

Faculty of Sciences and Technology  
Department of Process Engineering  
Ref :...../U.M/F.S.T/2025

كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم هندسة الطرائق  
رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2025

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie chimique

Thème

**Procédé de liquéfaction du chlore au sein de  
l'entreprise AdwanChemicalsAlgérie**

Présenté par

✚ BENYOUCEF Somia

✚ BERDADIBEN DAHAMounira

Soutenu le ...29/06/ 2025devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	BENATMANE Saadiya	MCA	Université de Mostaganem
<b>Examineur :</b>	FARES Zineb	MA	Université de Mostaganem
<b>Rapporteur :</b>	FADDEL Imane	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

# *Remerciements*

*En commençant, nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné la chance, le courage et la patience pour réaliser notre travail.*

*Nous remercions tous spécialement nos pères, nos mères, nos frères, nos sœurs pour leurs confiances, le soutien permanent et la patience durant toute notre carrière et universitaire.*

*Bien évidemment nos premiers remerciements se doivent d'aller vers MGA « Feddal Imene » ; enseignante à l'université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem ; pour leur soutien moral et leur encouragement, nous remercions également les membres du jury.*

*En dernier lieu, nous ne pourrions pas terminer sans remercier les ingénieurs de laboratoire*

*et de DGS de la société AIDWAN ; pour ses explications et ses conseils.*

# Dédicace

*À ceux qui, après Dieu, ont contribué à m'amener à ce stade...*

*À mes chers parents, le symbole de l'amour et du sacrifice, et mon soutien dans toutes les étapes de ma vie. À mes frères et amis, les compagnons du chemin qui ont allégé le fardeau de la route par leurs paroles et leur soutien.*

*À mon honorable et vertueux superviseur, Prof. : Feddal Imane, qui a guidé mon parcours et m'a accompagné par ses conseils avisés, sa grande patience et son soutien permanent, à mes honorables professeurs, qui n'ont pas lésiné sur leurs connaissances et leurs conseils.*

*À mon amie et compagne Mounira*

*Je dédie le fruit de cet humble effort à tous ceux qui m'ont soutenu par un mot ou une prière.*

*Benyoucef Somia*

# Dédicace

*Je dédie ce travail à mes chers parents, pour leur amour, leur soutien inconditionnel et leurs sacrifices tout au long de mon parcours.*

*À mes frères et sœurs, pour leur présence constante et leurs encouragements continus.*

*À mes fidèles amis, pour leur aide, leur patience et leurs précieux conseils.*

*À ma respectée enseignante, Mme Feddal Imane, pour ses efforts et son soutien.*

*À tous mes enseignants, qui ont été la lumière de mon chemin.*

*À ma compagne de route, mon amie Somia.*

*Et enfin, à tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenu de près ou de loin.*

*Berdadi Bendaha Mounira*

## **Abstract**

As an inexhaustible resource, chlorine is of great interest for industrial and economic development worldwide. It plays a role in various fields such as water treatment, medicine, health, electronics, and others. However, rigorous procedures must be followed for its production and processing, including chlorine liquefaction. Therefore, we are currently devoting our efforts to examining the chlorine liquefaction method carried out at the Adwan Chemicals Company Algeria plant. This process is carried out using a series of equipment including compressors, a cooler, and a drying tower, among others.

The majority of these facilities are deteriorated, which has led to the cessation of the chemical plant's operations. We have determined the causes of the equipment deterioration, including corrosion, blockage of certain devices due to crystallization, and the creation of paste resulting from unwanted chemical reactions. Under the direction of the company's supervisor, Mr. Brahma Samir, we conducted research, explored several proposals, and found solutions to restart the chemical plant.

Keywords: chlorine gas, liquefaction process, Adwan Company, corrosion, blockage, crystallization.

## **Résumé**

Le chlore, en tant que ressource inépuisable, suscite un vif intérêt pour le développement industriel et économique à l'échelle mondiale. Il joue un rôle dans divers domaines comme le traitement de l'eau, la médecine, la santé, l'électronique, entre autres. Toutefois, des procédures rigoureuses doivent être suivies pour sa production et son traitement, y compris la liquéfaction du chlore. Ainsi, nous consacrons actuellement nos efforts à l'examen de la méthode de liquéfaction du chlore, effectuée à l'entrée de la société AdwanChemicalsCompanyAlgeria. Ce processus est effectué à l'aide d'une série d'équipements incluant des compresseurs, un refroidisseur et une tour de séchage, entre autres.

La majorité de ces installations sont détériorées, ce qui a entraîné la cessation de l'activité de l'usine chimique. Nous avons déterminé les origines des détériorations des équipements, dont la corrosion, le blocage de certains appareils due à la cristallisation et la création de pâte résultant de réactions chimiques non souhaitées. Sous la direction du superviseur de l'entreprise, M. Brahma Samir, nous avons mené des recherches, exploré plusieurs propositions et trouvé des solutions pour relancer l'usine chimique.

Mots clés : chlore gazeux, processus de liquéfaction, société Adwan, corrosion, blocage, cristallisation.

## الملخص

يحظى الكلور، كمورد لا ينضب، بأهمية كبيرة للتنمية الصناعية والاقتصادية في جميع أنحاء العالم. فهو يلعب دوراً في مجموعة متنوعة من المجالات، بما في ذلك معالجة المياه والطب والصحة والإلكترونيات. ومع ذلك، يجب اتباع إجراءات صارمة لإنتاجه ومعالجته، بما في ذلك تسييل الكلور. نقوم حالياً بفحص عملية تسييل الكلور في شركة عدوان للكيمياويات بالجزائر. يتم تنفيذ هذه العملية باستخدام سلسلة من المعدات بما في ذلك الضواغط والمبرد و برج التجفيف وغيرها

وقد تدهورت غالبية هذه التجهيزات مما أدى إلى توقف المصنع الكيميائي عن العمل. لقد حددنا أسباب تدهور المعدات، بما في ذلك التآكل وانسداد بعض المعدات بسبب التبلور وتكوين عجينة ناتجة عن تفاعلات كيميائية غير مرغوب فيها. وبتوجيه من المشرف على الشركة، السيد براهيم سمير، أجرينا بحثاً واستكشفاً العديد من المقترحات ووجدنا حلاً لإعادة تشغيل المصنع الكيميائي.

الكلمات المفتاحية: غاز الكلور، عملية التسييل، شركة عدوان، التآكل، الانسداد، التبلور.

## Liste des symboles

**ACIC** :ADWAN,Chemicals Industries Company

**TEMA** :Standards of TubularExchangerManufacturers Association (une association professionnelle de constructeurs d'échangeurs)

**DEG**:Diéthylenglychol

**PVC** :Polychlorure de vinyle

**NaOH** :La soude caustique

**HCl** : acide chlorhydrique

**NaCl** :chlorure de sodium

**OH**:ion d'hydroxyde

**Cl<sub>2</sub>**:chlore liquide

**H<sub>2</sub>**:Hydrogène

**FeCl<sub>3</sub>**:chlorure ferrique

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**:L'acidesulfurique

**DCS**:Distributed control system

## Liste des figures

<b>Chapitre I : Partie théorique</b>	
<b>Figure I.1:</b> ADWAN Chemicals Industries Company (ACIC), Algeria.	<b>04</b>
<b>Figure I.2:</b> Situation géographique du complexe ADWAN Chemicals Algéria.	<b>05</b>
<b>Figure I .3 :</b> Organigramme de l'entreprise ADWAN Chemicals.	<b>06</b>
<b>Figure I .4 :</b> Usine de production de sable industriel et dérivés	09
<b>Figure I.5 :</b> (a)Lavage de sable, (b) séchage de sable.	<b>09</b>
<b>Figure I.6 :</b> (a)Tamisage et stockage de la farine de silice, (b) La farine de silice	<b>10</b>
<b>Figure I.7 :</b> Usine de production de chlore et dérivés	<b>11</b>
<b>Figure I.8 :</b> Laboratoire d'analyse de sable	<b>11</b>
<b>Figure I .9 :</b> Laboratoire d'analyse de chlore et dérivées	<b>11</b>
<b>Figure I.10 :</b> Système DCS	<b>13</b>
<b>Chapitre II : Procédé de liquéfaction de chlore</b>	
<b>Figure II.1 :</b> Structure chimique du chlore.	<b>15</b>
<b>Figure II.2 :</b> Diagramme de phases du chlore.	17
<b>Figure II.3 :</b> Application de chlore.	<b>19</b>
<b>Figure II .4 :</b> Les étapes de liquéfaction du chlore	<b>20</b>
<b>Figure II.5 :</b> Sel brut(NaCl).	<b>21</b>
<b>Figure II.6 :</b> (a)deux tapis, (b) Saturateur.	<b>22</b>
<b>Figure II.7 :</b> Les trois réacteurs T-102, T-104, T-106.	<b>23</b>
<b>Figure II.8 :</b> Décanteur T-108.	<b>23</b>
<b>Figure II.9 :</b> Bac de stockage T-110 avec deux pompes P-110A et P-110B.	<b>24</b>
<b>Figure II.10 :</b> La filtration :(a)les deux filtres F-111A et F-111B, (b) L'entrée de cellulose.	<b>24</b>
<b>Figure II.11 :</b> (a)bac de stockage T-115, (b) Echangeur de chaleur à plaque.	<b>25</b>
<b>Figure II.12 :</b> Les trois colonnes en série V-115A, B et C.	<b>25</b>
<b>Figure II.13 :</b> Electrolyseur de chlorure.	<b>26</b>
<b>Figure II.14 :</b> Schéma d'électrolyse à membrane.	<b>27</b>
<b>Figure II.15 :</b> (a)Sécheur C-161 et C-162, (b) Echangeur de chaleur HE-161.	<b>28</b>
<b>Figure II.16 :</b> Schéma de refroidissement et séchage du chlore.	<b>28</b>
<b>Figure II.17 :</b> (a)Compresseur à anneau liquide, (b) Séparateur XD-161.	<b>29</b>
<b>Figure II.18 :</b> Echangeur de chaleur tubulaire à calendre HE-162.	<b>30</b>
<b>Figure II.19 :</b> Schéma de liquéfaction de chlore.	<b>30</b>

<b>Figure II.20</b> : Schéma de réservoirs de stockage T-162A/B.	<b>31</b>
<b>Figure II.21</b> : Les bouteilles de chlore liquid	<b>31</b>

### Listes des tableaux

<b>Tableau II.1</b> : les propriétés physico-chimiques du Chlore	<b>16</b>
<b>Tableau III.2:</b> Résultats d'analyse de pourcentage massique de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> au niveau du laboratoire.	<b>41</b>
<b>Tableau III.3</b> : Résultats d'analyse de pourcentage massique de Cl <sub>2</sub> libre au niveau du laboratoire	<b>41</b>

## Sommaire

Introduction général .....	1
CHAPITRE 1 .....	3
Partie théorique.....	3
I.1.Introduction .....	4
I.2.Situation géographique.....	5
I .4. Utilités des directions .....	7
I .4.1. Direction Générale .....	7
I.5.Unité (usine) de l'entreprise.....	8
I.5.1.Usine de production de sable industriel et dérivés .....	8
I.5.2.Usine de production de chlore et dérivés .....	10
I.6.Laboratoire contrôle et qualité .....	11
I.7.Système DCS .....	12
CHAPITRE II.....	14
Procédé de liquéfaction de chlore.....	14
II.1.Généralité sur le chlore .....	15
II .1.1Propriétés du chlore .....	17
II.1.2. les utilisations de chlore.....	18
II. 2. Procédés de liquéfaction de chlore .....	20
II.2.1. Production de chlore .....	21
II. 2. 2. Etapes de production de chlore (traitement de la saumure) .....	21
II .2.2.1.Saturation .....	21
II.2.2.2. Traitement chimique de la saumure .....	22
II.2.2.3. Traitement physique de la saumure .....	23
II.2.2.4. Filtration de la saumure .....	23
II.2.2.5. Déionisation (purification) de la saumure.....	24
II.2.2.6.L'électrolyse .....	25
II.2.3 Traitement du chlore .....	27
II.2.4. Refroidissement et séchage du chlore.....	27
II.2. 5. Compression du chlore .....	29
II.2. 6. La liquéfaction du chlore .....	29
II.2.7. Stockage et remplissage du chlore liquide .....	30
CHAPITRE III .....	32
Partie expérimentale .....	32

III.1.Introduction .....	33
III. 2. Les méthodes et techniques de traitement de chlore .....	33
III. 2.1. Refroidissement et filtration du chlore .....	33
III. 2.2. Séchage.....	34
III. 2. 3. Compression du chlore .....	35
III. 2. 4. Liquéfaction du chlore.....	35
III. 3. Analyses réalisées en laboratoire.....	36
III. 3. 1. Détermination de l'Acide sulfurique et chlore libre dans l'Acide sulfurique ( sortie du séchage du chlore).....	36
III. 4. Résultats et discussions .....	38
III. 4. 1. Les probabilités de problèmes fournies par les chimistes.....	38
III. 4. 2. Les problèmes techniques qui ont abouti à la fermeture de l'usine: .....	38
III. 4. 3. Les préventions des problèmes pour une liquéfaction optimale du chlore: .....	39
III.4.4. Résultats des analyses réalisées au niveau du laboratoire .....	41
Conclusion général: .....	42

