

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université a. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie  
Département de Génie des procédés  
Laboratoire des Génie de l'Environnement

# Mémoire

## EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés  
Spécialité : Génie Chimique

Présenté par

**Lilia ADDA**

*Thème*

**Suivi du procédé de fabrication et caractérisation du dioxyde  
du carbone (CO<sub>2</sub>)-Entreprise Mecheri Gaz Industriel - Bordj  
Bou Arredj**

Soutenue le 08 /07/2024 Devant le jury composé de :

**Prénom et Nom**

**Grade**

Nassima HAMAI  
Taous BELAID  
Hamid TIGHZERT

MCA  
MCA  
MCA

Université A.Mira de Bejaia  
Université A.Mira de Bejaia  
Université A.Mira de Bejaia

Présidente  
Examinatrice  
Encadrant

Année Universitaire : 2023/2024

# *REMERCIEMENT*

*Avant tout, je vais remercier Dieu le tout puissant, le Miséricordieux, de m'avoir donnée le courage, la force, la santé et la persistance et de m'avoir permis de finaliser ce travail dans de meilleures conditions*

*Ce mémoire est le fruit des efforts fournis et des sacrifices consentis par plusieurs personnes que je ne pourrai oublier de remercier*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire et particulièrement LE PDG de MGI (Monsieur MECHRI ZOHIR) qui m'a ouvert ces portes et d'avoir accès à son entreprise en collaboration avec Monsieur BOUDEROUZ MAROUANE Responsable de production et GASMI YACINE le responsable de contrôle de qualité.*

*Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à mon promoteur monsieur Tighzert Hamid, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je me dois de remercier plus particulièrement mes chers parents qui ont toujours été là pour moi :*

*Mon père ADDA MAHMOUD et ma mère MEZIANE SALIMA pour tous les conseils, pour tous les encouragements et pour tous les incommensurables sacrifices pour toute ma formation, ainsi que mes sœurs (FERROUDJA, NESRINE, KATIA et RAZANE) et mon petit frère GHILAS pour leurs encouragements. Sans oublier mon cher ami NASSIM pour sa patience de m'aider, conseiller et de me soutenir moralement.*

# Dédicaces

*Louange à Dieu pour la joie de l'accomplissement.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À mon père, qui a illuminé mes chemins, et qui est mon guide et modèle à chaque pas que j'ai fait.*

*À ma chère mère, l'étreinte chaleureuse et le ciel protecteur qui ne m'a jamais quittée. Ma journée*

*n'est jamais complète sans elle. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*À mon frère et à mes sœurs, qui m'ont toujours soutenue tout au long de mon parcours.*

*Merci à vous tous pour votre amour, votre soutien et votre confiance.*

*Lilia*



# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : Généralité sur le CO<sub>2</sub></b>	
I.1. Définition du CO <sub>2</sub> .....	2
I.1.1 Composition chimique .....	2
I.2. Propriétés du CO <sub>2</sub> .....	2
I.2.1 Propriétés physiques .....	2
a. État physique en conditions normales .....	2
Points de transition de phase .....	2
Point de sublimation .....	3
Point triple .....	3
Point critique.....	3
Densité .....	3
Solubilité .....	3
I.2.2. Propriétés chimiques .....	3
Non-inflammabilité... ..	3
Acidité faible .....	4
Solubilité dans l'eau .....	4
Réactivité avec les bases .....	4
Réactions de photosynthèse.....	4
I.3L'état supercritique .....	4
I.4Domaines d'application du CO <sub>2</sub> .....	5
I.4.1 Domaine agro-alimentaire.....	5
Carbonatation des boissons .....	5
Conditionnement sous atmosphère protectrice.....	6
Extraction de composés.....	6
Réfrigération.....	6
Agriculture.....	6
I.4.2 Domaine industriel.....	6
Sidérurgie .....	6
Nettoyage industriel .....	6
Industrie du caoutchouc et des plastiques .....	6
I.4.3 Autres Domaines.....	7
Synthèse chimique.....	7
Extinctiond'incendie.....	7

Médecine .....	7
Cosmétique.....	7
Géothermie .....	7
Capture et Stockage du CO <sub>2</sub> (CSC) .....	7
Recherche scientifique.....	7
I.5 Origine du CO <sub>2</sub> dans le cycle du carbone.....	7
I.5.1 Sources naturelles .....	8
Respiration des êtres vivants .....	8
Décomposition organique.....	8
Déforestation et incendies.....	8
Combustion des énergies fossiles.....	10
Éruption volcanique.....	10
Géothermie.....	10
I.5.2 Sources industrielles .....	10
Production des ciments.....	10
Sidérurgie .....	11
Production des engrais azotés .....	11
Puits de carbone.....	12
I.6 Impact du CO <sub>2</sub> sur le climat et le changement climatique .....	13
Effet de Serre et Réchauffement Climatique .....	13
Acidification des océans.....	14
Fonte des glaces et élévation du niveau de la mer.....	14
Effets sur les écosystèmes terrestres.....	15
I.7 Effets sur la santé et impacts sur l'environnement.....	16
I.8 La Capture et stockage du CO <sub>2</sub> (CSC).....	17
I.8.1 Capture du CO <sub>2</sub> .....	17
I.8.2 Transport du CO <sub>2</sub> .....	17
I.8.3 Stockage du CO <sub>2</sub> .....	17
I.8.4 Avantages et Défis.....	18
I.9 Émissions dans le monde par pays.....	18

## **Chapitre II : procédé de fabrication de CO<sub>2</sub> par MGI**

II.1. Présentation de l'entreprise.....	20
II.1. Historique .....	20
II.2. Équipes de production .....	21
II.2.1. Missions et objectifs .....	22
II.2.2. Produits de la SARL MGI.....	22

II.2.3. Moyens de transport.....	22
II.2.4. Distribution des produits.....	23
II.2.5. Contrôle de qualité du produit .....	23
II.3. Présentation du système de l'entreprise.....	23
II.3.1. Unités N°2 et N°3 .....	24
II.3.2. Unité N°1.....	24
II.4. Présentation du système de fonctionnement des unités .....	24
II.4.1. Unités 2 et 3 à base d'Ox Flash .....	24
II.4.1.1. Brûleur à gaz :.....	24
II.4.1.2. Lavage des fumées (scrubber) .....	24
II.4.1.3. L'Absorbeur.....	24
II.4.1.4. Colonne de distillateur NOx flash .....	27
II.4.1.4.1. Chauffage et refroidissement de MEA.....	27
II.4.1.5. Le dégazeur (Stripper) .....	27
II.4.1.6. La Tour PPM (Scrubber).....	27
II.4.1.7. Le compresseur.....	27
II.4.1.8. Déshumidificateur (Séchage).....	27
II.4.1.9. Déshydrateur.....	28
II.4.1.10. Filtre à charbon actif.....	28
II.4.1.11. Condenseur de CO <sub>2</sub> et colonne de distillation.....	28
II.4.1.12. Liquéfaction par l'ammoniac.....	28
II.4.1.13. Compression et réfrigération .....	28
II.4.1.14. Stockage.....	28
II.4.2. Unité 1 à base de permanganate de potassium.....	29
II.4.2.1. Chaudière.....	29
II.4.2.2. Lavage.....	29
II.4.2.3. Colonne d'absorption.....	29
II.4.2.4. Dégazeur .....	29
II.4.2.5. Purification par le permanganate .....	29
II.4.2.6. Séchage.....	29
II.4.2.7. Liquéfaction.....	30
II.4.2.8. Stockage.....	30

## Chapitre III : les analyse de control de qualités de CO<sub>2</sub>

III.1- Caractérisation du monoéthanolamine (MEA) .....	31
II.1- Mode opératoire pour mesurer la normalité de la MEA.....	31
II.1.1- Calcul de la normalité:.....	31

III.1.2-Densité .....	32
III.1.3-pH .....	33
III.1.4-Couleur.....	34
III.1.5-Pureté.....	34
Procédé de mesure de la pureté du CO <sub>2</sub> .....	34
III.3 Les résultats obtenus.....	36
III.3.1. La normalité.....	36
III.3.2. La densité .....	37
III.3.3. La pureté.....	38
III.3.4.Le PH.....	39
III.3.5.La combustion .....	40
Teneur en O <sub>2</sub> .....	40
Température (T).....	41
Teneur en CO .....	41
Teneur en CO .....	42
Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI).....	43
Coefficient d'Excès d'Air ( $\lambda$ ).....	43
III.4.Analyse des résultats obtenus par le CARBOSCAN.....	44
III.5. Traitement des eaux .....	47
III.5.1. Avant l'installation de la nouvelle station.....	47
III.5.2. Résultats après l'installation de la nouvelle station .....	49
<b>Conclusion</b> .....	51
<b>Référence bibliographiques</b> .....	53

## **Résumé.**

## La liste des figures :

Figure 1 : illustration de la molécule CO <sub>2</sub> .....	2
Figure 2 : Diagramme montrant le point triple et l'état supercritique du CO <sub>2</sub> .....	3
Figure 3:illustration d'une boisson gazeuse.....	5
Figure 4 : illustration de l'agriculture .....	6
Figure 5 : illustration des extincteurs .....	7
Figure 6 : illustration de la matière organique .....	8
Figure 7 : illustration de la déforestation .....	9
Figure 8 : illustration de la Sidérurgie .....	11
Figure 9 : illustration des engrais .....	12
Figure 10 : illustration des océans acidifiés .....	14
Figure 11 : illustration de la Fonte des glaces .....	15
Figure 12 :écosystème terrestre .. ..	15
Figure 13 :Émission de CO <sub>2</sub> en t/habitant (données 2013) .....	19
Figure 14 : Situation géographique de la Sarl MGI.....	22
Figure 15 : Schéma général de fonctionnement de l'unité 2 et 3 .....	25
Figure 16: schéma général de fonctionnement de l'unit 1.....	26
Figure 17:Mesure de la normalité.....	32
Figure 18:Dispositif utilisé pour mesurer la densité.....	33
Figure 19:Dispositif d'un pH mètre .....	34

Figure 20:Dispositif d'un papier pH .....	34
Figure 21: Dispositif de la pureté .....	35
Figure 22: Photographie d'un TESTO .....	36
Figure 23:Résultats obtenue de la normalité .....	37
Figure 24: Evolution de la densité durant 30 jours de fonctionnement.....	38
Figure 25: Résultats obtenue du PH .....	40
Figure 26:Résultats obtenue du %O <sub>2</sub> .....	41
Figure 27: Résultats obtenue de la température.....	41
Figure 28: Résultats obtenue du %CO <sub>2</sub> .....	42
Figure 29: Résultats obtenue du %CO .....	43
Figure 30: Résultats obtenue du % λ.....	44
Figure 31: Echantillon des résultats d'analyses obtenus par le Carboscan.....	46

## Listes des tableaux

Tableau 1.Évaluation des rejets de CO <sub>2</sub> (en milliers de tonnes) dans l'atmosphère, en 2013, par pays (sélection d'après l'ONU).....	19
Tableau 2 : Résultats obtenue de La pureté.....	39
Tableau 3 : Comparaison des résultats obtenu par le Carboscan à la norme Codex Alimentarius.....	47
Tableau 4 : Résultats obtenue avant l'installation de station des eaux.....	49
Tableau 5 : Résultats obtenue de station des eaux (osmose).....	51

# **INTRODUCTION**

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est omniprésent dans notre environnement naturel et joue un rôle essentiel dans le cycle de la vie sur Terre. Ce gaz est essentiel pour la photosynthèse des plantes et se forme naturellement par les organismes vivants ainsi que par des processus géologiques. Au-delà de son rôle biologique, le CO<sub>2</sub> représente également une ressource industrielle précieuse, utilisée dans une gamme diversifiée d'applications allant de l'agroalimentaire à l'industrie chimique.

Pourtant, ce composé présent dans l'air que nous respirons est paradoxalement à la fois essentiel à la vie sur Terre et impliqué dans un enjeu majeur : le changement climatique. Cette dualité du CO<sub>2</sub> en tant que ressource vitale et en tant que facteur de perturbation environnementale souligne l'importance de comprendre son procédé de fabrication. Pour ce faire, le présent travail, fait l'objet d'une étude effectuée dans le cadre d'un stage pratique se au sein de l'entreprise Merchi Gaz à Borj Bou Arreridj, où nous nous intéressons spécifiquement au procédé de fabrication du CO<sub>2</sub> produit par la combustion du gaz naturel. Notre objectif est de suivre ce procédé industriel afin de le mieux comprendre. En plus de suivre le procédé nous tentons également de caractériser non seulement le produit final, mais également les composants essentiels à sa production( comme la MEA et les eaux de process utilisées).

Ce mémoire se divise en trois chapitres distincts : le premier présente les généralités sur le CO<sub>2</sub>, incluant sa définition, ses propriétés, ses sources. Le second chapitre explore en détail le procédé de fabrication utilisé par l'entreprise Mechri Gaz (MGI). Enfin, le troisième chapitre examine et discute des résultats obtenus concernant la caractérisation de la monoéthanolamine (MEA), du CO<sub>2</sub> produit et de l'eau utilisée. Le travail se conclut par une synthèse des principales conclusions ainsi que quelques perspectives pour l'avenir.

