



Department of Process Engineering

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

قسم هندسة الطرائق

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2024

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE CHIMIQUE**

### THÈME

Récupération et valorisation du CO<sub>2</sub> rejeté vers l'atmosphère au niveau  
du complexe GL2/Z

Présenté par

- 1- BELALA Meriem
- 2- BELIACINE Dikra

Soutenu le 04/06/ 2024 devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	BENDENIA Souhila	Pr	Université de Mostaganem
<b>Examineur :</b>	DIB Merad Hanaa	MCB	Université de Mostaganem
<b>Rapporteur :</b>	KHEDIM Mohamed Amine	MAA	Université de Mostaganem

## Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

nos remerciements les plus sincères et les plus profonds sont adressés aux chefs de zones, tableautices et aux opérateurs de nous avoir guidé dans les meilleurs conditions et nous avoir apporté beaucoup d'informations. â

Nos vifs remerciements à nos parents et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cette réalisation.

Nous remercions énormément Mr KHDIM Amine d'avoir accepté de nous encadrer , aux membres de jury et à la faculté des sciences et de la technologie qui nous a donné l'occasion de faire un stage et entrer dans le monde industriel.

## Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.

En remerciement à eux, à tous mes frères et sœurs pour leur soutien.

À mon cher mari et à ma deuxième famille qui m'ont accompagné dans mes moments difficiles. Et à tous ceux qui aiment les bonnes actions et n'ont pas honte des obstacles de la vie.

**BELIACINE Dikra**

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail à ma famille paternelle BELALA et  
maternelle BELADJEL

À la source de tendresse, de patience et de générosité mon père  
et ma mère

À mes chères sœurs Zakia et Amel

À mon cher frère Abdallilah

À mes copines Salam, Maroua et chaima

À mes cousines.

**BELALA Meriem**

# Résumé

Le réchauffement climatique actuel est probablement dû à l'accroissement des gaz à effet de serre, ce qui rend impératif le déploiement mondial des technologies visant à réduire ces émissions. La capture du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est déjà une pratique industrielle utilisée, notamment dans le secteur de l'énergie. Les gaz rejetés par les 6 trains sont dirigés vers un collecteur, puis refroidis dans un échangeur pour éliminer l'eau, récupérée ensuite dans un séparateur. Ensuite, les gaz sont comprimés et livrés au client. Cette étude n'affecte pas le fonctionnement des trains de liquéfaction et permet au complexe de valoriser le CO<sub>2</sub> rejeté, générant ainsi des revenus supplémentaires significatifs.

**Mots clés :** Récupération , valorisation , CO<sub>2</sub> , GN , MEA , Décarbonation.

## الملخص

من المحتمل أن يكون الاحترار العالمي الحالي بسبب زيادة الغازات الدفيئة، مما يجعل النشر العالمي للتكنولوجيات للحد من هذه الانبعاث أمرًا حتميًا. إن احتجاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) هو بالفعل ممارسة صناعية مستخدمة، وخاصة في قطاع الطاقة. يتم توجيه الغازات التي ترفضها القطارات الستة إلى المجمع، ثم يتم تبريدها في مبادل للتخلص من الماء، والذي يتم بعد ذلك استعادته في فاصل. ومن ثم يتم ضغط الغازات وتسليمها للعميل. لا تؤثر هذه الدراسة على تشغيل قطارات التسيل وتسمح للمجمع باستعادة ثاني أكسيد الكربون المنبعث، وبالتالي توليد إيرادات إضافية كبيرة.

**الكلمات المفتاحية:** استعادة؛ تقييم؛ غاز ثنائي الأوكسجين؛ غاز طبيعي؛ أحادي إيثانول أمين؛ إزالة الغاز.

## Abstract :

Current global warming is likely due to an increase in greenhouse gases, making the global deployment of technologies to reduce these emissions imperative. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) capture is already a widely used industrial practice, especially in the energy sector. The gases rejected by the six trains are directed to the collector, then cooled in an exchanger to eliminate water, which is then recovered in a separator. The gases are then compressed and delivered to the customer. This study does not affect the operation of liquefaction trains and allows the complex to recover the carbon dioxide emitted, thus generating significant additional revenues.

**Key words:** Recovery , Valuation , CO<sub>2</sub> , GN , MEA , Decarbonation.

## Liste des abréviations

°C	Degré Celsius
CO <sub>2</sub>	Dioxyde De Carbone
ppm	Partie Par Million
GES	Gaz à Effet de Serre
MEA	Mono-Ethanol-Amine
GN	Gaz Naturel
GNL	Gaz Naturel Liquéfié
GL2/Z	Gaz Liquéfié 2D' Arzew
MCR	Multi Compresseurs Réfrigérons
GNT	Gaz Naturel Traité
ENGI	Entreprise Nationale des Gaz Industriel
APCI	Air Products and Chemicals - Incorporation
GP1/Z	Gaz de Pétrole 1 D' AZEW
PSA	Pressure Swing Adsorption
atm	Atmosphère
PH	Potentiel Hydrogène
CO	Monoxyde de Carbone
TH	Hydro Timétrique
TC	Température Critique
PC	Pression Critique
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié

## Liste des tableaux

Tableau I.1 : Composition du Gaz d'alimentation du GL2Z .....	05
Tableau II.1. :Propriétés physiques de la solution MEA[6] .....	18
Tableau II.2 : Propriétés chimiques de la solution MEA [8] .....	21
Tableau III.1 : Les caractéristiques du gaz naturel à l'entrée et à la sortie de l'absorbeur..	30

## Liste des figures

Figure I.1.Situation géographique du complexe GL2/Z .....	04
Figure I.2 .Composition du GN à l'entrée du GL2Z .....	05
Figure I.3 .Organisation du complexe GL2/Z.....	09
Figure I.4. Zone de Stockage.....	13
Figure II.1. Section de décarbonatation.....	16
FigureII.2. Dioxyde de carbone .....	20
Figure II.3. Diagramme de phase du $CO_2$ [10]. .....	23
Figure II.4. Évolution de l'augmentation des émissions de $CO_2$ mettant en évidence l'inflexion débutant avec la révolution industrielle. Les émissions sont mesurées en milliards de tonnes de carbone par an [11]. .....	25
Figure III.1 :.Colonne d'absorption .....	29

## Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des abréviations	
Listes des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale .....	1
Problématique .....	2
<b>Chapitre I :Présentation du Complexe GL2/Z</b>	
I.1. Généralités sur le complexe .....	4
I.2.Définition du gaz naturel .....	4
I.3.Description/Caractéristiques techniques de GN .....	5
I.4.Analyse de GNL .....	5
I.5. Historique.....	6
I.6.Objectifs du complexe .....	6
I.7. Plan d'implantation du complexe .....	6
I.8. Les utilités.....	7
<i>I.8.1. Sources d'énergie</i> .....	7
<i>I.8.2. Source de refroidissement</i> .....	7
<i>I.8.3. Production d'électricité</i> .....	7
<i>I.8.4. Unité de dessalement</i> .....	7
<i>I.8.5. Production d'air comprimé</i> .....	7
<i>I.8.6. Azote</i> .....	8
I.9. Description d'un train de procédé.....	8
<i>I.9.1. Section traitement de gaz</i> .....	10
<i>a) Démercurisation</i> .....	10
<i>b) Décarbonatation</i> .....	10
<i>c)Déshydratation</i> .....	11
I.9.2.Séparation et liquéfaction : .....	11
<i>I.9.3. Section compression</i> .....	11
<i>a) Système de propane réfrigérant</i> .....	11
<i>b) Système de réfrigérant mixte (MCR)</i> .....	11