### Introduction général

L'industrie chimique, une des plus anciennes activités humaines présente une grande diversité tant en ce qui concerne les produits que la taille des entreprises, Le domaine de l'industrie chimique englobe la production de produits chimiques de base, intermédiaires et finis par le biais d'une synthèse chimique maîtrisée, incluant l'industrie du chlore. [1]

En effet, cette industrie spécialisée dans la production de chlore et de ses dérivés chlorés est essentielle pour le développement économique et industriel mondial. En raison de sa forte réactivité, le chlore est l'un des éléments chimiques les plus abondants dans la nature et figure parmi les matières premières les plus employées à travers le monde. [2]

Adwan Chemical Industries est l'une des principales entreprises de l'industrie chimique en Algérie, spécialisée dans la production de chlore et d'autres produits chimiques essentiels utilisés dans diverses industries. [3]

Le chlore, bien que connu depuis l'Antiquité, n'a été découvert qu'il y a environ deux cents ans. C'est un élément vital dans notre vie de tous les jours. Présent en abondance sous forme de chlorure de sodium dans l'océan, celui-ci peut être aisément électrolysé pour obtenir une version hautement pure : le dichlore gazeux. On peut alors synthétiser une variété de composés chlorés à diverses fins : désinfectants, gaz de guerre, anesthésiques, agents utilisés en chimiothérapie, entre autres. Ces applications plus ou moins actuelles tirent parti des caractéristiques physico-chimiques du chlore, qu'il partage avec les autres halogènes. Toutefois, grâce à son emplacement spécifique dans le tableau périodique et sa disponibilité élevée, le chlore est un élément qui se distingue et est essentiel pour les chimistes. [4]

Ce composé, déniché par le scientifique suédois Karl Wilhelm Scheele il y a plus de deux cents ans, est issu du sel tiré des mines et des eaux salées, qui en constituent presque une source sans fin. [5]

Élément du quotidien dans le sel de table ou l'eau de Javel, le chlore est aussi un outil dans la synthèse de silicone et de gaz de combat. C'est un élément chimique abondant aux propriétés très variées, donnant lieu à un grand champ d'applications exploitées par l'Homme. Le fait qu'il soit déclinable sous tant de formes, mortelles ou médicales est fascinant car cela en fait le parfait exemple de la notion de dangerosité en chimie. [4]

Le chlore est incontestablement le plus répandu dans la nature et le plus aisé à produire et à manipuler. Ces caractéristiques expliquent son importance cruciale et inégalable dans l'industrie chimique, tous les domaines industriels ainsi que dans notre vie quotidienne. [6]

En 1995, la production mondiale de chlore s'élevait à quarante millions de tonnes, et plus de 85% des médicaments ainsi que plus de la moitié des produits proposés par l'industrie chimique sont issus

## Introduction Général

---

de la chimie du chlore. 1500 de ces articles ont été catalogués : ils sont employés dans divers domaines industriels et économiques tels que la santé, l'agroalimentaire, la construction, les textiles, le transport, les loisirs, les cosmétiques, etc. En tant que l'une des ressources les plus abondantes et faciles à extraire et à traiter sur notre planète, le chlorure de sodium est d'une grande importance technique et socioéconomique. [7]

Toutefois, le chlore gazeux étant suffocant, extrêmement désagréable, d'une toxicité élevée et particulièrement réactif, son utilisation est réservée à l'état liquide grâce à un processus de liquéfaction. Ce processus vise à réduire le volume du gaz chloré selon un rapport déterminé pour optimiser son transport en termes économiques et sécuritaires. [2.8]

La liquéfaction s'effectue par une combinaison de compression et de refroidissement en utilisant des unités de refroidissement tractées, également connues sous le nom d'échangeurs de chaleur. Ces derniers facilitent l'augmentation du transfert thermique entre deux fluides à différentes températures, chauds et froids, tout en évitant leur mélange. Voilà pourquoi ces dispositifs sont essentiels pour améliorer les systèmes thermiques dans les domaines de l'industrie. [9.10]

Étant donné son caractère dangereux, le chlore sous forme liquide doit être manié avec une extrême précaution et rangé dans des récipients spécifiques, élaborés pour supporter la pression et la corrosion. [11]

Notre travail vise à étudier le processus de liquéfaction du chlore au sein de la société AdwanChemicalsCompanyAlgeria et à comprendre les problèmes qui ont affecté la quantité et la qualité du gaz liquéfié.

Ce mémoire débute par une introduction générale suivie par trois chapitres :

Le premier chapitre comprend une présentation de la société AdwanChemicalsCompanyAlgeria, en mentionnant son emplacement, en présentant ses différentes unités et en mentionnant les dérections qui lui sont rattachés.

Le deuxième chapitre aborde d'abord l'histoire de la production du chlore, ses propriétés physico-chimiques et sa méthode de production. Ensuite, nous détaillons le processus de liquéfaction du chlore et les équipements nécessaires à cela.

Le troisième chapitre concentre sur la partie expérimentale, comprenant une discussion des problèmes rencontrés, ses analyses effectuées au niveau du laboratoire, ainsi que des solutions suggérés pour résoudre ces problèmes et optimiser l'efficacité de la production.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion dans laquelle les résultats obtenus sont résumés.



# **CHAPITRE I :**

## **Partie théorique**



## I.1.Introduction

Adwanchimicals industries campany (ACIC) est une société privée fondée en Arabie Saoudite le 19 mai 2004 mais de droit algérien. Elle fait partie du groupe Adwan et se spécialise dans la fabrication de produits chimiques inorganiques et de minéraux industriels, notamment la siliceindustrielle.

L'entreprise dessert plus de 1250 clients dans plus de 30 pays, couvrant plus de 40applications industrielles telles que le traitement de l'eau, les détergents, les peintures .....Etc. Elle est certifiée ISO 9001 :2015 reflétant son engagement envers la qualité, l'environnement et la sécurité au travail.

Grace à ses investissements dans des technologies de pointe et à une équipe hautement qualifiée. ACIC s'efforce de répondre efficacement aux besoins de ses clients, tant sur les marchés locaux qu'internationaux. L'entreprise continue d'étendre sa présence notamment en Asie du Sud-est, en Afrique et en Europe, en maintenant des normes élevées de qualité et de service (figure I .1).



**Figure I.1:** ADWAN Chemicals Industries Company (ACIC), Algeria

## I.2.Situation géographique

Adwanchemicals CieAlgéria SPA est basée à l'ouest de Algérie dans la zone industrielle N°02 et 03 de la commune de Fornaka, wilaya de Mostaganem, d'une superficie de 70000 m<sup>2</sup>. Elle offre 200 postes d'emploi. (figure I .2).



Figure I .2 : Situation géographique du complexe ADWAN ChemicalsAlgéria.

## I.3 .Structure de l'organisation de l'entreprise

La structure organisationnelle de l'entreprise ADWAN chemicals est élaborée en visant une coordination optimale entre les diverses unités de la société, dans le but d'une exploitation efficace des ressources disponibles. Le fonctionnement de la société se fait selon un organigramme, présenté sur la figure I.3. Ce dernier comprend un conseil d'administration et une direction exécutive basés en Arabie Saoudite, ainsi qu'une direction générale située en Algérie qui supervise cinq sous-directions. Chaque direction assure le suivi constant des activités de plusieurs départements pour répondre adéquatement aux besoins des clients. [3]

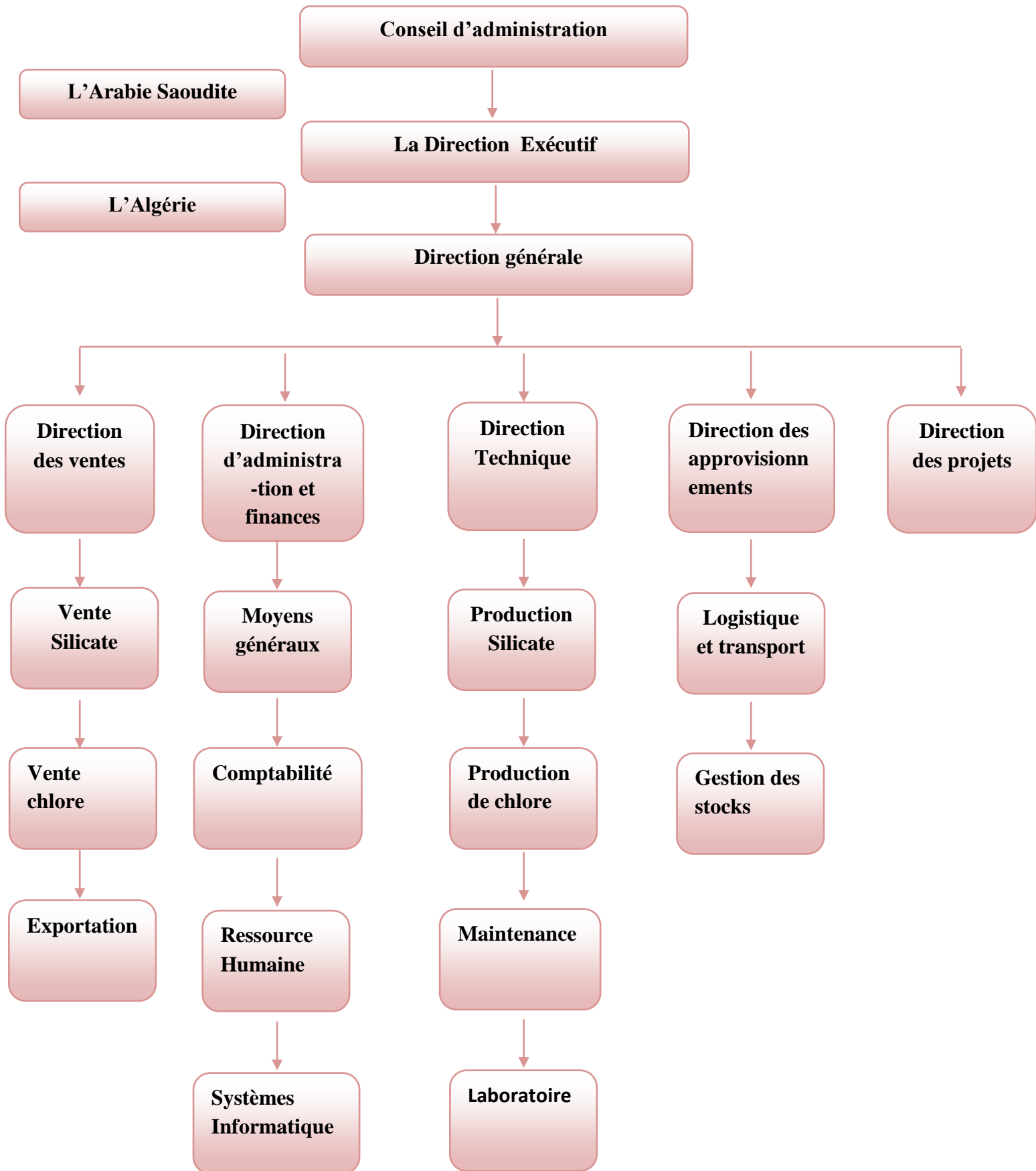


Figure I.3. Organigramme de l'entreprise ADWAN Chemicals.

## I .4. Utilités des directions

### I .4.1. Direction Générale

elle est responsable de l'établissement des principales lignes directrices stratégiques de la société, de la prise des décisions cruciales et de la coordination entre les diverses directions, elle supervise cinq sous-directions, dont

**I.4.1.1.Direction de projets:** Elle est le responsable de la mise en œuvre efficace des projets industriels impliquant la production, l'optimisation des processus, l'expansion des capacités et le respect des normes environnementales et de sécurité, Ses objectifs sont:

- Planifier et exécuter les projets conformément aux normes de qualité, de sécurité et de délai.
- Optimiser les ressources humaines, matérielles et financières.
- Innover et moderniser les installations industrielles.
- Assurer la conformité aux exigences réglementaires (notamment pour les produits comme le chlore).

**I.4.1.2.Direction d'approvisionnement :** Elle est principalement chargée de l'acquisition des matières premières, équipements et services essentiels aux opérations de l'entreprise et supervise les départements suivants:

- **Département de la logistique et des transports :** Coordonne la livraison en temps voulu des matières premières aux sites de production. Fournit tous les moyens de transport et les machines lourdes.
- **Département de gestion des stocks :** Maintenir un équilibre entre la disponibilité des matériaux requis et prévenir une accumulation excessive de stock. Réaliser tous les acquisitions d'équipements et de matières premières.

**I.4.1.3.Direction des ventes :** Il assure la promotion et la commercialisation des produits de l'entreprise. Il est chargé de contrôler et de vérifier les ventes et d'orienter la production en fonction des besoins et des demandes des clients. Il est également chargé de réaliser des études de marché et d'explorer de nouveaux débouchés potentiels. Il s'agit également d'analyser l'évolution des ventes afin de répondre efficacement aux besoins du marché en termes de qualité et de quantité. Elle est en charge des départements ci-après :

- ❖ **Département de la vente du chlore :** responsable de la vente du chlore, de la conduite d'analyses de marché et de l'accroissement de la part du marché pour ce produit.
- ❖ **Département de la vente du silicate :** en charge de la promotion du silicate, de l'étude du marché et de l'expansion de la part de marché.

