- Distillation par compression de vapeur :

Dans cette méthode on utilise la vapeur comme fluide chauffant et l'énergie électrique que l'on applique pour la compression. Durant ce procédé, le principe regagne la chaleur qu'il possède et l'aspire grâce à un compresseur. En effet, la vapeur qui est aspirée est issue du dernier effet ou dans le seul effet si l'installation est petite.

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

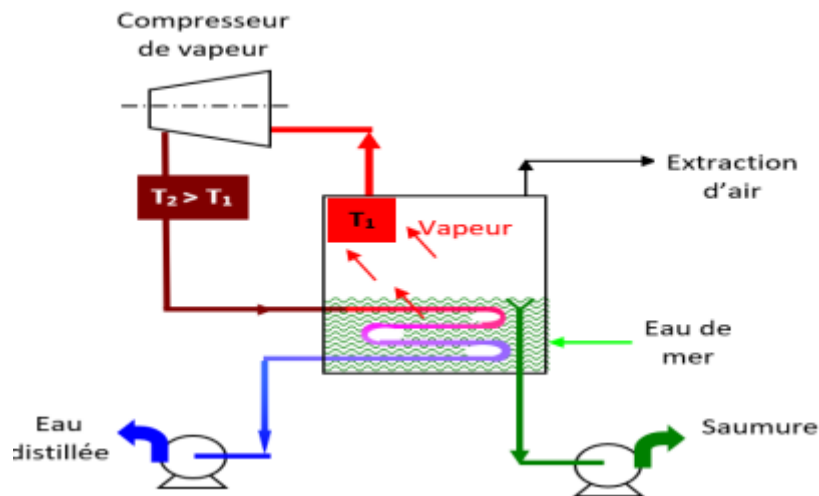


Figure II.5 : dessaleur type distillation à simple effet par Compression.

II.6.3- Les procédés membranaires :

II.6.3.1- Procédés d'osmose inverse :

L'osmose inverse séparation de l'eau et des sels dissous au moyen des membranes semi-perméables sous l'action de la pression.

Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes à haute pression.

La teneur en sels de l'eau osmose est de l'ordre de 0,5 g/L [8]. Une unité de dessalement d'eau de mer par la technique d'osmose inverse fonctionne comme indiqué dans le schéma ci-dessous.

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

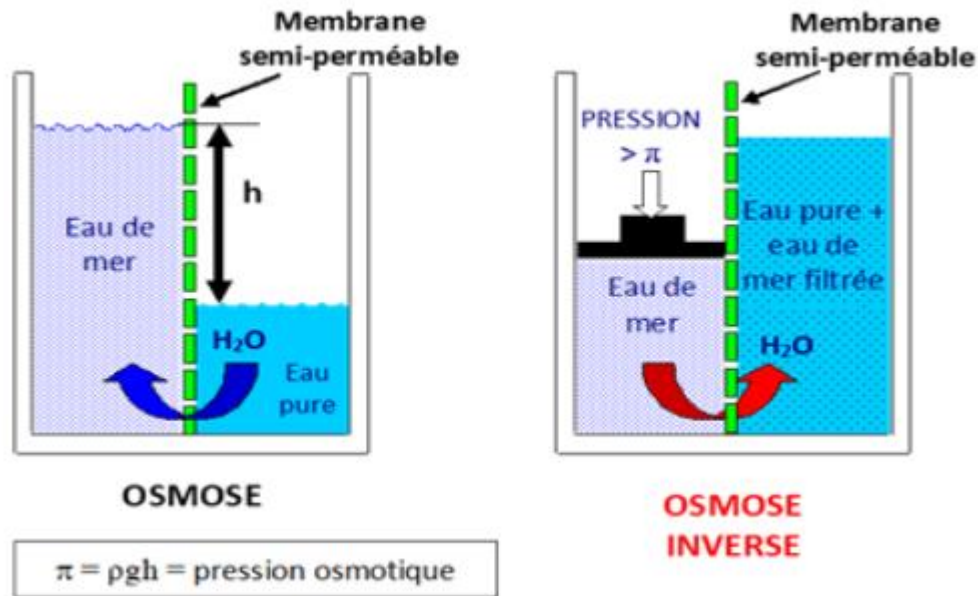


Figure II.6 : l'osmose et osmose inverse

II.6.3.2- Procédé d'électrodialyse :

L'électrodialyse repose sur la mise au point et l'utilisation des membranes semi perméables à l'eau sélectives pour les ions. Ainsi, seuls les anions peuvent traverser une

Membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique

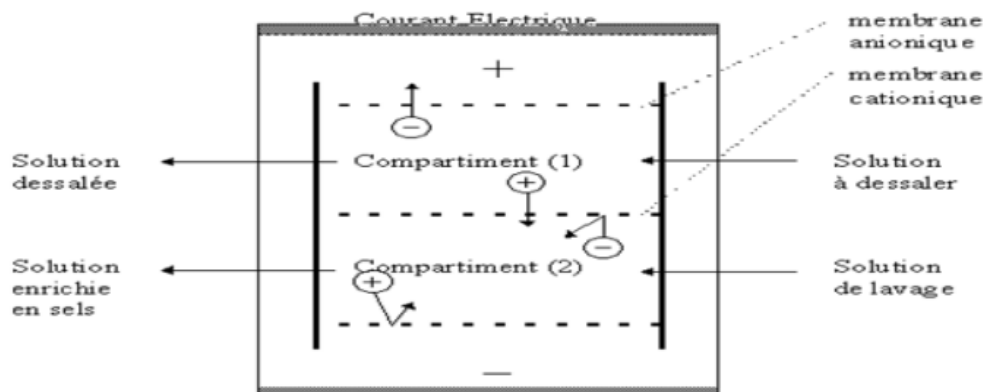


Figure II.7 : Image explicatif du fonctionnement d'un électro dialyseur

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

II.6.4- Les critères de choix du procédé :

Les facteurs à prendre en compte dans le choix d'un procédé de dessalement sont de deux ordres :

II.6.4.1- Critères économiques :

- Coût de l'énergie : dépend de sa nature (énergie renouvelable, gaz, fuel) et de sa disponibilité locale (pays importateurs ou producteurs...) ;
- Coût des produits chimiques : selon qu'ils sont disponibles localement ou importés ;
- Fluctuation des monnaies : particulièrement pour les unités d'osmose inverse, provenant de manière quasi-exclusive des USA, et dont le coût dépend donc des fluctuations du dollar
- Conditions de financement : détails, taux d'intérêt ;
- Coût de la main d'œuvre.

II.6.4.2- Critères techniques :

- Salinité de l'eau à traiter : elle varie de 7 g/kg dans la mer baltique à 270 g/kg dans la mer morte. En général, les procédés de distillation permettent de traiter des eaux de fortes concentrations, lorsque les procédés à membrane sont généralement appliqués aux eaux saumâtres.
- Composition chimique de l'eau à traiter.
- Caractéristiques physiques de l'eau (turbidité, matières en suspension...) déterminent le type de prétraitement à utiliser.
- Salinité de l'eau produite : selon l'usage qui en sera fait, elle peut varier de 300 à 500 ppm pour l'approvisionnement en eau potable à 15-30 ppm pour l'alimentation en eau industrielle.
- Source d'énergie disponible (gaz, pétrole, électricité, énergie renouvelable, énergie nucléaire et énergie récupérée).

II.7- Unité de dessalement d'eau de mer :

Cette unité a pour fonction la fabrication de l'eau distillée à partir de l'eau de mer qui servira comme source d'énergie et eau de refroidissement pour divers équipements de

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

toutes les unités du complexe dont une partie va servir comme eau d'appoint pour la fabrication de l'eau déminéralisée.

II.7.1- Unité de dessalement du complexe GL2/Z :

Étant les complexes de GNL sont de grands consommateurs de vapeur qui est, à la fois, une source d'énergie de chauffe et la force motrice des machines tournantes, Le complexe GL2/Z dispose de six unités de dessalement d'eau de mer, dont trois (items 2010LA/B/C) sont de fabrication SASAKURA (japon 1978), et deux autres (items 2010LE/D) de fabrication AQUA-CHEM (usa 1994) ainsi qu'une sixième unité (item 2010 LF) de fabrication WEIR ENTROPIE installée par le complexe en 2004. Chaque dessaleur a une capacité de production de 45,3 m³ /h d'eau distillée ayant moins de 2 ppm de solides dissous, ces unités peuvent fonctionner séparément ou en parallèle [10] (voir Figure II.8)

L'eau distillée produite est dirigée vers un bac de stockage (2041 F) et la saumure vers le canal de rejet. Le rôle principal de l'unité de dessalement est de fournir l'eau d'appoint nécessaire à l'alimentation des chaudières (procès et utilités). Les unités GNL/Z et GL2/Z sont interconnectés de façon à pouvoir subvenir aux besoins d'un complexe. L'eau distillée ou dessalée est utilisée essentiellement pour générer de la vapeur ou encore comme réfrigérant dans les échangeurs et les condenseurs situés dans la zone utilités [14].

Il est à signaler que le procédé de distillation des cinq dessaleurs, en l'occurrence les 2010LA/B/C/D/E, est de type détente à plusieurs étages (MSF) à simple effet. La capacité de production de chacune de ces unités est de 45,3 m³/h de distillat, soit une capacité totale de calcul de 226,5 m³/h pour ces cinq unités [8]. Par ailleurs, le dessaleur 2010 LF est de type TCD (Thermo Compression Distiller) évaporation condensation sous vide avec une capacité de production de 60 m³/h de distillat et 12 m³/h de condensât de la vapeur 17 bars [8].

II.7.2- Description de l'unité de dessalement de type « MSF » :

L'unité de dessalement constituée de 5 évaporateurs produisant l'eau distillée dans des chaudières de GL2 avec une teneur en sel dissous inférieur à 2 ppm, constitue de 8 étages (cellules) allongées dans une configuration à 2 passes chacune à écoulement transversal et

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

sans recyclage. Chaque unité débite 45,3 m³/h. Les équipements, composant une unité de dessalement, sont les suivants [8] :

- a) Filtre d'eau de mer : 2011 L A, B, C, D, E.
- b) Évaporateur : 2010 LI A, B, C, D, E.
- c) Réchauffeur de saumure : 2010 C A, B, C, D, E.
- d) Éjecteur et condenseur : 2010 J5 A, B, C, D, E.
- e) Pompe de surpression d'eau de mer : 2010 J1 A, B, C, D, E.
- f) Pompe de purge de saumure : 2010 J2 A, B, C, D, E.
- g) Pompe à eau distillée : 2010 J3 A, B, C, D, E.
- h) Pompe à condensât : 2010 J4 A, B, C, D, E.
- i) Pompe d'injection de produits chimiques : 2010 J/JA A, B, C, D, E.
- j) Désurchauffeur : 2010 M A, B, C, D, E.
- k) Bac de produits chimiques de nettoyage : 2010 JJF A, B, C, D, E.
- l) Pompe à produits chimiques de nettoyage : 2010 JJ/JJA A, B, C, D, E.

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

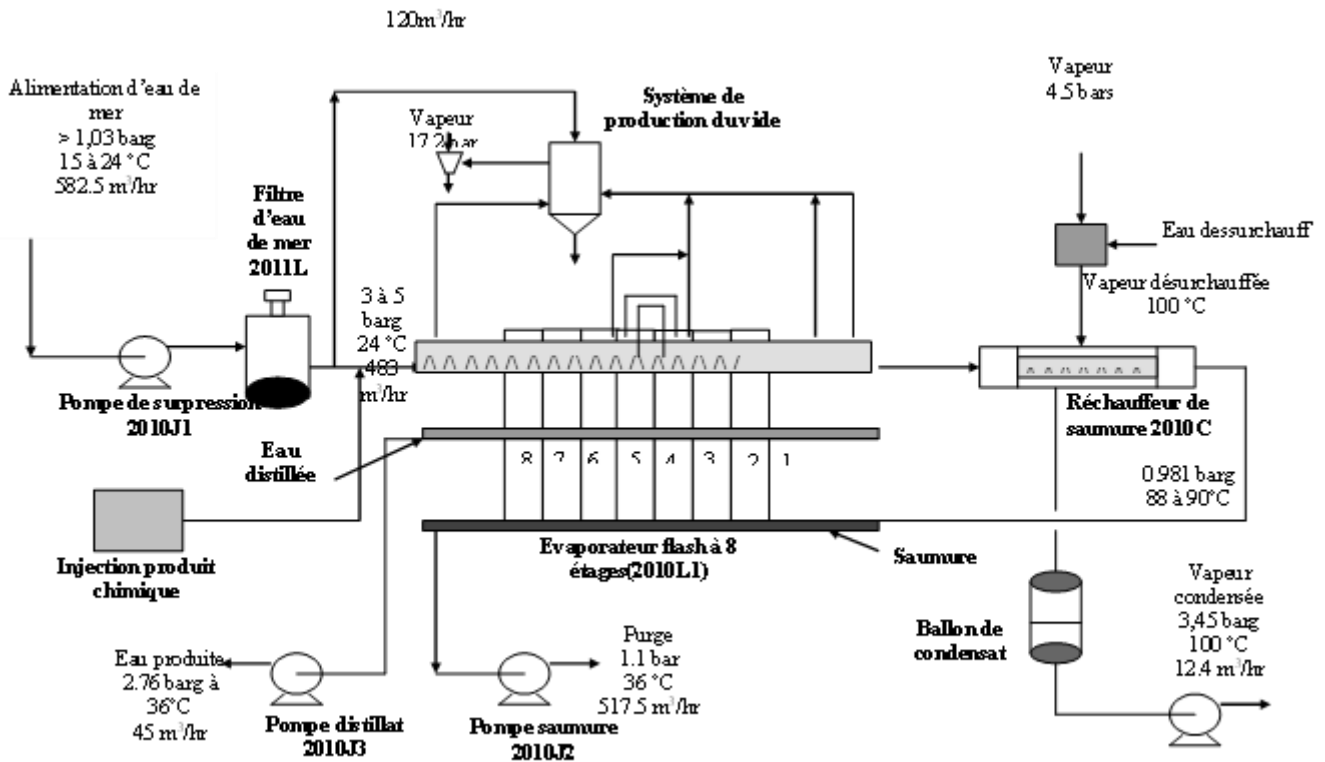


Figure II.8 : Principe et paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement de type MSF

a)-Filtres d'eau de mer :

L'eau de mer d'alimentation est filtrée par les filtres (2011 L A, B, C, D, E) qui ont une capacité de 45,3 m³/h, ils sont en fonctionnement continu et possèdent l'équipement nécessaire pour un lavage à contre-courant de façon cyclique prédéterminée (30 mn à 24h) [8].