I.9.4. Section fractionnement .....	12
a) Déethaniseur.....	12
b) Dépropaniseur .....	12
c) Débutaniseur.....	12
I.10. Zone de stockage.....	13
I.11.Chargement(Terminal) .....	13

## **Chapitre II :Dioxyde de carbone**

II.1.Introduction.....	15
II.2. Principe de la décarbonatation .....	16
II.3.MEA : .....	17
II.3.1.Définition.....	17
II.3.2.Choix de l'absorbant .....	17
II.3.3.Régénération de la solution MEA .....	17
II.3.4.Propriétés physiques .....	18
II.3.5.Propriétés chimiques.....	19
II.4. <b>CO2</b> : .....	19
II.4.1.Définition.....	19
II.4.2.Historique .....	20
II.4.3.Origine .....	20
II.4.4.Propriétéschimiques .....	20
II.4.5.Propriétés physiques.....	21
II.4.6. Utilisations .....	21
II.4.7.Emissions du <b>CO2</b> .....	23
II.4.8.Points forts .....	24
II.4.9.Impact environnemental.....	24
II.4.10.Toxicité .....	26
II.4.11. Prévention .....	26
II.4.12.Transport.....	26
II.4.13.Stockage .....	27

## **ChapitreIII: Résultatsetdiscussion**

III.1.Quantité du <b>CO2</b> produite par la section de décarbonatation.....	29
III.1.1.Bilan de matière de l'absorbeur .....	29
III.2. Procédé de récupération du <b>CO2</b> proposé.....	32
III.3. Rentabilité du projet CO2.....	33
III.4. Interprétation .....	34

Conclusion générale .....	35
Référence bibliographique.....	36
Annexe	

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Le réchauffement climatique trouve son origine dans l'augmentation de l'effet de serre, ce phénomène dû à la fine couche de gaz qui enveloppe la Terre et retient à sa surface une partie du rayonnement solaire. Les deux principaux gaz responsables de l'effet de serre sont la vapeur d'eau ( $H_2O$ ) et le gaz carbonique ( $CO_2$ ). Leur présence est bénéfique car, sans eux, la température à la surface de la Terre ne dépasserait pas les  $-18\text{ °C}$ . Mais, depuis la période pré-industrielle, les émissions anthropiques globales de gaz à effet de serre (GES) ont fortement crû. Le gaz carbonique, dont le temps de séjour dans l'atmosphère est supérieur au siècle, engendre environ 55% de l'effet de serre anthropique; il provient pour l'essentiel de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel)[1].

Dans l'ensemble des gaz à effet de serre d'origine anthropique régulés par le Protocole de Kyoto en 1997, le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) est celui aux effets les plus importants, par le volume de ses émissions d'origine humaine et son potentiel de réchauffement global [1].

Le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) est le deuxième gaz à contribuer à l'effet de serre après la vapeur d'eau et le premier d'origine anthropique. La concentration de ce gaz dans l'atmosphère a augmenté de 280 ppm en 1850 jusqu'à une valeur proche des 380 ppm de nos jours en moyenne, et jusqu'à 500 ppm dans les grandes agglomérations, comme par exemple, Paris. L'augmentation de cette concentration est grandement corrélée avec le début de l'ère préindustrielle et à la combustion massive d'énergie fossile [2].

Les secteurs de la production d'énergie et de la production industrielle sont très dépendants des combustibles fossiles, qu'il s'agisse du charbon, du fuel ou du gaz. Ils sont de fait responsables de très importantes émissions atmosphériques de  $CO_2$ . Dans un contexte de réchauffement climatique et de limitation des émissions de gaz à effet de serre, l'économie mondiale se tourne progressivement vers des sources d'énergie renouvelable décarbonée [1].

### Problématique

Les complexes de liquéfaction du GN contribuent aux émissions des gaz carboniques tel que le  $CO_2$ . Ce gaz lui-même contribue à l'effet de serre pour 63 %, il nécessite d'étudier tous les moyens de réduire ces émissions. L'augmentation de la concentration atmosphérique des GES émis par l'activité industriel demeurent très importante, ce qui provoque un réchauffement du climat déjà perceptible. Dans ce contexte, et pour réduire la concentration de  $CO_2$  dans l'atmosphère, plusieurs mesures simultanées ont été prises. Dans le cadre de notre mis en situation professionnel qui a eu lieu au complexe GL2Z, nous allons axer notre étude sur la récupération du  $CO_2$ , c'est pour cela on a fait des recherches et des études pour faire un investissement d'un procédé de récupération de  $CO_2$ , a fin de diminuer Ces denges climatiques ainsi de protéger l'environnement. C'est en effet l'objectif principal de notre travail.

**Chapitre I :**  
**Présentation du Complexe**  
 **$GL_2/\mathbb{Z}$**

## I.1. Généralités sur le complexe

Dans le cadre de l'objectif stratégique de valorisation des ressources en GN principalement du gisement de HASSI R'MEL, des usines de Gaz Naturel Liquéfier (GNL) ont été construites dans l'Algérie, dont le but principal est l'exportation du GNL vers l'Europe et les pays du nord par méthaniers.

L'Algérie possède deux pôles importants de production du GNL, ARZEW et SKIKDA.



Figure I.1. situation géographique du complexe GL2/Z

## I.2. Définition du gaz naturel

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures légers comprenant de méthane ( $CH_4$ ) en grande proportion ainsi que d'autres hydrocarbures gazeux tels l'éthane, le propane, le butane, le pentane et l'hexane en proportion décroissantes, sa composition révèle en outre suivant les cas, la présence d'hélium, d'azote, de gaz carbonique, sulfure et de la vapeur d'eau. La genèse de gaz naturel est tout à fait analogue à la genèse du pétrole (qui est un mélange d'hydrocarbures lourds) et résulte de la décomposition de la matière organique essentiellement sous-marine déposée au cours des époques et en forme sous les couches sédimentaires. C'est la raison pour laquelle les couches dans lesquelles se trouvent piégé du gaz naturel sont en général plus profondes.