# **CHAPITRE I :**

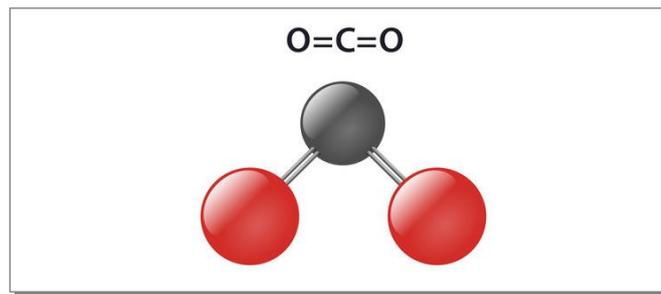
Généralités sur le CO<sub>2</sub>

## **I.1. Définition du CO<sub>2</sub>**

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un composé moléculaire omniprésent, incolore, inodore et non inflammable, composé d'un atome de carbone lié à deux atomes d'oxygène. Bien qu'essentiellement à la vie sur Terre en tant que composant de la photosynthèse, le CO<sub>2</sub> est également un gaz à effet de serre crucial qui contribue au changement climatique anthropique. Ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie du CO<sub>2</sub>, en explorant sa nature, ses sources, ses propriétés, son rôle dans le cycle du carbone et son impact sur le climat [2].

### **I.1.1 Composition chimique**

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un composé moléculaire simple composé d'un atome de carbone (C) lié à deux atomes d'oxygène (O) par une liaison covalente double. Sa formule chimique est CO<sub>2</sub> et sa structure moléculaire est linéaire, avec l'atome de carbone au centre et les atomes d'oxygène de chaque côté.[1]



*Figure 1 : illustration de la molécule CO<sub>2</sub>*

## **I.2. Propriétés du CO<sub>2</sub>**

### **I.2.1 Propriétés physiques**

**a. État physique en conditions normales :** Dans des conditions normales de température et de pression (température ambiante et pression atmosphérique), le CO<sub>2</sub> est un gaz incolore, inodore et non inflammable.

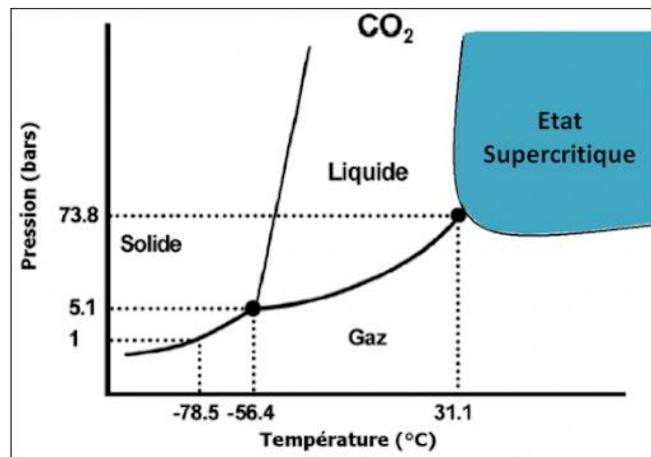
**b. Points de transition de phase**

Le CO<sub>2</sub> présente des points de transition de phase remarquables qui définissent les conditions de température et de pression auxquelles il change d'état :

**c. Point de sublimation:** à  $-78,5^{\circ}\text{C}$  et la à la pression atmosphérique (1atm). A cette température, le CO<sub>2</sub> passe directement de l'état solide à l'état gazeux sans passer par la phase liquide [2,3].

**d. Point triple :** C'est point unique qui représente la combinaison de température et de pression où les trois phases du CO<sub>2</sub> (solide, liquide et gazeux) coexistent en équilibre. Cet état est atteint à  $-56,6^{\circ}\text{C}$  et 5,185 bar [2,3].

**e. Point critique :** Le point critique pour le CO<sub>2</sub> est atteint à  $31,0^{\circ}\text{C}$  et 73,8 bar. Au-delà de ce point, le CO<sub>2</sub> n'existe plus sous forme de gaz distinct et de liquide séparés, mais plutôt comme un fluide supercritique aux propriétés uniques [2,3].



*Figure 2 : Diagramme montrant le point triple et l'état supercritique du CO<sub>2</sub>*

**f. Densité :** Le CO<sub>2</sub> est plus dense que l'air, avec une densité d'environ 1,98 g/L à  $20^{\circ}\text{C}$ . Cela signifie qu'il a tendance à s'accumuler dans les parties basses des espaces confinés [4,5].

**g. Solubilité :** Le CO<sub>2</sub> est soluble dans l'eau, mais sa solubilité diminue avec l'augmentation de la température. Il est également soluble dans certains solvants organiques [4,5].

### **I.2.2. Propriétés chimiques**

**a. Non-inflammabilité :** Le CO<sub>2</sub> n'est pas inflammable, car il ne possède pas d'hydrogène facilement disponible pour réagir avec l'oxygène. Cela le rend utile comme agent extincteur d'incendie par exemple et comme agent inerte dans certains procédés.

**b. Acidité faible:** Le dioxyde de carbone peut réagir avec l'eau pour former de l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), ce qui lui confère une légère acidité. L'acide carbonique est une solution faible qui peut libérer des ions hydrogène (H<sup>+</sup>) dans l'eau, abaissant ainsi le pH de la solution. Cette propriété est importante par exemple pour la régulation du pH du sang et des océans.

**c. Solubilité dans l'eau:** Le CO<sub>2</sub> est soluble dans l'eau, formant de l'acide carbonique. Cette solubilité est responsable de phénomènes naturels tels que la carbonatation des boissons gazeuses et la dissolution du CO<sub>2</sub> dans les océans, ce qui peut affecter l'équilibre acido-basique des écosystèmes marins [5].

**d. Réactivité avec les bases :** Le dioxyde de carbone réagit avec les bases pour former des carbonates ou des bicarbonates. Par exemple, il réagit avec l'hydroxyde de sodium (NaOH) pour former du carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ou du bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>).

**e. Réactions de photosynthèse:** Le dioxyde de carbone est un substrat essentiel pour la photosynthèse, le processus par lequel les plantes, produisent de la matière organique à partir de dioxyde de carbone et d'eau en utilisant la lumière comme source d'énergie.

### **I.3. L'état supercritique**

Nous l'avons mentionné si-haut que l'état supercritique du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un état physique dans lequel le CO<sub>2</sub> est maintenu à une température et une pression au-dessus de son point critique. À ces conditions, le CO<sub>2</sub> se trouve dans un état intermédiaire entre un gaz et un liquide, exhibant des propriétés uniques qui le distinguent des gaz et des liquides ordinaires. Cette phase supercritique présente un intérêt significatif dans divers domaines, notamment en chimie, en ingénierie et en technologie, en raison de ses propriétés particulières et de ses applications pratiques [4 ,5].

L'une des caractéristiques les plus remarquables de l'état supercritique du CO<sub>2</sub> est sa densité, qui se situe entre celle d'un gaz et celle d'un liquide. Cette densité modérée lui confère une capacité de dissolution élevée, similaire à celle d'un liquide, tout en conservant la mobilité moléculaire d'un gaz. Ainsi, le CO<sub>2</sub> supercritique peut dissoudre une large gamme de composés organiques et inorganiques, ce qui en fait un

solvant vert efficace pour divers processus de purification, d'extraction et de séparation dans l'industrie chimique et pharmaceutique [4,5] .

De plus, l'état supercritique du CO<sub>2</sub> offre des avantages significatifs en termes de manipulation et de sécurité par rapport aux solvants traditionnels. Étant donné que le CO<sub>2</sub> supercritique peut être facilement séparé des solutés en ajustant simplement la pression et la température, il permet des processus de purification plus simples et plus respectueux de l'environnement, sans la nécessité d'utiliser des solvants organiques volatils potentiellement nocifs [4,5] .

Outre ses applications en chimie et en ingénierie, le CO<sub>2</sub> supercritique est également largement utilisé dans le domaine de l'extraction de substances naturelles, telles que les huiles essentielles, les arômes et les extraits de plantes. En utilisant le CO<sub>2</sub> supercritique comme solvant d'extraction, il est possible d'obtenir des produits purs et concentrés tout en préservant la qualité et les propriétés des composés naturels, sans résidus de solvant indésirables [4,5] .

#### **I.4. Domaines d'application du CO<sub>2</sub>**

Les multiples domaines d'application du dioxyde de carbone, démontrent sa polyvalence et son l'importance dans de nombreux secteurs industriels et scientifiques. :

##### **I.4.1 Carbonatation des boissons:**

Le CO<sub>2</sub> est utilisé pour donner aux boissons gazeuses leur effet et leur goût pétillant.



*Figure 3: illustration d'une boisson gazeuse*

**a-Conditionnement sous atmosphère protectrice:** Le CO<sub>2</sub> est utilisé pour conserver la fraîcheur des aliments en empêchant la croissance des bactéries et en préservant la qualité des produits.

**b-Extraction de composés:** Le CO<sub>2</sub> supercritique est utilisé pour extraire des substances naturelles comme la caféine, les huiles essentielles et les arômes des aliments.

**c-Réfrigération:** Le CO<sub>2</sub> est utilisé comme réfrigérant dans les congélateurs et les installations de stockage de produits alimentaires en raison de ses propriétés environnementales favorables.

**d-Agriculture:** Utilisé dans les serres pour la fertilisation des plantes et comme insecticide dans le contrôle des parasites.



*Figure 4 : Illustration de l'agriculture*

#### **I.4.2 Domaine industriel**

**Sidérurgie :** Le CO<sub>2</sub> est utilisé comme agent réducteur dans la production d'acier, permettant de réduire le minerai de fer en métal [6].

**Nettoyage industriel :** Le CO<sub>2</sub> supercritique est utilisé pour dégraisser des pièces métalliques et des composants électroniques de manière écologique [6].

**Industrie du caoutchouc et des plastiques:** Utilisé comme agent d'expansion pour la production de mousses et de plastiques expansés [6].

### **I.4.3 Autres Domaines**

**Synthèse chimique:** employé comme solvant dans l'extraction supercritique, la purification et la séparation de divers composés organiques et inorganiques [7] .

**Extinction d'incendie:** le CO<sub>2</sub> est utilisé dans les extincteurs car il déplace l'oxygène et prive le feu de son comburant [7] .



*Figure 5 : Illustration des extincteurs*

**Médecine:** Le CO<sub>2</sub> est utilisé dans certaines interventions chirurgicales comme agent d'insufflation pour créer un espace de travail dans le corps du patient [7].

**Cosmétique :** Le CO<sub>2</sub> supercritique est utilisé pour extraire des ingrédients naturels pour les produits cosmétiques et pour créer des textures uniques [8].

**Géothermie :** Le CO<sub>2</sub> supercritique est utilisé comme fluide de travail dans les centrales géothermiques pour produire de l'électricité à partir de la chaleur de la Terre [8].

**Capture et Stockage du CO<sub>2</sub> (CSC) :** Le CO<sub>2</sub> capturé des émissions industrielles peut être stocké sous terre dans des formations géologiques profondes pour réduire son impact sur le changement climatique [9].

**Recherche scientifique :** Utilisé comme gaz de laboratoire pour diverses applications, y compris la culture cellulaire en laboratoire et la chromatographie gazeuse [10].

## **I.5 Origine du CO<sub>2</sub> dans le cycle du carbone**

Le cycle du carbone est un processus vital pour la régulation du climat et le maintien de la vie sur Terre. Il implique la circulation du carbone entre différents

réservoirs, tels que l'atmosphère, les océans, les sols, la biosphère et la lithosphère. Ces échanges de carbone sont essentiels à la croissance des plantes, à la respiration des êtres vivants, à la formation de roches carbonatées et à de nombreux autres processus naturels. Dans ce cycle, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) joue un rôle central, étant à la fois une source de carbone pour les êtres vivants via la photosynthèse et un produit de la respiration et de la décomposition organique. De plus, des processus géologiques, tels que le volcanisme contribuent également à l'introduction de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. [10]

Ainsi, pour comprendre pleinement les origines du CO<sub>2</sub> dans le cycle du carbone, il est essentiel d'examiner les différentes sources naturelles qui alimentent ce processus continu de circulation du carbone dans notre environnement [10].

### **I.5.1 Sources naturelles**

**a. Respiration des êtres vivants :** les organismes respirent pour produire de l'énergie, libérant ainsi du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère comme produit de déchet.

**b. Décomposition organique :** les processus de décomposition des matières organiques, qu'il s'agisse de débris végétaux, d'animaux morts ou d'autres matières organiques, libèrent également du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère [10].



*Figure 6 : Illustration de la matière organique*

**c. Déforestation et incendies :** la déforestation, accompagnée des incendies de forêt, constitue une source majeure d'émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) d'origine humaine. Lorsque les forêts sont abattues ou détruites par le feu pour diverses raisons,

telles que l'expansion agricole, l'exploitation forestière, l'urbanisation ou la création de pâturages, le carbone stocké dans le bois est libéré dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub>. En plus de la combustion directe des arbres lors des incendies, la décomposition des matières organiques végétales libère également du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. La combinaison de la déforestation et des incendies forestiers entraîne ainsi une perte nette de puits de carbone, contribuant de manière significative à l'augmentation des niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Ce processus est préoccupant car les forêts jouent un rôle crucial dans la régulation du climat en absorbant le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère par la photosynthèse [11].



*Figure 7 : Illustration de la déforestation*

**d. Combustion des énergies fossiles :** la combustion des énergies fossiles, notamment le charbon, le pétrole et le gaz naturel, est une source majeure d'émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) d'origine humaine. Le charbon, en tant que source d'énergie largement utilisée dans la production d'électricité et dans les processus industriels, libère d'importantes quantités de CO<sub>2</sub> lors de sa combustion. Sa densité énergétique élevée en fait une option attrayante pour de nombreuses applications, mais ses émissions de CO<sub>2</sub> élevées en font également une source importante de pollution atmosphérique et de gaz à effet de serre.