- ❖ **Département de l'exportation** : chargé de la recherche de nouveaux marchés à l'international et de la conclusion des contrats commerciaux avec des entreprises basées hors d'Algérie.

#### **I.4.1.4. Département technique** : supervise les départements suivants

- ✚ Production de chlore et de ses dérivés tels que la soude caustique et l'hydrogène.
- ✚ Production de sable et de ses dérivés.
- ✚ Le service de maintenance s'occupe de l'entretien des pannes et de la maintenance régulière.
- ✚ Le département laboratoire s'occupe du suivi du processus de production en effectuant des analyses quotidiennes des produits chimiques utilisés et fabriqués.

**I.4.1.5. Direction de l'administration et des finances** : Elle dirige les départements suivants : Le département des ressources humaines: qui se charge de divers programmes de gestion des ressources humaines et du développement professionnel des employés en formation et amélioration de la qualité du travail au sein de l'institution.

- **Service des systèmes informatiques** : Il est en charge de la gestion de toutes les opérations concernant les médias automatisés, l'élaboration des programmes internes pour chaque département, le respect de la sécurité des dispositifs multimédias automatisés et la supervision du système d'information de l'entreprise.
- **Département de la comptabilité** : ce département enregistre toutes les opérations comptables possibles, Vous reçoit les documents d'achat et de vente, son rôle est aussi d'enregistrer et à comptabiliser les taxes et les frais, les procédures de vérification et de contrôle sont faite régulièrement pour détecter d'éventuelles erreurs.[3]

### **I.5. Unité (usine) de l'entreprise**

L'entreprise SPA Adwanchemicals Algérie comporte deux usines on chacune d'elle a une mission bien précise :

#### **I.5.1. Usine de production de sable industriel et dérivés**

L'installation industrielle de fabrication de sable et ses déviés en marche de puis février 2008 .La superficie de cette usine estimée à 40.000m<sup>2</sup> ,Elle a une capacité de production de sable traité environ 300.000T/an de plus que 45000T/an de farine de silice et 45000T/an de silicate de sodium liquide. Le traitement de sable se fait en trois étapes :



**Figure I.4 :** Usine de production de sable industriel et dérivés

- a) **Le lavage :** cette unité est principalement destinée pour le lavage et le trie de sable brute.  
 b) **Le séchage :** La fonction principale de cette usine est séchage sable humide à l'aide d'un four rotatif.



**Figure I.5 :** (a) Lavage de sable, (b) séchage de sable.

- c) **Le tamisage :** cette unité permet la séparation de sable de différentes tailles selon la granulométrie désirée par les clients.

Le sable industrielle est utilisé pour la production de verre et de céramique et de PIPE GRP, traitement des eaux, fonderie et la construction chimique.

En ce qui concerne la farine de silice, ADWAN propose une pureté élevée. La farine de silice fine qui présente des particules allant de 8 à 100 microns, est disponible dans divers formats d'emballage utilisé pour la production de fibres abrasifs ainsi que le domaine de gazoil pour ce qui est du silicate de sodium sa production implique la transformation de la silice extraite du sable lessivé sous une certaine pression. par la suite on a joute une solution concentrée de soude caustique pour diverses application notamment dans la domaine de la détergence et le céramique. [3]

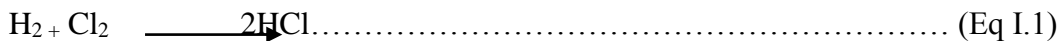


Figure I.6 :(a)Tamisage et stockage de la farine de silice, (b) La farine de silice

**I.5.2.Usine de production de chlore et dérivés**

Cette usine à été mise en service un peu plus tard que première en décembre 2012, sa superficie est estimée à 20.000 m<sup>2</sup>elle offre 120 poste d’emploi.

La capacité de production de l’acide chlorhydrique est estimée à 22 300T/an. Le chlorure d’hydrogène (HCl) est fabriqué par une synthèse directe qui implique la combustion du chlore avec un excèsd’hydrogène, afin de garantir la réaction de toute la quantité de chlore, à une température atteignant 5000°C, grâce à la réaction (Eq I.1).[12]



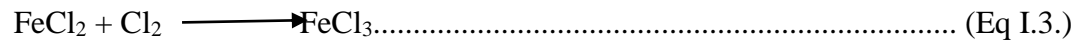
Dans la production de la soude caustique on peut atteindre une capacité de 24000T/an, l’hydroxyde de sodium (NaOH) est obtenu par électrolyse d’une solution de chlorure de sodium (NaCl).[13]

En outre, l’sine produit chaque année 42000 tonnes d’hypochlorite de sodium, ces solution sont élaborés à partir du barbotage de chlore gazeux dans de la soude caustique diluée.

La production de chlore liquide est également estimé à 35 600T/j on fabrique lechlore liquide en ajoutant le chlore gazeux (97%) obtenu par l’électrolyse de la saumure sur l’acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>qui permet d4absorber l’humidité du chlore , puis il est comprimé et refroidi grâce à un échangeur de chaleur.

Quant au chlorure ferrique, il est traité à partir d’une réaction de fer avec le chlore en présence de l’eau réactions :(Eq I.2.) (Eq I.3.)





**Figure I.7 :**Usine de production de chlore et dérivés

**I.6.Laboratoire contrôle et qualité**

Le laboratoire d’ADWAN Algérie couvre une superficie de 174m<sup>2</sup> et se compose de deux laboratoires :Laboratoire d’analyse de sable (figure I.8) etLaboratoire d’analyse de chlore et dérivés (figure I.9).



**Figure I.8 :**Laboratoire d’analyse de sable**Figure I.9 :**Laboratoire d’analyse de chlore et dérivés

Un laboratoire de contrôle de qualité bien équipé, joue un rôle déterminant au niveau de toutes les étapes de la réalisation des produits. Le laboratoire constitue le garant de la qualité des produits au près des clients grâce aux études de formulation et aux analyses physico chimiques détaillées par une équipe diplômée avec hautes qualités.

Le personnel du laboratoire joue le rôle d'interlocuteur technique avec les clients, où les matières premières sont sélectionnées telles que le sable brut, le sel et la soude caustique écaillée (les principaux ingrédients qui rentrent dans la fabrication de ses produits), où les échantillons sont prélevés dans chaque matière première réceptionnée et à chaque produit final fabriqué dans l'entreprise et sont analysés afin de s'assurer qu'ils sont conformes aux normes et aux exigences des clients.

L'équipage de ce laboratoire contribue également à l'adoption de nouveaux groupes de produits.

La qualité des produits est surveillée pendant le processus de fabrication pour garantir leur homogénéité, leur stabilité et leur développement et en fin de compte, les certificats d'analyse accompagnant les marchandises envoyés aux clients sont livrés.

## **I.7. Système DCS**

L'usine est équipée de systèmes de terrain et DCS instrumentation pour la sécurité fonctionnement et l'arrêt de l'usine. Certaines unités d'emballage seront exploitées par le PLC et signaux critiques seront également aller à la principale DCS. Il y aura une salle de DCS commun et un système DCS commun de la plante alcaline du chlore comme ainsi que pour les services publics au sujet de certains signaux de commentaire. Unité DIW, systèmes air, l'azote génération, filtration de la saumure, système de surveillance de la tension de cellule, sel fondu four, unité d'ensachage, de production de vapeur et de l'unité d'eau glacée seront exploités avec des automates.

Il y aura deux postes de travail avec quatre moniteurs, une station d'ingénierie et trois imprimantes. (figure I.10).



Figure I.10 :Système DCS



## **CHAPITRE II :**

# **Procédé de liquéfaction de chlore**



### II.1.Généralité sur le chlore

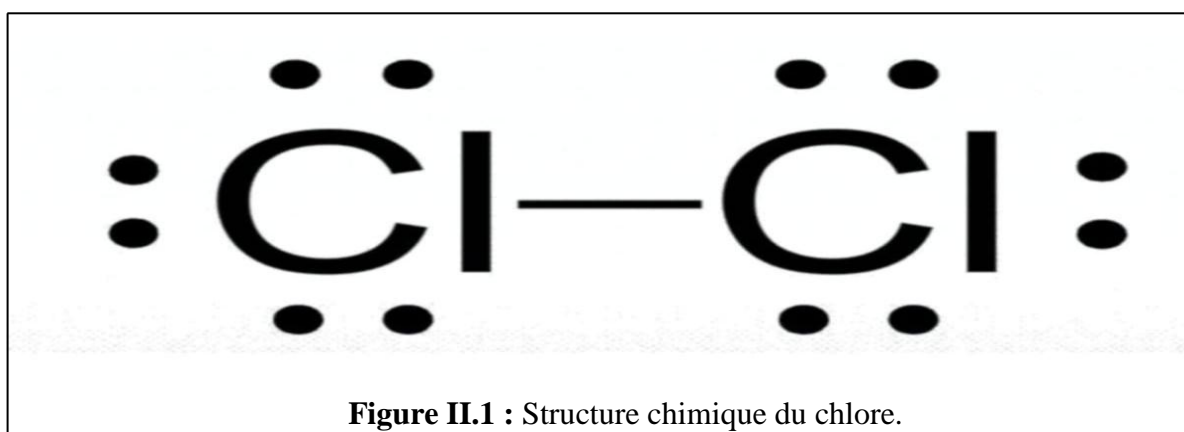
Chlore Connu depuis l'Antiquité, mais découvert il y a à peine deux siècles, le chlore est un élément essentiel de notre vie quotidienne. Sous forme de sel NaCl en grande quantité dans l'océan, il est facilement électrolysable ce qui permet d'en obtenir une forme très pure: le dichlore gazeux. De nombreux composés chlorés aux multiples applications sont alors synthétisables: désinfectants, gaz de combat, anesthésiants, agents pour la chimiothérapie etc. Ces utilisations plus ou moins récentes, exploitent les propriétés physico-chimiques du chlore, qu'il partage avec les autres halogènes. Sa place particulière dans le tableau périodique et sa grande disponibilité font toutefois du chlore un élément qui se démarque et est indispensable au chimiste.[14]

En 1648, une autre forme du chlore a été produite : l'acide chlorhydrique HCl, qui fut obtenu en chauffant du sel (NaCl) et du vitriol (H<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>). Il était nommé esprit de sel, ou acide muriatique (du latin : appartenant au sel ou à l'eau de mer). [15]

En 1774, le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele découvre le chlore sous un autre degré d'oxydation. Il a traité l'oxyde noir de manganèse en poudre avec de l'acide chlorhydrique et a obtenu un gaz verdâtre-jaunâtre:dichloreCl<sub>2</sub>, qu'il n'a pas reconnu comme un élément. (Eq. II .4)[16]



La véritable nature du gaz en tant qu'élément a été reconnue en 1810 par le chimiste anglais Humphry Davy, qui l'a ensuite nommé chlore (du grec chloros, qui signifie "vert jaunâtre").[15]

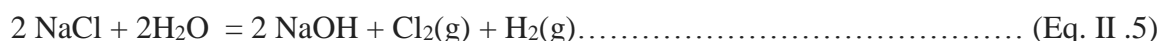


**Figure II.1** : Structure chimique du chlore.

Il est le premier halogène à avoir été découvert [16]. Cet élément chimique est une matière première quasiment inépuisable provenant du sel [17]. Il est particulièrement le plus abondant dans l'écorce terrestre, principalement dans les mines, les mers et les océans qui en représentent une source presque intarissable où il représente 1,8% en masse [16], majoritairement sous forme dissoute (NaCl). Il est présent également dans la croûte terrestre à hauteur de 0,017% en masse.[18].

## Chapitre II : Procédé de liquéfaction de chlore

L'électrolyse du sel NaCl, qui produit du dichlore Cl<sub>2</sub>(g) et de la soude NaOH selon l'Équation 5 [16] est alors au cœur d'enjeux économiques. (Eq. II .5).



Le dichlore est obtenu pur et gazeux à une électrode, ce qui permet de l'isoler facilement. L'électrolyse du sel en est alors la principale voie de synthèse. La production de dichlore s'élève à plus de 160 millions de tonnes par an dans les pays riches en sel (USA, Chine, Australie, Inde, Russie, Allemagne, Pologne). Le chlore est donc présent en grande quantité, accessible, et facile à obtenir pur. Les coûts de production sont donc moindres par rapport aux autres halogènes. C'est là son avantage principal, d'où sa prédominance dans la chimie par rapport aux autres éléments de sa colonne. Le chlore possède toutefois des propriétés comparables aux autres halogènes qui sont exploitables dans de nombreux domaines de la chimie. [16]

**Tableau II.1** : les propriétés physico-chimiques du Chlore

Position dans le tableau périodique	
Symbole	Cl
Nom	Chlore
Numéro atomique	17
Groupe	17
Période	3 <sup>e</sup> période
Bloc	Bloc p
Famille d'éléments	Halogène
Configuration électronique	[Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>
Electrons par niveau d'énergie	2, 8,7

### II .1.1 Propriétés du chlore

Le chlore (symbole Cl, numéro atomique 17) est un élément chimique de la famille des halogènes. Sa molécule Cl<sub>2</sub> (le dichlore) est un gaz verdâtre plus lourd que l'air. Irritant et suffocant, ininflammable Possédant sept électrons périphériques, sa position dans la septième colonne du tableau périodique de Mendeleïev lui confère des propriétés physico-chimiques assez particulières.