Le schéma ci-dessous présente l'acheminement de l'eau de mer vers les dessaleurs 6 tubes à filtre grossier + système d'injection du chlore.

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

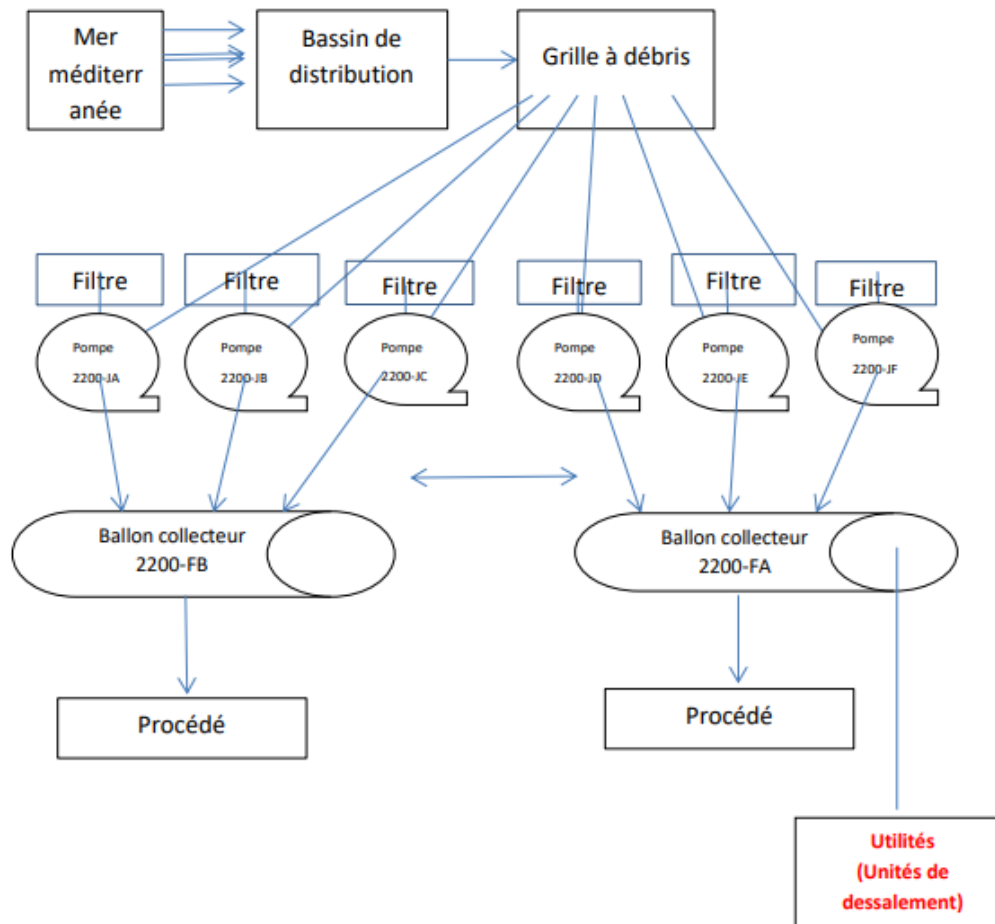


Figure II.9 : l'acheminement d'eau de mer vers les dessaleurs

L'eau de mer d'alimentation est filtrée par les filtres à l'eau de mer (2011 L A, B, C, D, E), qui sont en fonctionnement continu et possèdent l'équipement nécessaire pour un lavage à contre-courant de façon cyclique prédéterminée (30 mn à 24 h). Les filtres à eau de mer retiennent les grosses particules ou les solides contenus dans l'eau de mer [voir le schéma attaché à l'annexe A6]

b) - Evaporateur :

Il est considéré comme le corps de l'unité de dessalement, il se compose d'étages de récupération de chaleur et d'étages de rejet de chaleur limité par trois étages. Dans les

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

étages de récupération de chaleur, la chaleur des vapeurs condensées est récupérée par recirculation de la saumure, tandis que les étages de rejet de chaleur, elle est éliminée par refroidissement de l'eau de mer sous forme de chaleur perdue. Chaque étage est composé de deux sections, une section supérieure et une inférieure qui sont séparés par des dépisteur.

La section inférieure est une grande pièce appelée chambre de détente où l'eau de saumure passe à travers des dépisteurs vers la partie supérieure.

La vapeur pénètre dans la partie supérieure de la chambre de détente qui se compose de tubes de condensation sur lesquels elle se condense et tombe sous forme de gouttelettes d'eau distillée. Les gouttelettes sont collectées dans des plateaux de distillat. Les étages sont séparés par un mur, ayant cinq portes de sortie de saumure qui est son chemin vers l'étage suivant.

Le dernier étage contient un bassin de purge de la saumure à la sortie des filtres, l'eau est reprise par une pompe de surpression d'eau de mer (2010 J1 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 huit (08) compartiments par un faisceau tubulaire qui fait office de condenseur au contact de la vapeur de l'eau évaporée [8]. L'eau de mer est ensuite réchauffée par un réchauffeur de saumure (2010 L A/B/C/D/E). La saumure, portée à une température de 90 °C, revient au vaporisateur et circule à contre-courant des faisceaux tubulaires. La saumure chaude et le vide, créé par les éjecteurs de vapeur, permettent une évaporation. Dans chaque compartiment, la vapeur traverse un tamis débrumeur, qui retient 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 premier jusqu'au huitième). L'eau est ensuite refoulée par la pompe à eau distillée (2010 J3 A, B, C, D, E) vers le bac de stockage (2041 F). Un niveau de saumure est maintenu au dernier étage et elle est renvoyée au canal de rejet par la pompe de purge de saumure (2010 J2 A, B, C, D, E). Les incondensables sont évacués à partir du système du vide vers l'éjecteur.

Voir le schéma attaché à l'annexe 7

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

c)- Réchauffeur de saumure :

C'est un échangeur de chaleur horizontal à calandre et à faisceau tubulaire en une seule passe avec de la vapeur se condensant au côté calandre et la saumure circule à l'intérieur du faisceau tubulaire. La vapeur condensée est collectée dans des réservoirs d'extraction situés sous le réchauffeur, le choix de matériau de construction dépend du système (réchauffeur de saumure, récupération de chaleur et rejet de chaleur).

L'eau de mer entre du côté tube du réchauffeur a une température de 78,6°C, où elle est réchauffée par la vapeur désurchauffée, jusqu'à ce que la température de service atteigne une température de 90 °C. Une citerne au fond de la calandre permet de recueillir la vapeur condensée, le niveau est maintenu constant au moyen d'un régulateur de niveau de condensât.

Une pompe de condensât (2010 J4 A, B, C, D, E) renvoie les condensâts vers le désurchauffeur (2010 M A, B, C, D, E) et/ou vers le retour de condensât. Les incondensables sont évacués par l'éjecteur [5] Voir le schéma attaché à l'annexe 8

d)- Désurchauffeur :

La vapeur alimentant le réchauffeur de saumure passe par un désurchauffeur (2010 C A, B, C, D, E) de façon à avoir de la vapeur saturée à 100 °C, le désurchauffeur est alimenté en vapeur, l'eau de désurchauffée provient du circuit condensat de la pompe de condensat (2010 J4 A, B, C, D, E) [5].

e) Ejecteur et le condenseur :

Le vide à l'intérieur de l'évaporateur est obtenue grâce à deux (02) éjecteurs, à deux (02) étages chacun, et un condenseur qui est divisé en deux (02) étages (condenseur intermédiaire et condenseur secondaire).

Les incondensables de l'évaporateur et du réchauffeur de saumure se déchargent par les lignes d'évent dans le système éjecteur condenseur et sont ensuite rejetés vers l'atmosphère. La vapeur, alimentant les éjecteurs, provient du réseau 17 bars et se décharge dans le condenseur, le premier éjecteur (vide à l'évaporateur) décharge à l'intérieur du

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

condensateur intermédiaire. Les incondensables du condenseur intermédiaire sont repris par le second éjecteur et passent dans le condenseur secondaire d'où ils sont mis à l'atmosphère, le fluide réfrigérant des condenseurs est de l'eau de mer qui provient de la pompe de surpression d'eau de mer [14].

f) - Système d'injection des produits chimiques :

Pour éviter tout dépôt de tartre dans la conduite de l'évaporateur, l'eau de mer est traitée par injection de poly phosphate et de solution anti-mousse.

Le bac à produits chimiques (2010 F- A, B, C, D, E) est muni d'un agitateur (2010 LL/A/B/C/D/E), Sur le circuit d'injection, 2 pompes (2010 J/JA A, B, C, D, E) une seule en service et l'autre en stand- by aspirent dans le bac au travers d'un filtre et refoulent dans la conduite eau de mer de l'évaporateur, le débit d'injection est réglé par la course de la pompe. Cette injection de produits chimiques a pour le but de retarder la formation de tartre sur les tubes de transfert de l'évaporateur et de ce fait, réduire la fréquence de nettoyage par produits chimiques [5].

g) - Pompes :

Les pompes jouent un rôle majeur dans l'usine de dessalement, l'installation de dessalement comprend les pompes suivantes :

- Pompes de recyclage de saumure : elles prélèvent l'eau du dernier étage, du dégazeur, et alimente le condenseur de dernier étage de récupération de chaleur.
- Pompes de distillat : elles extraient l'eau distillée du dernier étage vers le bac de stockage du distillat.
- Pompes d'évacuation de saumure : elles évacuent la saumure vers la mer.
- Pompes de condensat : elles retirent la vapeur condensée de l'appareil de chauffage et la pomper vers la centrale électrique [14].

h) - Bac de stockage :

Bac de stockage (2041 F) d'eau distillée, d'une capacité de 8710 m³, est continuellement pressurisé à l'azote, pour éviter tout contact entre l'eau et l'air. Les pompes d'appoint (2010

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

J A, B, C, D, E) envoient l'eau distillée dans le collecteur d'eau d'appoint (alimentation chaudières). Le réseau de GL2/Z peut servir d'appoint ou être alimenté partiellement par GL1/Z [7].

II.7.3- Principe de fonctionnement de l'unité de dessalement « MSF » :

L'évaporateur multi flash MSF produit l'eau distillée à partir de l'eau de mer, en la réchauffant jusqu'à ce qu'elle soit prête pour le flash. La vapeur, ainsi produite, est entraînée vers le condenseur où elle est condensée en distillat.

Le flash se produit lorsque la saumure entre dans le premier étage de l'évaporateur, qui est maintenu à une pression inférieure à la pression atmosphérique [4]. Les gouttelettes de saumure entraînées sont enlevées de la vapeur par des demi stères et la vapeur, à l'état vapeur pure, se condense en distillat sur les tubes du condenseur.

Le processus de distillation fonctionne à l'aide d'un vide bas dans le premier étage jusqu'à un vide poussé dans le dernier étage. La différence de pression d'étage en étage est l'élément essentiel pour obtenir une répétition du flash [10]. Le vide dans les étages est créé par un système de vide installé sur la partie supérieure du dessaleur et composé d'un ensemble d'éjecteurs et de condenseurs barométriques.

Ce système est conçu pour enlever les gaz non condensables dégagés pendant le fonctionnement. L'eau de mer d'alimentation, véhiculée par un collecteur utilité, est aspirée par la pompe booster puis filtrée.

Elle est ensuite véhiculée vers la boîte de distribution ainsi que vers les tubes du condenseur, progressivement réchauffé par la vapeur de la saumure qui se condense sur la partie externe des tubes [5].