Le pétrole, principalement utilisé comme carburant dans les transports et comme source d'énergie pour les usages industriels, libère également du CO<sub>2</sub> lors de sa combustion. Les émissions de CO<sub>2</sub> provenant du secteur des transports, en particulier

des véhicules à moteur, représentent une part importante des émissions totales de CO<sub>2</sub> dans de nombreux pays.

Enfin, le gaz naturel, considéré comme une source d'énergie plus propre que le charbon et le pétrole en raison de ses émissions de CO<sub>2</sub> moindres lors de la combustion, reste néanmoins une source d'émissions significative de gaz à effet de serre. Bien que sa combustion produise moins de CO<sub>2</sub> que le charbon et le pétrole, le gaz naturel est toujours une source importante de pollution atmosphérique et de changement climatique [11].

**e. Éruption volcanique :** les éruptions volcaniques émettent non seulement du CO<sub>2</sub>, mais également d'autres gaz à effet de serre tels que le dioxyde de soufre et la vapeur d'eau. Bien que les éruptions volcaniques soient des événements sporadiques, elles peuvent libérer des quantités significatives de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, contribuant ainsi aux niveaux globaux de ce gaz à effet de serre [12].

**f. Géothermie :** en plus des éruptions volcaniques, d'autres phénomènes naturels tels que les émanations de CO<sub>2</sub> provenant des sources géothermales et des failles dans la croûte terrestre contribuent également aux niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Les écosystèmes naturels comme les marécages et les zones humides sont également des sources naturelles de CO<sub>2</sub>, produisant du gaz lors de la décomposition de la matière organique.

Bien que les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de ces sources naturelles soient relativement petites par rapport aux émissions anthropiques, elles contribuent néanmoins de manière significative au cycle du carbone et peuvent avoir un impact localisé sur les niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique. En comprenant l'ensemble des sources naturelles de CO<sub>2</sub>, il est possible de mieux évaluer leur contribution à l'équilibre du cycle du carbone et à la régulation du climat à l'échelle globale [12].

## **I.5.2 Sources industrielles**

### **a. Production des ciments**

Dans le domaine de la production de ciment, les cimenteries sont des émetteurs importants de CO<sub>2</sub> en raison du processus de calcination du calcaire. Lorsque le calcaire est chauffé à des températures élevées dans un four rotatif, il se décompose en oxyde de calcium (CaO) et en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Cette réaction libère donc du CO<sub>2</sub>

directement dans l'atmosphère, contribuant ainsi de manière significative aux émissions industrielles de CO<sub>2</sub> [12].

### **b. Sidérurgie**

De même, dans le secteur de la sidérurgie, la réduction du minerai de fer en métal dans les hauts-fourneaux est un processus intensif en énergie qui génère également des émissions considérables de CO<sub>2</sub>. Lorsque le minerai de fer est chauffé avec du coke et d'autres matériaux dans un haut-fourneau, une réaction chimique se produit, produisant du fer métallique et du monoxyde de carbone (CO). Le CO est ensuite oxydé pour former du CO<sub>2</sub>, qui est libéré dans l'atmosphère en tant que gaz à effet de serre [13].



*Figure 8 : Illustration de la sidérurgie*

### **c. Production des engrais azotés**

Dans le secteur de la production d'engrais azotés, la synthèse de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) est une source significative d'émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Le processus Haber-Bosch, largement utilisé pour produire de l'ammoniac à partir d'azote atmosphérique et d'hydrogène, est énergivore et nécessite des températures et des pressions élevées. Ces conditions de réaction exigent une consommation importante d'énergie, principalement dérivée de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole ou le gaz naturel. [10]

Lors de la réaction de synthèse de l'ammoniac, une partie du combustible utilisé est brûlée pour fournir la chaleur nécessaire, libérant ainsi du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. De plus, le processus lui-même génère également des émissions de CO<sub>2</sub>, notamment lors de la conversion du méthane (CH<sub>4</sub>) en hydrogène, l'une des étapes clés de la synthèse de l'ammoniac.

En raison de la demande mondiale croissante en engrais azotés pour l'agriculture, la production d'ammoniac est devenue une source importante d'émissions industrielles de CO<sub>2</sub>. Réduire l'empreinte carbone de ce processus représente un défi majeur pour l'industrie chimique, mais des progrès sont en cours pour développer des technologies plus propres et plus efficaces, telles que l'utilisation de sources d'énergie renouvelable et l'optimisation des procédés de production [13].



*Figure 1.9 : Photographie d'engrais*

#### **d. Puits de carbone**

Les grands réservoirs qui permettent de stocker le CO<sub>2</sub> sont : l'atmosphère, les océans, la biosphère et le sous-sol. En 2006, on estime qu'environ 25 millions de tonnes de gaz carbonique sont transférées dans l'eau de mer par jour. Après dissolution et en fonction du pH, se forment alors des hydrogénocarbonates et des carbonates peu solubles. Cela représente environ 30 % du CO<sub>2</sub> émis, tandis que 30 % sont absorbés par la biosphère terrestre et 40 % demeurent dans l'atmosphère. Ces quelques chiffres globaux peuvent expliquer l'augmentation continue des concentrations dans l'atmosphère, comme cela est montré sur la figure 1. Le CO<sub>2</sub> dissous rentre dans des espèces carbonates et bicarbonates. Les micro-organismes les équilibres physico-chimiques calcocarboniques avec formation (bactéries et algues) peuvent aussi avoir une part importante dans ce cycle du carbone avec formation et dégradation des carbonates; on peut citer notamment la précipitation bactérienne d'ara-gonite et de calcite.

Une conséquence problématique de la trop forte dissolution de CO<sub>2</sub> serait une acidification conséquente des océans dont le pH serait passé de 8,2 à 8,1 à la surface (100 premiers mètres) et au rythme actuel de décroissance, le pH de la mer en surface pourrait atteindre 7,9 en 2100. Toutefois, aucune modification notable du pH n'a été observée dans les pro- fondeurs. Cette chute entraîne, en surface, une diminution de la concentration en carbonates par solubilisation. Certains micro- organismes marins à coquille (ptéropodes, coccolithophoridés, foraminifères...) ayant besoin de ces carbonates pour former leur exosquelette d'aragonite pourraient rencontrer des problèmes, voire disparaître à terme.

Un autre puits important pour le CO<sub>2</sub> est la photosynthèse dont le processus transforme l'eau et le gaz carbonique en molécules biologiques élaborées, sous l'action de l'énergie lumineuse, par des végétaux (plantes et algues) et certaines bactéries. Ces réactions se déroulent dans les chloroplastes où se trouve la chlorophylle. Ce pigment est sensible aux rayonnements bleus et rouges. Il capte l'énergie lumineuse et la transforme en énergie chimique. Après fixation du carbone du CO<sub>2</sub> atmosphérique, cette énergie est utilisée pour la synthèse de molécules organiques comme les sucres, acides aminés ou lipides et pour l'oxydation de l'eau, produisant du dioxygène (O<sub>2</sub>). On estime ce puits dû à la photosynthèse à environ 30 % du dioxyde de carbone émis par les activités humaines [14].

## **I.6 Impact du CO<sub>2</sub> sur le climat et le changement climatique**

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est l'un des principaux gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique et des changements climatiques observés à l'échelle mondiale. L'augmentation des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>, principalement due aux activités humaines telles que la combustion des combustibles fossiles, la déforestation et l'industrialisation, a des conséquences profondes sur le climat de la Terre [14].

### **a. Effet de serre et réchauffement climatique**

Le CO<sub>2</sub> agit comme un gaz à effet de serre en absorbant une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et en le renvoyant vers la surface, ce qui entraîne un réchauffement de l'atmosphère. L'augmentation des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> intensifie l'effet de serre, entraînant un réchauffement climatique global. Ce réchauffement se manifeste par des températures moyennes plus élevées, des

événements météorologiques extrêmes plus fréquents, des changements dans les schémas de précipitations et la fonte des glaciers et des calottes glaciaires [15].

**b. Acidification des océans**

En plus de son impact sur le climat, le CO<sub>2</sub> absorbé également dans les océans, où il réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique. Cette réaction chimique entraîne une acidification des océans, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur les écosystèmes marins, y compris la dégradation des récifs coralliens, la diminution de la biodiversité marine et des perturbations dans les chaînes alimentaires océaniques [15].



*Figure 10 : Photographie d'un océan acidifié*

**c. Fonte des glaces et élévation du niveau de la mer**

L'augmentation des températures causée par les niveaux élevés de CO<sub>2</sub> entraîne la fonte accélérée des calottes glaciaires, des glaciers et des icebergs, contribuant ainsi à l'élévation du niveau de la mer. Cette élévation du niveau de la mer peut avoir des impacts graves sur les zones côtières, y compris l'inondation des terres basses, l'érosion côtière et la perte d'habitats côtiers [16].



*Figure 11 : Illustration de la fonte des glaces*

**d. Effets sur les écosystèmes terrestres**

Les changements climatiques induits par le CO<sub>2</sub> affectent également les écosystèmes terrestres, en modifiant les habitats naturels, les cycles de vie des espèces et les distributions géographiques. Ces changements peuvent entraîner des perturbations dans les écosystèmes, la perte de biodiversité et des pressions supplémentaires sur les ressources naturelles.

En conclusion, l'augmentation des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> a des répercussions profondes sur le climat de la Terre et les écosystèmes mondiaux, mettant en évidence la nécessité urgente de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et de prendre des mesures pour atténuer les impacts du changement climatique [16].



*Figure 12 :Ecosystème terrestre*

## **I.7 Effets sur la santé et impacts sur l'environnement**

L'effet du dioxyde de carbone sur la santé est lié à sa teneur dans l'air. En effet, la concentration actuelle, proche de 400 ppm, n'engendre pas de toxicité. Le CO<sub>2</sub> peut avoir une action stimulante sur les centres nerveux. C'est ainsi qu'un mélange de 5 % de gaz carbonique dans de l'oxygène pur (mélange carbogène) est utilisé séquentiellement pour réanimer les asphyxiés. Cependant, au rythme respiratoire d'un homme au repos, une concentration dans l'air de 0,5 % pourrait amener quelques troubles et une teneur de 10 % ne serait supportable que quelques minutes. Les symptômes sont des maux de tête, des nausées et des vomissements et peuvent aller jusqu'à une perte de connaissance. Le plus souvent, les problèmes de santé, et plus particulièrement de respiration, sont le fait du manque d'oxygène dans la phase gazeuse induisant une insuffisance respiratoire rapide. Par exemple, des rejets de fumées (combustion, incinération...) ont une forte concentration en CO<sub>2</sub> et sont relativement pauvres en oxygène. Cela entraîne des problèmes respiratoires, une mauvaise oxygénation du sang et, à terme, l'asphyxie des personnes confrontées à ce type d'ambiance.

L'impact sur l'environnement est d'une tout autre nature. Depuis quelques années, on parle de l'« effet de serre » dû à certains gaz comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane... En effet, la terre reçoit son énergie du soleil. Une partie de cette énergie est absorbée par le sol, les océans et l'atmosphère elle-même, et l'autre partie est renvoyée vers l'espace. La surface terrestre s'échauffe et réémet vers l'atmosphère des rayons infrarouges. L'effet de serre, phénomène naturel, permet d'intercepter une partie de ce rayonnement et d'obtenir une température moyenne sur terre d'environ 15 °C ; sans effet de serre, la température serait, en moyenne, de l'ordre de -18 °C. Du fait principalement des activités humaines, il y a un accroissement de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Cela induit une augmentation artificielle de l'effet de serre qui provoque alors un réchauffement anormal et continu. Les estimations, pour la fin du siècle, de la hausse de température sont de l'ordre de +1,5 à +2 °C en 2100 en produisant alors une diminution des glaces aux pôles, une élévation du niveau des mers (élévation de 0,17 à 0,21 m entre 1901 et 2010), due à la diminution des glaciers et des surfaces glacées continentales, ainsi qu'une modification profonde des zones climatiques actuelles. On peut s'attendre alors à des effets significatifs sur l'homme (dans ses activités domestiques, agricoles et industrielles), les animaux et les

végétaux, comme une répartition différente des espèces suivant les zones géographiques [17].

## **I.8 La Capture et stockage du CO<sub>2</sub> (CSC)**

La capture et le stockage du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), souvent abrégés en CSC, sont des technologies visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en capturant le CO<sub>2</sub> émis par les sources industrielles et en le stockant de manière permanente dans des réservoirs géologiques souterrains. Cette approche fait partie des stratégies de lutte contre le changement climatique et vise à limiter l'impact des activités humaines sur le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre [18].

### **I.8.1 Capture du CO<sub>2</sub>**

La première étape du CSC consiste à capturer le CO<sub>2</sub> émis par les sources industrielles telles que les centrales électriques, les cimenteries et les raffineries. Il existe plusieurs technologies de capture du CO<sub>2</sub>, notamment la capture post-combustion, la capture pré-combustion et la capture oxycombustion. La capture post-combustion consiste à séparer le CO<sub>2</sub> des gaz de combustion après la combustion du combustible, tandis que la capture pré-combustion intervient avant la combustion en convertissant le combustible en gaz de synthèse contenant principalement du CO<sub>2</sub> et de l'hydrogène. La capture oxycombustion implique de brûler le combustible dans une atmosphère d'oxygène pur pour produire un gaz de combustion enrichi en CO<sub>2</sub> [18].