Sa masse molaire est 35.45, sa densité est 2,49, sa pression de vapeur à 20 °C est 6,5 bar et ses températures de changement d'état sont pour l'ébullition  $T_{eb} = -34.7^{\circ}\text{C}$  et pour la fusion  $T_{fusion} = -102^{\circ}\text{C}$ . Il est peu soluble dans l'eau, mais bien plus dans le benzène. Il se liquéfie facilement, soit par refroidissement au-dessous de  $-35^{\circ}\text{C}$ , soit par compression sous 7 à 10 bars (figure II.2). Le chlore gazeux se transporte habituellement à l'état liquide dans des cylindres d'acier sous pression [19].

**Les données thermodynamiques du chlore sont les suivantes :**

- Enthalpie massique de fusion :  $90,33 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  ;•
- Enthalpie massique de vaporisation :  $287,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  ;•
- Entropie (à l'état standard) du gaz :  $5,117 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ; Capacité thermique massique du gaz (à l'état standard) :  $0,48 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  [20]•

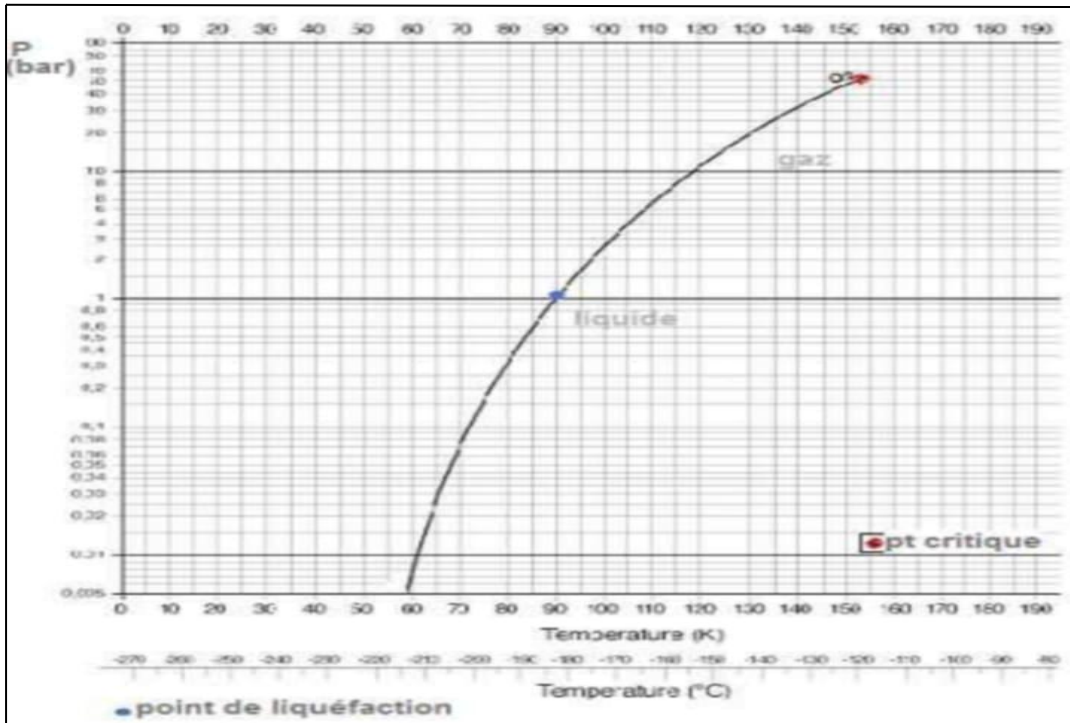


Figure II.2 : Diagramme de phases du chlore.

### II.1.2. les utilisations de chlore

Le chlore est un produit chimique important dans la purification de l'eau, dans les désinfectants, les agents de blanchissement.

En raison de sa toxicité, le dichlore a été un des premiers gaz employés lors de la Première Guerre mondiale comme gaz de combat. Les premiers masques à gaz inventés pour s'en protéger étaient en fait des compresses ou des cagoules de toiles imbibées de thiosulfate de sodium.[21]

Dans son état pur, le chlore n'est véritablement utilisé que dans 2% des applications. Dans 98% des cas restants, il est impliqué dans la réalisation de l'application. Le chlorure de polyvinyle (PVC), un polymère chloré, en est l'application principale. Le produit fini contient du chlore, qui peut se retrouver sous différentes formes, tout comme dans les solvants chlorés, l'eau de Javel ou l'acide chlorhydrique. Dans d'autres domaines d'application, comme les polymères non chlorés tels que le polycarbonate et le polyuréthane, le chlore n'est pas directement présent. Cependant, il joue un rôle crucial dans la fabrication. On peut classer les usages du chlore en six principales catégories :

#### 1. Polymères contenant du chlore (≈ 35%)

Le chlore est un élément structurel crucial dans la composition de nombreux plastiques :

PVC (polychlorure de vinyle) : employé dans la fabrication des tuyaux, des fils électriques, des fenêtres et des revêtements de sol.

PVDC (chlorure de polyvinylidène) : employé comme film de protection pour les emballages alimentaires et pharmaceutiques.

Il se manifeste sous la forme d'un film qui offre notamment des caractéristiques de totale imperméabilité. Ce film interdit totalement la pénétration de gaz, d'odeurs, d'air, de graisses, d'huiles, d'eau ou de vapeur d'eau. De cette manière, les aliments conditionnés dans du CPVD conservent leur fraîcheur plus longtemps, ne se dessèchent pas et ne dégagent aucune odeur dans le frigo.2.

#### 2. Polymères non chlorés (≈ 16%)

Lors de la synthèse, le chlore est employé, mais il n'est pas présent dans le produit final : Polyuréthane, polycarbonate, PTFE et résines époxy.

Dans le processus de production, le chlore est utilisé en tant que réactif synthétique. Le chlore est retiré du processus sous la forme de diverses combinaisons chimiques, généralement sous la forme d'acide chlorhydrique. Cela autorise sa réutilisation en tant que matière première pour d'autres processus chimiques.3.

#### 3. Produits chimiques intermédiaires (≈ 24%)

Le chlore est impliqué dans la production de : Médicaments (approximativement 85% en ont besoin à un certain stade). Des substances chimiques telles que le dioxyde de titane, la méthylcellulose,

## Chapitre II : Procédé de liquéfaction de chlore

et silicium à l'état très pur. tout comme dans de nombreux autres produits chimiques qui seront par la suite soumis à d'autres processus de transformation chimique.4.

### 4. Les produits de chimie minérale ( $\approx 19\%$ )

Des exemples incluent la Javel, l'acide chlorhydrique et les flocculants employés dans le traitement des eaux comme le chlorure de fer et le chlorure d'aluminium. Le chlore est à l'origine de caractéristiques spécifiques telles que : désinfection, gravure, altération des propriétés de surface, et ainsi de suite.5.

### 5. Solvants chlorés ( $\approx 4\%$ )

Employés dans : Nettoyage à sec, élimination de graisses de métaux, composition de colles pour l'industrie.6.

### 6. Chlore élémentaire ( $\approx 2\%$ )

Le chlore libéré en gaz lors de l'électrolyse peut être utilisé sans transformation. Par exemple, cela s'applique au traitement des eaux des piscines spécialement conçues à cet usage, nécessite des installations adaptées en raison de sa toxicité.

Il est à souligner que ces applications de petite envergure nécessitent une grande quantité d'électricité.[8]

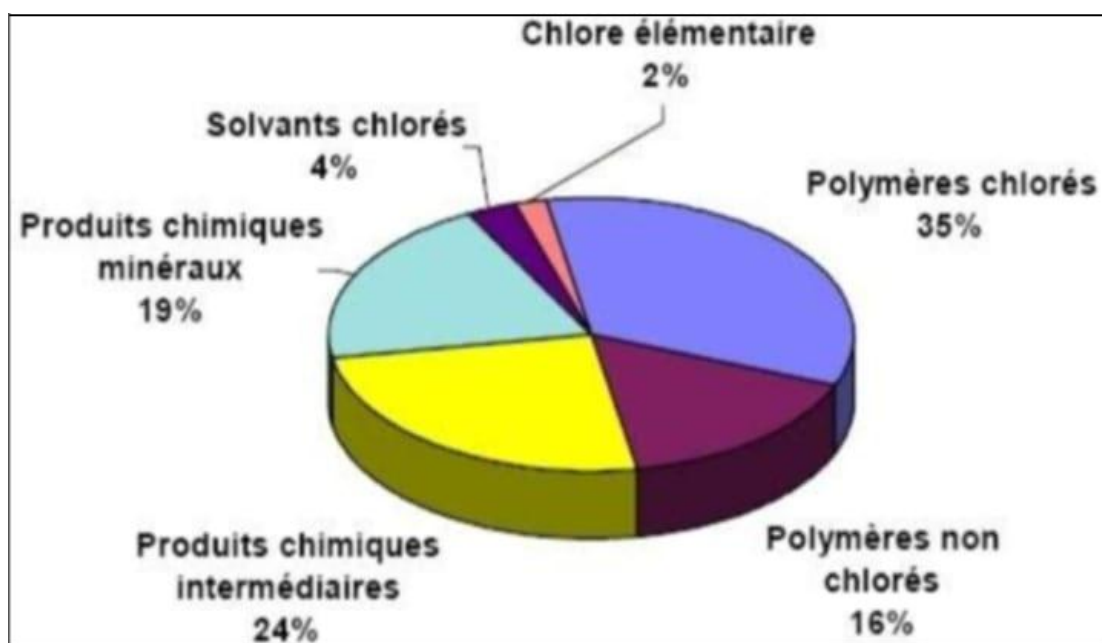


Figure II.3 :Application de chlore.

## II. 2. Procédés de liquéfaction de chlore

La production de chlore se réalise au sein du complexe ADWAN en utilisant la méthode suivante, comme représenté sur la figure II.4

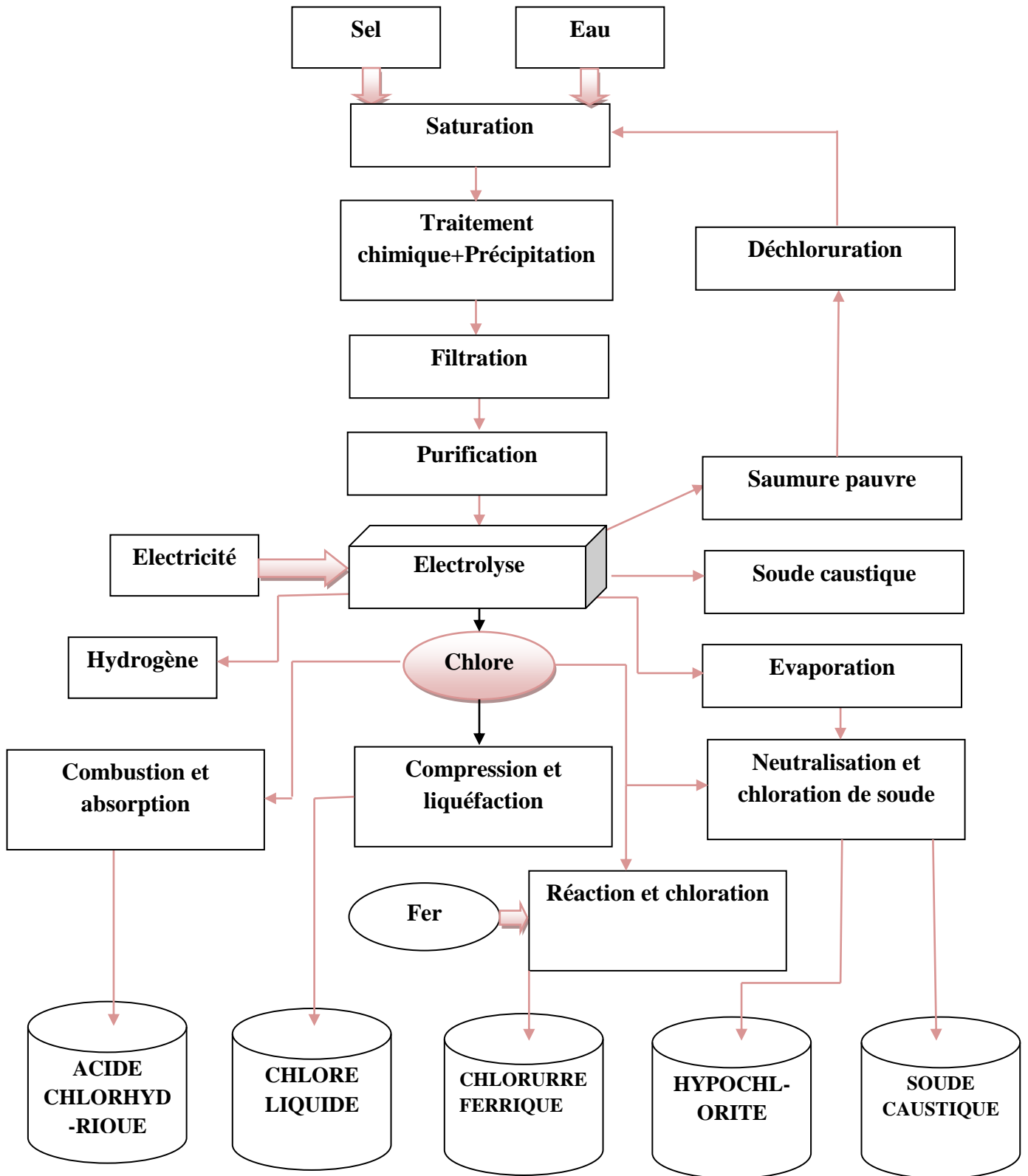


Figure II .4 :Les étapes de liquéfaction du chlore

### II.2.1. Production de chlore

L'industrie chimique produit principalement le dichlore par oxydation électrochimique des ions chlorure, faisant de lui un produit synthétique. Il est essentiellement préparé via électrolyse d'une saumure purifiée et concentrée, qui est une solution de chlorure de sodium (NaCl, aussi appelé sel de cuisine) dans l'eau. L'électrolyse, outre la production de chlore sous forme gazeuse, génère également de la soude caustique (aussi appelée lessive de soude - NaOH) et de l'hydrogène (H<sub>2</sub>) [2.8.22].