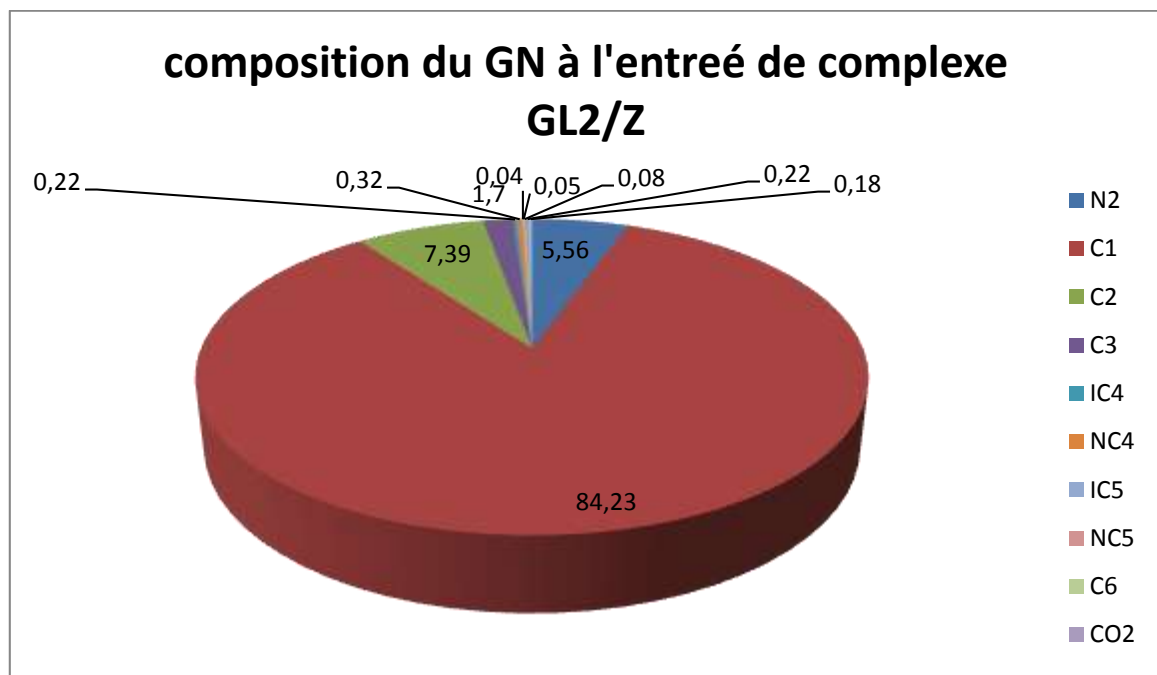
Une certaine quantité de gaz naturel se présente toujours en association avec les gisements de pétrole c'est le cas par exemple à Hassi Messaoud.

### I.3.Description/Caractéristiques techniques de GN

Le gaz naturel est incolore, inodore, insipide, sans forme particulière et plus légère que l'air. Il représente sous sa forme gazeuse au-dessus de  $-161^{\circ}\text{C}$ . Pour des raisons de sécurité, Un parfum chimique, le mercaptan, qui lui donne une odeur d'œuf pourri, lui est souvent ajouté de sorte qu'une fuite de gaz puisse ainsi être détecté.

**Tableau I.1 : Composition du Gaz d'alimentation du GL2Z**

Composition	N2	C1	C2	C3	IC4	NC4	IC5	NC5	C6	CO2	He
% molaire	5.56	84.23	7.39	1.70	0.22	0.32	0.04	0.05	0.08	0.22	0.18



**Figure I.2 : Composition du GN à l'entrée du GL2Z**

### I.4.Analyse de GNL

Le GNL qui est à une température de  $-162^{\circ}\text{C}$  est évaporé en utilisant un bain marie, l'échantillonnage se fait à l'état gazeux, l'analyse est assurée par chromatographie en phase gazeuse.

## **I.5. Historique**

Le complexe GL2/Z est une unité de production de la SONATRACH. Il a été réalisé par la société Pullman Kellog en 1978 et a commencé à produire du GNL dès 1981. Il transforme annuellement 13 milliards  $m_3$  de GN extrait des puits de HASSIR'MEL en GNL, environ 17.8 millions de GNL est produit par an.

## **I.6. Objectifs du complexe**

Le complexe a pour but de la liquéfaction du gaz naturel par refroidissement à  $-162^{\circ}\text{C}$ , ce qui permet une réduction de volume de 600 fois grâce à cette réduction, le transfert par méthanier vers l'international.

Chaque train de liquéfaction comprend les unités d'exploitation suivantes :

- ✓ Unité de traitement du Gaz naturel ;
- ✓ Unité de liquéfaction ;
- ✓ Unité de fractionnement ;
- ✓ Unité de compression.

## **I.7. Plan d'implantation du complexe**

L'emplacement du complexe GL2/Z au bord de la mer répond à des exigences et à des contraintes d'ordre économique et sécuritaire.

Ce choix préalablement étudié permet d'utiliser l'eau de mer comme source d'alimentation pour le refroidissement, la production d'eau dessalée et la lutte contre les incendies. En outre, il permet de faciliter l'exportation des hydrocarbures notamment le GNL et ses extraits par voie marine (méthaniers).

D'une façon générale, l'implantation du complexe est divisée en trois parties bien distinctes :

- ✓ Les utilités ;
- ✓ Les trains de procédés ;
- ✓ La zone terminale « Stockage et Chargement ».



## **I.8. Les utilités**

Les utilités constituent une zone importante au sein du complexe GL2/Z. Elles permettent d'assurer la fourniture de tous les besoins pendant le démarrage et la marche normale des trains de liquéfaction.

Le fonctionnement de l'usine pour la production du GNL, nécessite la disposition d'un nombre de fluides et d'énergie, tels que la vapeur d'eau, l'eau de refroidissement, l'air comprimé, ...etc.

### ***I.8.1. Sources d'énergie***

La vapeur d'eau est produite par trois chaudières à haute pression (62 bars) et une chaudière basse pression (17 bars). Cette vapeur sert à entraîner les équipements, tels que les turbogénérateurs et la turbopompe d'alimentation en eau de chaudière.

### ***I.8.2. Source de refroidissement***

Le complexe dispose de six pompes d'eau de mer qui assurent la distribution en eau de mer au niveau des trains de liquéfaction et des utilités pour le refroidissement dans les échangeurs.

### ***I.8.3. Production d'électricité***

L'électricité est produite par trois turbogénérateurs ayant une capacité chacun 20 MW ainsi qu'une source SONELGAZ avec une tension de 60 KV.

Toutefois, pour une mise en marche normale, seuls deux turbogénérateurs peuvent suffire à produire la totalité de l'énergie demandée qui est environ de 36 MW.

### ***I.8.4. Unité de dessalement***

Cinq unités de dessalement sont implantées au sein du complexe d'une capacité de 45 m<sup>3</sup>/hr chacune, permettant ainsi suffisamment d'eau distillée, destinée à assurer d'une manière continue l'alimentation des chaudières.

### ***I.8.5. Production d'air comprimé***

Pour des raisons sécuritaires, le procédé repose en grande partie sur une régulation pneumatique assurée par un ensemble de quatre compresseurs.

De plus, on dispose d'un compresseur de secours en cas de besoins.

***I.8.6. Azote***

L'azote est fourni par l'entreprise nationale des gaz industriels (ENGI), et utilisé pour l'inertage des installations pour la préparation aux travaux de maintenance ainsi que les démarrages.

**I.9. Description d'un train de procédé**

Le procédé A.P.C.I (Air Products and Chemicals - Incorporation) est utilisé dans le complexe GL2/Z fonctionne avec deux fluides frigorigènes, le Propane et le MCR (multi composant réfrigérant).