L'eau de mer, ainsi préchauffée aux environs de 73 °C dans l'évaporateur, va subir un réchauffement dans le réchauffeur de la saumure, à une température voisine de 91 °C, puis admise sous contrôle de débit au niveau de la première cellule. La vapeur qui se condense, suite au réchauffage de l'eau d'alimentation, sera acheminée vers le ballon de condensat puis dans un collecteur de condensat par la pompe J3 [5]. La vapeur, détendue successivement au niveau de chaque cellule, est recueillie dans la cuve du dernier étage

CHAPITRE II : Généralité sur les techniques de dessalement d'eau de mer et description de l'unité de dessalement du complexe GL2/Z

(8ème) et sera acheminée vers la pompe produit J4, puis envoyée vers le stockage, si elle est conforme aux spécifications, car les deux systèmes de condensant et de produit sont équipés d'un dispositif de contrôle *conductimètre* qui les met au rejet en cas de mauvaise qualité [5].

CHAPITRE III :

**Les problèmes techniques rencontrés en
dessalement d'eau de mer**

III.1- Introduction :

Les problèmes rencontrés dans les différents procédés de dessalement sont principalement liés à l'utilisation de solutions salines concentrées ou à la production d'eaux agressives (excès de gaz carbonique par rapport à l'équilibre). Ce sont la corrosion, l'entartrage et le colmatage.

III.2- Problèmes d'entartrage :

Le phénomène d'entartrage représente un problème majeur au niveau de l'unité de dessalement d'eau de mer du complexe GL2/Z. L'entartrage est un dépôt de calcaire dur et insoluble issu de la précipitation des sels minéraux contenus dans l'eau qui ont tendance à se former sur les surfaces d'échanges sous l'effet de la chaleur.

Ils se déposent sur les parois des chaudières, des canalisations d'eau ou de vapeur, à cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonates et sulfate) (figure III.1).

Ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4) ...etc. Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement [10].



Figure III.1 : Entartrage au niveau du réchauffeur.

III.2.1 - Causes de l'entartrage :

La cause principale de ces tartres est le débit d'arrosage d'eau de mer faible et la température élevée de la vapeur entrante dans la cellule coté tubes, à cause aussi est très important, la mauvaise injection ou le dosage des produits chimiques (l'antitartre et l'anti mousse). Un autre phénomène a été relevé : la pénétration d'air dans les cellules sous vide de l'unité, cette dernière peut être provoquée par des fissures ou perforations sur les conduites du système de vide.

III .2.2- Composition et formation du tartre :

Quand l'eau de mer est chauffée dans un évaporateur, les limites de solubilité de certains sels sont atteintes ou dépassées. Par conséquent, il y a formation du tartre sur les surfaces d'échange de chaleur. L'analyse du tartre, trouvé communément dans les dépôts de l'eau de mer provenant d'une installation de dessalement, permet de constater la présence de plusieurs composants que l'on peut isoler.

Toutefois, l'élément constitutif le plus important sera l'un de ceux cités ci-dessous avec leurs températures de précipitation °C [15] :

- Carbonate de calcium (CaCO_3) (60-70 °C)
- Hydroxyde de magnésium (Mg(OH)_2) (90-95 °C)
- Sulfate de calcium (CaSO_4) (115 °C) La formation de ces tartres, sur une surface d'échange thermique, gêne sérieusement les propriétés d'échange de chaleur [15].

III.2.3- Les effets du tartre :

a) Effet dans l'évaporateur : Lors de la formation du tartre, une vapeur plus élevée est nécessaire afin de maintenir la température de saumure à son point le plus haut, et ce à cause de la résistance fournie par l'encrassement du tartre [14].

b) Effet dans la partie de récupération de chaleur : Plus de vapeurs sont nécessaires pour maintenir la température de sortie de la saumure la plus élevée. Une diminution progressive du rendement est observée si le débit de vapeur n'est pas en augmentation, La température est donc réduite ce qui implique une diminution progressive de rendement [15].

III.2.4- Classification du tartre :

On parle habituellement de deux types de tartre :

- ♣ Le tartre alcalin : CaCO_3 et Mg(OH)_2 ,
- ♣ Le tartre non alcalin : CaSO_4 .

III.2.5- Autres types de tartre :

- a) Phosphate de calcium :** Il peut se former si l'alimentation de l'eau provient d'un estuaire, où le phosphate est présent, ou à cause de la chute thermique de polyphosphate et du phosphate, ajoutés à l'eau de mer pour se prémunir contre l'entartrage alcalin [15].
- b) Oxyde de fer et de cuivre :**

Ils constituent rarement un problème dans les installations qui comportent les additifs. Cependant là où l'acide est utilisé pour le contrôle du tartre, la corrosion des composants,

en cuivrés et en ferreux de l'installation, amènent souvent des oxydes de fer et de cuivre dans les tubes du distillateur [15].

- c) **Tartre de silicate** : Il n'est pas fréquent que l'eau de mer contienne de petites quantités de silicate. L'amalgame de silicate, de magnésium (Mg), de calcium (Ca) et de fer peut se former sous l'effet de concentration, de température ou d'augmentation du pH de la saumure en circulation [15].

III.2.6- Inhibiteurs d'entartrage :

Ce sont des produits tartriques que l'on injecte à très faible dose (quelques ppm) dans l'eau d'appoint, ils ont la propriété d'éviter ou de minimiser les dépôts qui se font sur les parois d'échange [5].

III.2.7- Traitement du tartre :

La lutte contre la formation de tartre et de boues sur les surfaces internes des tubes de transfert de chaleur des réchauffeurs de saumure et des sections de récupération de chaleur dans les usines de dessalement de l'eau de mer MSF est une opération très importante. Avec le développement des produits chimiques, on a étudié la température maximale où l'efficacité des produits chimiques utilisés pour supprimer la formation de tartre [10].

L'inhibition de tartre est l'une des méthodes de traitements suivants :

- L'utilisation d'un acide sulfamique pour provoquer l'épuisement des carbonates présents dans l'eau de mer représentant une méthode de traitement acide
- L'utilisation d'inhibiteur de tartre disponible dans le commerce, connu sous le nom de méthode de traitement additif chimique.
- L'utilisation combinée des deux méthodes, c'est-à-dire utilisation d'inhibition de tartre suivi par un nettoyage acide est une méthode hybride.

III.3-Problèmes de corrosion :

III.3.1-Définition :

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



Figure III.2 : Image représentant la corrosion.

III.3.2- Causes de corrosion :

Les principales causes de la corrosion sont :

- Composition chimique et en particulier teneur élevée en ions chlorures.
- Conductivité élevée et par suite facilitée du développement des effets galvaniques
- Corrosion résultant de l'oxygène dissous.
- Présence de bactéries d'organismes marins divers et d' H_2S dans certain cas de pollution.

III.3.3- Les principaux facteurs de la corrosion par l'eau de mer :

- a) **La salinité** : l'eau de mer est un milieu complexe du point de vue chimique et biologique, son pH est relativement uniforme (environ 8,2) ses constituants ont, en général, un effet néfaste sur la résistance à la corrosion des métaux, et en fait un milieu particulièrement agressif, elle se caractérise par une forte salinité, d'où une conductivité élevée, ce qui favorise les couples galvaniques, ainsi que les attaques localisées, car la résistance de l'électrolyte ne joue plus qu'un rôle mineur dans le contrôle des courants de corrosion [15].
- b) **L'oxygène** : l'oxygène est le facteur important de la corrosion, en eau de mer, la réaction cathodique est le plus souvent la réduction de l'oxygène dissous donnant des ions OH⁻, l'augmentation de la concentration en oxygène favorise cette réaction et peut conduire à une augmentation de la corrosion par dépolarisation cathodique [15].
- c) **Bactéries** : Les essais de corrosion menés en eau de mer synthétique sont en général moins sévères que ceux utilisant l'eau de mer naturelle.
- d) **Température et vitesse de circulation** : En générale, la corrosion croît avec la température et la vitesse de circulation (tant qu'il n'y a pas de modification de milieu). Elle peut devenir catastrophique si ces paramètres dépassent certaines limites qui seront données plus loin pour les principaux matériaux utilisés en circuits eau de mer [14].

III.3.4- Types de corrosion :

La corrosion peut être sèche (dans l'air) ou humide (dans l'eau). Notre étude porte en particulier sur la corrosion humide, dont il existe plusieurs types :

- a) **Uniforme** : C'est la forme de corrosion la plus classique. La surface entière du métal sert à l'oxydation et à la réduction, sans distinction de sites anodiques et cathodiques. Un seul métal intervient.
- b) **Localisée** : C'est une corrosion qui se déroule en un lieu spécifiquement anodique d'une surface ou d'une structure métallique. Elle diffère de la corrosion uniforme car on distingue clairement les endroits anodiques et cathodiques. En pratique, la corrosion localisée provient d'une hétérogénéité du matériau ou de

l'environnement. La corrosion localisée survient sur une partie du métal à un taux bien supérieur au reste de la surface. Elle peut avoir plusieurs formes.

- Par piqûres,
- Galvanique,
- Intergranulaire,
- Caverneuse,
- Sélective,
- Sous contrainte,
- Erosion-corrosion,
- Corrosion par fatigue

III.3.5- Les effets néfastes provoqués par la corrosion :

Les effets néfastes provoqués par la corrosion sont représentés sur la figure suivante :

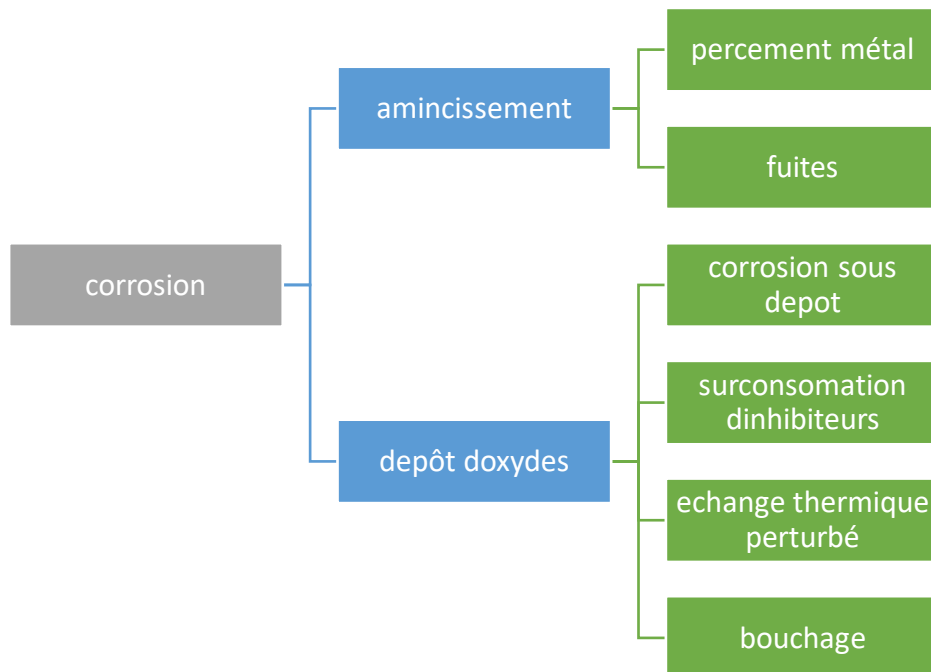


Figure III.3 : Les effets néfastes provoqués par la corrosion

III.3.6- Méthodes de protection et de prévention contre la corrosion :

La protection contre la détérioration des métaux peut se faire en agissant soit sur la nature du milieu exemple l'eau, soit sur la nature du métal. Les méthodes de protection et de prévention contre la corrosion sont les suivantes :

- Protection électrochimique,
- Protection par les inhibiteurs de corrosion.
- Protection par revêtement,
- Prévention par un choix judicieux des matériaux
- Prévention par une forme adaptée des pièces

III.4-Problèmes de colmatage :

Les eaux brutes naturelles peuvent également contenir des substances organiques, des microorganismes (Figure III.4) En osmose inverse ces organismes qui sont retenus par les membranes peuvent les encrasser et trouver des conditions favorables à leur développement.