Sel + Eau =Chlore + Soude caustique +Hydrogène..... (Eq. II.6)

$2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2$ ..... (Eq.II.7)

Les règles et procédures rigoureuses encadrent strictement la production et l'utilisation du chlore. Dans le cadre de sa démarche d'amélioration permanente., l'industrie chimique supervise ces procédures tout en réduisant au minimum les risques associés.

### II. 2. 2. Etapes de production de chlore (traitement de la saumure)

#### II .2.2.1.Saturation

Cette étape implique l'obtention de la saumure à partir du sel brut (NaCl) sous sa forme solide, le matière première extrait de l'eau salée, qui provient de la ville d'Oued (figure II.5).



**FigureII.5 :**Sel brut(NaCl).

Le sel est tout d'abord déchargé et stocké dans une trémie. Puis, à l'aide de deux tapis(figure II.6.a), il est évacué dans deux bacs (saturateurs) A(T-101) et B (T-101) où il se dissout(figure II.6.b). Ensuite, il passe à l'état de solution liquide par l'ajout de l'eau afin d'avoir unesaumure ; Cette

saumure doit contenir une concentration entre 300 à 310 g/L de NaCl, avec une température supérieur à 45 °C [3].



Figure II.6 :(a)deux tapis, (b) Saturateur.

### II.2.2.2. Traitement chimique de la saumure

L'objectif de cette opération est l'élimination des particules contaminées affectants la qualité du produit et ses performances.

La saumure, une fois sortie du saturateur, traverse trois réacteurs (figure II.7) ; T102, T104 et T106, pour l'élimination des impuretés sous forme de précipités qui sont le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le sulfate (SO<sub>4</sub>) en utilisant des produits chimiques (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>;NaOH ; BaCl<sub>2</sub>) selon les réactions suivantes:



Ensuite, les flocculants (FeCl<sub>3</sub>) sont également ajoutés pour favoriser la précipitation ou la floculation des impuretés par leur agrégation, ce qui augmente leur poids pour se décanter au fond du réacteur (figure II.7) [12]



Figure II.7 :Les trois réacteurs T-102, T-104, T-106.

### II.2.2.3. Traitement physique de la saumure

L'étape de traitement physique de la saumure consiste à faire passer le liquide à travers un réacteur clarifié T108, qui est un large décanteur concave où la boue dispersée se dépose grâce à la rotation (voir figure II.8). Durant le processus de décantation, les précipités amassés (principalement  $Mg(OH)_2$  et  $CaCO_3$ ) sont rassemblés au bas du décanteur sous la forme de boues à éliminer [5,9].

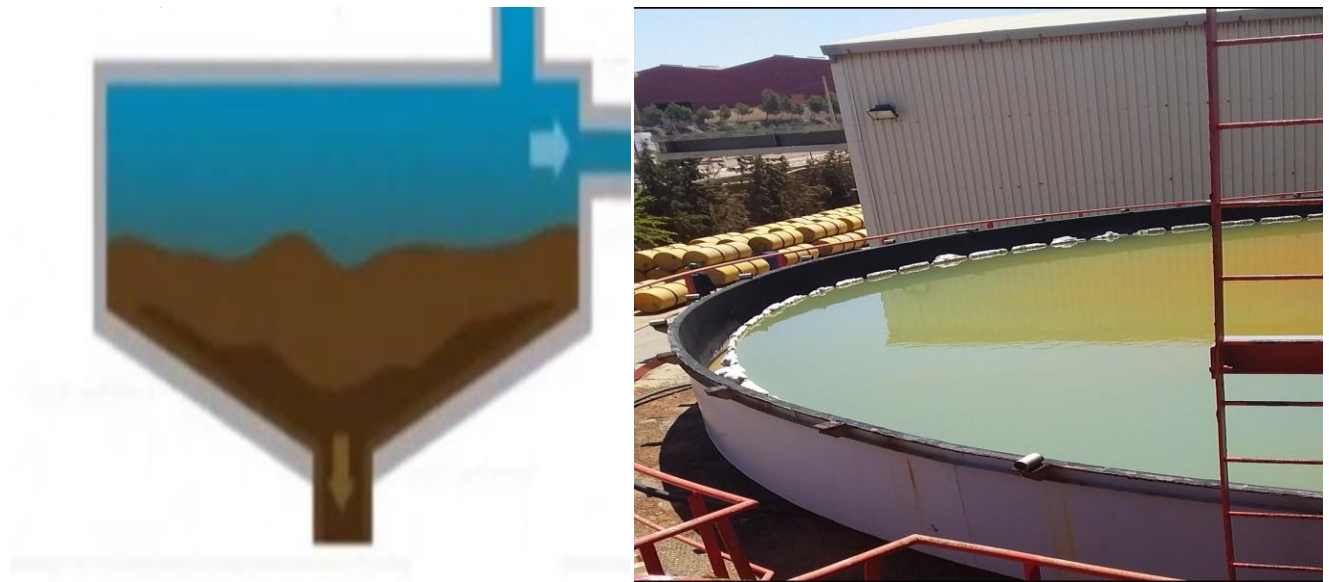


Figure II.8 :Décanteur T-108.

### II.2.2.4. Filtration de la saumure

Afin que la saumure soit filtrée, elle est envoyée vers un bac de stockage le T110 ; via deux pompes P110A et P110B (figure II.9)



**Figure II.9 :**Bac de stockage T-110 avec deux pompes P-110A et P-110B.

Ensuite, elle est dirigée vers deux filtres F111A et F111B pour effectuer sa filtration (figure II.10).

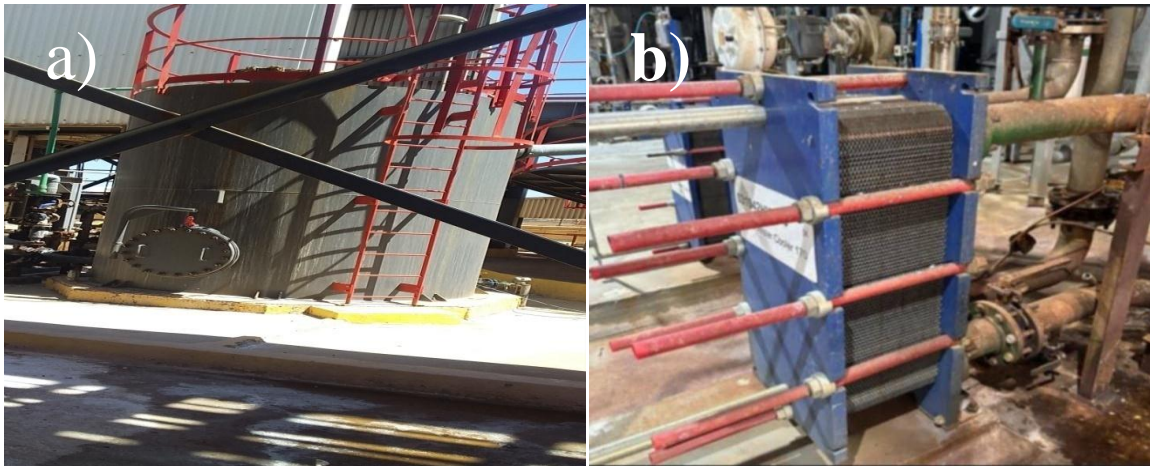


**Figure II.10 :**La filtration : (a)les deux filtres F-111A et F-111B, (b) L'entrée de cellulose.

La filtration se fait en trois étapes avec l'utilisation d'un pre-coat comme indiqué à la figure.[5,7, 12]

### II.2.2.5. Déionisation (purification) de la saumure

L'installation de l'unité de déionisation de la saumure vise à diminuer la concentration en  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$  dans la saumure jusqu'à 20 ppb et conserver la haute performance de l'électrolyse membranaire. Dans cette étape, la saumure est dirigée vers le bac de stockage T-115 (figure I.17(a)), où elle est transférée à un échangeur de chaleur (figure I.17(b)) par l'intermédiaire de deux pompes P-115A et P-115B pour élever sa température de  $40^{\circ}C$  à  $60^{\circ}C$  [12,16]



**Figure II.11 :** (a)bac de stockage T-115, (b) Echangeur de chaleur à plaque.

La saumure est dirigée vers les colonnes V-115 A, B et C en série (figure I.18) pour être filtrée à travers une résine qui permet d'éliminer les impuretés métalliques sous forme de cations (Ca, Mg, Fe,...).



**Figure II.12 :** Les trois colonnes en série V-115A, B et C.

Lors du fonctionnement continu de deux colonnes, l'une de ces dernières entre à la régénération avec la soude NaOH et l'acide HCl ainsi que le rinçage avec l'eau pour extraire complètement la résine les traces de régénérant [23].

### II.2.2.6.L'électrolyse

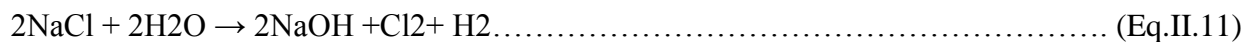
Après filtration (déionisation), la saumure pure est introduite dans le bac de stockage T-120. Par la suite, elle est transférée vers l'électrolyseur par deux pompes P-120A et P-120B où se déroule le processus d'électrolyse de la saumure (figure I.13).



**Figure II.13 :** Electrolyseur de chlorure.

L'électrolyseur employé est constitué d'un certain nombre de cellules composées. Chacune d'elle d'une anode en titane, une cathode en nickel et d'une membrane poreuse. Ces cellules sont assemblées et branchées aux bornes des électrodes (cathode et anode) du redresseur, qui fournit un courant continu à ces cellules pour générer les réactions d'électrolyse.

Sous l'effet d'un courant continu, la membrane permet spécifiquement le déplacement des ions sodium ( $\text{Na}^+$ ) de l'anode vers la cathode pour se combiner avec les ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ), produisant ainsi de la soude caustique ( $\text{NaOH}$ ) de 31% et 32%, selon la réaction :



La soude caustique générée est dirigée vers le réservoir de stockage où elle est diluée à une concentration approximative de 20% avant d'être utilisée dans la fabrication de l'hypochlorite de sodium. Pendant ce temps, le chlore gazeux collecté au niveau de l'anode est transféré vers le réacteur pour produire l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) ou d'autres produits comme ; l'acide chlorhydrique  $\text{HCl}$ , le chlorure ferrique  $\text{FeCl}_3$  et chlore liquide  $\text{Cl}_2$ .

L'hydrogène produit lors de la réduction de l'eau à la cathode est dispersé dans l'atmosphère [24].

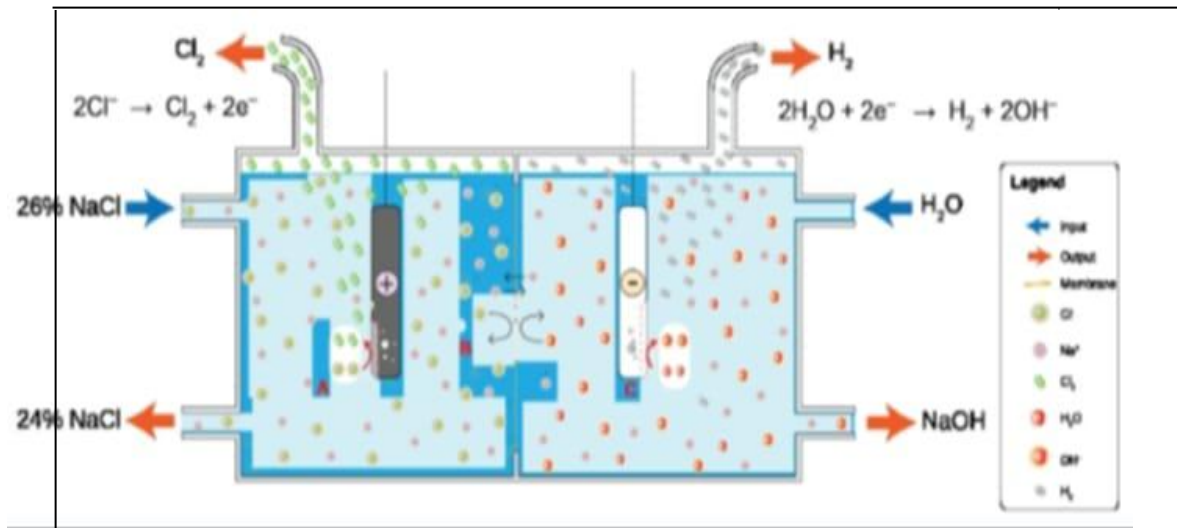


Figure II.14 :Schéma d'électrolyse à membrane.