La production de GNL dans le complexe GL2/Z est assurée par six trains fonctionnant en indépendance ou chacun comprend un nombre d'équipements montés principalement en série, assurant ainsi la transformation du GN de l'état gazeux à l'état liquide, chaque train est divisé en cinq sections :

- ✓ Section traitement de gaz
- ✓ Section séparation
- ✓ Section liquéfaction
- ✓ Section compression
- ✓ Section fractionnement

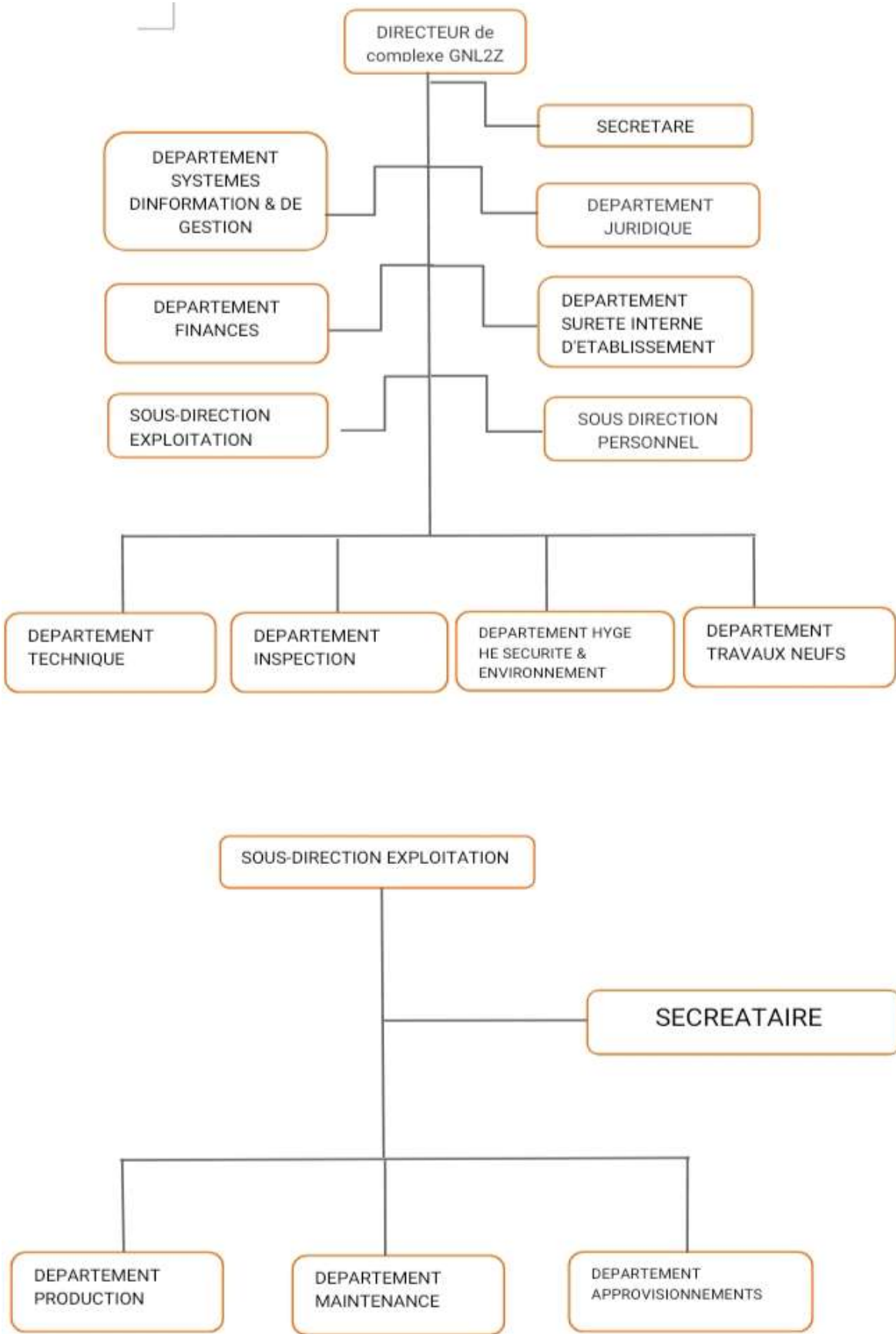


Figure I.3 :Organisation du complexe GL2/Z

### *1.9.1. Section traitement de gaz*

Le GN, à sa sortie du gisement de HASSI RMEL, est un mélange d'hydrocarbures dont la teneur en méthane est supérieure à 80% ; mais contient également de l'éthane du propane, du butane, du pentane et quelque traces d'hydrocarbures lourds.

L'alimentation en GN se fait 42 bars et à la température ambiante.

Il doit être conditionné avant sa liquéfaction aux températures cryogéniques.

Ce conditionnement comprend l'élimination des contaminants tels que le mercure, le gaz carbonique et la vapeur d'eau. Leurs présences dans le gaz, causeront des problèmes d'exploitation aux températures cryogéniques, créant ainsi des bouchages au niveau des vannes et des échangeurs, de la corrosion par le mercure dans des boîtes froides en aluminium.

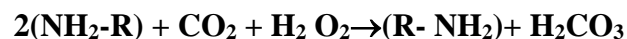
Ce conditionnement est assuré par le démercuriseur, la section décarbonatation et la déshydratation.

#### *a) Démercurisation*

Après passage dans un ballon séparateur où les hydrocarbures liquides sont récupérés au fond du ballon, le gaz d'alimentation traverse un échangeur pour amener sa température aux alentours de 45 °C puis il est introduit dans le démercuriseur (140D) qui retient les traces du mercure par adsorption moléculaire, il contient un lit de billes d'alumine  $Al_2O_3$  recouverte de sulfate de cuivre ( $CuSO_4$ ) car le mercure est très corrosif. La teneur résiduelle en mercure du gaz sortant est de l'ordre de  $0,01 \text{ ng/Nm}^3$ .

#### *b) Décarbonatation*

Dans cette section, le gaz carbonique ( $CO_2$ ) est absorbé par une solution de Mono-Ethanol-Amine (MEA) à 15% de concentration selon la réaction suivante :



La section de décarbonatation sert à enlever la plus grande partie du gaz carbonique contenue dans le gaz d'alimentation, avant l'admission de celui-ci dans la section de liquéfaction du procédé.

La concentration du gaz carbonique ( $CO_2$ ) doit être réduite à 70 ppm (en volume) pour éviter la formation de glace carbonique dans la section de liquéfaction, dû à la solidification du  $CO_2$  à basses températures.

### *c) Déshydratation*

Le gaz naturel débarrassé de son gaz carbonique pénètre un (01) des trois (03) sécheurs en service à 21°C et 43 bars pour être dénué de la qualité d'eau à 0,5 ppm restante et ce par absorption par le biais de tamis moléculaires se trouvant à l'intérieur des sécheurs. Une fois saturé en eau, après environ huit (08) heures de séchage, le sécheur en question sera régénéré pour une durée de six (06) heures et ce comme suit :

- ✓ Une phase de réchauffage qui dure 3h30 ;
- ✓ Une phase de refroidissement qui dure 2h30 .