### **I.8.2 Transport du CO<sub>2</sub>**

Une fois capturé, le CO<sub>2</sub> doit être transporté vers les sites de stockage. Le transport du CO<sub>2</sub> peut se faire par pipeline, par camion-citerne ou par bateau, en fonction de la distance et de la quantité de CO<sub>2</sub> à transporter. Les pipelines de transport du CO<sub>2</sub> sont similaires aux pipelines de transport du pétrole et du gaz naturel, mais ils doivent être conçus pour résister aux conditions spécifiques du transport du CO<sub>2</sub> [18].

### **I.8.3 Stockage du CO<sub>2</sub>**

Une fois arrivé sur le site de stockage, le CO<sub>2</sub> capturé est injecté dans des réservoirs géologiques souterrains, tels que des aquifères salins, des formations de roche poreuse ou des champs de pétrole ou de gaz épuisés. Le CO<sub>2</sub> est injecté à des profondeurs suffisantes pour qu'il reste piégé sous forme de fluide supercritique ou de

phase solide, empêchant ainsi sa libération dans l'atmosphère. Une fois injecté, le CO<sub>2</sub> est généralement surveillé de manière continue pour s'assurer qu'il reste confiné et qu'il ne présente aucun risque pour l'environnement ou la santé publique [18].

#### **I.8.4 Avantages et Défis**

La capture et le stockage du CO<sub>2</sub> offrent plusieurs avantages potentiels, notamment la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, la préservation des ressources naturelles et la possibilité de prolonger l'utilisation des combustibles fossiles tout en réduisant leur impact climatique. Cependant, cette technologie présente également des défis, tels que le coût élevé de la mise en œuvre, les préoccupations environnementales liées au stockage souterrain du CO<sub>2</sub> et la nécessité de développer des politiques et des réglementations efficaces pour encourager son déploiement à grande échelle [19].

### **I.9 Émissions dans le monde par pays**

L'organisation des Nations unies a établi, pour l'année 2013, une liste des quantités de CO<sub>2</sub> rejetées par l'atmosphère par pays (tableau) : les deux tiers des émissions actuelles proviennent de la Chine, des États-Unis, de l'Union européenne, de la Russie et de l'Inde. Les fortes quantités rejetées sont souvent la conséquence des transports et de l'utilisation massive de centrales thermiques à charbon ou à fuel pour la production d'électricité. Des études prévisionnelles avaient montré que la Chine remplacerait les États-Unis au premier rang dès 2009. La France du fait d'un parc de centrales nucléaires important (75 % environ de l'électricité produite) participe à un niveau relativement faible, soit environ 0,96 % des rejets mondiaux en CO<sub>2</sub>. Il existe aussi de fortes disparités d'émissions de CO<sub>2</sub> par habitant suivant le niveau de développement et la croissance des pays ; cette répartition, présentée sur la figure 2, est directement liée à la consommation d'énergie [19].

**Tableau 1** Évaluation des rejets de CO<sub>2</sub> (en milliers de tonnes) dans l'atmosphère, en 2013, par pays (sélection d'après l'ONU)

Pays	Émissions de CO <sub>2</sub> (milliers de tonnes)	Part des émissions totales (%)	Pays	Émissions de CO <sub>2</sub> (milliers de tonnes)	Part des émissions totales (%)
Monde entier	35 499	100	Russie	1 657	4,7
Chine	9 761	27,5	Inde	2 088	4,7
États-Unis	5 995	16,9	Japon	1 343	3,8
Union européenne (UE) :	3 740	10,5	Canada	621	1,7
- Allemagne	799	2,2	Corée du Sud	768	2,2
- Royaume-Uni	471	1,3	Mexique	500	1,4
- Italie	353	0,99	Iran	650	1,8
- France	344	0,96	Australie	356 342	1,5
- Espagne	240	0,67	Afrique du Sud	452	1,3
- Pologne	312	0,88	Arabe Saoudite	665	1,9
Indonésie	549	1,5	Brésil	582	1,6

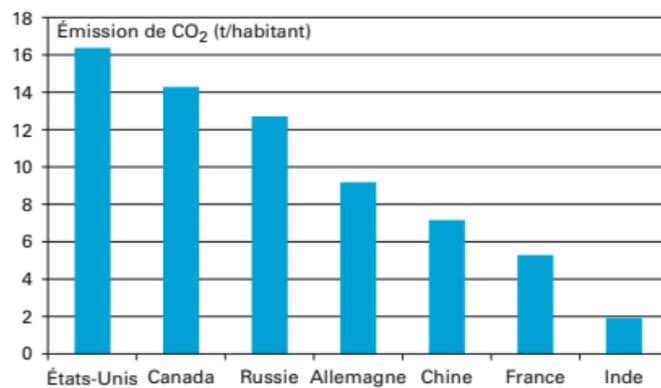


Figure 13 : Émission de CO<sub>2</sub> en t/habitant (données 2013)[6]

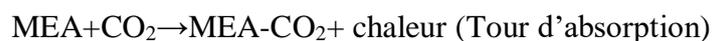
## **CHAPITRE II :**

Procédé de fabrication du CO<sub>2</sub> par MGI

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un composé inorganique essentiel, obtenu par divers procédés industriels et utilisé dans de nombreuses applications quotidiennes. Des extincteurs d'incendie aux diverses applications dans l'industrie alimentaire, le CO<sub>2</sub> joue un rôle crucial. La production de CO<sub>2</sub> peut provenir de différentes sources, telles que la combustion, la fermentation et les procédés chimiques. Chacun de ces procédés varie en fonction des applications spécifiques et des exigences de pureté du CO<sub>2</sub> final. Méthodes Courantes de Production de CO<sub>2</sub>

Parmi les méthodes les plus courantes, la production de CO<sub>2</sub> par la combustion du gaz naturel est largement utilisée. Dans ce qui va suivre, nous allons décrire ce procédé utilisé au niveau de l'entreprise Mechri Gaz Industriel (MGI).

Le gaz de combustion (fumées) est envoyé de l'épurateur de gaz de combustion vers une tour d'absorption. L'absorbeur élimine le CO<sub>2</sub> du gaz de combustion par absorption en utilisant un produit chimique appelé *le monoéthanolamine* (MEA). Ce processus d'absorption est exothermique, il se fait suivant la réaction suivante.



La réaction est réversible, ce qui signifie qu'elle peut se dérouler dans la direction opposée. Dans une tour de rectification (ou stripping), l'ajout de chaleur inverse la réaction, libérant ainsi le CO<sub>2</sub> de la MEA suivant la réaction ci-dessous :



Ce procédé permet de capturer et de purifier le CO<sub>2</sub> pour diverses applications industrielles et commerciales.

## **II.1. Présentation de l'entreprise**

### **II.1. Historique**

La Sarl Mecheri Gaz Industriel (MGI) est une entreprise algérienne fondée en 2002 par des fonds privés, par les frères Mecheri, à la suite de l'ouverture du pays à l'économie de marché. Agréée par le ministère de l'Énergie et des Mines, elle est implantée dans la zone industrielle de Bordj Bou Arreridj et se spécialise dans la production de gaz industriel, notamment le CO<sub>2</sub> alimentaire. Le siège social de la SARL est situé à Bordj Bou Arreridj, dans la zone industrielle de cette wilaya.

La SARL MGI joue un rôle significatif dans le développement de l'industrie agroalimentaire nationale. Elle vise à satisfaire le marché intérieur et à exporter le surplus, offrant une gamme de produits de haute qualité. L'entreprise dispose de trois unités de production de gaz liquide, avec une capacité totale de 96 tonnes par jour et des réservoirs de stockage d'une capacité de 400 tonnes. Ces installations sont équipées d'un analyseur de type Carboscan, capable de détecter et d'analyser en ligne plus de 50 constituants (impuretés) à tout moment de la production, ainsi que de contrôler la qualité des produits finis dans les réservoirs de stockage. Cet appareil de mesure et de contrôle permet d'émettre, pour chaque livraison, un certificat de qualité conforme aux normes ISBT et à la qualité alimentaire, avec une pureté de 99,99 %, répondant aux normes de l'Organisation mondiale de la santé. L'appareil est agréé par Coca-Cola et Pepsi International.

En 2002, lors de ses débuts, l'entreprise a lancé sa production avec une première unité basée sur l'utilisation de permanganate de potassium. En 2012, MGI a inauguré une deuxième unité utilisant la technologie OX flash, suivie d'une troisième unité fonctionnant selon le même principe mais avec des capacités de production différentes. En 2023, l'entreprise a ouvert une nouvelle station à Mascara.

## **II.2. Équipes de production**

La SARL MGI emploie 36 personnes, réparties entre le personnel administratif et technique. Le personnel de production a reçu une formation spécialisée pour la manipulation des machines et le processus de fabrication, garantissant ainsi un produit de haute qualité prêt à être livré aux clients. Le fonctionnement du personnel se fait comme suit :

- **Administration** : 08h00 - 16h00
- **Poste de garde** : 16h00 - 08h00
- **Production** : Fonctionnement 7 jours / 7jours avec trois équipes :
  - Première équipe : 06h00 - 14h00
  - Deuxième équipe : 14h00 - 22h00
  - Troisième équipe : 22h00 - 06h00

### **II.2.1. Missions et objectifs**

L'entreprise a pour mission principale de développer sa production tout en assurant une qualité optimale à des prix compétitifs, dans le but de satisfaire et de fidéliser ses clients. Ses objectifs incluent :

- Optimisation des offres d'emploi sur le marché du travail.
- Modernisation des installations en termes de machines et techniques pour augmenter le volume de production.
- Positionnement des produits de manière compétitive sur le marché.

### **II.2.2. Produits de la SARL MGI**

L'entreprise occupe une place stratégique dans la filière de fabrication de CO<sub>2</sub> grâce à la diversité de ses produits :

- CO<sub>2</sub> alimentaire utilisé dans les boissons gazeuses.
- CO<sub>2</sub> utilisé dans le dessalement des eaux.
- CO<sub>2</sub> utilisé dans les extincteurs.
- CO<sub>2</sub> utilisé pour la soudure.

La SARL MGI est située à la zone industrielle BP N°79, Bordj Bou Arréridj 3400.



Figure 14 Situation géographique de la Sarl MGI

### **II.2.3. Moyens de transport**

La SARL MGI dispose de moyens de transport modernes, comprenant des camions Volvo dotés de citernes cryogéniques isolées et d'un pont bascule. L'entreprise possède trois camions de 10 tonnes et deux camions de 20 tonnes, ce qui permet une capacité de

distribution quotidienne de 70 tonnes. Ce système de distribution est conçu pour répondre efficacement aux besoins des clients.

#### **II.2.4. Distribution des produits**

La SARL MGI a une clientèle étendue à travers tout le pays, incluant des entreprises reconnues comme :

- Pepsi, MGB Royal, Taiba Food Company (Ramy), N'gaous (Alger)
- Ifri, Toudj, Star, RIF (Béjaia)
- SBC (Farha), MAMI, Sarmouk, Zaim (Sétif)
- N'gaous (Batna)
- El Amir, Nakhla, Nahla, Hyflux (Ouest)
- Bouna, Marwa, Bahdja (Est)

L'entreprise dispose également de plus de 1000 bouteilles pour la livraison de gaz industriel conditionné à des clients spécifiques comme TIRSAM et BITAM. Des stations de dessalement telles que Hyflux Tlemcen, Hyflux El Machraa Oran, Station l'Hamma Alger, et Station Tenes Chlef font aussi partie de ses clients.

#### **II.2.5. Contrôle de qualité du produit**

La société est équipée de moyens de contrôle du CO<sub>2</sub> au cours de la fabrication et lors du stockage. Elle délivre des certificats d'analyse effectués par un laboratoire international pour rassurer sa clientèle sur la fiabilité de ses produits. De plus, elle est conventionnée avec Airborne, un leader des laboratoires internationaux basé aux États-Unis.

### **II.3. Présentation du système de l'entreprise**

L'entreprise dispose de trois unités de production utilisant deux systèmes différents pour la fabrication de gaz liquide, chacun ayant une capacité de production distincte. La production repose sur la combustion du gaz naturel, où les fumées résultantes sont absorbées par la MEA.

### **II.3.1. Unités N°2 et N°3**

Ces unités comportent trois tours garnies : la tour d'absorption, la colonne de flash et la tour de rectification. Ces installations permettent une production efficace et contrôlée de CO<sub>2</sub> liquide, répondant aux besoins industriels et commerciaux (voir figure 15).

### **II.3.2. Unité N°1**

L'unité N°1 est également composée de trois tours garnies : la tour d'absorption, la colonne de permanganate et la tour de rectification. Cette unité initiale utilise un processus basé sur le permanganate de potassium pour la production de CO<sub>2</sub>, assurant ainsi une purification efficace et une production continue (voir figure 16).

## **II.4. Présentation du système de fonctionnement des unités**

### **II.4.1. Unités 2 et 3 à base d'Ox Flash**

#### **II.4.1.1. Brûleur à gaz :**

Le brûleur produit du CO<sub>2</sub> par la combustion de gaz naturel. La sortie de gaz naturel est déterminée par la position d'entrée de gaz et la pression en entrée. La combustion est réglée sur l'ABE du brûleur en indiquant au moins quatre paramètres de courbes pour les relations de gaz et d'air, ce qui permet d'obtenir la teneur correcte en CO<sub>2</sub> et en air excédentaire dans le gaz de combustion. Un équipement complet d'analyse des gaz de combustion est fourni avec le brûleur pour vérifier la combustion.