### II.2.3 Traitement du chlore

La production de chlore se fait principalement par l'électrolyse de solutions aqueuses de chlorure de sodium, à partir de la demi-réaction d'oxydation (Eq.II.12) et de la réduction de l'eau entraînant la formation d'ions hydroxydes (Eq.II.13) à l'anode et à la cathode respectivement :



Généralement, avant son utilisation, le chlore passe par une succession de processus de refroidissement, nettoyage, séchage, compression et liquéfaction, et dans certains cas de revaporisation pour atteindre une qualité supérieure. Il peut être utilisé sous forme de gaz sec dans certaines applications, sans avoir besoin d'être liquéfié. Il est parfois possible de l'utiliser directement depuis les électrolyseurs (comme dans la production de javel ou de HCl) [17].

Le gaz chloré émanant des électrolyseurs a une température approximative de 85°C à 90°C et est saturé en vapeur d'eau. Il renferme aussi du brouillard de saumure, ainsi que des impuretés comme le N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> [16].

### II.2.4. Refroidissement et séchage du chlore

Évacué des dispositifs d'électrolyse, Le chlore gazeux humide est refroidi par l'eau glacée au niveau de son échangeur de chaleur HE-160 à une température d'environ 15°C, régulée par la vanne de contrôle TCV-160 et les réglages TT-160 du capteur de température. Le dimère de chlore D-160 est utilisé pour extraire le chlore doux de son eau.

## Chapitre II : Procédé de liquéfaction de chlore

Le gaz de chlore refroidi est réparti en quatre flux distincts. Le premier flux est dirigé vers le processus de neutralisation, le second concerne l'hypochlorite, le troisième est acheminé vers l'unité de synthèse de HCL sous une pression constante maintenue par des vannes de contrôle (PCV-160 A et un transmetteur de pression (PT-160). Quant au quatrième flux, il est orienté vers la tour de séchage qui comporte deux opérateurs comme illustré à la figure II.17 : l'opérateur C-161 avec environ 83% d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (acide faible) circulant via des pompes à faible débit P-161 A et B, et l'opérateur C-162 contenant 96% d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (acide fort), qui circule grâce à une pompe à fort débit, P-126 A et B.

Pour éviter la décoloration de l'acide sulfurique à haute température, celui-ci est refroidi à l'aide d'un refroidisseur d'acide HE-161 avec de l'eau glacée, afin de conserver une température qui ne dépasse pas approximativement 30 °C dans la première colonne C-161 [2,9].

Dans la première tour d'acide, C-161, une partie de l'eau présente dans le gaz chloré est retirée, tandis que l'eau résiduelle est éliminée via la deuxième tour d'acide, C-162.



Figure II.15 : (a)Sécheur C-161 et C-162, (b) Echangeur de chaleur HE-161.

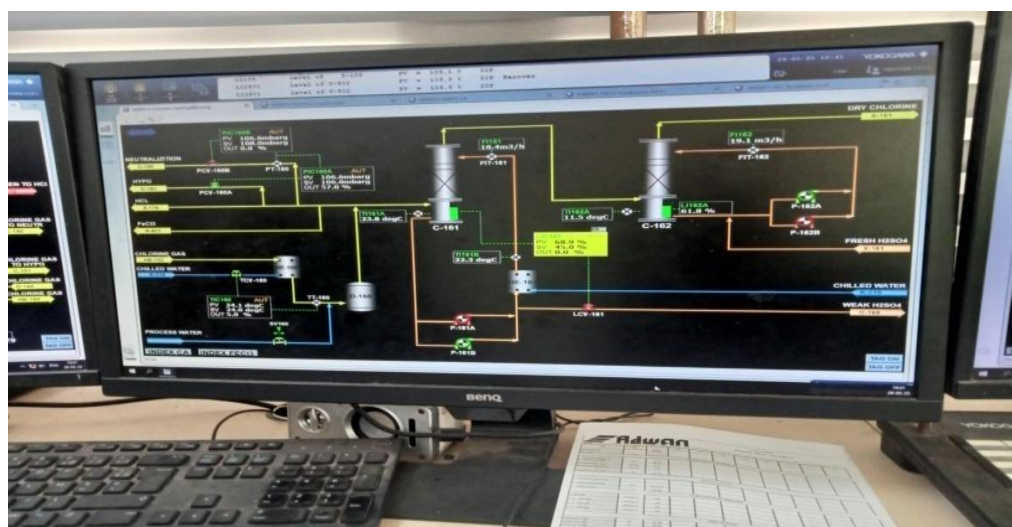


Figure II.16 : Schéma de refroidissement et séchage du chlore.

### II.2. 5. Compression du chlore

Le gaz chloré sec est d'abord comprimé à l'aide d'un compresseur à anneau liquide contenant 96% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, produisant un mélange bifasique de chlore gazeux comprimé et de gaz sulfurique (figure II.18). Ensuite, il est dirigé vers le séparateur initial XD-161 où il est dissocié de l'acide sulfurique et déchargé après avoir passé un composant de démoulage à une pression de 3,5 bars. Puis, il est acheminé vers le second séparateur D-161 où l'acide sulfurique est réutilisé dans le refroidisseur XHE-161 qui élimine l'énergie de compression. Le contrôleur de pression PIC-4161 gère le recyclage du gaz chloré. [9]



Figure II.17 :(a)Compresseur à anneau liquide, (b) Séparateur XD-161.

### II.2. 6. La liquéfaction du chlore

L'objectif de la liquéfaction du chlore est de minimiser son volume afin de faciliter son transport sur des distances considérables. Elle est également utilisée pour conserver une portion du gaz sous forme liquide durant les périodes de faible demande et le transformer en gaz lorsque la consommation augmente. Des unités de refroidissement sur remorque sont envisagées pour la production de saumure réfrigérée et la collecte de saumure congelée, qui sera ensuite pompée vers l'unité de refroidissement (K-163) à 12 °C (voir figure II.18). Comprimé à environ 3,5 bars et sec, le gaz de chlore est introduit dans le liquéfacteur HE-162 où il est refroidi et transformé en liquide grâce à l'utilisation d'une solution de diéthylène glycol (DEG) dans l'échangeur de chaleur à calandre et tubes. Par la suite, il est transféré par gravité vers le séparateur D-162, où le mélange biphasique de chlore gazeux et liquide est séparé [5,10].



Figure II.18 : Echangeur de chaleur tubulaire à calandre HE-162.

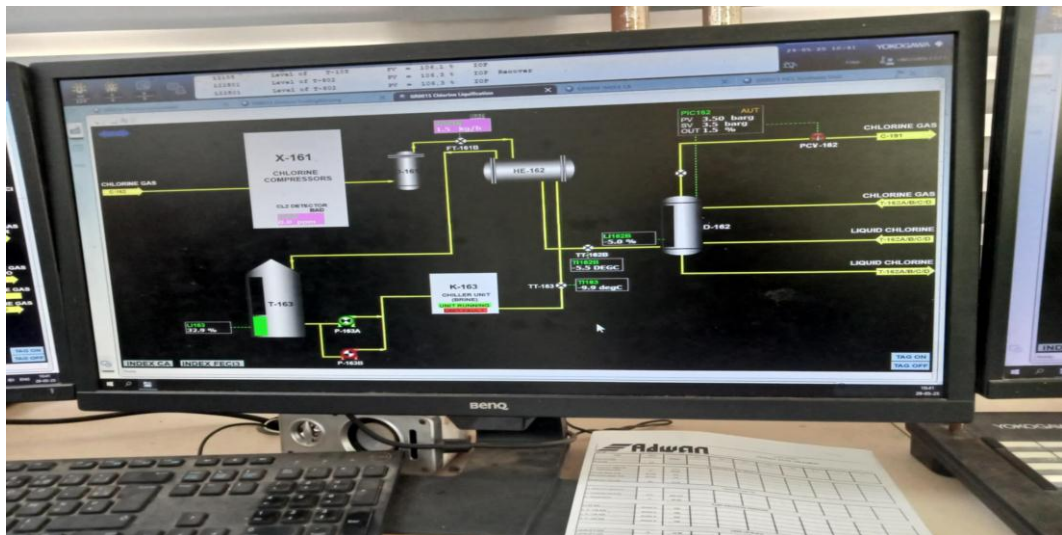
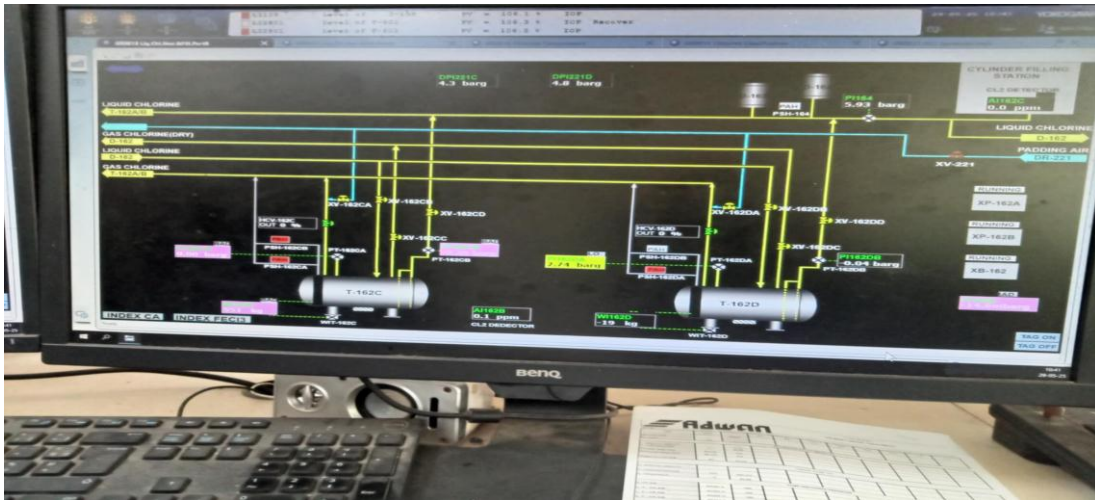


Figure II.19 :Schéma de liquéfaction de chlore.

### II.2.7. Stockage et remplissage du chlore liquide

Le chlore liquéfié d'une densité de  $1500 \text{ kg / m}^3$  s'écoule par gravité vers l'un des bac de stockage T-162A / B / C / D chacun ayant d'une capacité d'eau de  $50 \text{ m}^3$  (figure II.20). Les gaz résiduels au chlore ainsi que les gaz inertes sont ventilés sous contrôle de contre-pression PIC-162 vers le réacteur de production d'hypochlorite de sodium C-191.



**Figure II.20 :**Schéma de réservoirs de stockage T-162A/B.

Les trois stations de remplissage sont utilisées pour remplir des bouteilles de chlore liquides (conteneurs à tonne) où l'opérateur de la zone effectue le processus de remplissage manuellement. Les stations de remplissage possèdent des balances connectées aux transmetteurs de poids et aux tableaux de bord locaux. L'opérateur se sert des boutons du tableau de contrôle pour remplir les cylindres et peut surveiller le niveau de remplissage du chlore sur l'écran de ce dernier [12].

Les réservoirs de stockage de chlore liquide sont également équipés d'une soupape à excès de débit.



**Figure II.21 :**Les bouteilles de chlore liquide.



# **CHAPITRE III**

## **Partie expérimentale**



### III.1.Introduction

Au sein de toutes les installations industrielles, des pannes mécaniques peuvent se produire, provoquant une dégradation des produits tant en termes de quantité que de qualité. Dans certaines situations, ces anomalies peuvent mener à une arrête totale des processus de production. Adwan est l'une des organisations qui doivent relever ces défis techniques. Ce chapitre offre une exposition approfondie des dysfonctionnements techniques notés, en particulier les processus de corrosion et de cristallisation.

### III. 2. Les méthodes et techniques de traitement de chlore

L'électrolyse produit du chlore gazeux qui est saturé en eau à une pression de 130 mbar et à une température approximative de 88°C. Le système Cl<sub>2</sub> comporte les sections suivantes :

- \*Refroidissement et filtration du Cl<sub>2</sub>.
- \* Séchage du Cl<sub>2</sub>.
- \* Compression en Cl<sub>2</sub>.
- \* Liquéfaction du Cl<sub>2</sub>.

#### III. 2.1. Refroidissement et filtration du chlore

L'équipement de refroidissement du chlore est habituellement élaboré pour assurer un refroidissement continu et la filtration, si nécessaire. L'objectif est de réduire le contenu en eau à son niveau le plus bas grâce au refroidissement, afin de séparer et d'éliminer l'aérosol de saumure (brouillard), qui est transféré des cellules d'électrolyse. Cela permet aussi éventuellement d'augmenter la pression du gaz pour les sections ultérieures de l'installation.