### *1.9.2. Séparation et liquéfaction :*

Cette section comprend deux phases de séparation et une autre liquéfaction, la première séparation consiste à séparer le GN des autres hydrocarbures plus lourds en plusieurs étapes de réfrigérations permettant ainsi de récupérer le propane et le butane qui sont envoyés à GP1/Z, la gazoline sera stockée dans des bacs. La deuxième séparation permet de récupérer l'azote et l'hélium qui sera envoyé vers HELIOS.

Le gaz naturel recueilli en tête de la colonne de lavage à dominante de méthane ( $CH_4$ ) est dirigé vers l'échangeur principal pour être liquéfié avant d'être détendu et expédié vers les bacs de stockage de GNL à une température de -162 °C et à la pression atmosphérique.

### *1.9.3. Section compression*

#### *a) Système de propane réfrigérant*

La boucle de propane est une boucle à quatre étages qui permet de refroidir le GN et le MCR (multi composant réfrigérant) par paliers successifs, le propane, après compression et condensation, subit quatre niveaux de détente refroidissante, lui permettant d'échanger ses frigories avec le MCR ; l'appoint en propane du système est assuré par le propane soutire de propaneiseur.

#### *b) Système de réfrigérant mixte (MCR)*

Le MCR sert à liquéfier le GN dans l'échangeur principal, il constitue la deuxième boucle frigorigène de l'unité de liquéfaction, ce fluide frigorigène est un mélange de méthane, éthane, propane et d'azote, le méthane circule dans une boucle fermée à deux compresseurs MRC (I) et MCR (II), chacun est entraîné par une turbine.

#### *1.9.4. Section fractionnement*

L'unité fractionnement est alimentée par les produits de fond de la tour de lavage située en amont de l'échangeur principal. La section est composée de trois colonnes :

##### *a) Déethaniseur*

Il permet d'extraire l'éthane en haut de la colonne pour être réinjecté dans le GNL, l'excès est utilisé comme combustible dans le système fuel gaz. Les produits de fond du Déethaniseur sont acheminés vers la colonne de dépropanisations.

##### *b) Dépropaniseur*

Il constitue la 2<sup>ème</sup> tour de fractionnement. Son rôle est de produire le propane en tête de colonne et de l'acheminer en grande partie vers GP1/Z pour y être commercialisé ou réinjecté dans le GNL, l'autre partie sert comme appoint dans la boucle MCR et propane réfrigérant. Les produits de fond sont acheminés vers la colonne de débutanisations.

##### *c) Débutaniseur*

Il constitue la 3<sup>ème</sup> tour de fractionnement, Le produit de tête de colonne est le butane (98.8 %) est envoyé vers GP1/Z pour être commercialisé ou réinjecté dans le GNL. Le produit de fond de la tour constitue la gazoline qui est envoyée vers le stockage pour y être commercialisé.

#### **❖ Laboratoire**

Le laboratoire a un rôle très important dans la mesure où ils ont un contrôle continu de produits au cours du processus et la qualité des produits finis. Le laboratoire est divisé en quatre salles, chacune est conçue pour spécifier les différents groupes à savoir. Section gaz, section eau, section huile et section de la gazoline. Trois méthodes d'analyses sont utilisées : Analyse chromatographique. Analyse spectrophotomètre. Analyse volumétrique.

#### **❖ Sécurité au laboratoire**

Le laboratoire est doté de moyens et équipements nécessaires pour la protection individuelle et collective : Disponibilité et accessibilité des extincteurs Les extincteurs sont à portée de mains et disponibles dans tout le laboratoire. Équipements de protection Les équipements de protection individuelle sont utilisés lors des analyses telles que les masques, gants, blouses et lunettes. Le travail se fait dans des hottes avec extraction d'air en cas de fuites de gaz. En cas d'évacuation du personnel, les sorties de secours sont bien illustrées par l'affichage.

### I.10. Zone de stockage

Le GNL quitte la zone de procédé vers la zone de stockage à une température de  $-162\text{ °C}$ . La zone de stockage GNL est située au bord de la mer, facilitant son chargement au bord de méthaniers, elle contient trois bacs de GNL d'une capacité de  $100000\text{ m}^3$  et deux bacs de gazoline d'une capacité de  $14500\text{ m}^3$ .



Figure I.4. Zone de Stockage

### I.11. Chargement (Terminal)

Les installations de chargement permettent le transfert du GNL contenu dans les bacs de stockage vers les cuves des méthaniers. Cinq motopompes assurent le pompage du GNL à travers un collecteur commun jusqu'aux bras de chargement installés sur les quais.

# **Chapitre II :**

## **Dioxyde de carbone**



## II.1.Introduction

La décarbonatation est un procédé destiné à réduire la teneur en  $CO_2$ , c'est-à-dire en dioxyde de carbone (ou gaz carbonique). Ce dernier étant un des principaux gaz à effet de serre, la décarbonatation a tout son intérêt, surtout lorsqu'on sait que la durée de vie du  $CO_2$  dans l'atmosphère est d'environ 100 ans. Les principaux procédés de décarbonatation sont la décarbonatation du gaz naturel par absorption et la décarbonatation du gaz naturel par adsorption ou PSA (Pressure Swing Adsorption).

La lutte contre le changement climatique est un enjeu majeur de nos sociétés contemporaines. Les excédents d'émissions de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) dans l'atmosphère étant une des causes de ces modifications climatiques, la maîtrise et la capture du  $CO_2$  lors des processus industriels sont des sujets en fort développement. Par ailleurs, pour une entreprise ou une collectivité, émettre de grandes quantités de  $CO_2$  est souvent synonyme d'une forte dépendance aux ressources fossiles carbonées et à leur fluctuation tarifaire.

Le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) provient des combustions, des émanations volcaniques et des processus de fermentation/putréfaction. C'est un produit terminal du métabolisme cellulaire aérobie dans la plupart des espèces animales dont l'homme. La toxicité intrinsèque du dioxyde de carbone est très inférieure à celle du monoxyde de carbone, auquel il est associé dans toutes les fumées de combustion. Sans danger à faible concentration, le  $CO_2$  s'avère redoutable lorsqu'il s'accumule dans un espace confiné. Conjugué aux effets de l'anoxie souvent concomitante, il est alors responsable d'intoxications sévères dont la mortalité est élevée.

Le travail en cuverie en période de fermentation des moûts et la sublimation de la carboglace sont les deux situations les plus à risque. Le  $CO_2$  est en revanche dépourvu d'effet sanitaire à long terme. Sur le plan environnemental, l'augmentation des émissions liées aux activités humaines est responsable d'un accroissement de l'effet de serre, dont l'impact sur le climat apparaît maintenant avéré.

La maîtrise des émissions dans les pays industrialisés, mais aussi dans les pays émergents est un des défis des prochaines décennies [3].