Elles forment alors un biofilm qui peut conduire au colmatage des filtres autonettoyant. Ce phénomène a des conséquences directes sur la capacité de production des installations et le coût du processus [12]



Figure III.4 : Colmatage

CHAPITRE IV :

**Vérification des paramètres de fonctionnement
de l'unité de dessalement et les tests de
protection**

CHAPITRE IV : Vérification des paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement et les tests de protection

IV.1 Causes liées à la baisse de production de l'eau dessalée :

IV.1 .1 Production de l'eau dessalée dans le complexe GL2/Z :

Tableau IV.1 : Production de l'eau dessalée dans le complexe GL2/Z

<i>LES MOIS</i>	<i>PRODUCTION TOTALE</i>	<i>PRODUCTION Désigne</i>	<i>TAUX DE PRODUCTION</i>
<i>Juillet</i>	60 123	101 110	24
<i>Aout</i>	55 913	101 110	26
<i>Septembre</i>	52 410	97 848	25
<i>Octobre</i>	52 048	101 110	28
<i>Novembre</i>	38 049	97 848	18
<i>Décembre</i>	55 378	101 109	26
<i>Janvier</i>	59 851	101 110	28
<i>Février</i>	55 290	91 325	29

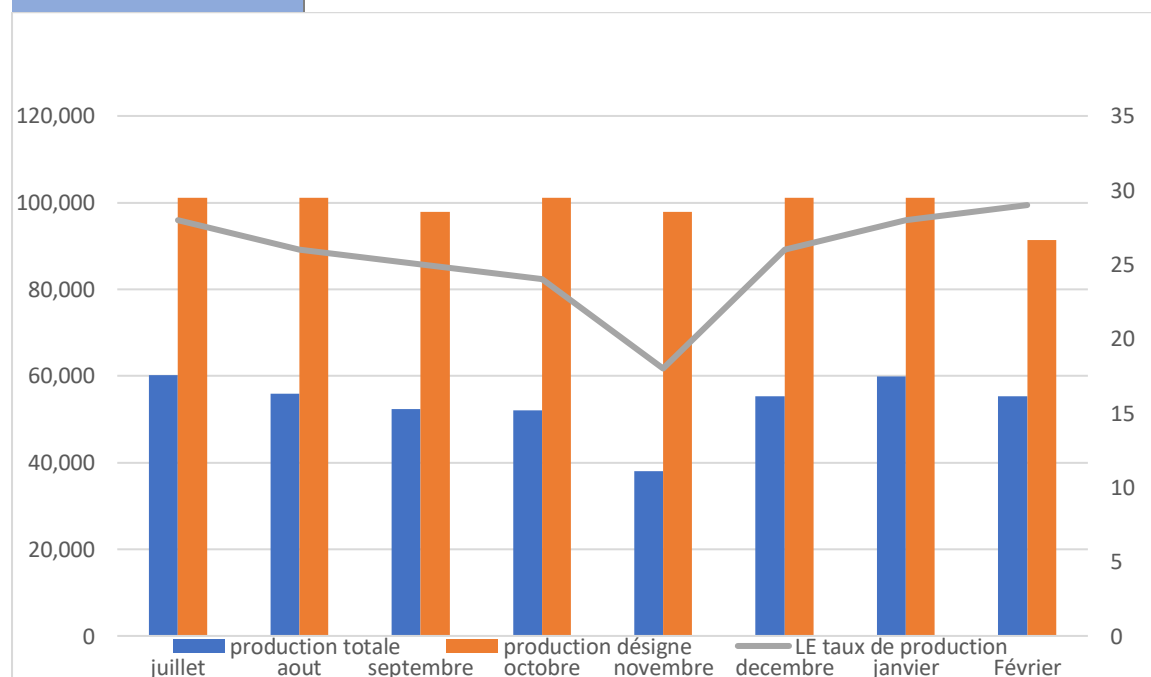


Figure IV.1 : Représentation de la production en eau dessalée des dessaleurs du complexe GL2/Z

CHAPITRE IV : Vérification des paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement et les tests de protection

Interprétation des résultats :

Les données présentées dans le graphe ci-dessus, présentent la production de l'eau dessalée et le taux correspondant produit par dessaleurs de type MSF par rapport au désigne, sur une période d'étude qui s'étale sur 08 mois, de juillet 2022 à février 2023.

On remarque clairement que la production de l'eau dessalée diminue progressivement pour atteindre le taux le plus bas qui est de 18% en novembre 2022.

Ce qui équivaut à une production d'eau dessalée égale à 38 049 m³

Nous avons marqué cette diminution parce que les dessaleurs ne fonctionnaient pas correctement à cause d'un des problèmes déjà mentionnés comme problème de tartre et de percement sur les parois de la tuyauterie des dessaleurs, détectés lors de la vérification des paramètres de fonctionnement. Le dessaleur 2010 LB était en arrêt, et le dessaleur 2010 L E était en arrêt pendant 10 jours. Le dessaleur 2010 LA avait un colmatage des tamis, présence de la quantité importante du tartre à l'intérieur des cellules, détachement de bourrage entre les tamis. Nous constatons ainsi que la production moyenne des dessaleurs est de 55290 m³ /h, au lieu de la valeur de 226,5 m³ /h, préconisée par le désigne Cette diminution de production concerne l'ensemble des dessaleurs « Multi Stage Flash » de la zone Utilités du complexe GL2/Z. La production actuelle du complexe GL2/Z est très faible par rapport au design mais reste acceptable.

IV.1.2--Paramètres de fonctionnement des dessaleurs de type MSF :

Nous avons fait un déplacement sur le site du complexe GL2/Z sur la zone utilités pour le but d'effectuer une comparaison de tous les paramètres de fonctionnement des dessaleurs par rapport au désigne, et pour identifier les causes principales des dysfonctionnements.

Les paramètres de fonctionnement des dessaleurs de type MSF sont représentées dans le Tableau suivant durant une journée de fonctionnement pendant le mois de mars 2023.

**CHAPITRE IV : Vérification des paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement
et les tests de protection**

Tableau IV.2 : paramètres de fonctionnement des dessaleurs MSF

Paramètres	Dessaleur			
	2010 LA	2010 LB	2010 LE	Design
Pression différentielle Filtre 2011 L entrée EDM (Mbar)	515	126	20,6	500
Pression d'aspiration de la pompe booster (EDM) 2010L J1 (bar)	1,5	/	1	1,379 à 2,21 bars
LE VIDE	5	6,2	/	4,7 bars
Débit eau de mer en m ³ /h	318,87	339,17	365 ,62	515 m ³ /h
Débit eau dessalée en m ³ /h	25 ,35	25,77	24	45,3 m ³ /h

Interprétation des résultats :

Le tableau ci-dessus révèle une limitation de la charge d'alimentation en eau de mer (EDM) qui varie entre 318 et 365 m³ /h, au lieu d'un débit de 515 m³ /h par rapport au désigne.

Cette limitation de charge est due aux dysfonctionnements de filtre autonettoyant. Si la pression différentielle dépasse 500 Mbar donc il y a une alarme pour procéder à un auto nettoyage. On remarque aussi une limitation de production d'eau dessalée produite par les unités de dessalement, la production qui varie entre 24 et 25 m³ /h alors que le design préconisé un débit d'eau dessalée de 45,3 m³ /h

CHAPITRE IV : Vérification des paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement et les tests de protection

IV.1.3-Paramètresde fonctionnement des réchauffeurs de saumures des dessaleurs :

Tableau IV.3 : paramètres de fonctionnement des réchauffeurs de saumures des dessaleurs

Paramètres	Réchauffeurs de saumure			
	2010 LA	2010 LB	2010 LE	Design
Débit condensât (m ³ /h)	0,7	7,23	6,28	9,8
Température entrée vapeur 4.5 bars dans le réchauffeur de saumure en °C	181	101,7	95,1	100
Température sortie condensât en °C	110,7	100	101	100
Température entrée eau de mer du réchauffeur de saumure en °C	63,2	61,6	65,8	78
Température sortie eau de mer du réchauffeur de saumure en °C	76	74	77,4	90

Interprétation des résultats :

Le tableau montre que les paramètres de fonctionnement des réchauffeurs de saumures des dessaleurs ne sont pas conformes au design.

CHAPITRE IV : Vérification des paramètres de fonctionnement de l'unité de dessalement et les tests de protection

- Nous avons enregistré une hausse de la température en aval de la désurchauffe pour tous les dessaleurs MSF. Cette température varie entre 95.9 et 181°C, au lieu d'une température de 100 °C recommandée par le design.
- Cette hausse de température qui atteint 181 °C, est probablement due à l'indisponibilité de la pompe condensât qui engendre, par conséquent, un percement des tubes du réchauffeur de saumure.
- Nous avons noté une baisse de la température de l'eau de mer en amont du réchauffeur de saumure.

Cette température varie entre 61.6 à 65.8°C pour tous les réchauffeurs de saumures au lieu d'une température EDM de 78 °C.

Cette baisse de température est probablement due au mauvais échange thermique au niveau des évaporateurs engendrés par la présence d'une couche saline au niveau des tubes des évaporateurs (le tartre) .

- Nous avons également noté une baisse de température de l'eau de mer en aval du réchauffeur de saumure, variant entre 74 et 77,4 °C alors que la température de sortie d'eau de mer est de 90 °C par rapport au désigne.
- Cette baisse de température est sûrement la conséquence du mauvais échange thermique entre l'eau de mer et la vapeur au niveau du réchauffeur de saumure.

Chapitre V :

**Contrôle de la qualité des eau dessalée et
traitement des eaux dessalés**

Chapitre V : Contrôle de la qualité des eau dessalée et traitement des eaux dessalés

V.1-Introduction :

Le Service Laboratoire du complexe GL2/Z assure en continu l'analyse de l'eau dessalée produite, afin de s'assurer de sa qualité. Avec l'aide du Service Laboratoire, nous avons suivi pendant 01 mois les différentes analyses réalisées sur les échantillons d'eau prélevés à la sortie de chaque dessaleur. Ces analyses ont pour but de démontrer s'il y a des changements dans les paramètres de l'eau afin de corriger ce qui assure le bon fonctionnement des équipements industriels et une production meilleure de l'eau dessalée.

V.2- Traitement des eaux dessalées dans le complexe GNL2 /Z

➤ **Qualité de l'eau dessalée produite par le complexe**

Le laboratoire du complexe GNL2/Z effectue deux types d'analyses, pour contrôler la qualité de l'eau dessalée, produite par le complexe, et en assurer une bonne qualité. Ces analyses sont :

- Des analyses systématiques planifiées (quotidiennes)
- Des analyses courantes non planifiées. (À la demande de la production).

V.2.1-Les analyses systématiques planifiées (quotidiennes)

V.2.1.1-Mesure du pH :

A) -Définition :

Le pH est un sigle signifiant potentiel hydrogène et qui représente la mesure de l'alcalinité en chimie. Le pH mesure la concentration d'une solution aqueuse en ions oxonium H_3O^+ et le degré d'acidité ou de basicité d'une solution. Le pH du dessaleur varie dans un intervalle de [6 – 8].

L'analyse du pH se fait à température ambiante ($T\text{ }^{\circ}C \nearrow \rightarrow pH \nearrow$).

L'appareil de mesure est le pH-mètre (Figure V.1)

B) -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 stabilise sur le cadran avant la lecture du résultat.



Figure V.1 : Photo du pH mètre utilisé

Chapitre V : Contrôle de la qualité des eau dessalée et traitement des eaux dessalés

Tableau V.1 : Résultats des mesures du pH de l'eau dessalée du mois de février 2023

Dessaleur			
Date (jours)	2010LA	201 LB	2010 LE
1	6,5	6,5	6,5
2-3	6,6	6,5	6,5
4-5-6	6,5	6,5	6,5
7	6,5	6,6	6,5
8	6,5	6,5	6,4
9	6,6	6,5	6,5
10	6,5	6,6	6,6
11	6,5	6,4	6,4
12 -13	6,6	6,6	6,5
14	6,6	6,5	6,5
15	6,5	6,5	6,3
16-17	6,5	6,5	6,4
18	6,5	6,7	6,4
19	6,6	6,5	6,6
20	6,6	6,6	6,5
21	6,4	6,5	6,5
22-23	6,5	6,4	6,5
24	6,4	6,6	6,4
25	6,5	6,5	6,5
26-27	6,5	6,5	6,5
28	6,4	6,5	6,5
29	6,5	6,5	6,5
30	6,5	6,6	6,5
31	6,5	6,5	6,6
Désigne	6- 8		

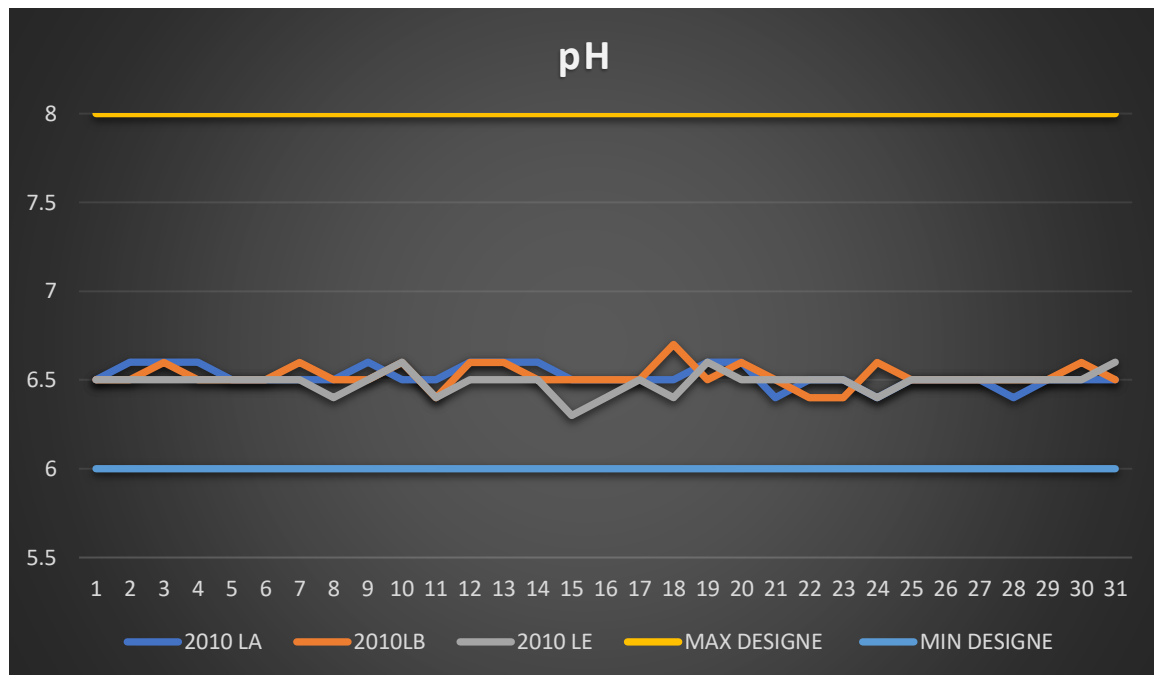


Figure V.2 : Mesure du pH de l'eau dessalée du mois

D)-Interprétation des résultats :

Le graphe 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.