Les bénéfices de refroidissement incluent:

- ✚ Aucune chance de formation de NaCl.
- ✚ Superficie minimale nécessaire.
- ✚ Nécessite très peu d'entretien.
- ✚ La température et la quantité de vapeur dans le gaz sont minimales, ce qui diminue la consommation d'acide pour le séchage du chlore.
- ✚ Coût d'exploitation réduit.

Le brouillard de saumure est distinct du chlore gazeux refroidi et saturé en vapeur d'eau pour prévenir la création de sulfate de sodium lors du séchage avec de l'acide sulfurique. Cette procédure s'effectue grâce à un filtre intégrant une couche de fibres de verre résistantes au chlore, où les

particules se fixent sur les fibres individuelles, fusionnent et se convertissent en gouttelettes qui sont par la suite évacuées par gravité. Les éléments de filtration sont positionnés en position verticale et fixés sur une plaque de filtration. Le gaz pénètre dans le réservoir du filtre par la partie la plus basse des composants, s'écoule ensuite vers le sommet avant de se déplacer horizontalement à travers les éléments. Le gaz filtré s'échappe par le sommet de la cuve.

Les avantages de la filtration sont les suivants :

- Un taux de séparation extrêmement élevé pour le brouillard de saumure.
- Coût d'entretien et d'exploitation extrêmement bas.
- Fiabilité élevée.

**La méthode:** Le chlore gazeux provenant des cellules est introduit dans le refroidisseur de chlore HE-122, où sa température est abaissée à 40°C grâce à l'eau de refroidissement. Le Cl<sub>2</sub> de HE-122 est transféré dans HE-160 où il est refroidi à près de 15 °C grâce à l'eau réfrigérée. Par la suite, le chlore gazeux traverse le filtre humide à chlore (D-160), le désembueur en fibre de verre (ce dernier est muni d'un filtre en fibre de verre, comme indiqué dans la figure II.1). Ce filtre a pour rôle de distinguer le brouillard de saumure. (humidité) qui accompagne le chlore à l'état gazeux.

Pour éviter la cristallisation du NaCl sur le filtre D-160 et l'augmentation subséquente de la perte de pression, l'eau de procédé est atomisée dans le flux Cl<sub>2</sub> à l'entrée du filtre. Le NaCl, une fois transporté par le gaz Cl<sub>2</sub>, se transforme en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> qui se cristallise dans la tour de séchage et à travers les tuyaux de petit diamètre comme les lignes LT4-161, s'il n'est pas séparé de manière efficace au niveau du désemboueur D-160.

### III. 2.2. Séchage

Le processus de séchage au chlore est destiné à un séchage continu et, si besoin, à la filtration du chlore gazeux séché. L'objectif est d'adsorber la vapeur d'eau au niveau le plus bas possible et d'éliminer l'aérosol acide produit par le chlore gazeux séché. La majorité des installations de séchage comprennent deux colonnes remplies qui font circuler de l'acide sulfurique. L'acide concentré est injecté dans la première colonne pour absorber l'essentiel de l'humidité, puis dans la seconde colonne pour capturer les résidus d'humidité présents dans le gaz. Chaque colonne est dotée de pompes centrifuges et d'instruments pour assurer la circulation de l'acide.

**La méthode:** Le chlore humide est introduit dans les tours de séchage du chlore à partir du filtre D-160 et le débit est régulé par la vanne de commande principale Manuel (avant l'utilisation de la vanne de dérivation PCV4-161 pour contrôler le débit). Un facteur crucial pour un séchage efficace est

la température d'absorption. La performance optimale de séchage de la tour est obtenue à des températures de l'acide sulfurique se situant entre 15 et 20 °C.

### III. 2. 3. Compression du chlore

Les compresseurs de chlore modernes, surtout ceux à anneau liquide à double étage, se caractérisent par une capacité et une pression de refoulement accrues, ce qui explique leur large utilisation. Le gaz est comprimé par le mouvement d'une roue dans une chambre où de l'acide sulfurique concentré sert de fluide d'étanchéité. Suite à la compression, un séparateur et des filtres spécifiques sont utilisés pour extraire l'acide du gaz, diminuant par conséquent la concentration d'acide en dessous de 10 ppm. Un échangeur de chaleur est utilisé pour refroidir l'acide à l'aide d'eau ne dépassant pas 30 °C. Bien que ces compresseurs soient performants, ils requièrent une grande quantité d'énergie et l'acide intégré au dispositif doit être renouvelé de manière régulière par un acide concentré neuf d'au moins 98%. Les compresseurs opèrent à une vitesse constante, et une portion du gaz est réutilisée afin de conserver une pression d'aspiration stable.

**La méthode :** Le gaz Cl<sub>2</sub> déshydraté issu de la tour de séchage pénètre dans le côté aspiration du compresseur de chlore à une pression de 120-130 mbar et à peu près 20 °C. Il est comprimé à 3,5 bar grâce au compresseur à anneau liquide XK-161A/B. La pression d'admission et de rejet des compresseurs est surveillée, indiquant ainsi que les compresseurs opèrent à un flux constant. Dans un séparateur, le mélange de liquide et de gaz issu du compresseur est trié. Le filtre de chlore sec D-161 est utilisé pour la séparation finale du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### III. 2. 4. Liquéfaction du chlore

La section de liquéfaction du chlore a pour objectif de convertir en permanence le chlore gazeux asséché et comprimé en phase liquide, grâce à l'utilisation d'échangeurs de chaleur de type coquille et tube. Le chlore se déplace à travers les tubes pendant que le liquide de refroidissement traverse la coquille. Par la suite, le chlore liquide est acheminé vers les réservoirs de stockage par gravité, ce qui nécessite une installation en hauteur.

Les gaz non condensables sont orientés vers l'unité d'absorption du chlore ou vers l'installation de production d'acide chlorhydrique. Le gaz de chlore produit par l'électrolyse membranaire peut contenir jusqu'à 2% de gaz inertes (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>), ce qui empêche une liquéfaction totale. La liquéfaction est influencée par la température et la pression, avec un taux habituellement compris entre 98 et 98,5 %.

## Chapitre III :Partie expérimentale

---

Du fait de la présence d'hydrogène, la proportion de celui-ci dans le gaz résiduel ne doit pas excéder 5 %. Il est donc conseillé de contrôler constamment le niveau de H<sub>2</sub> avec un analyseur pour éviter tout danger. En général, la concentration en hydrogène ne dépasse pas 0,1 %, mais lors d'une rupture des membranes, elle peut monter à 1 ou 2 %.

**La méthode:** Le gaz de chlore sec et comprimé, à une pression d'environ 3,5 barg, entre dans le liquéfacteur de chlore HE-162. Le gaz est refroidi et liquéfié par une saumure réfrigérée dans un échangeur thermique à calandre et tubes.

Le flux de chlore se dirige ensuite par gravité vers le séparateur de chlore D-162, où le mélange biphasé gaz/liquide est séparé.

Le chlore liquide est ensuite évacué du séparateur par gravité. Après le séparateur, un joint de colonne est prévu pour former un joint liquide dans la tuyauterie de sortie. Le chlore liquide est ensuite dirigé vers les réservoirs de stockage T-162 A/B/C/D. Le gaz de chlore résiduel et les gaz inertes sont évacués sous contrôle de pression inversée, PIC-162, vers la tour de réaction d'hypochlorite de sodium, C-191.

Les unités de refroidissement (K-163) abaissent la température de la saumure à environ -120°C pour la liquéfaction du chlore. Le diéthylène glycol (D.E.G) doit être ajouté à la saumure pour abaisser le point de congélation de la saumure avant de démarrer sa circulation.

### III. 3. Analyses réalisées en laboratoire

#### III. 3. 1. Détermination de l'Acide sulfurique et chlore libre dans l'Acide sulfurique ( sortie du séchage du chlore)

**Méthode d'essai:** Titrimétrique

##### a. Matériel:

- ❖ Bécher
- ❖ Burette de 25 ml
- ❖ Erlenmeyer de 250 ml
- ❖ Pipette de 5 ml
- ❖ Pré-pusette

##### b. Réactifs:

- 1 N de NaOH solution étalon (F = facteur de la solution de NaOH).
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Solution.

### Chapitre III :Partie expérimentale

---

- Indicateur rouge de méthyle.
- 0,1 N de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (F = facteur de 0,1 N solution de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).
- Indicateur à l'amidon.
- Solution d'iodure de potassium.

#### c. Procédures:

##### + Détermination de la teneur en acide sulfurique:

- Placer 20 mL d'eau distillée dans un erlenmeyer de 250 mL.
- Peser 1-1,5 g de l'échantillon de l'acide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) avec précision, (T: le poids de l'échantillon eng).
- Ajouter 2 mL de la solution de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> neutre.
- Laver les parois interne de l'erlenmeyer avec 30 ml de l'eau distillée.
- Ajouter 8-10 gouttes de solution d'indicateur rouge de méthyle et doser le mélange avec NaOH 1N solution standard jusqu'à point de virage (la couleur rouge des solutions tours de couleur jaune), (S1 (mL) de NaOH 1 N consommés).

##### + Dosage du chlore libre:

- Prenez deux bouteilles de 250 mL de gaz à laver.
- Placer 50 mL de l'échantillon H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> passé dans la première bouteille, (V= volume (ml) de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> passé échantillon ).
- Verser 100 mL d'eau distillée, 10 mL de KI et 2 mL solution d'indicateur à l'amidon solution dans la deuxième bouteille.
- Raccorder les bouteilles de série avec un tube en plastique.
- Connecter l'entrée de gaz de la première bouteille à la ligne d'air comprimé avec un tube en plastique.
- Ouvrir le robinet d'air et de commencer à purger le chlore libre la couleur de la solution dans la deuxième bouteille deviendra bleu en couleur, si l'échantillon de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> contient du chlore libre.
- Transférer cette solution bleue dans un flacon erlenmeyer de 250 mL.
- Rincer la deuxième bouteille de lavage un peu d'eau distillée et ajouter dans un flacon erlenmeyer.
- Titrer la solution dans le flacon erlenmeyer avec 0,1N de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> jusqu'à ce que la couleur bleue de la complexe iode-amidon disparaisse, (S<sub>2</sub>=ml de 0,1N de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> consommés).

#### d. Calcul:

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (%) =  $(49 \times 1 \times F \times S1 \times 100) / (1000 \times T) = (4,9 \times F \times S1) / T$ .
- Chlorine Free (ppm) =  $(35,46 \times 0,1 \times S2 \times F \times 1000) \times 1000 / (1000 \times V \times d)$   
=  $(3546 \times S2 \times F) / (V \times d)$ .

Avec

d = densité de l'échantillon H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub> passé.

### III. 4. Résultats et discussions

Quand la quantité et la qualité du gaz liquéfié se réduisent, le responsable de l'entreprise ainsi que ses collègues chimistes mettent en œuvre différentes actions pour identifier l'origine du problème et trouver une solution.

#### III. 4. 1. Les probabilités de problèmes fournies par les chimistes

- a) La cristallisation.
- b) Le bouchage à cause de boue.
- c) La corrosion.

Pour contrôler les machines, il faut uniquement :

- **L'arrêt programmée de toute de l'usine :**

Veillez ensuite à dépressuriser le système de chlore dans le compresseur.

- **l'arrêt prolongé:**

Procéder à la dépressurisation des conduites de Cl<sub>2</sub>, du compresseur et du liquéfacteur en détournant le gaz résiduel vers l'installation d'hypochlorite. Nettoyez les lignes et l'équipement de chlore en utilisant de l'azote sec.

#### III. 4. 2. Les problèmes techniques qui ont abouti à la fermeture de l'usine:

##### a. Cristallisation:

Le sel (NaCl) transporté par le gaz Cl<sub>2</sub> réagit pour donner du Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> qui se cristallise dans la tour de séchage et les conduits étroits comme LT4-161, s'il n'est pas correctement séparé dans le démisteur D-160. La pression du Cl<sub>2</sub> augmente fréquemment, provoquant l'ouverture complète de PCV-160A/B et PCV-122B/A, ce qui indique une cristallisation à l'intérieur de D-160. Le compresseur est aussi sujet à une importante formation de cristaux, surtout sur le LT4-161 qui possède un diamètre réduit comparé aux autres conduits, ainsi que sur les clapets de non-retour des deux compresseurs A/B.



##### •b. Blocage:

\* Le bouchage à cause de boue:

Le recours à de l'air humide pour élever la pression dans les réservoirs T-162A/B/C/D ou un défaut de séchage du chlore peut provoquer l'apparition de boues qui bouchent les tuyaux. Les particules d'acide véhiculées par le gaz chloré peuvent aussi se condenser dans les échangeurs thermiques et les conduites, créant ainsi des dépôts boueux. La réaction : Cl<sub>2</sub>(g) + NaCl+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=

pâte... peut générer de la pâte gazeuse chlorée, susceptible de provoquer des obstructions dans les conduits et les robinets. Le gaz de chlore (Cl<sub>2</sub>) peut se convertir en pâte lorsque les températures baissent sous 15°C. Ceci peut arriver en présence d'humidité dans les conduites et les valves, et lorsque le gaz chloré n'est pas évacué par de l'azote. La préparation de pâte peut provoquer des obstructions dans les conduits et les robinets, ce qui représente un risque potentiel.