## II.2. Principe de la décarbonatation

Une solution aqueuse de mono-éthanol-amine (MEA) entre à 15 % agit comme agent d'absorption, pour réduire la teneur du gaz carbonique ( $CO_2$ ) à moins de 70 ppm pour éviter la formation de glace dans la section de liquéfaction, la MEA est mise en contact dans une colonne à plateaux avec le gaz riche en  $CO_2$ . La solution entrant par le haut et le gaz par le bas, le contact se fera à contre-courant. La réaction sera du type :



Elle est exothermique. Sa température d'amorçage est de 38 °C. Elle est réversible : en apportant une certaine quantité d'énergie au produit de réaction, nous pouvons retrouver les produits initiaux : - MEA + Eau en phase gazeuse  $CO_2$  en phase gazeuse ce qui permet d'éliminer le  $CO_2$ , de réutiliser la MEA et de fonctionner sans perte[4].

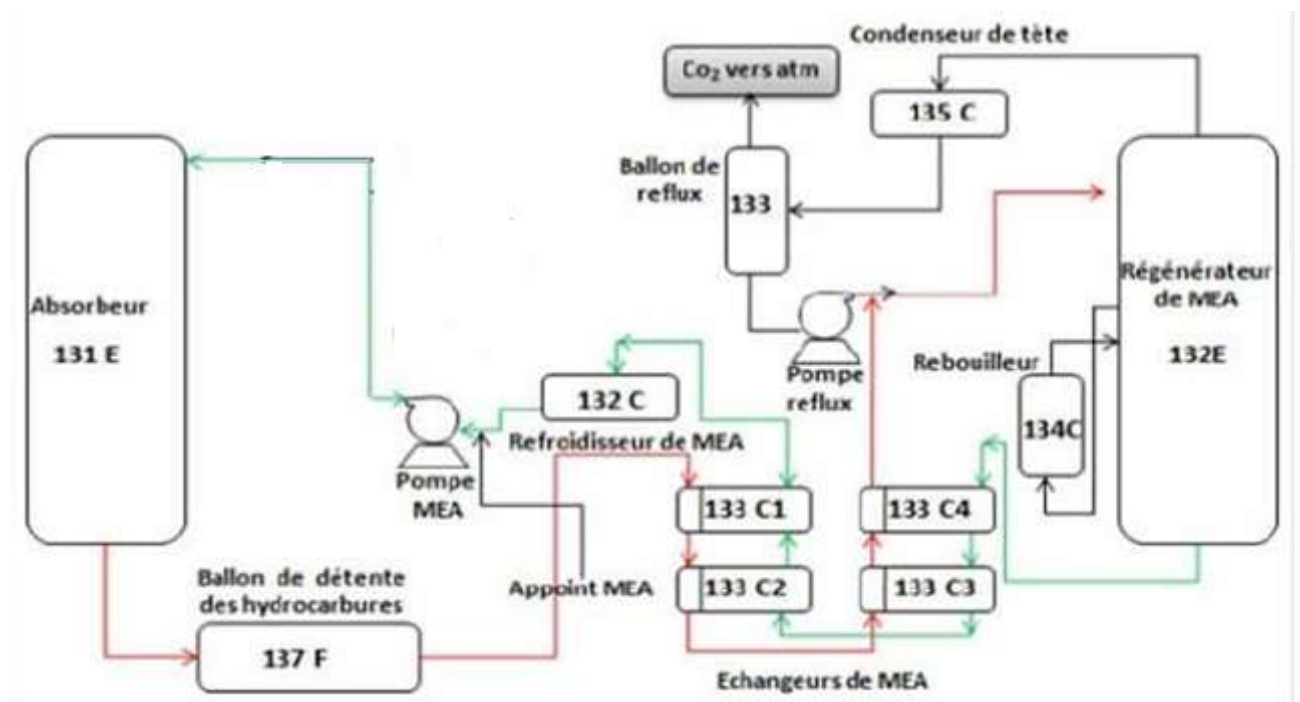


Figure II.1. Section de décarbonatation

## II.3.MEA :

### II.3.1.Définition

La MEA a été la première amine à être mise en œuvre, en raison de sa grande facilité de fabrication. La MEA est l'amine la plus réactive avec un groupe éthanol lié à l'atome d'azote; elle réagit rapidement avec les gaz acides, et permet des séparations de grande qualité en terme de puretés de produits séparés. La faible masse moléculaire de la MEA conduisant à un pouvoir absorbant important pour des solutions en concentrations en masse modérées ainsi que la récupération facile à partir de solutions contaminées sont des avantages qui équilibrent les inconvénients[4].

### II.3.2.Choix de l'absorbant

Les solutions aqueuses de mono-éthanol-amine, qui ont été utilisées presque exclusivement pendant de nombreuses années pour éliminer le  $CO_2$  des gaz naturels et de certains gaz de synthèse, sont rapidement remplacées par d'autres systèmes plus efficaces, notamment pour le traitement des bien sûr, les gaz naturels. Cependant, la mono-éthanol-amine reste le solvant préféré pour les flux gazeux contenant des concentrations relativement faibles  $CO_2$  et pratiquement aucun contaminant mineur, Cela est particulièrement vrai.

Lorsque le gaz doit être traité à basse pression, une élimination maximale de  $CO_2$  est requise. Le faible poids moléculaire de la mono-éthanol-amine, qui se traduit par une capacité de solution élevée à des concentrations modérées (sur une base pondérale), sa forte alcalinité et la relative facilité avec laquelle elle peut être récupérée à partir de solutions contaminées sont des avantages, dans de nombreux cas, Dans certains cas, cela fait plus que contrebalancer les inconvénients inhérents. Parmi ces derniers, le plus grave est la formation. Étant donné que la MEA a été l'une des premières éthanol-amines utilisées pour le traitement des gaz [5].

### II.3.3.Régénération de la solution MEA

La solution de MEA riche provenant du ballon de séparation des hydrocarbures est chauffée à 102°C dans les 4 échangeurs avec la solution chaude de MEA pauvre qui provient du fond du régénérateur, pour être ensuite introduit en tête de la tour de régénération fonctionnant normalement à 118°C et 0.7bars effectifs. En fond de colonne, la solution de MEA riche en  $CO_2$  descend dans la colonne pour y être épurée par le gaz ascendant provenant de l'évaporation du produit de fond permettant ainsi d'extraire un maximum de gaz carbonique. Les vapeurs de tête riches en  $CO_2$  passant dans le condenseur de tête afin de condenser la majeure partie de la vapeur

d'eau à 60°C le condensât est séparé dans un ballon de reflux, le gaz carbonique contenant une petite quantité de vapeur d'eau est évacué en tête de ballon de reflux vers l'atmosphère, par contre la vapeur de reflux de la régénération est réinjectée en tête de régénérateur. La solution de MEA pauvre régénérée est tout d'abord refroidie à 60°C par échange thermique avec la solution de MEA riche puis elle est refroidie ensuite dans le refroidisseur jusqu'à une température de 38°C par l'eau de mer avant d'être dirigée vers le sommet de l'absorbeur de gaz carbonique [4].

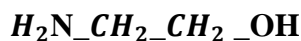
### II.3.4. Propriétés physiques

Tableau II.1. : Propriétés physiques de la solution MEA[6].