V.2.1.2-Mesure de la conductivité électrique :

A) -Définition :

La conductivité électrique est l'aptitude d'un matériau ou d'une solution à laisser les charges électriques se déplacer librement, donc à permettre le passage d'un courant électrique. Dans le S.I la conductivité est mesurée en S.m-1 (siemens par mètre). La conductivité électrique d'une solution est mesurée à l'aide d'un conductimètre (Figure V.3). Elle détermine des électrolytes dissous dans les eaux d'alimentation des chaudières, les eaux des dessaleurs et les eaux de refroidissement. La conductivité est liée à la présence des ions dans l'eau, elle augmente avec la concentration des sels ioniques dissous et aussi avec la température. Donc la valeur de La conductivité électrique est donnée à une température considérée habituellement à 25 °C. La conductivité ne doit pas dépasser 8 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) d'après le design

b)- But de la manipulation :

Cette méthode couvre les mesures de la Conductivité électrique de l'eau. C'est une méthode approximative pour la détermination des électrolytes dissous dans les eaux d'alimentation des chaudières, les eaux des dessaleurs et les eaux de refroidissement.

B) -Objectif de la manipulation :

La mesure de la conductivité nous permet de contrôler la pureté de l'eau. Pour estimer la qualité de l'eau, cette mesure se fait avec le conductimètre. Avec l'aide du Service Laboratoire, nous avons suivi pendant 28 jours les différentes analyses réalisées sur les échantillons d'eau prélevés à la sortie de chaque dessaleur.

D) -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.



Figure V.3 : Photo du conductimètre utilisé

Tableau V.2 : Résultats des mesures de la conductivité de l'eau dessalée du mois de février

Dessaleurs			
Jours	σ ($\mu\text{S/cm}$)		
	2010LA	2010LB	2010LE
01	1,7	1,9	1,8
02	1,9	2,9	1,7
03	1,6	4,9	1,8
04	1,5	1,9	1,5
05	1,6	2	1,9
06	1,5	2,2	1,7
07	1,7	2,1	1,9
08	1,6	2	1,9
09	1,6	3,1	2
10	1,8	3,4	2,1
11	1,6	2,1	3,9
12	1,6	6,5	1,9
13	1,7	6,4	1,9
14	2	2	1,9
15	2,5	2,4	1,7
16	1,8	2,3	1,7
17	1,8	2,2	1,9
18	1,8	2,4	1,8
19	1,6	2,1	1,6
20	1,7	2,3	1,8
21	1,7	2,1	2,5
22	1,7	2	2,4
23	1,7	2	2
24	1,7	1,9	2
25	1,8	2	1,6
26	1,9	2,2	1,8
27	1,9	2	1,8
28	1,9	2	1,7
Désigne	8		

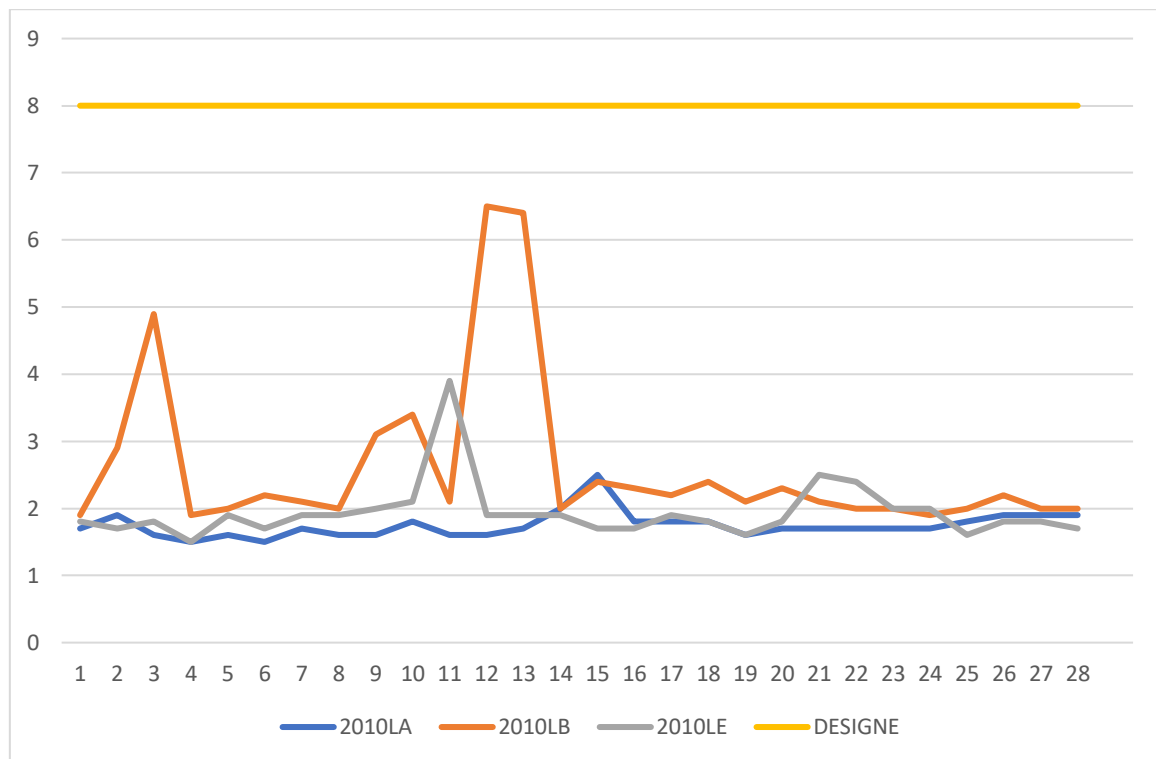


Figure V.4 : Variation de la conductivité électrique des eaux dessalées produites par les unités 2010 LA/B/E du mois de février

F) -Interprétation des résultats :

D'après le graphe, on constate que les conductivités électriques des 3 dessaleurs ne dépassent pas la limite de 8 dans l'eau distillée. Elles varient entre 1,5µs/cm et 6,5µs/cm qui sont des valeurs dans la norme.

V.2.1.3-Mesure des ions chlorures :

L'eau contient toujours de chlorures, mais en proportion très variable. En effet, les eaux prévenant des granitiques sont pauvres en chlorures, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent d'avantage, d'ailleurs la teneur en Chlorure augmente avec le degré de minéralisation d'une eau (aussi de la conductivité).

Chapitre V : Contrôle de la qualité des eau dessalée et traitement des eaux dessalés

A) -Dosage des ions chlorures :

La méthode de dosage est basée sur la fixation des ions Cl^- par les ions Hg^{2+} en un sel, peu dissocié, le Hg Cl_2 . Au cours de ce phénomène, on procède au titrage par une solution de nitrate de mercure. La réaction est la suivante :



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

B) -Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml,
- Ajouter 1 ml d'acide nitrique HNO_3 à (0,1 N),
- Ajouter 2 à 3 gouttes de diphénylcarbazone, puis agiter (on obtient une coloration jaune),
- Remplir la burette de précision de 50 ml avec la solution de nitrate de mercure $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ à (0,0014 N),
- Ajouter, goutte à goutte, la solution mercurique dans l'erlenmeyer, jusqu'à ce que l'on obtienne une coloration bleue violacée,
- Noter le volume écoulé de la solution d ' $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ soit (V).

Chapitre V : Contrôle de la qualité des eau dessalée et traitement des eaux dessalés

Tableau V.3 : Résultats de l'analyse des chlorures dans l'eau dessalée en ppm du février

Dessaleurs			
jours	2010LA	2010LB	2010LE
01-02	0,2	0,2	0,2
03	0,2	0,5	0,2
04-05	0,2	0,2	0,2
06-07	0,2	0	0
08	0,2	0,2	0,2
09	0,2	0,2	0,2
10	0,2	0,3	0,2
11	0,2	0,2	0,6
12	0	0,2	0,2
13	0,2	0,2	0,2
14	0,2	0,2	0
15	0,05	0,05	0,05
16-17-18	0,2	0,2	0,2
19	0,2	0,2	0,2
20	0	0,2	0,2
21	0,2	0,2	0,2
22	0,2	0,2	0,2
23	0,2	0,2	0
24	0,2	0,2	0,2
25	0,2	0,2	0,2
26-27	0,2	0,2	0,2
28	0	0	0
Désigne	1		

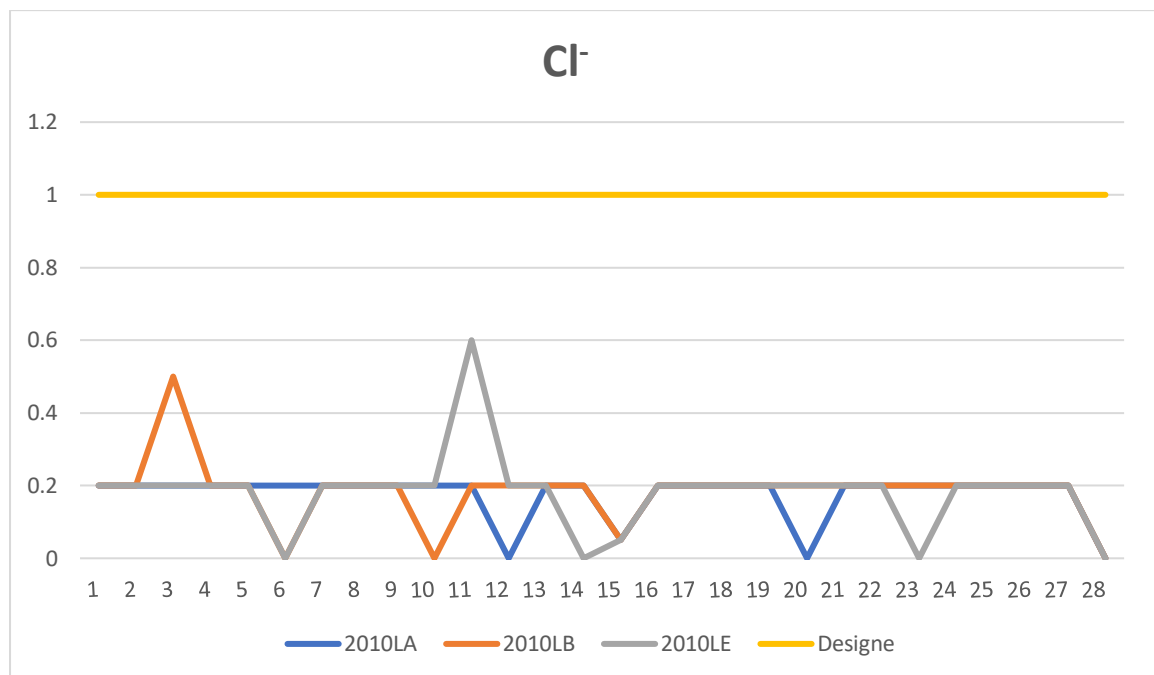


Figure V.5 : Mesures des concentrations des ions chlorures des eaux dessalées produites par les unités 2010 LA/B/E du mois de février

D)-Interprétation des résultats :

D'après le graphe, 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.

V.2.2--Les analyses courantes non planifiées

V.2.2.1--Mesure de l'ammonium NH_4^+ :

A) - Définition :

Cette mesure permet de déterminer la teneur en ammonium, car une concentration élevée de cette dernière favorise la corrosion de l'alliage en cuivre, NH_4^+ 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).

B) - 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.

C)- Remarque :

En remarque que l'augmentation d'ammonium dans les trois dessaleurs 2010LA/LB/LE est négligeable

V.3-Conclusion :

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

- Les valeurs du pH aux niveau des trois dessaleurs restent dans la moyenne entre 6 et 8 donc elle reste dans l'intervalle de la norme,
- Concernant la conductivité comprise aux niveaux des trois dessaleurs reste inférieure à la norme (8 $\mu\text{s/cm}$),
- Les chlorures ne dépassent pas l'unité de 1 ppm donc ils sont dans la norme,
- L'analyse des ions d'ammonium ne dépasse non plus l'unité de 1 ppm donc ça reste 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 plus l'énergie de vapeur produite pour faire tourner les turbines

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale et recommandations :

Le travail présenté dans ce mémoire a permis d'étudier les procédés et les problèmes de dessalement de l'eau de mer par MSF du complexe GL2/Z. Les analyses au laboratoire nous ont permis de conclure que :

- La présence d'ammoniacque et de chlore provoque une augmentation de la conductivité ce qui signifie la mauvaise qualité de l'eau dessalée.
- Les unités de dessalement sont sujettes au phénomène d'entartrage ayant touché principalement les réchauffeurs de saumure et les condenseurs des évaporateurs dû aux
- Réchauffage important de l'eau de mer lors de l'exploitation engendrant des dépôts de sel.
- Présence d'un dépôt résiduel de tarte sur les faisceaux tubulaires suite au dysfonctionnement des systèmes d'injection des produits chimiques en raison de l'indisponibilité de plusieurs équipements.
- Insuffisance du vide au niveau du dessaleur
- Bouchage au niveau des filtres autonettoyants des dessaleurs 2010LA/B/E apparaît clairement que les déviations des paramètres opératoires des dessaleurs ont contribué dans la baisse de la production de ces unités en particulier, au niveau des réchauffeurs de saumure dont l'échange thermique au sein de ces derniers ne se fait convenablement du fait de la réduction de leur rendement

Par ailleurs, pour éviter ces problèmes il faut :

- Inspecter et vérifier l'état d'encrassement des orifices de passage de l'eau de saumure dans différentes boîtes de détentés et les nettoyer si nécessaire,
- Procéder automatiquement au nettoyage chimique lessivage de chaque dessaleur ayant fonctionné pour une durée de six (06) mois.
- S'assurer que la quantité d'acide nécessaire est disponible avant de lancer l'opération de lessivage,
- Lors du prochain arrêt général, vérifier l'état des boues du bassin d'eau de mer et effectuer une opération de dragage du fond,
- Réhabiliter les grilles fixes et les filtres rotatifs des baies de la section pomperie
- Remettre en service le système automatique des filtres autonettoyants des dessaleurs

L'opération de lessivage.