#### **II.4.1.2. Lavage des fumées (scrubber)**

Les gaz sortant de la chaudière passent directement par un système de lavage des fumées utilisant une douchette. Le gaz de combustion est refroidi à température ambiante dans l'épurateur de gaz de combustion grâce à l'eau qui circule à contre-courant du gaz.

#### **II.4.1.3. L'Absorbeur**

Le gaz de combustion est envoyé depuis l'épurateur vers l'absorbeur au moyen d'un ventilateur d'extraction. Le MEA (pauvre) chauffé passe par le bas de la colonne d'absorption. Le CO<sub>2</sub> est absorbé par le MEA à contre-courant, et le reste des gaz de combustion sort par le haut de l'absorbeur.

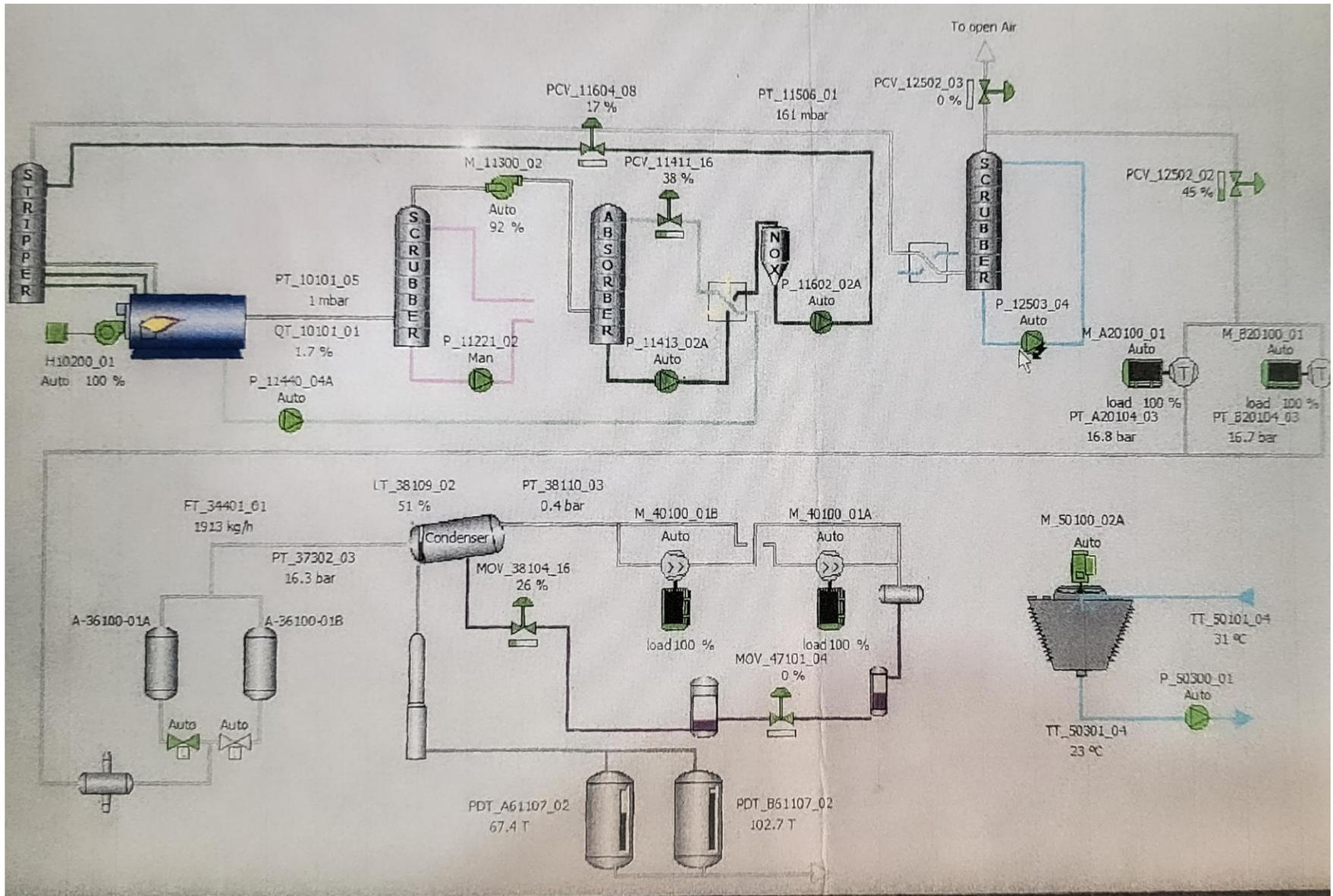


Figure 15 : Schéma général de fonctionnement de l'unité 2 et 3

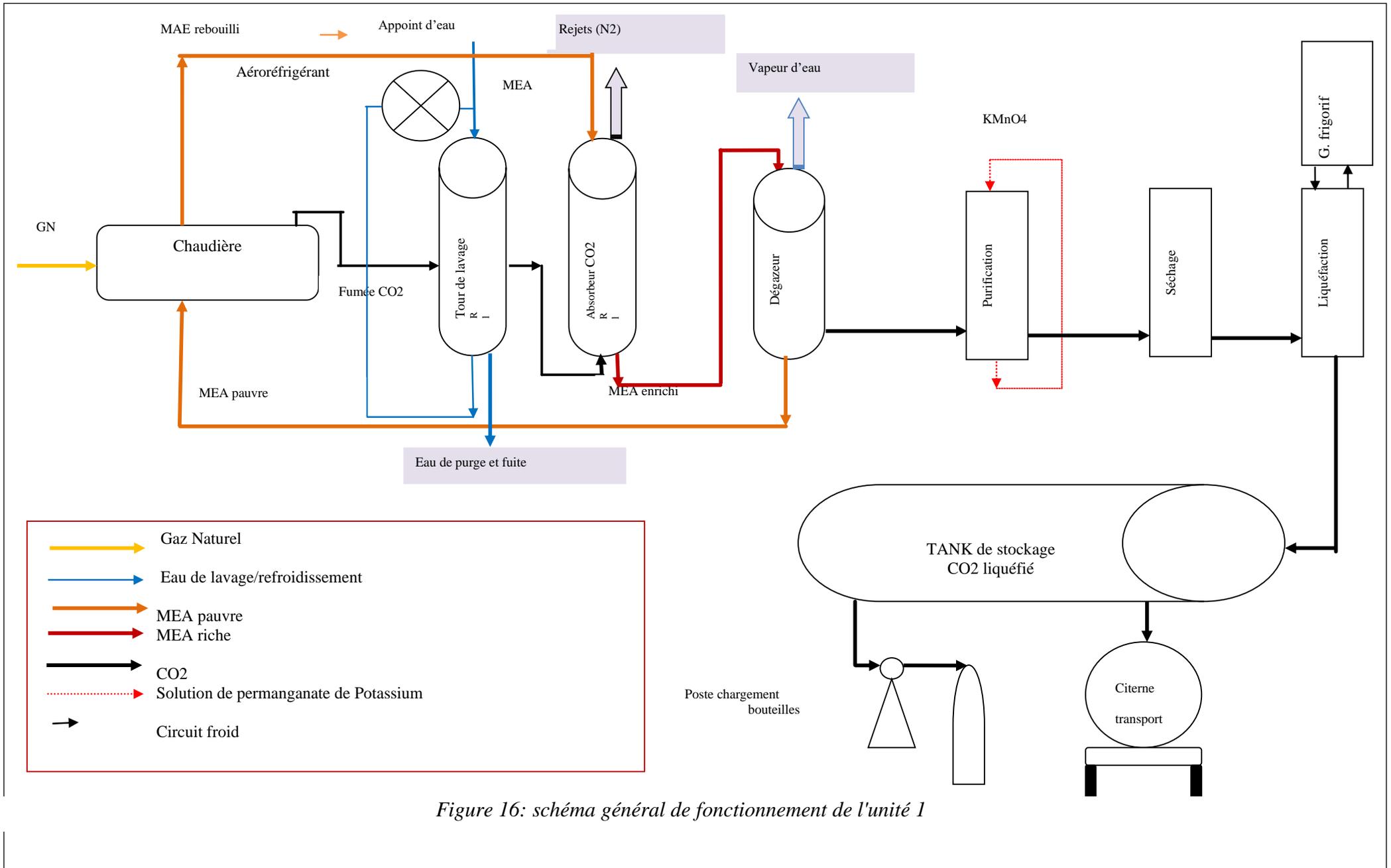


Figure 16: schéma général de fonctionnement de l'unité 1

#### **II.4.1.4. Colonne de distillateur NOx flash**

Le MEA qui absorbe le CO<sub>2</sub> (MEA riche) est pompé depuis le bas de l'absorbeur à travers un échangeur de chaleur MEA riche/pauvre, où le MEA est préchauffé, puis envoyé dans la colonne de distillation NOx. Le NO, le N<sub>2</sub> et l'O<sub>2</sub> sont éliminés dans cette dernière.

##### **II.4.1.4.1. Chauffage et refroidissement de MEA**

Avant que la MEA riche n'entre dans le distillateur NOx, elle passe par deux échangeurs de chaleur. Le premier échangeur MEA/MEA (riche/pauvre) porte le MEA pauvre à une température de 113°C et le MEA riche à 52°C. Après passage par un premier échangeur contenant de l'antigel, le MEA sort à 62°C, puis après un deuxième échangeur à eau, le MEA sort à 89°C.

##### **II.4.1.5. Le dégazeur (Stripper)**

Le MEA riche est pompé depuis le bas de la colonne de distillation vers le rectificateur (dégazeur). Le CO<sub>2</sub> est extrait du MEA grâce à l'énergie fournie par la chaudière. Le MEA, devenu pauvre, retourne à la chaudière pour être chauffé à nouveau, suivant un circuit fermé, avec une partie s'évaporant.

##### **II.4.1.6. La Tour PPM (Scrubber)**

Après séparation du CO<sub>2</sub> de la MEA, il est envoyé directement à la tour PPM, où il est séparé de l'eau à l'aide d'eau non oxygénée.

##### **II.4.1.7. Le compresseur**

La compression du gaz CO<sub>2</sub> est effectuée par deux compresseurs alternatifs à double étage. Le premier compresseur augmente la pression du CO<sub>2</sub> à environ 2-3 bars, et le deuxième à environ 15-16 bars.

##### **II.4.1.8. Déshumidificateur (Séchage)**

Après la compression, le CO<sub>2</sub> passe à travers un déshumidificateur, refroidi par un fluide réfrigérant (alumine activée), à une température d'environ 6°C, réduisant ainsi sa teneur en eau.

#### **II.4.1.9. Déshydrateur**

Pour permettre la condensation du CO<sub>2</sub>, le gaz est asséché jusqu'à une teneur de 1 ppm dans l'unité de déshydratation, qui fonctionne avec deux déshydrateurs en régime permanent. Dans cette unité, la MEA est éliminée du CO<sub>2</sub>.

#### **II.4.1.10. Filtre à charbon actif**

Un filtre à charbon actif, installé juste après le déshydrateur, élimine le H<sub>2</sub>S ainsi que les substances odorantes et les hydrocarbures aromatiques.

#### **II.4.1.11. Condenseur de CO<sub>2</sub> et colonne de distillation**

Pour garantir une pureté maximale du CO<sub>2</sub>, l'usine dispose d'un système de purification qui élimine les gaz non condensables tels que l'oxygène, l'azote, le méthane, l'hydrogène et autres. Le gaz carbonique se déplace vers le condenseur de CO<sub>2</sub>, où la majorité du CO<sub>2</sub> est accumulée. En haut de la colonne de distillation, le mélange de gaz et de liquide est traité, et le gaz de rectification retourne dans le condenseur de CO<sub>2</sub> pour être à nouveau condensé. Le CO<sub>2</sub> liquide issu du condenseur s'écoule dans la colonne de distillation à contre-courant du gaz de rectification, permettant d'extraire les gaz inertes. La purification est effectuée grâce à un rebouilleur de fluide réfrigérant, chauffé par un fluide réfrigérant liquide provenant du réservoir de réfrigérant. Le CO<sub>2</sub> liquide est ensuite transféré vers les réservoirs de stockage.

#### **II.4.1.12. Liquéfaction par l'ammoniac**

Après condensation, le CO<sub>2</sub> passe par une étape de liquéfaction, où il passe de l'état vapeur à l'état liquide grâce à la diminution de température par l'ammoniac. Le CO<sub>2</sub> liquide se stabilise à une température de -26°C.

#### **II.4.1.13. Compression et réfrigération**

Après liquéfaction, le CO<sub>2</sub> subit une compression et une réfrigération à l'aide d'un condenseur et d'une colonne de distillation.

#### **II.4.1.14. Stockage**

Enfin, le CO<sub>2</sub> est stocké dans des tanks de 100 tonnes à une température de -80°C à -90°C et une pression de 16 à 17 bars.

## **II.4.2. Unité 1 à base de permanganate de potassium**

Cette unité utilise un système similaire, avec la différence notable qu'elle utilise du permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>) pour la purification, au lieu de la tour PPM.

### **II.4.2.1. Chaudière**

Le gaz naturel brûle dans une chaudière pour produire des fumées contenant du CO<sub>2</sub> et du SO<sub>2</sub> en petites quantités. Le MEA pauvre est également chauffé.

### **II.4.2.2. Lavage**

Les fumées obtenues dans la chaudière passent par un système de lavage à l'eau osmosé .