Etat physique	Liquide
Couleur	Incolore
Odeur	Ammoniacale
Masse molaire	61.1g/mol
Point de fusion	10.03°C
Point d'ébullition	170.5°C(à 1atm)
Densité	1.012
Tension de vapeur	0.5Kpa à 20°C 0.78Kpa à 60°C 2.6Kpa à 80°C
Point d'éclaire	85°C en coupelle fermée 93°C en coupelle ouverte
Limite d'explosivité dans l'aire (% vol)	Limite inferieure 5.5% Limite supérieure 17%
Température d'auto-inflammation	780°C
Viscosité	24 à 20°C
Limite d'explosivité dans l'air( en% vol)	Limite inferieure 5.5% Limite supérieure 17%

### *II.3.5. Propriétés chimiques*

La Mono-éthanol-amine est obtenue par fixation d'une molécule d'Oxyde d'Éthylène sur l'ammoniac. Sa formule structurale est :



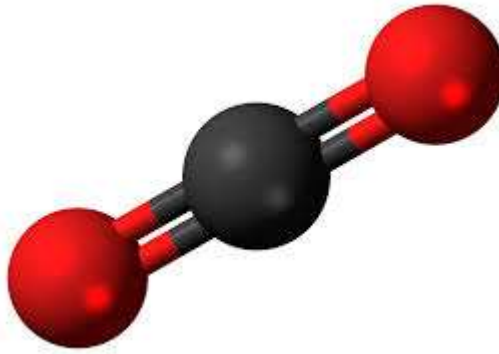
La MEA est un composé mixte qui possède à la fois les propriétés des alcools primaires et des amines primaires, mais réagit plutôt comme ces derniers. Elle possède de forte propriétés basique (PH=12,05) à une température ambiante. La présence du groupe hydroxyde (OH) et d'un groupe aminé donnent au composé les caractéristiques nécessaires qui le rend adéquat à l'élimination des gaz acides, le groupe hydroxyde permet de réduire la tension de vapeur et augmente la solubilité dans l'eau, et le groupe amine fournit l'alcalinité nécessaire dans les solutions aqueuses pour permettre l'absorption des solutions acides. Cela se fait en donnant des sels avec les acides minéraux ou organiques, et la réaction est exothermique.

## **II.4. CO<sub>2</sub> :**

### *II.4.1. Définition*

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et chimiquement non toxique dans les conditions normales de pression et température (25°C, 1atm). C'est une molécule linéaire, constituée d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène et globalement apolaire. Il s'agit de la forme du carbone la plus oxydée avec un centre carboné au degré d'oxydation +IV. De plus, la force de la liaison C=O (127 Kcal.mol<sup>-1</sup>) fait que le CO<sub>2</sub> est extrêmement stable. Pourtant, celui-ci n'est pas dénué de réactivité. En effet, la présence des deux atomes d'oxygène électronégatifs rend le centre carboné électrophile. Ainsi, le CO<sub>2</sub> réagit en milieu basique en présence d'alcools ou d'amines pour donner respectivement des carbonates et des carbamates. La difficulté réside donc dans la substitution des liaisons C=O du CO<sub>2</sub> par de nouvelles liaisons [7].

Il est l'un des gaz à effet de serre les plus importants de notre atmosphère et sans doute le plus connu. Il joue un rôle essentiel dans le maintien de la température de la terre, et se trouve au cœur de nombreux processus biologique et industriel.



**FigureII.2: Dioxyde de carbone**

### ***II.4.2.Historique***

Le dioxyde de carbone a été découvert, en 1638, par le médecin belge Jan Baptist Van Helmont. Vers 1750, il est étudié par Joseph Black, chimiste et physicien écossais. Joseph Priestley, pasteur anglais, isole le gaz carbonique en 1766 et c'est en 1776 que le chimiste français Antoine Laurent de Lavoisier met en évidence la production du  $CO_2$  lors de la combustion du carbone en présence d'oxygène.

### ***II.4.3.Origine***

Le  $CO_2$  (dioxyde de carbone) est une molécule stable et relativement inerte chimiquement, elle représente le degré ultime d'oxydation du carbone. L'oxydation de matière carbonée, d'origine organique ou inorganique comme les charbons, peut être due à un effet thermique (combustion, incinération), biologique (biodégradation le plus souvent par micro-organismes aérobies) ou chimique (réaction avec un oxydant) [8].

### ***II.4.4.Propriétés chimiques***

Le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) est un gaz incolore et inodore, chimiquement stable, inflammable, plus lourd que l'air (densité : 1,5). Comprimé sous une pression de 58 bars, il peut être stocké sous forme liquide. De la « neige carbonique » se forme lors de la détente du liquide, phénomène extrêmement endothermique. La carboglace est obtenue par compression de la neige carbonique : elle se sublime, repassant directement à l'état gazeux, à partir de  $-78,5$  °C. Au-dessus de  $111$  °C et de 73 bars, le  $CO_2$  passe à l'état de fluide supercritique, capable de mettre en solution de nombreuses molécules organiques. Au-delà de  $900$  °C, il se décompose engendrant du monoxyde de carbone (CO). Hydrosoluble, le  $CO_2$  réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique, un acide faible qui se dissocie partiellement en protons et ions bicarbonates [3].

**II.4.5. Propriétés physiques****Tableau II.2 : propriétés chimiques de  $CO_2$  [8].**

Etat à pression et température ordinaire	Gaz incolore et inodore
Masse molaire	44.01g/mol
Masse volumique à 1 atm et 20°C	1.87kg/m <sup>3</sup>
Viscosité à -78°C	7*10 <sup>-5</sup> pa.s
Température de sublimation	-78.5°C
Température de fusion	-57°C
Température critique	31.06°C
Pression critique	7.4MPa
Solubilité dans l'éthanol à 20 °C	2.964g/l
Masse volumique à 0°C	1.977kg/m <sup>3</sup>
Solubilité dans l'eau à 25 °C	1.45g/l
Constante d'Henry à 25°C	151 atm

**II.4.6. Utilisations****II.4.6.1. Sous forme gazeuse**

Le  $CO_2$  a beaucoup d'utilisations, dont: L'extinction des feux, salles de serveurs d'ordinateurs, ou les salles des archives sont équipées d'un système qui, en cas d'incendie, remplit la salle de  $CO_2$ , ce qui a pour effet d'éteindre le feu, Composant pétillant dans les boissons gazeuses; En aquariophilie et culture sous serre pour une meilleure croissance des plantes: En emballages à atmosphère contrôlée comme élément neutralisant; En distribution d'eau potable, associée au carbonate, pour relever la dureté de l'eau (TH) des eaux trop agressives: Solubilisation du calcaire dans les eaux dures (TH>25 °F); Les pompes à bière en étant en contact avec la surface de la bière, il évite son oxydation et prolonge sa conservation, contrairement à un compresseur utilisant de l'air (ambiant): On se sert aussi parfois du  $CO_2$ , dans les grands abattoirs de pores afin de les insensibiliser avant de les saigner: il a été utilisé pour la conservation de la viande.