\*Dans la filtration à cause de l'absence du filtre en fibre de verre:

Il est important de mentionner que suite à la disparition du filtre du démisteur D-161, celui-ci a été substitué par un remplissage en vrac fait de plastique. Il n'y a aucun doute que l'absence d'un filtre en fibre de verre est la raison de l'obstruction après le D-161.

\*Dans le refroidisseur HE-162 causé par des gouttelettes d'acide sulfurique :

Toutefois, si la température ambiante chute assez pour que les gouttelettes d'acide sulfurique gèlent, cela pourrait éventuellement provoquer une obstruction dans le système de refroidissement HE-162. • Il est improbable qu'un blocage dû à des gouttelettes d'acide sulfurique gelé se produise, étant donné que l'acide sulfurique gèle à -10°C.

#### c. Corrosion:

• L'humidité et le chlore : Le chlore, lorsqu'il est mélangé à de l'eau, génère de l'acide chlorhydrique (HCl) et de l'acide hypochloreux (HClO), ce qui amplifie sa capacité à oxyder.



Le processus d'oxydation (acide + fer) est déclenché par la présence de gouttes d'acide sulfurique qui entrent en réaction avec le fer : Cette interaction entraîne la corrosion du fer, la création de sulfate de fer et l'émission d'hydrogène.



L'air humide peut se transformer en gouttelettes d'eau qui, lorsqu'elles se combinent avec la poussière, peuvent donner lieu à de la boue. Cette dernière favorise la corrosion des métaux en créant un environnement humide et acide qui facilite leur décomposition.

### III. 4. 3. Les préventions des problèmes pour une liquéfaction optimale du chlore:

#### ✓ Éviter la cristallisation:

Pour prévenir la cristallisation, il est nécessaire d'examiner la douchette afin de déterminer si elle est brisée ou mal positionnée, ce qui pourrait entraver une diffusion appropriée. De plus, il faut augmenter le débit d'eau jusqu'à atteindre un maximum de 160 L/h.

#### ✓ Risque d'accumulation d'eau :

### **Chapitre III :Partie expérimentale**

---

On risque d'avoir une accumulation d'eau dans les zones mortes des vannes, des raccords et autres composants, de même que dans les parties non utilisées de la tuyauterie des équipements du secteur du chlore sec.

✓ **Surveillance du flux de condensat:**

Les hublots situés sur les lignes de sortie du condensat de chlore des deux échangeurs thermiques HE-122 et HE-160 doivent afficher le débit du condensat.

✓ **Température élevée dans la colonne C-162 :**

Dans la seconde colonne C-162, on observe parfois une température atteignant 45°C (notre PFD indique un maximum de 25°C sur la ligne 1108). peut être dû à un pulvérisateur d'acide endommagé ou mal équilibré, ou si le pulvérisateur d'acide est brisé dans la première colonne, une grande proportion de chlore pourrait se retrouver dans la seconde colonne et y accumuler de l'humidité. Il est donc crucial d'ouvrir les vannes C-161 et C-162 pour effectuer une vérification.

✓ **Débit minimal dans la colonne C-161:**

Il est impératif de mener une étude sur le flux dans la première colonne C-161, qui ne doit jamais tomber en dessous de 20 m<sup>3</sup>, quelles que soient les circonstances. Pour ce faire, il est crucial d'envisager une expansion de l'échangeur thermique ou un ajustement du tube de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tout en effectuant un contournement et en maintenant la température entre 15°C et 20°C.

✓ **Contrôle de l'humidité entre C-162 et les compresseurs :**

On suggère de prendre un échantillon d'humidité entre C-162 et les compresseurs afin de contrôler s'il y a un niveau d'humidité trop élevé dans cette région. Cette action peut contribuer à éviter les soucis de corrosion et d'accumulation de dépôts.

✓ **Installation d'un deuxième échangeur pour C-162 :**

Pour assurer la qualité du produit final, l'ajout d'un second échangeur de chaleur pour la colonne C-162 est indispensable. Il est essentiel de garder la température entre 15°C et 20°C pour maximiser la réaction chimique dans la colonne C-162. Des températures au-delà de cette fourchette pourraient influencer la qualité du produit fini.

✓ **Mise en marche de la pompe de secours P-161A/B :**

Il est nécessaire d'activer la pompe de secours P-161A/B si une des pompes cesse de fonctionner ou pour prévenir le passage à un débit réduit et garantir un flux adéquat d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> vers la tour de séchage.

✓ **Surveillance de la pression dans le système de compression :**

Si la pression dans le système de compression dépasse 3,5 bars, cela peut signaler un potentiel bouchon dans XD-161 ou D-161. Sans un PI4-161 opérationnel, il peut être compliqué de localiser le

### Chapitre III :Partie expérimentale

problème. Il est crucial d'identifier et de résoudre rapidement l'obstruction pour prévenir les dégâts matériels et les incidents.

✓ **Purge des lignes de chlore avec de l'azote :**

Pour minimiser les dangers d'explosion ou d'incendie et optimiser la qualité du produit fini, il est essentiel de purger la ligne de production de Cl<sub>2</sub> vers le cylindre et la ligne de collecte pour évacuer le chlore des T-162A/B/C/D en utilisant de l'azote. Cette technique rend possible l'élimination de toute présence d'humidité ou d'oxygène dans les circuits de production de Cl<sub>2</sub> ainsi que dans les collecteurs de chlore T-162A/B/C/D.

✓ **Ne jamais utiliser d'air humide pour la purge :**

Il est crucial de ne jamais employer de l'air humide ou de l'air d'instrumentation pour éliminer le chlore des réservoirs. Cela peut provoquer une réaction périlleuse en présence de chlore et entraîner des incidents.

#### III.4.4. Résultats des analyses réalisées au niveau du laboratoire

**Tableau III.2:** Résultats d'analyse de pourcentage massique de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> au niveau du laboratoire.

Unités	La masse (g)	Le volume (ml)	Le pourcentage massique de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
T-161	0.3117	5.8	91.17
T-162	0.3111	6.2	97.65
Compresseur	0.3188	6.5	99

**Tableau III.3 :** Résultats d'analyse de pourcentage massique de Cl<sub>2</sub> libre au niveau du laboratoire.

Unité	Le volume (ml)	Cl <sub>2</sub> libre (ppm)
Sortie de séchage	11.4	44916

Les conclusions tirées des analyses effectuées en laboratoire sont synthétisées dans les tableaux II.1 et II.2. Selon ces tableaux, tous les résultats des tests réalisés sont conformes aux normes requises.

### Conclusion général

Au cours des dernières années, l'élément chlore, qui sert de matière première pour diverses industries, a gagné une importance majeure dans le développement économique global. Le chlore sous forme liquide a diverses applications dans divers secteurs industriels ainsi que dans l'utilisation quotidienne par l'homme. Cependant, les caractéristiques physico-chimiques envisagées sont principalement déterminées par celles du sel brut utilisé dans sa fabrication et dans une moindre mesure par le procédé auquel il est soumis. Tout comme le matériel utilisé. La liquéfaction, qui figure parmi les méthodes de traitement du chlore, est une technique essentielle permettant de transformer le gaz chlore en liquide pour le stocker dans des réservoirs et le transporter sur de longues distances lorsqu'il est requis.

On s'inquiète également de l'impact environnemental lié à la liquéfaction. Cette procédure peut provoquer l'émission de gaz à effet de serre et d'autres substances polluantes, susceptibles de participer au réchauffement climatique et à d'autres enjeux environnementaux. Ainsi, il est crucial que les sociétés du secteur de la liquéfaction mettent en œuvre des actions visant à réduire leur empreinte environnementale. Cela pourrait inclure l'adoption de technologies plus respectueuses de l'environnement et la diminution de leurs émissions globales. Ce faisant, ils peuvent contribuer à garantir que ce secteur crucial continue de se développer et de s'épanouir dans les années futures.

La liquéfaction du gaz Cl<sub>2</sub> se fait en plusieurs étapes. En premier lieu, il est nécessaire de refroidir et de filtrer le gaz afin d'éliminer les impuretés et les substances contaminants. Par la suite, il est nécessaire de le sécher pour retirer toute humidité susceptible d'entraver le processus de liquéfaction. Par la suite, il est nécessaire de compresser le gaz afin d'accroître sa densité et sa pression, facilitant ainsi sa liquéfaction. Pour finir, il est nécessaire de liquéfier le gaz en réduisant sa température en dessous de son point de condensation.

Cependant, la liquéfaction du gaz Cl<sub>2</sub> pose plusieurs défis à surmonter. Par exemple, le gaz a la capacité de se transformer en cristaux à des températures faibles, ce qui peut provoquer des obstructions dans les conduites et les installations. Par ailleurs, le gaz a la capacité de corroder les matériaux avec lesquels il est en contact, ce qui peut provoquer des fuites et des pannes d'équipement. Pour surmonter ces obstacles, il est crucial de faire appel à des matériaux anti-corrosifs, de surveiller rigoureusement la température pour prévenir la cristallisation, et d'employer des installations et des méthodes spécialisées afin d'assurer une liquéfaction sûre et performante.

Il est également essentiel de souligner que le gaz Cl<sub>2</sub> est toxique et susceptible de présenter un danger. Il est donc essentiel de prendre les mesures de sécurité appropriées lors de la manipulation et de la

## **Conclusion Général**

---

liquéfaction de ce gaz. L'utilisation de protections individuelles comme les masques et les gants est nécessaire, et il faut impérativement respecter les protocoles de sécurité pour prévenir tout danger pour la santé et la sécurité. En définitive, la liquéfaction du gaz Cl<sub>2</sub> est un processus complexe qui implique des phases précises et des mesures de sécurité strictes. Toutefois, en adoptant les méthodes adéquates et en utilisant le matériel approprié, liquéfier le gaz Cl<sub>2</sub> peut s'effectuer de manière sécurisée et efficace.

### Références bibliographiques

- [1 ] : JSTOR – Jacques Aknin - Revue d'économie politique, septembre 1981.
- [2 ] :R.DANDRES, Le chlore, Institut National de Recherche et de sécurité(1971).
- [3 ] : Documents interne de l'entreprise.
- [4 ] : LUCAS, Marie, and Lise BOITARD-CREPEAU. "Le Chlore."
- [5 ] : F. DELMAS. Production de chlore et de soude par le procédé à membrane échangeuse d'ions. Journal de Physique IV Colloque, 1994.
- [6 ]:Schmittinger, Peter, ed. Chlorine: principles and industrial practice. John Wiley & Sons, 2008.
- [7 ]:Fauvarque, Jacqueline. "The chlorine industry." Pure and applied chemistry 68.9 (1996):1713-1720.
- [8 ] : Jules Houtmeyers, BelgoChlor c/o Fedichem, livre blanc du chlore, (2004).
- [9 ] : Gauthier Villars Masson et Cie, La liquéfaction des gaz et ses applications, (1917).
- [10 ] : Mounir BennajahNaoilChaouni, échangeur de chaleur technologie, calcul et design, éditions TECHNIP, (2014).
- [11 ] :Z. Lu et al.Liquefaction of sawdust in 1-octanol using acidic ionic liquids as catalyst Bioresour. Technol. (2013).II.2.3 Traitement du chlore.
- [12 ] : Jacques Dugua,AngeloAuttaviani, L'unité Chlore-Soude à Membrane de Fos, L'actualité chimique, (1994)
- [13 ] :[http://edu.ge.ch/decandolle2/IMG/pdf/302\\_synthese\\_de\\_NaOH\\_sept2007.pdf](http://edu.ge.ch/decandolle2/IMG/pdf/302_synthese_de_NaOH_sept2007.pdf) .
- [14 ] : Marie LUCAS, Lise BOITARD-CREPEAU.
- [15 ]: Chlorine | Uses, Properties, & Facts | Britannica <https://www.britannica.com/science/chlorine>.
- [16 ] : Emsley, J., Nature's Building Blocks : An A-Z Guide to the Elements ; Oxford University Press : 2011 ; 710 p.
- [17 ] : Jean Christophe Millet, Chlore, (2007).
- [18 ] :Dayah, M. Tableau périodique - Ptable, 1997, <https://ptable.com>.
- (11) Johansson, J. S. J. Biol. Chem 1997, 272 (29),
- [19 ]: <https://w.universalis.fr/encyclopedie/chlore/ww>.
- [20 ] : Le réseau des chimistes - Société Chimique de France (SCF). Available at: <https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/1994-184-nov-p96-docpedagogique.pdf>.

## Références bibliographiques

---

[21 ] : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Chlore-page-2.html>.

[22 ] : DJEDDH Halima, Procédé de fabrication d'hypochlorite de sodium et la caractérisation de produit, (2018).

[23 ] : MILLET, Jean-Christophe., 10 sept. 2007, « Chlore ». Dans : « Opérations <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/fabrication-des-grands-produits-industriels-en-chimie-et-petrochimie-42319210/chlore-j6215/.f>).

[24 ] : BRIDJA FATMA, Etude de liquéfaction du chlore au niveau de l'entreprise adwan, (2022).