### **II.4.2.3. Colonne d'absorption**

Les fumées lavées passent par une colonne d'absorption contenant du MEA pauvre, dispersé par une douchette à contre-courant. Le CO<sub>2</sub> est capté par le MEA, devenant ainsi MEA riche. Le reste des gaz s'échappe à l'extérieur.

### **II.4.2.4. Dégazeur**

Le MEA riche passe par un système de refroidissement, puis monte par la colonne de dégazeur, où le CO<sub>2</sub> est dégazé. Le MEA devient pauvre et retourne à la chaudière, tandis que le CO<sub>2</sub> poursuit son chemin de purification.

### **II.4.2.5. Purification par le permanganate**

Le CO<sub>2</sub> dégazé passe par une tour de purification utilisant du permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>). Ce dernier circule dans un circuit fermé, désinfectant le CO<sub>2</sub> de traces de MEA, d'acétate d'aldéhyde (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) et régulant la concentration d'O<sub>2</sub>.

### **II.4.2.6. Séchage**

Le CO<sub>2</sub> purifié est envoyé dans un compresseur, où il est comprimé à -16 bars ou plus, puis envoyé dans un déshydrateur à un point de rosée de -60°C, avant de passer par un filtre à charbon actif pour désodorisation, décoloration et élimination de goût.

#### **II.4.2.7. Liquéfaction**

Le CO<sub>2</sub> sec est ensuite condensé à une température de -30°C et liquéfié dans les équipements de l'unité.

#### **II.4.2.8. Stockage**

À l'étape finale, le CO<sub>2</sub> liquéfié est stocké dans des tanks à une température de -80°C à -90°C et une pression de 16 à 17 bars.

## **CHAPITRE III :**

Les analyses de contrôle de qualités de  
CO<sub>2</sub>

Dans ce chapitre nous allons procéder à la caractérisation de la MEA, de l'eau utilisée et le CO<sub>2</sub> produit.

### **III.1-Caractérisation du monoéthanolamine (MEA)**

Nous rappelons que le monoéthanolamine (MEA) est utilisé dans la fabrication du CO<sub>2</sub> pour capturer et séparer le dioxyde de carbone des gaz de combustion. Dans le processus d'absorption, le MEA réagit avec le CO<sub>2</sub> pour former un composé soluble, permettant ainsi de retirer le CO<sub>2</sub> des autres gaz. Par la suite, la solution est chauffée pour libérer le CO<sub>2</sub> purifié, et le MEA est régénéré pour être réutilisé dans le cycle.

La normalité de la MEA est mesurée pour s'assurer de son efficacité dans le processus d'absorption du CO<sub>2</sub>. Une concentration correcte de MEA est est obligatoire pour maximiser la capture du dioxyde de carbone et minimiser les pertes. En surveillant la normalité, l'usine peut maintenir l'efficacité du processus, ajuster les dosages si nécessaire, et garantir la qualité du CO<sub>2</sub> produit.

#### **II.1- Mode opératoire pour mesurer la normalité de la MEA**

Prélèvement de la MEA: prélever exactement 1 ml de MEA à l'aide d'une pipette de mesure et le transférer dans une fiole conique.

- Ajout d'eau distillée: Ajouter environ 10 ml d'eau distillée dans la fiole conique pour diluer la MEA.
- Ajouter quelques gouttes de méthylorange à la solution. L'indicateur changera de couleur pour signaler la fin de la titration.
- Remplir une burette avec de l'acide chlorhydrique (HCl, 0,1 N). Ajouter lentement l'acide à la solution de MEA, tout en agitant doucement.
- Fin de la titration: Continuer à ajouter l'acide jusqu'à ce que la couleur de la solution passe de l'orange au rouge clair, indiquant le point d'équivalence.

##### **II.1.1- Calcul de la normalité:**

Noter le volume d'HCl utilisé. Calculer la normalité de la MEA en utilisant la formule suivante :

$$\text{Normalité de la MEA} = \frac{\text{Volume HCl utilisé (L)} \times \text{Normalité (N)}}{\text{Volume de MEA (L)}}$$

Selon les normes de l'entreprise, pour le bon déroulement du procédé, la normalité doit valoir environ maximum 2. Si la normalité est inférieure à 1,8, on ajoute de la MEA. Il faut noter que l'ajout environ 180 kg de MEA fait augmenter la normalité de MEA de 0,1.



Figure 17: Mesure de la normalité

### III.1.2-Densité

La densité de la MEA est une mesure de sa concentration en carbonate de sodium, évaluée en degrés Baumé (°Be) à l'aide d'un hydromètre. Un échantillon de MEA est prélevé et refroidi jusqu'à 20 °C avant d'être testé. L'hydromètre est placé dans l'échantillon pour permettre la stabilisation, et la valeur est lue directement sur l'échelle du tube.

Pour une MEA fraîche, la densité est généralement autour de 5 °Be, augmentant progressivement au cours de la première semaine jusqu'à atteindre 6 ou 7 °Be. Pour maintenir cette densité à un niveau optimal de 7 ou 8 °Be, du carbonate de sodium est régulièrement ajouté dès que la densité commence à diminuer.

**Remarque :** Une règle empirique suggère qu'environ 1 kg de carbonate de calcium peut être ajouté pour chaque 3 kg de MEA ajoutés, sans que la densité n'excède 9 °Be.



Figure 18 : Dispositif utilisé pour mesurer la densité

### III.1.3-pH

Le pH est mesuré dans le contexte de la fabrication du CO<sub>2</sub> à partir de la MEA pour plusieurs raisons importantes :

Contrôle du processus chimique : Le pH de la solution de MEA est doit être connu pour assurer l'efficacité de l'absorption du CO<sub>2</sub>. Un pH optimal permet une réaction chimique efficace entre le CO<sub>2</sub> et la MEA, garantissant ainsi une absorption maximale du gaz.

Maintien de la qualité : Un pH correctement ajusté aide à maintenir la stabilité et la qualité de la MEA. Des variations significatives du pH pourraient indiquer des problèmes dans le processus ou des contaminations, ce qui pourrait affecter négativement la production de CO<sub>2</sub> pur.

Sécurité et conformité : La manipulation de solutions chimiques comme la MEA nécessite une surveillance stricte du pH pour des raisons de sécurité. Des niveaux de pH inadéquats pourraient rendre la solution corrosive ou affecter la santé des travailleurs.

Optimisation des processus : En surveillant le pH, les opérateurs peuvent ajuster les conditions de processus pour maximiser l'efficacité et la rentabilité de la production de CO<sub>2</sub> tout en minimisant les pertes.

### Mode opératoire

Pour mesurer le pH de la solution de MEA, utilisez du papier pH. Le pH optimal selon les normes de l'entreprise est d'environ 11. Si le pH mesuré diffère sensiblement de cette valeur, cela indique un problème potentiel dans la normalité de la solution, qui doit alors être ajustée pour assurer la conformité aux standards requis.

Cette mesure est cruciale car le pH influence directement l'efficacité de l'absorption du CO<sub>2</sub> par la MEA. Un pH incorrect peut compromettre la réaction chimique nécessaire à la purification efficace du CO<sub>2</sub>, impactant ainsi la qualité du produit final.



Figure 19: Dispositif d'un papier pH



Figure 20: Dispositif d'un pH mètre

#### **III.1.4-Couleur**

MEA est généralement incolore à légèrement jaunâtre. En utilisation normale, elle doit être transparente. Une couleur jaune peut indiquer une teneur élevée en fer, nécessitant l'utilisation de charbon actif pour l'adsorption et l'élimination du fer. De plus, la MEA peut parfois devenir trouble, suggérant la présence de suie. Ce problème peut être résolu en ajustant ou en réglant le brûleur pour optimiser les conditions de combustion."

#### **III.1.5-Pureté**

##### **Procédé de mesure de la pureté du CO<sub>2</sub>**

Une burette équipée de deux vannes, une à l'entrée et une à la sortie, est utilisée pour

contrôler le flux de gaz. Un tuyau en caoutchouc est fixé au bas de la burette et connecté au point de prélèvement du CO<sub>2</sub>. L'échantillonnage se fait lentement pendant environ 60 secondes ou plus afin de collecter une quantité suffisante de CO<sub>2</sub>. Une fois l'échantillonnage terminé, la vanne supérieure de la burette est fermée pour éviter les fuites de gaz, et simultanément la vanne inférieure est fermée pour piéger le CO<sub>2</sub> à l'intérieur de la burette. Ensuite, le tuyau en caoutchouc est retiré une fois que le CO<sub>2</sub> est capturé.

Pour la mesure de la pureté du CO<sub>2</sub>, le réservoir supérieur de la burette est rempli soigneusement avec une solution de soude caustique à 30% jusqu'au repère indiqué. La soude caustique agit comme un absorbant en réagissant avec le CO<sub>2</sub> présent dans la burette. La quantité de CO<sub>2</sub> est mesurée en fonction de la réduction du volume de gaz dans la burette après réaction avec la soude caustique. Une diminution du volume indique une plus grande pureté du CO<sub>2</sub>, car cela signifie une moindre quantité d'autres gaz non absorbés comme l'oxygène ou l'azote.



Figure 21: Dispositif mesurant la pureté

Pour commencer, nous allumons le Testo et le laissons pendant environ 7 secondes pour qu'il soit prêt à l'utilisation et pour accéder aux différents paramètres de mesure. Une fois le Testo prêt, nous introduisons les paramètres appropriés pour la combustion du gaz naturel. Ensuite, nous le connectons à la chaudière et attendons que les valeurs se stabilisent.

Les résultats de l'analyse apparaîtront sous forme d'affichage et incluront les mesures suivantes : la teneur en CO<sub>2</sub>, la teneur en CO, la teneur en O<sub>2</sub>,  $\lambda$  (le coefficient d'excès d'air) ainsi

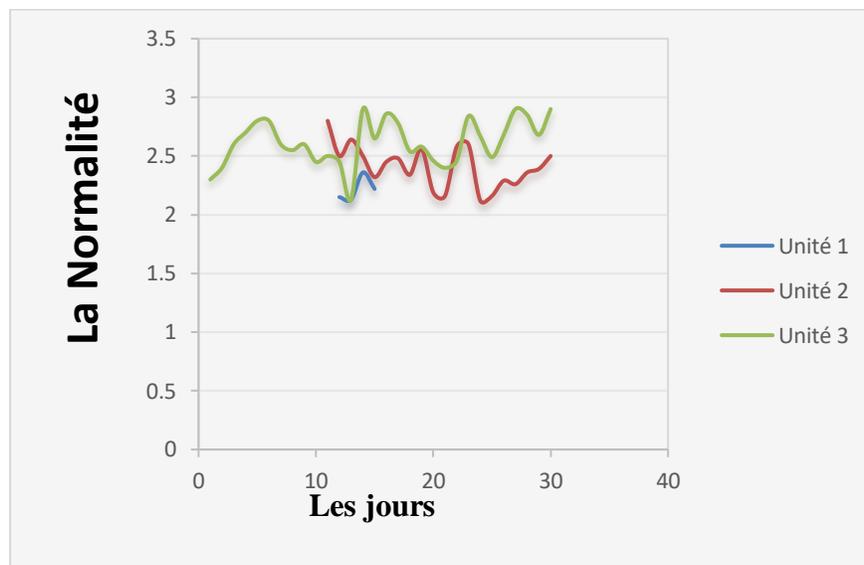
que la détection d'autres gaz.



**Figure 22: Photographie d'un TESTO**

### III.3 Les résultats obtenus

#### III.3.1. La normalité



**Figure 23: Résultats obtenue de la normalité**

Sur la figure (23) la représentation des résultats montre une variation de la normalité de la MEA dans les trois unités au fil des jours. Pour l'Unité 1, les valeurs de normalité ont commencé à 2,15 le jour 12 et ont fluctué entre 2,13 et 2,36 au cours des jours suivants. Cette variation peut indiquer des ajustements dans le processus de production ou des fluctuations naturelles liées aux conditions opérationnelles.

Pour l'Unité 2 sur la même figure, les valeurs de normalité sont restées relativement stables à

partir du jour 11, oscillant entre 2,32 et 2,64. Cela suggère une meilleure stabilité du processus de contrôle et de production de la MEA dans cette unité sur la période mesurée.

Quant à l'Unité 3, la normalité a montré une tendance à augmenter légèrement au fil des jours, atteignant un maximum de 2,9 le jour 14, puis diminuant légèrement. Cela pourrait nécessiter une surveillance accrue pour maintenir la normalité dans les spécifications requises.

### III.3.2. La densité

Les résultats de densité mesurés sur une période de 17 jours montrent des valeurs stables et cohérentes dans les trois unités. Dans l'unité 1 et l'unité 2, la densité de la MEA est restée constamment à 7 °Be à partir du 11ème jour, indiquant une régularité dans la concentration de carbonate de sodium conforme aux spécifications établies. En revanche, dans l'unité 3, la densité a été maintenue à 8 °Be sur la même période, montrant une légère variation par rapport aux autres unités. Cela peut nécessiter une attention particulière pour assurer la stabilité à long terme de la densité cible. Globalement, les résultats témoignent d'une gestion efficace du processus de fabrication de la MEA, avec des niveaux de densité maintenus dans les limites souhaitées pour garantir la qualité et la performance opérationnelle des installations.