Références bibliographiques

[1] : Manuel de service formation GL2/Z « Soft tableau Process », 2010.

[2] : Manuel opératoire du Complexe GL2 /Z, 1993.

[3] : Arbaoui, « étude acoustique du bruit généré pas l'unité industrielle d'Arzew,
Thèse de doctorant, université Ahmed Ben Bella, Oran,2018.

[5] : Benguezella, « Procédé de dessalement de l'eau de mer au niveau du complexe GL2/Z
Par MSF et les problèmes rencontrés", Mémoire de Master, 2020.

[6] : Etude comparative de la qualité d'eau produite par le dessaleur de type MSF et le
Nouveau dessaleur de type éjecto-compression au complexe GL2/Z, master (2005/2006),
université Ahmed Ben Bella, Oran.

[7] : « Etude comparative de la qualité d'eau produite par le dessaleur de type MSF et le
Nouveau dessaleur de type éjecto compression au complexe GL2/Z », 2005/2006.

[8] : « Performance des évaporateurs d'eau de mer pour la production d'eau dessalée au
Niveau du complexe GL2/Z », mémoire fin d'étude Octobre 2010.

[9] : Manuel opératoire des utilités volume 5.

[10] : ZIANE, « étude de baisse de production de l'eau dessalée au niveau du complexe
GL2/Z », projet de fin de formation [IAP]

[11] : [https://culturescience.chimie.ens.fr/thermatiques/chimiephysique/thermodynamique
-chimique/le dessalement](https://culturescience.chimie.ens.fr/thermatiques/chimiephysique/thermodynamique-chimique/le-dessalement)

[12] : chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et de gaz naturel
–comité des technique, « circuitseau de mer (traitement et matériaux) », édition
Technique, pages (50-51), paris -1993

[13] : Mondri, « Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer»>

[14] : « Contribution à l'étude des problèmes de mal fonctionnement du système de Dessalement », Master, 2018 université Ahmed Ben Bella, Oran..

[15] : « Contrôle de la qualité de l'eau dessalée et étude des paramètres liés à sa production au niveau du complexe GL2/Z », Master 2010

Annexes

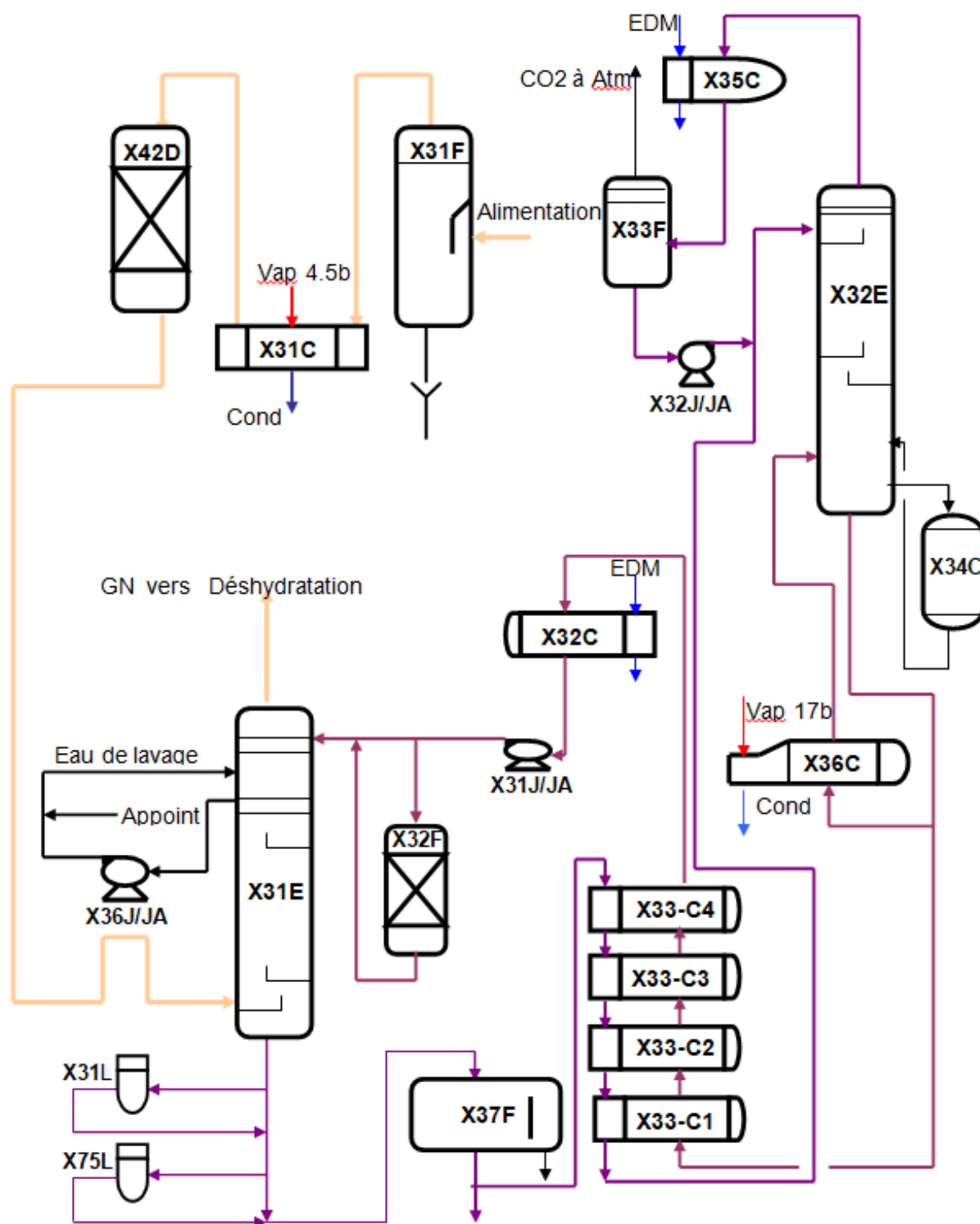
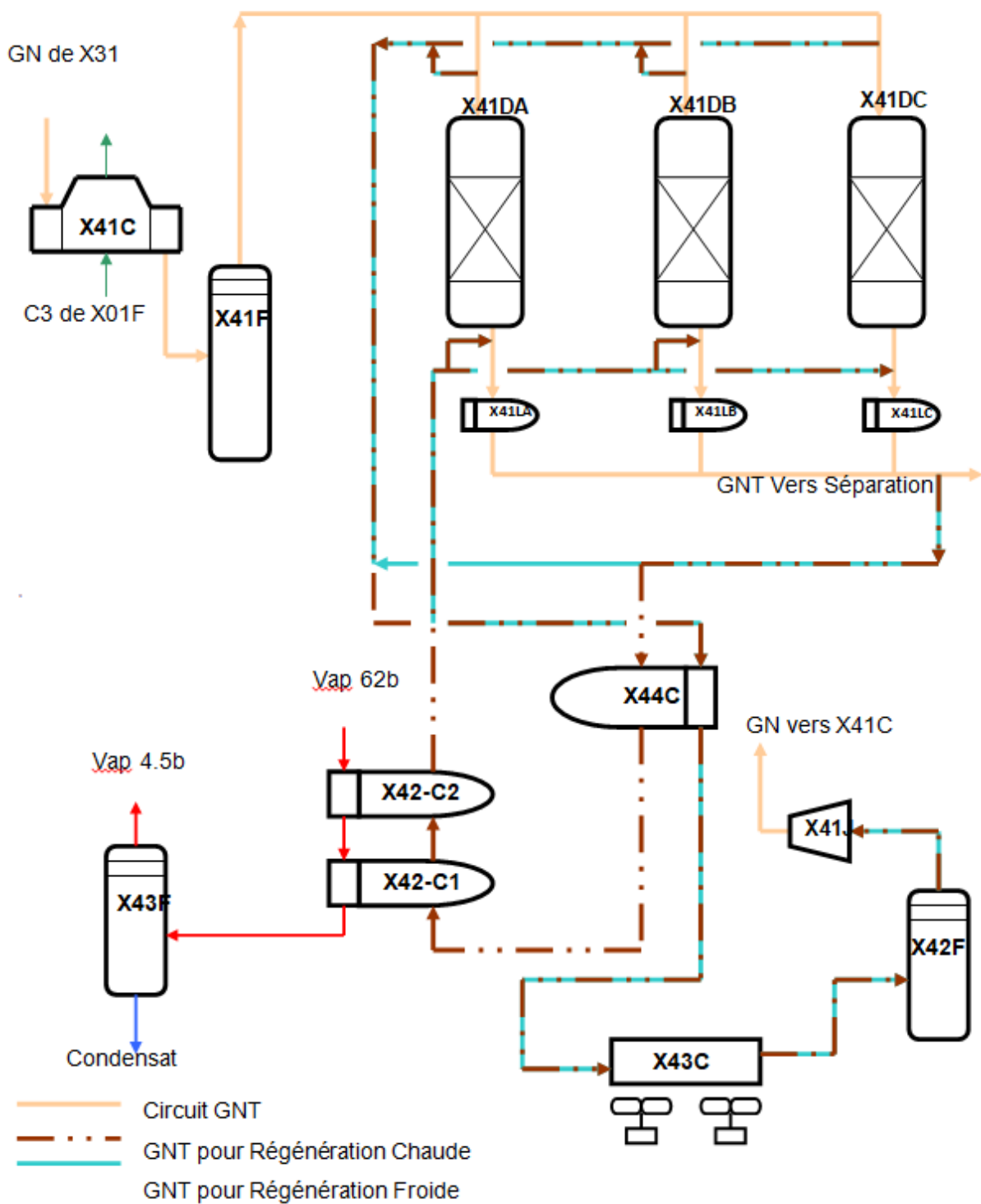
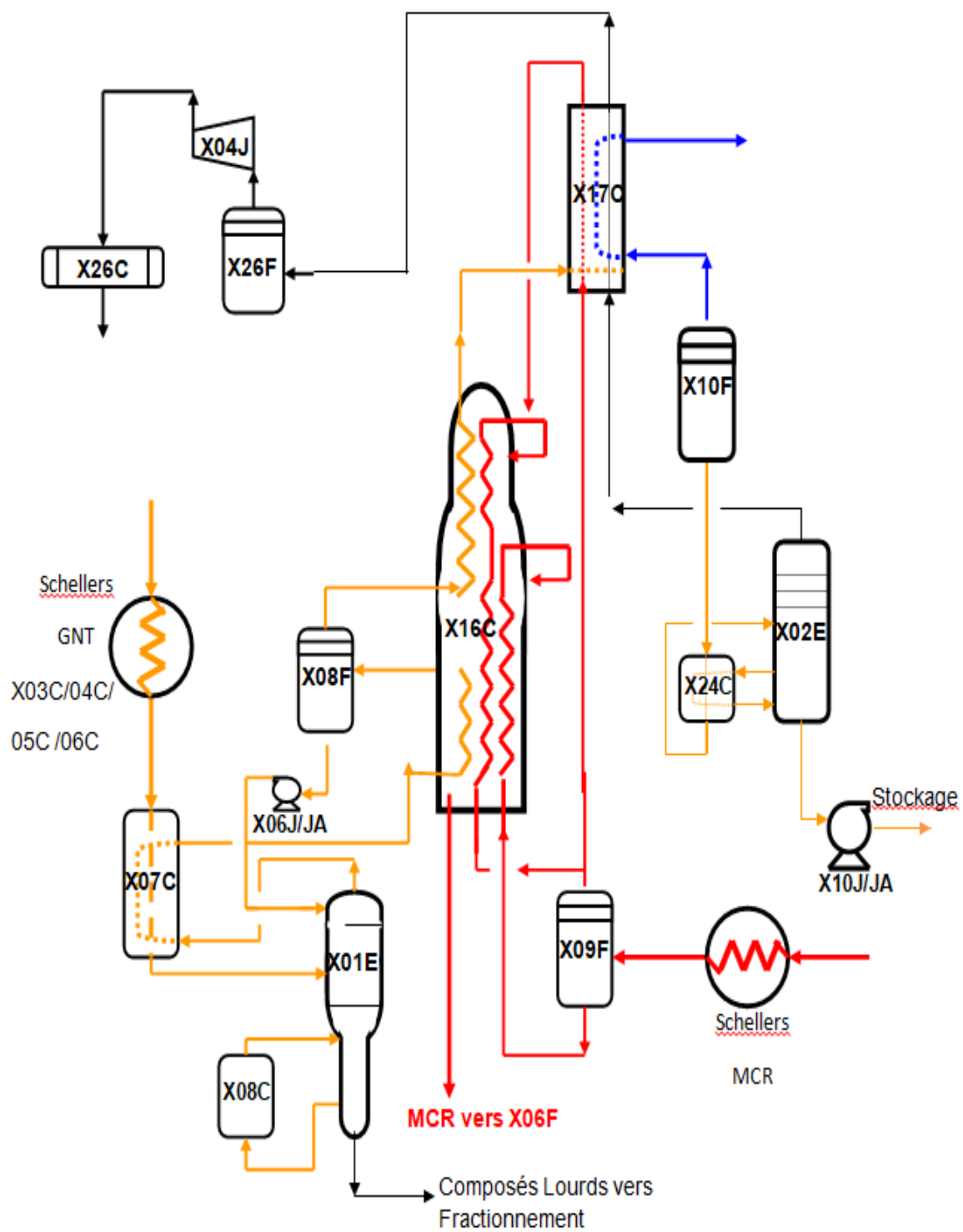