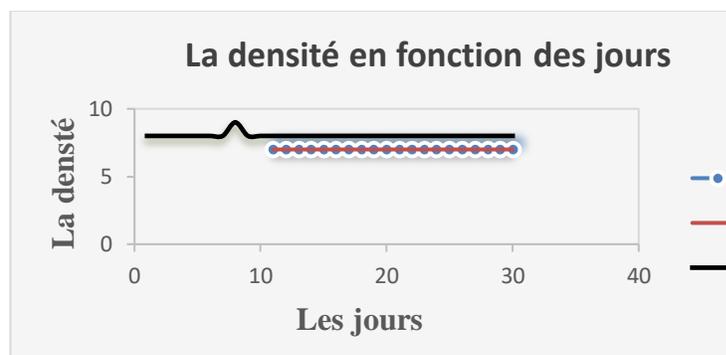


Figure 24: Evolution de la densité durant 30 jours de fonctionnement

**III.3.3. La pureté**

Il s'agit de la qualité du CO<sub>2</sub> produit dans chaque unité. La pureté a été mesurée par la

*Tableau 2 : Résultats de La pureté mesuré*

<b>Les jours</b>	<b>Unité 1</b>	<b>Unité 2</b>	<b>Unité 3</b>
<b>1</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>2</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>3</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>4</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>5</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>6</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>7</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>8</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>9</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>10</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>11</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>pure</b>
<b>12</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>13</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>14</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>15</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>16</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>17</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>18</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>19</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>20</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>21</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>22</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>23</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>24</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>25</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>26</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>27</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>28</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>29</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>
<b>30</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>	<b>pure</b>

### III.3.4. Le pH

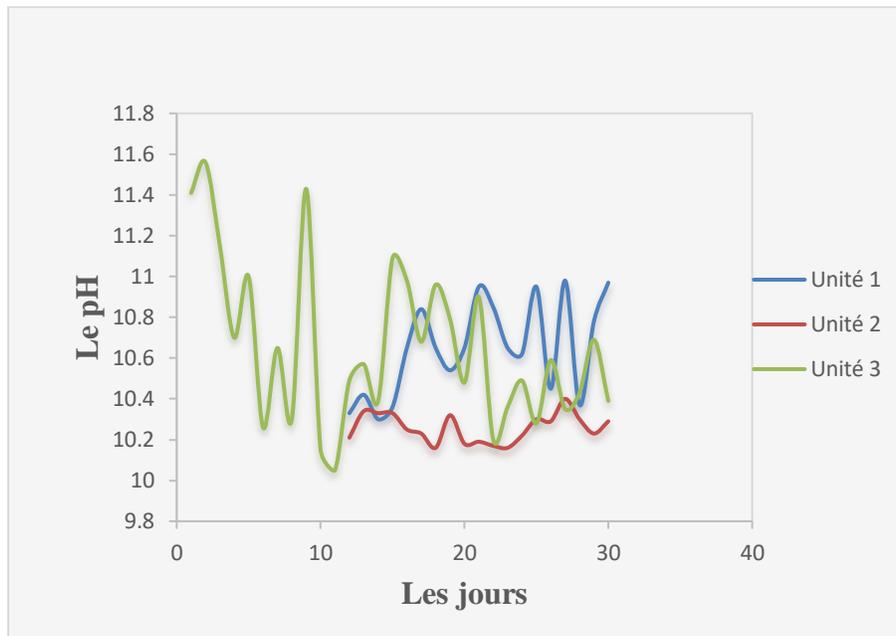


Figure 25: Variation de pH en fonction des jours

### III.3.5. La combustion

#### Teneur en O<sub>2</sub>

L'unité 1 montre une teneur en O<sub>2</sub> de 2.2% à 2.8%, ce qui est acceptable pour assurer une bonne combustion. Pour l'unité 3, la teneur en O<sub>2</sub> varie entre 1.2% et 17.9%, avec des fluctuations importantes qui peuvent indiquer des problèmes d'approvisionnement en air. Les données pour l'unité 2 montrent une seule valeur de 1.2%, ce qui ne suffit pas pour une analyse complète.

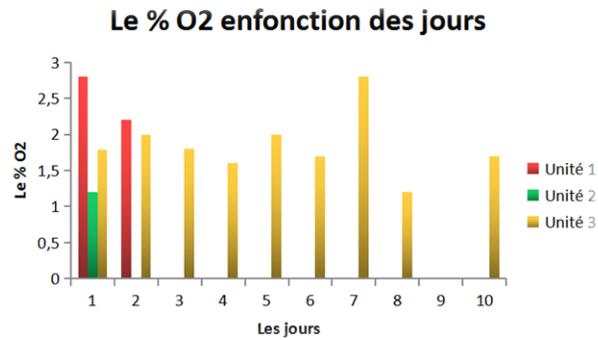


Figure 26: Résultats obtenue du %O<sub>2</sub>

### Température (T)

Pour l'unité 1, la température de combustion, mesurée à partir du jour 9, reste stable autour de 207°C, ce qui indique une bonne constance du processus de combustion. Pour l'unité 3, la température varie de 199.6°C à 275.0°C, montrant une plus grande variabilité qui peut suggérer des fluctuations dans l'alimentation en gaz ou des variations dans les conditions de combustion. Aucune donnée de température n'est disponible pour l'unité 2, ce qui limite notre capacité à évaluer la performance thermique de cette unité.

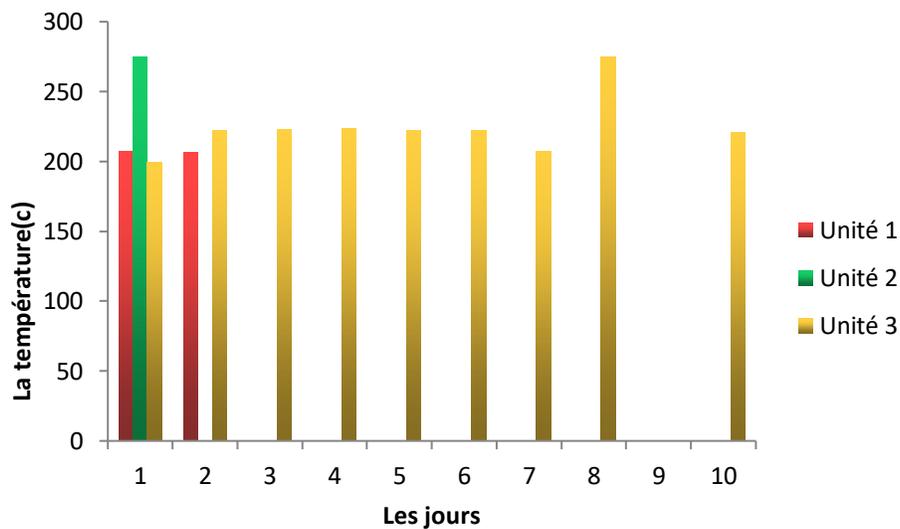
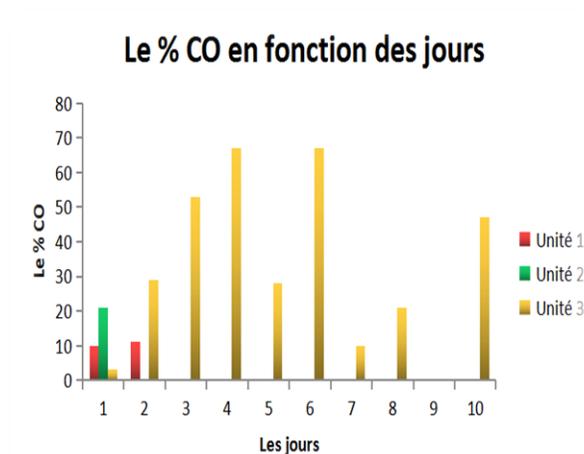


Figure 27: Résultats de la température obtenue

## Teneur en CO

La teneur en CO pour l'unité 1 varie de 10% à 11%, ce qui est relativement élevé et peut indiquer une combustion imparfaite. Pour l'unité 2, la seule mesure disponible montre une teneur en CO de 21%, ce qui est très élevé et suggère une combustion incomplète et potentiellement inefficace. L'unité 3 présente une grande variabilité de la teneur en CO, allant de 3% à 67%, ce qui nécessite une attention particulière pour stabiliser et améliorer l'efficacité de la combustion.



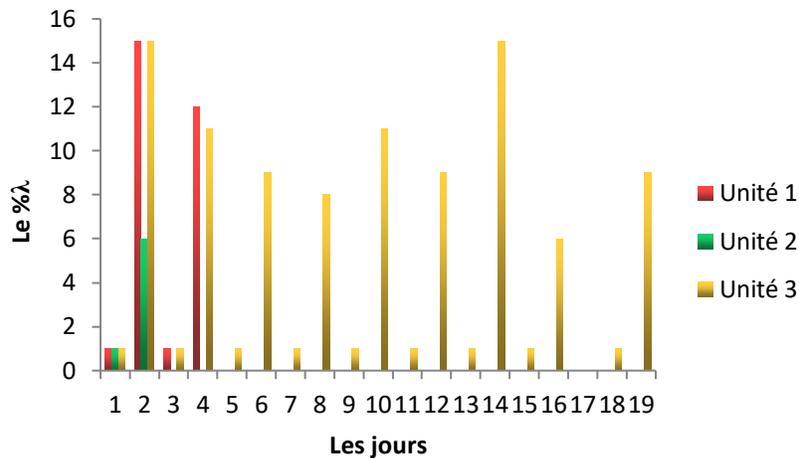
**Figure 29: Résultats obtenue du %CO**

## Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI)

Le PCI pour l'unité 1 est stable autour de 91.5%, indiquant une combustion efficace. Pour l'unité 3, le PCI est également élevé, autour de 91.0 à 91.5%, montrant une bonne performance énergétique. L'absence de données pour l'unité 2 empêche toute évaluation de ce paramètre pour cette unité.

## Coefficient d'Excès d'Air ( $\lambda$ )

Pour l'unité 1, le coefficient d'excès d'air ( $\lambda$ ) varie entre 1.12 et 1.15, ce qui est un bon indicateur de combustion, montrant qu'il y a un léger excès d'air pour assurer une combustion complète. Pour l'unité 3,  $\lambda$  est généralement autour de 1.1, ce qui est acceptable mais montre une certaine variabilité. Les données sont insuffisantes pour l'unité 2 pour évaluer ce paramètre.



**Figure 30 : Résultats obtenue du % λ**

#### III.4. Analyse des résultats obtenus par le CARBOSCAN

Le Carboscan est outil d'analyse performant pour le CO<sub>2</sub>. Le Carboscan est un appareil doté d'un logiciel sophistiqué conçu pour analyser le CO<sub>2</sub>(et d'autres gaz comme le O<sub>2</sub>)avec précision. Son utilisation s'étend à divers domaines, notamment les stocks, la fabrication du CO<sub>2</sub> et le contrôle des camions-citernes.

Le Carboscan se distingue par sa capacité à identifier et quantifier divers composés présents dans le CO<sub>2</sub>, tels que le CO, le H<sub>2</sub>O, le COS, etc. Les résultats obtenus par le CARBOSCAN sont présentés sous forme de graphes intuitifs, chaque composé étant représenté par une couleur spécifique. De plus, un tableau récapitulatif affiche la moyenne des valeurs mesurées, offrant une vue d'ensemble claire des données.

Le Carboscan trouve son application dans une variété de contextes :

- Gestion des stocks : Contrôle de la qualité du CO<sub>2</sub> stocké pour garantir sa conformité aux normes.

- Fabrication du CO<sub>2</sub> : Suivi du processus de production afin d'optimiser la pureté du CO<sub>2</sub> obtenu.

Contrôle des camions-citernes : vérification de la conformité du CO<sub>2</sub> transporté avant sa livraison.

L'utilisation du CARBOSCAN présente de nombreux avantages :

- Précision et fiabilité des mesures ;
- Analyse détaillée des composés du CO<sub>2</sub> ;
- Visualisation claire et intuitive des résultats ;
- Polyvalence d'utilisation dans divers domaines ;
- Contribution à la qualité et à la sécurité du CO<sub>2</sub>.

Sur la figure III.15 nous présentons un échantillon d'analyses effectuée le 24 avril 2024 au niveau de l'entreprise MGI sur l'unité 3. La figure montre que les contaminants détectés sont :

- Monoxyde de carbone (CO) : 1,224 ppm
- Oxysulfure de carbone (COS) : 0,017 ppm
- Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) : 1,404 ppm
- Humidité (H<sub>2</sub>O) : 4,536 ppm
- Soufre total (TSC) : 0,066 ppm

Nous avons tenté de comparer les concentrations des différents contaminants la norme Codex Alimentarius est une référence internationale pour les normes de sécurité alimentaire. Elle est élaborée par la Commission du Codex Alimentarius, un organisme conjoint de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Notre choix pour cette norme se base sur le fait que le CO<sub>2</sub> fabriqué dans cette entreprise est utilisé pour les boissons gazeuses.