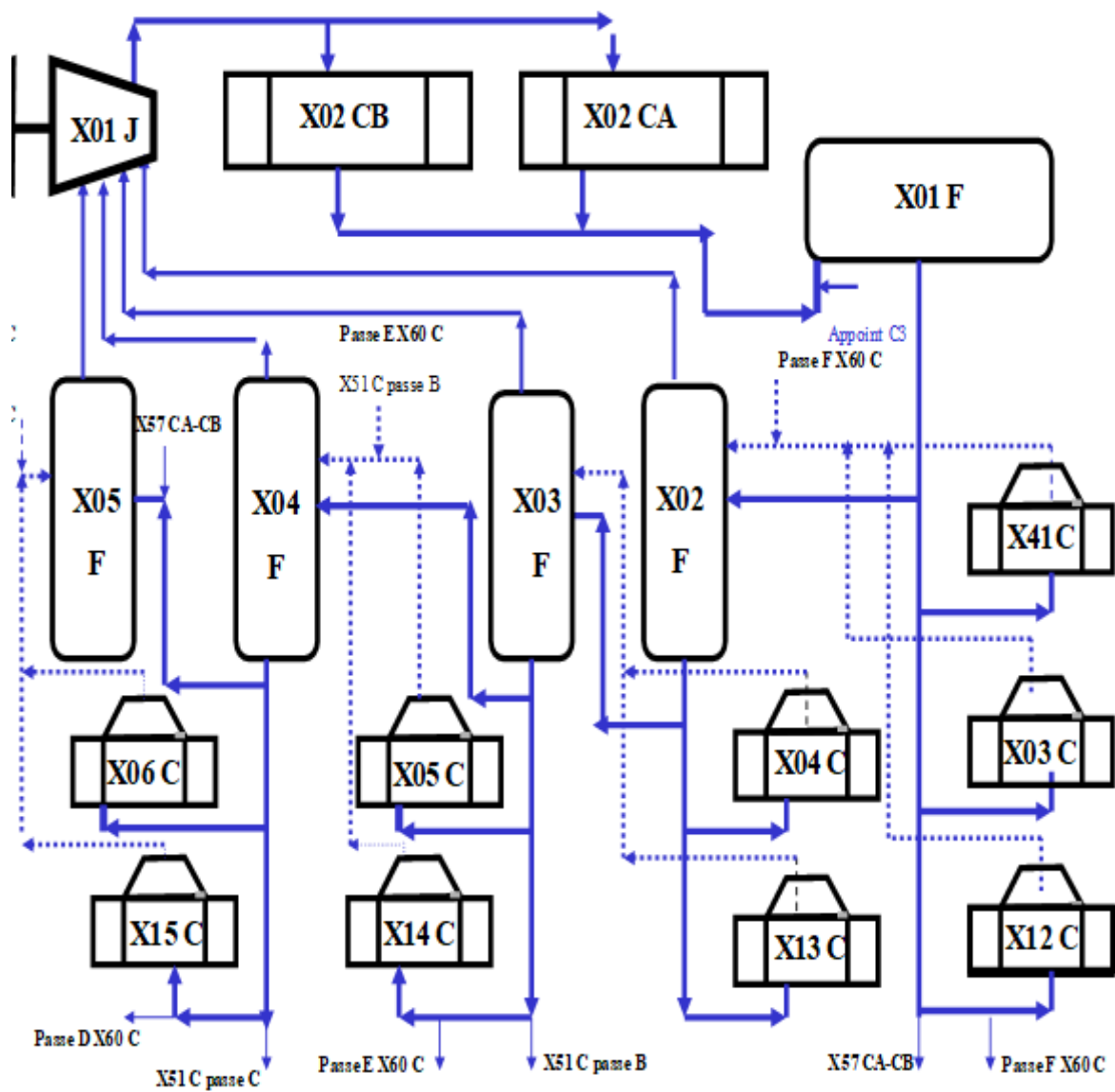
Figure A1 : Absorption CO₂ et régénération MEA.



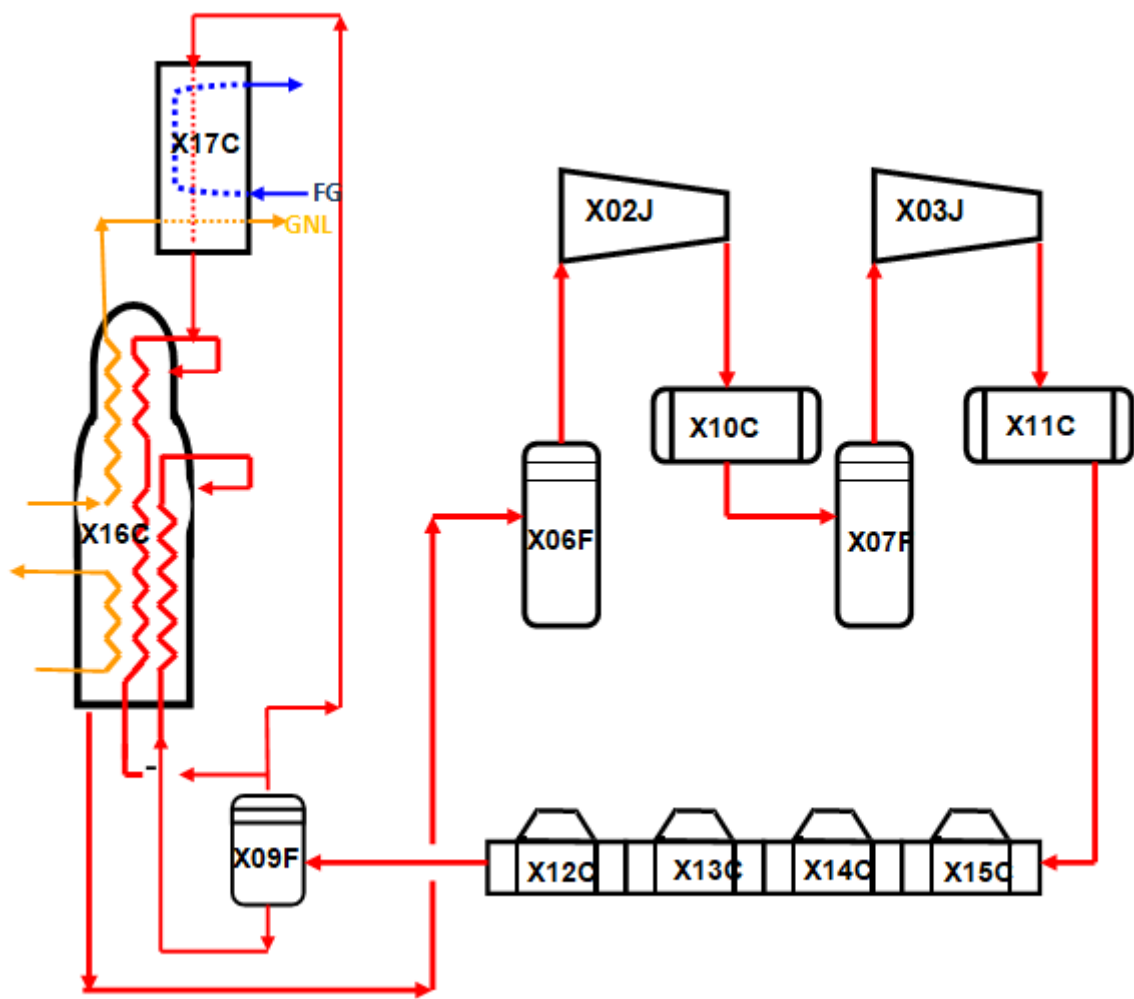
Annexe A2 : Schéma de procédé de Déshydratation



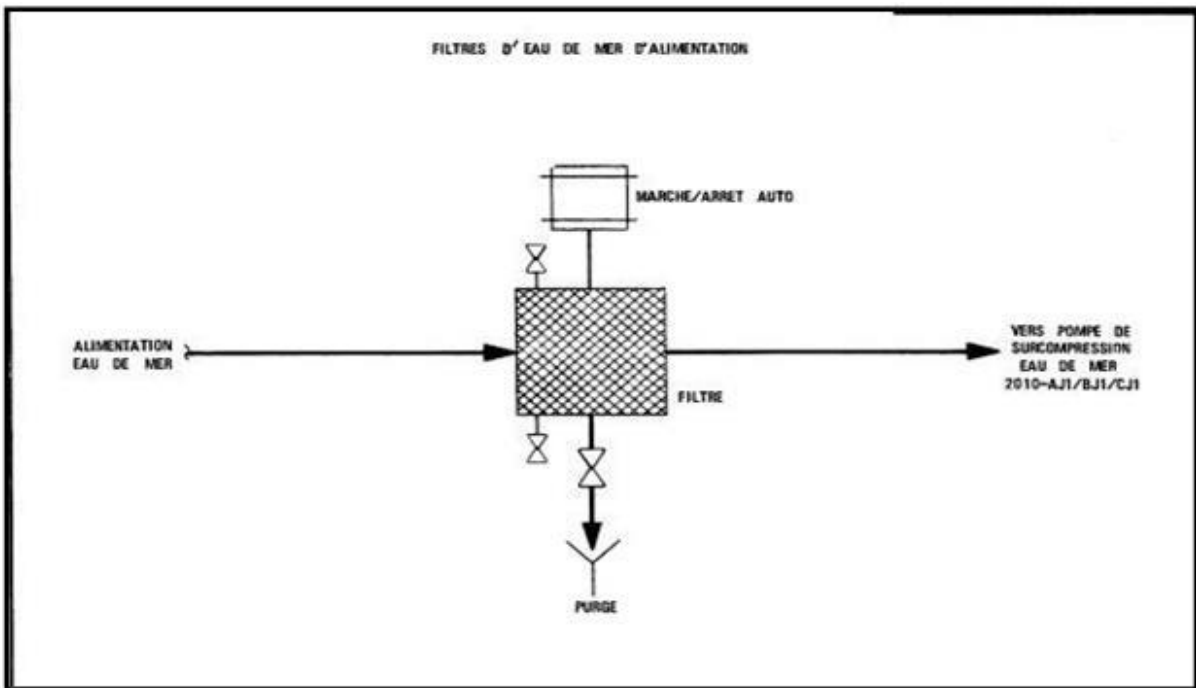
Annexe A3 : Schéma de procédé de Liquéfaction.



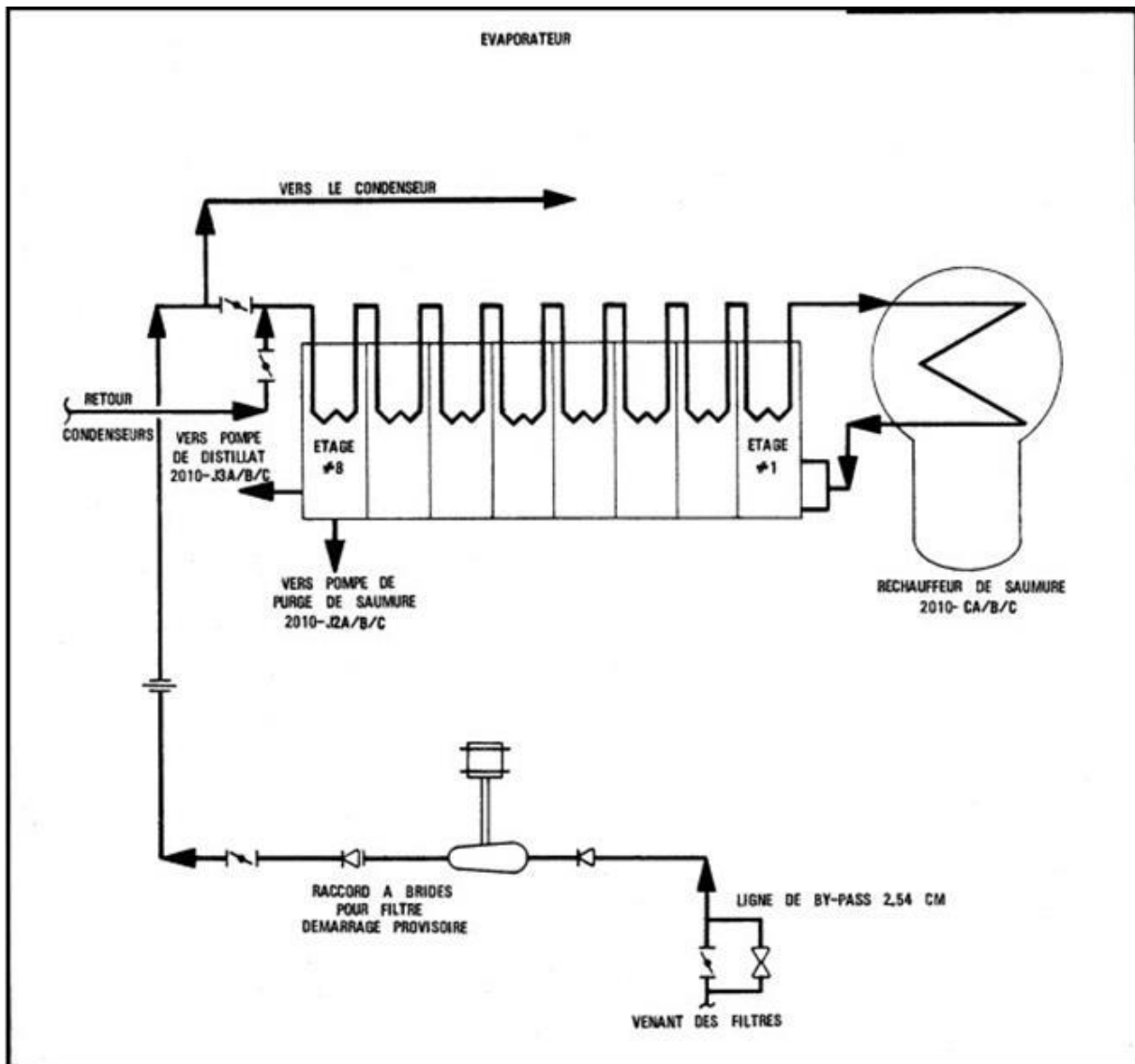
Annexe A4 : Boucle de propane



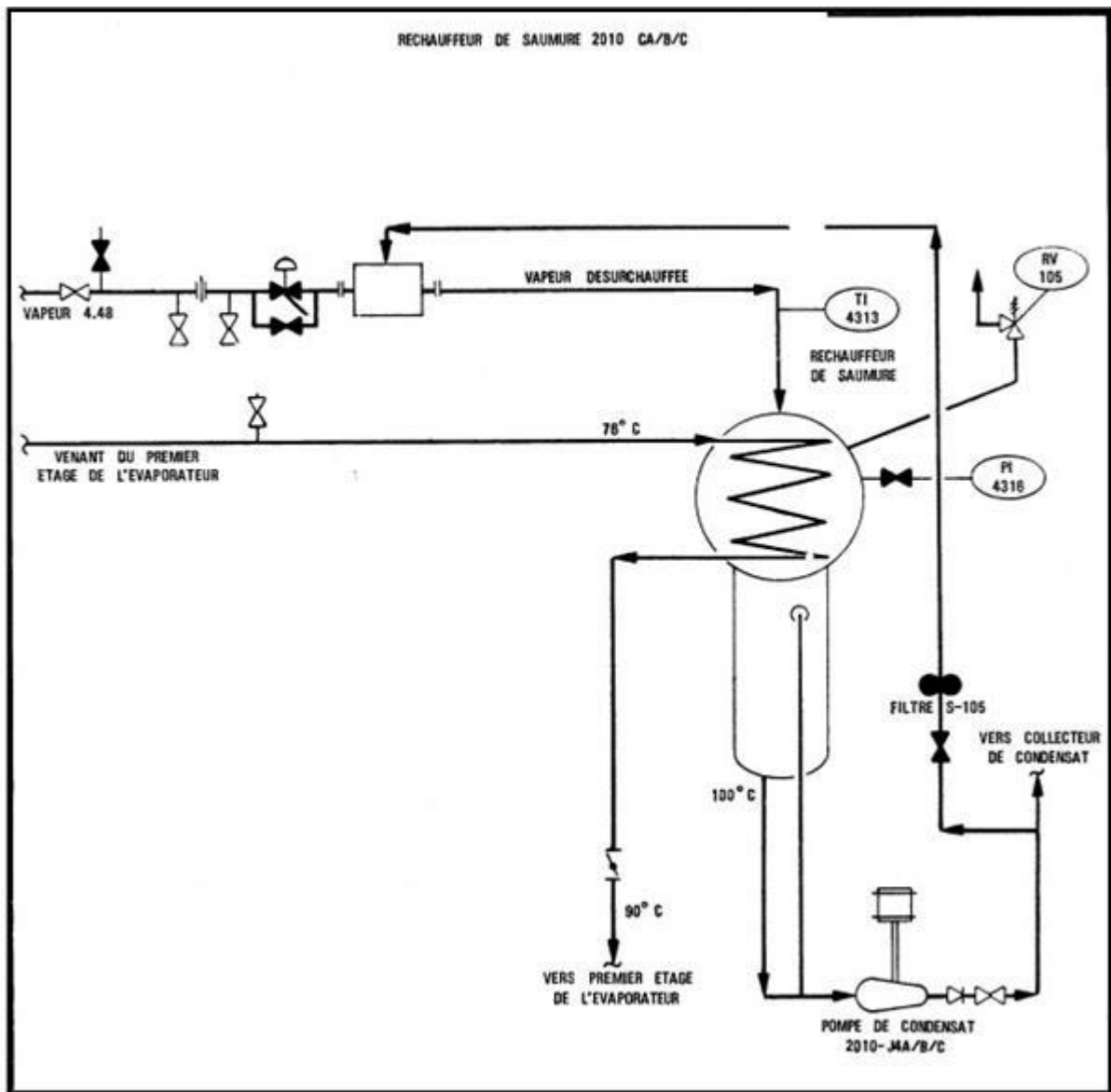
Annexe A5 : Boucle de MCR.



Annexe A6 : Schéma simplifié d'un filtre d'eau de mer

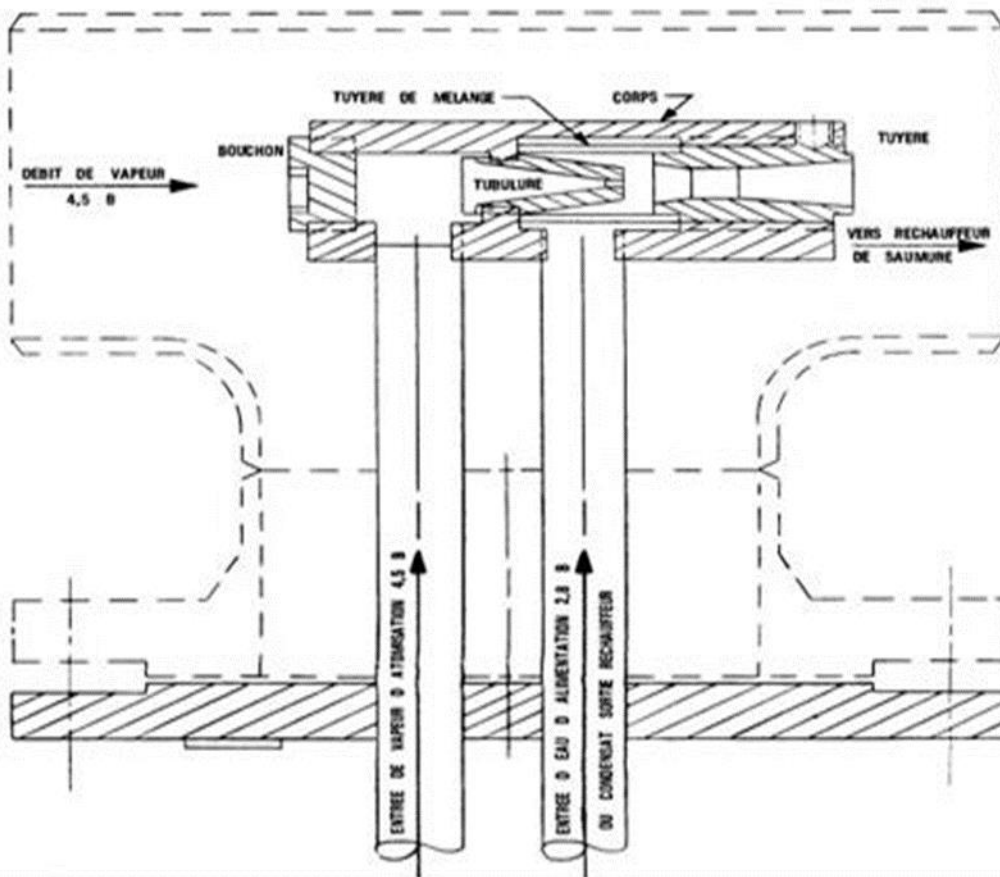


Annexe A7 : Schéma simplifié d'un évaporateur.

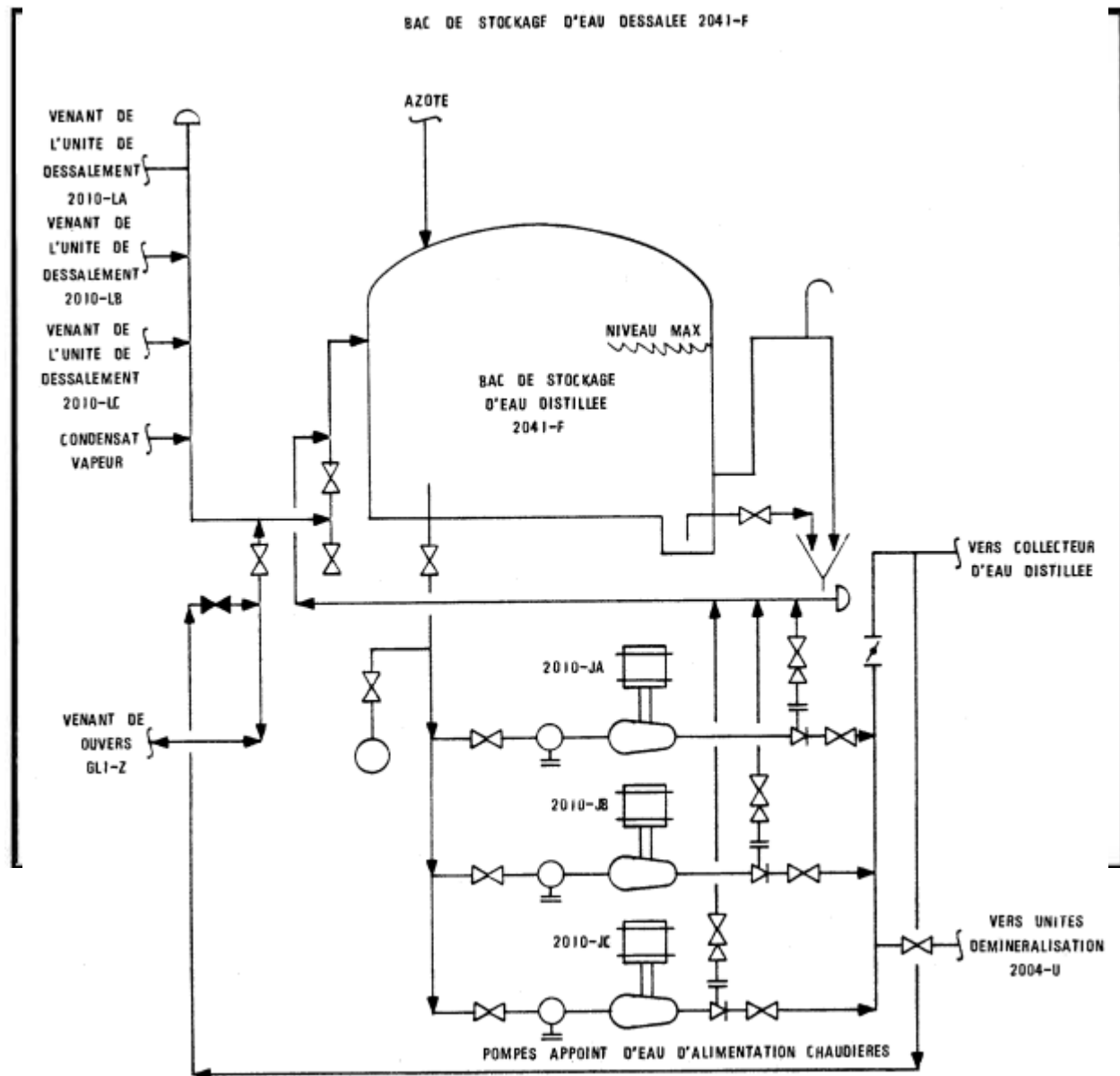


Annexe A8 : Schéma simplifié d'un réchauffeur de saumure.

DETAIL DU DESURCHAUFFEUR 2010 MA/B/C



Annexe A9 : Schéma de désurchauffeur de vapeur



Annexe A10 : Schéma simplifié d'un bac de stockage d'eau dessalée