Tableau 3 : Echantillon des résultats d'analyses obtenus par le Carboscan

Analysis Report			
2024-04-25 / 08:47:25			
Comment			
Valeur mesurée (standard [ppm])	Min	Max	AVG
Aldéhyde éthylique (C2H4O)	n.d.	0,033	n.d.
Ammoniac (NH3)	n.d.	n.d.	n.d.
Benzène (C6H6)	n.d.	n.d.	n.d.
Monoxyde de carbone (CO)	1,086	1,33	1,224
Oxysulfure de carbone (COS)	n.d.	0,021	0,017
Ether méthylique (C2H6O_DIM)	n.d.	n.d.	n.d.
Ethanol (C2H6O_ETH)	n.d.	n.d.	n.d.
Acétate d'éthyle (CH3COOC2H5)	n.d.	n.d.	n.d.
Acide sulfhydrique (H2S)	n.d.	0,021	n.d.
Méthane (CH4)	n.d.	n.d.	n.d.
Méthanol (CH3OH)	n.d.	n.d.	n.d.
Humidité (H2O)	1,467	10,09	4,536
Dioxyde d'azote (NO2)	0,617	2,205	1,404
Monoxyde d'azote (NO)	n.d.	1,234	n.d.
Oxygène (O2)	NaN	NaN	NaN
Propane (C3H8)	n.d.	n.d.	n.d.
Dioxyde de soufre (SO2)	n.d.	n.d.	n.d.
Toluène (C7H8)	n.d.	n.d.	n.d.
Somme BTX (AHC)	n.d.	n.d.	n.d.
Somme CH (THC)	n.d.	n.d.	n.d.
Somme non-méthane CH (TNMHC)	n.d.	n.d.	n.d.
Soufre total (TSC)	n.d.	0,126	0,066
Xylène (C8H10)	n.d.	n.d.	n.d.

**Tableau 4** : Comparaison des résultats obtenu par le Carboscan à la norme Codex Alimentarius

Ccontaminant	Cconcentration (ppm)	Limite maximale la norme Codex Alimentarius (ppm)
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	1,224	1
<b>Oxysulfure de carbone (COS)</b>	0,017	0,1
<b>Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)</b>	1,404	0,2
<b>Humidité (H<sub>2</sub>O)</b>	4,536	35
<b>Soufre total (TSC)</b>	0,066	0,1

D'après ces résultats, le gaz CO<sub>2</sub> analysé ne répond pas aux spécifications de qualité requises pour une utilisation dans les boissons gazeuses selon la norme Codex Alimentarius.

Les contaminants monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) dépassent les LMA . Ces contaminants peuvent avoir un impact négatif sur la qualité et la sécurité des boissons gazeuses.

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz toxique qui peut provoquer des maux de tête, des nausées, des vomissements et des vertiges. Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) est un gaz irritant qui peut provoquer des problèmes respiratoires. L'humidité (H<sub>2</sub>O) peut favoriser la croissance de micro-organismes dans les boissons gazeuses et réagir avec le CO<sub>2</sub>

Selon la norme Codex Alimentarius il est recommandable de ne pas utiliser ce gaz CO<sub>2</sub> pour la production de boissons gazeuses. Cependant le gaz produit peut être utilisé pour une autre application en vérifiant au préalable les spécifications de qualité requises pour cette application.

Ils serait également envisageable de mettre en œuvre des mesures pour réduire les niveaux de contaminants dans le gaz CO<sub>2</sub>, telles que la filtration et l'adsorption.

### III.5. Analyses des eaux

#### III.5.1. Avant l'installation de la nouvelle station

Avant l'installation de la nouvelle station de traitement des eaux, un des osmoseurs était

en panne. Dans ce contexte, seuls les paramètres physico-chimiques de l'eau brute ont été mesurés. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau ( ).

D'après les données obtenues, on constate que la dureté totale (TH) est presque toujours indiquée en rose, ce qui signifie que la dureté de l'eau n'est jamais nulle. Cela révèle la présence constante de minéraux dissous, tels que le calcium et le magnésium, dans l'eau brute.

Ces résultats montrent que l'eau brute avait une dureté totale notable, avec des niveaux significatifs de calcium et de magnésium, rendant l'eau dure. Une telle eau peut entraîner l'accumulation de tartre dans les tuyaux et les équipements, réduisant ainsi l'efficacité et la durée de vie des installations industrielles.

**Tableau 5** : Résultats obtenue avant l'installation de station des eaux

Jours	Eaux	PH	Th(°f)	Conductivité	T(°C)
1	Brute	7,34	rose	830	16
2	Brute	7,28	rose	801	17
3	Brute	7,2	bleu	815	15
4	Brute	7,38	bleu	820	16
5	Brute	7,29	bleu	800	16
6	Brute	7,3	rose	870	17
7	Brute	8,21	rose	910	15
8	Brute	8,35	bleu	879	16
9	Brute	8,25	bleu	940	16
10	Brute	7,79	rose	890	16
11	Brute	7,96	rose	893	18

### **III.5.2. Résultats après l'installation de la nouvelle station**

Avec l'installation de la nouvelle station de traitement des eaux, nous avons observé des améliorations significatives dans les paramètres physico-chimiques de l'eau. Voici les résultats obtenus après cette installation :

Les résultats obtenus après l'installation de la nouvelle station montrent une amélioration substantielle de la qualité de l'eau. La nouvelle station de traitement a réussi à réduire la dureté totale de l'eau, ce qui est essentiel pour prévenir l'entartrage des équipements et améliorer l'efficacité des processus industriels. Les autres paramètres physico-chimiques de l'eau ont également montré des améliorations, indiquant une purification efficace de l'eau par la nouvelle installation.

L'installation de la nouvelle station de traitement des eaux a permis de surmonter les limitations de l'ancien système, notamment en remédiant à la panne de l'osmoseur et en améliorant la qualité globale de l'eau utilisée dans l'entreprise. Les analyses montrent une réduction significative de la dureté totale et des améliorations dans d'autres paramètres, ce qui contribue à une meilleure performance des processus industriels et à une réduction des problèmes liés à l'entartrage et à l'usure des équipements.

**Tableau 6** : Résultats obtenue de station des eaux (osmose)

jours	eaux	PH	Th(°f)	conductivité	
				é(µs)	T(°C)
12	Brute	7,08	Rose(70)	780	17
	Adoucie	7,5	Bleu(0)	820	17
	Osmé	N	Bleu(0)	N	N
	Back de stock	7,8	Bleu(0)	220	17
13	Brute	6,65	Bleu(0)	780	18
	Adoucie	6,9	Bleu(0)	602	18
	Osmé	N	N	N	N
	Back de stock	6,5	Bleu(0)	200	15
14	Brute	6,67	Rose (60)	770	16
	Adoucie	7,36	Bleu(0)	1005	16
	Osmé	7	Bleu(0)	530	16
	Back de stock	N	N	N	N
15	Brute	6,87	Rose(62)	760	17
	Adoucie	7,28	Bleu(0)	1115	18
	Osmé	7	Bleu(0)	560	17
	Back de stock	6,5	Bleu(0)	215	15
16	Brute	6,7	Rose(60)	765	17
	Adoucie	7,2	Bleu(0)	1101	17
	Osmé	0,2	Bleu(0)	540	17
	Back de stock	6	Bleu(0)	207	15
17	Brute	7	Rose(65)	753	16
	Adoucie	7,36	Bleu(0)	1123	17
	Osmé	7	Bleu(0)	527	17
	Back de stock	6,3	Bleu(0)	201	16

# **Conclusion**

Dans le cadre de ce travail, nous a donné l'opportunité d'entrer dans le monde industriel et de découvrir les procédés de production du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Nous avons exploré les méthodes courantes utilisées dans l'industrie pour sa fabrication, en mettant particulièrement l'accent sur les étapes clés telles que la combustion du gaz naturel, l'absorption par le monoéthanolamine (MEA) et la purification par le permanganate de potassium. Ces processus sont essentiels pour obtenir un CO<sub>2</sub> de haute pureté répondant aux normes internationales.

Nous avons également caractérisé la monoéthanolamine (MEA) et suivi de près le procédé de production de CO<sub>2</sub>. Les principaux points à retenir de notre étude incluent :

- La MEA joue un rôle crucial dans l'absorption du CO<sub>2</sub>, nécessitant une normalité appropriée pour une efficacité maximale. La méthode de mesure décrite assure un contrôle précis de cette normalité, crucial pour maintenir la qualité du CO<sub>2</sub> produit.

La densité de la MEA, mesurée en degrés Baumé, ainsi que le pH de la solution, sont des paramètres critiques à surveiller. Ils influencent directement l'efficacité de l'absorption du CO<sub>2</sub> et la qualité de la MEA. Des variations observées nécessitent des ajustements pour garantir la conformité aux standards et assurer une production stable.

L'utilisation du Carboscan pour évaluer la pureté du CO<sub>2</sub> produit est une étape essentielle. Les résultats obtenus montrent la présence de contaminants tels que le CO, le COS, et d'autres, nécessitant une surveillance continue pour maintenir la qualité conforme aux normes alimentaires.

Les données de combustion révèlent des variations significatives dans des paramètres tels que la teneur en O<sub>2</sub>, la température, la teneur en CO, et le coefficient d'excès d'air. Ces observations soulignent l'importance d'un contrôle rigoureux pour une combustion efficace et la réduction des émissions nocives.

En outre, notre étude a également mis en lumière l'importance du traitement des eaux dans ce contexte industriel. Avant l'installation de la nouvelle station de traitement des eaux, les analyses ont montré une dureté totale notable de l'eau brute, principalement due à la présence de calcium et de magnésium. Cependant, après l'installation de la nouvelle station, des améliorations significatives ont été observées dans les paramètres physico-chimiques de l'eau, notamment une réduction efficace de la dureté totale. Cela témoigne de l'efficacité de la

nouvelle technologie pour améliorer la qualité de l'eau utilisée dans les processus industriels, réduisant ainsi les problèmes d'entartrage et améliorant la durabilité des équipements.

En guise de perspective ce travail pourrait se concentrer sur l'intégration de technologies vertes pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire l'empreinte carbone de la production de CO<sub>2</sub>. L'exploration de nouvelles applications industrielles et le développement de systèmes avancés de contrôle sont également essentiels pour maintenir la compétitivité et répondre aux normes environnementales en constante évolution.

## **Références**

[1]- **RECORD,A et DUMERGUES,L** .- Valorisation du CO<sub>2</sub> –partie 1- :voies directes et voies avec transformation biologique .Technique d'ingénieur . [G.1816] .

[2]-**Training Cours 2016 Carbon dioxyde,- (Module de formation le dioxyde de carbon ) , 2019 .**

[3]- **Walz ,M .** -Croquis original projet CCESO II .Dessin :Michel Walz ,2019 ,Cycle carbon ,partie 3 ,Technique d'ingénieur , –cycle 2, (2019)

[4]- **GOUTA ,KH ,SAOUD ,A .** Mémoire Prédiction de la solubilité des soluté organique dans le CO<sub>2</sub> super critique par la méthode d'optimisation de NELDER-MEAD .(2012).

[5]- <https://www.btobeer.com/themes-conseils-techniques-bieres-brasseries/conseils-carbonatation-process-et-analyses/co2-caracteristiques-physico-chimiques-production-utilisations-boissons-gazeuses-bieres>

[6]- **GUERIN, H.** – Traité de manipulation et d'analyse des gaz. Masson, 2<sup>e</sup> édition, Paris, 666 p. (1981).

[7]- **AFNOR.** – Qualité de l'air : Environnement. Recueil de normes françaises, 6<sup>e</sup> édition (1996).

[8]- **SENCKEISEN, J.** – Dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> [J6280], base Opérations unitaires. Génie de la réaction chimique (1992).

[9]- **DUMERGUES, L.** – Gaz à effet de serre : enjeux de réduction et méthodes de comptabilisation [G8300], base Environnement (2012).

[10]- **LE CLOIREC, P.** – Introduction aux traitements de l'air [G1700], base Environnement (2002).

[11]- **LE CLOIREC, P.** – Procédés de dépollution des émissions gazeuses industrielles [J3921], base Génie des procédés (2016).

[12]- **ROJEY, A. et TORP, T.A.** – « La capture et le stockage géologique du CO<sub>2</sub> : perspectives ». Oil & Gas Sci. Technol. – Revue IFP, 60, 3, 441-448 (2005).

[13]- **AMANN, J.M.** – Étude de procédés de captage du CO<sub>2</sub> dans les centrales thermiques. Thèse de doctorat en génie des procédés, Paris : École des Mines de Paris, 2007.

[14]- **ARACHCHIGE, U.S.P.R., KAWAN, D., TOKHEIM, L.A., MELAAEN, M.C.** – "Model Development for CO<sub>2</sub> Capture in The Cement Industry". International Journal of Modeling and Optimization, vol. 3, no. 6, décembre 2013.

[15]- **BOSOGA, A., MASEK, O., OAKLEY, J.E.** – "CO<sub>2</sub> Capture Technologies for Cement Industry". Energy Procedia, 1, 133-140 (2009).

[16]- **DESCAMPS, C.** – Étude de la capture du CO<sub>2</sub> par absorption physique dans les systèmes de production d'électricité basés sur la gazéification du charbon intégrée à un cycle combiné. Thèse de doctorat, École des Mines de Paris, 2004.

[17]- **GIRES, J.M.** – "Le captage et le stockage géologique de CO<sub>2</sub> : une des solutions pour lutter contre le changement climatique". Annales des Mines - Réalités Industrielles, 2008/4.

**[18]- BENAÏSSI, K.** – Le CO<sub>2</sub> supercritique appliqué à l'extraction végétale [CHV4015], base Développement de solvants alternatifs et intensification des procédés (2013).

**[19]- GAUTIER, Y.** – "Le stockage géologique du CO<sub>2</sub>". La Science au présent. Encyclopædia Universalis, Paris, p. 131-135 (2007).

**[20]LOPEZ ,A ,ROIZAD ,D et FAVRE ,E ,DUFOUR,A.** –Les procédés de capture du CO<sub>2</sub> thermique des déchets .Etat de l'art ,11-0236/1A (2013)

[20]- manuel unité 3

[21]-manuel unité 1