#### *II.4.6.2.Sous forme liquide*

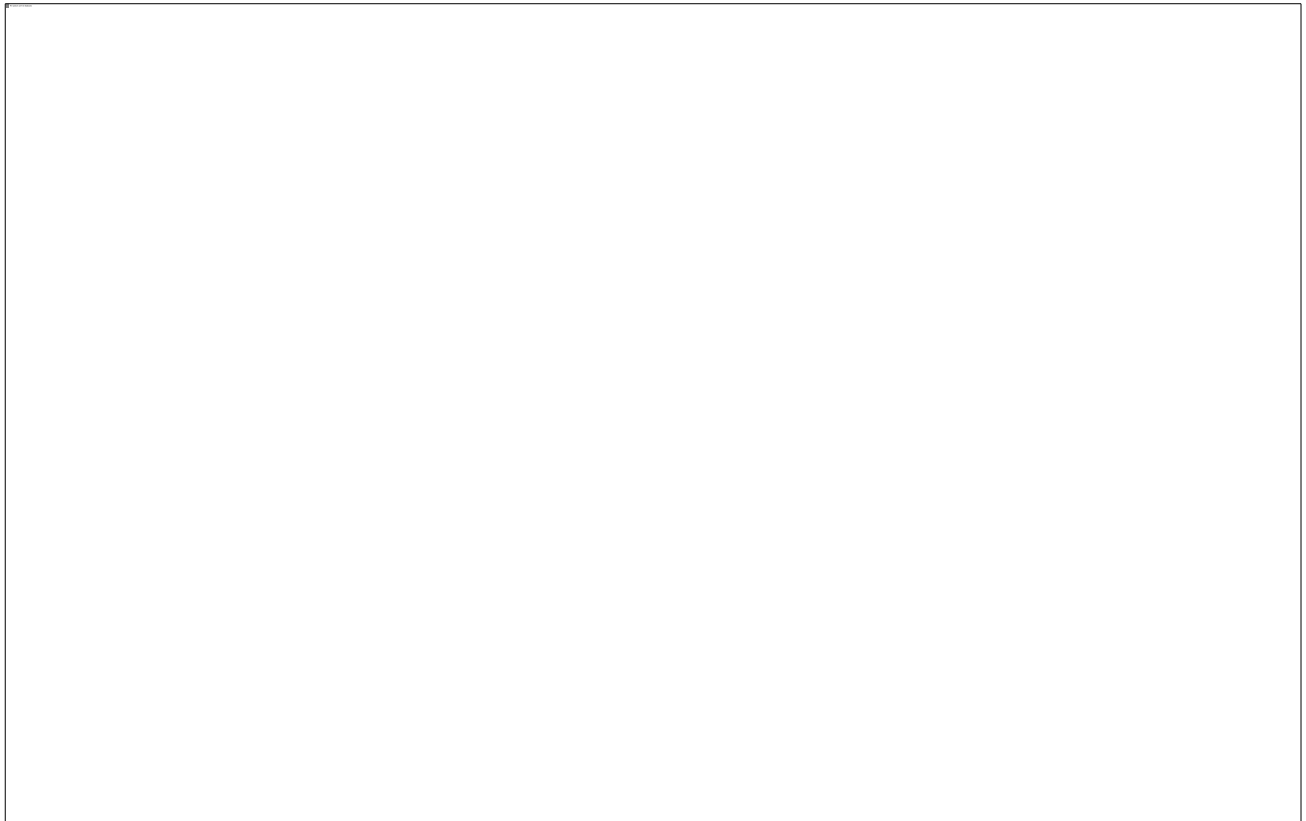
Sous forme liquide, il est utilisé comme : Réfrigérant pour congeler certains aliments, Réfrigérant dans l'industrie électronique, Agent d'extinction dans les extincteurs dits au dioxyde de carbone », on parle parfois de neige carbonique parce que le  $CO_2$  liquide se solidifie immédiatement à la sortie de l'extincteur en produisant une poudre blanche Agent propulseur (et parfois également carbonatant) pour les boissons servies à la pression quand il est utilisé comme fluide frigorigène[9].

#### *II.4.6.4.En phase supercritique*

Le  $CO_2$  est utilisé couramment pour plusieurs raisons :

- ✓ Il est facile à manipuler dans ses conditions critiques puisque la  $T_c$  et la  $P_c$  sont relativement basses :  $P_c = 73,8$  bar et  $T_c = 31,1^\circ C$  (Figure 3), non inflammable, inodore, le plus souvent chimiquement inerte, non polluant et non toxique.
- ✓ Il est peu coûteux (peu cher à la fabrication et sans coût d'élimination comparativement aux solvants organiques).
- ✓ Il est disponible à une grande pureté.
- ✓ Il solubilise un grand nombre de solutés dans le domaine SC, la précipitation de ce soluté se fait ensuite par détente (retour du  $CO_2$  à l'état gazeux) d'où l'absence de solvant résiduel à la fin du traitement et la récupération facile du  $CO_2$ .
- ✓ Il présente un grand pouvoir de diffusion ainsi qu'une densité proche du liquide dans le domaine SC [10].





**Figure II.3: Diagramme de phase du  $CO_2$  [10].**

#### ***II.4.7. Emissions du $CO_2$***

Le GIEC a mis en évidence la forte corrélation au cours des milliers d'années passées entre la température moyenne à la surface de la terre et la concentration en  $CO_2$  dans l'atmosphère. Celle-ci, avec l'augmentation massive des émissions de  $CO_2$ , est passée de 280 ppm avant la révolution industrielle à 379 ppm en 2005, correspondant à une augmentation de plus de 35%. Par ailleurs, le phénomène s'amplifie rapidement : le taux de croissance de la concentration de  $CO_2$  dans l'atmosphère a été en moyenne de 1,9 ppm/an sur la période 1995-2005, à comparer à 1,4 ppm/an sur la période 1960-2005. L'effet de la période industrielle est particulièrement flagrant sur qui présente l'évolution de la concentration de  $CO_2$  dans l'atmosphère depuis 20 000 ans ainsi que le forçage relatif correspondant (puissance radiative renvoyée vers le sol).

Sur la période 2000-2030, si rien n'est fait limiter les émissions de gaz à effet de serre, le GIEC anticipe une augmentation de celles-ci comprise entre 25 et 90%, les combustibles fossiles conservant un rôle prépondérant dans le panier énergétique mondial jusqu'en 2030 et au-delà. L'augmentation de température correspondante est estimée à 0,2 °C par décennie jusqu'en 2030. Après 2030, selon les scénarios d'émissions envisagés, l'évolution des températures varierait dans une fourchette comprise entre + 1,1 °C et + 6,4 °C à l'horizon 2090-2099 par

rapport aux températures moyennes de la période 1980-1999. Selon les mêmes modèles, le niveau des mers augmenterait de 18 à 59 cm, Or l'augmentation des températures moyennes doit être limitée à 2 °C pour éviter les conséquences les plus catastrophiques du changement climatique. Pour ce faire, la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère doit être stabilisée à 450 ppm aux alentours de 2050, c'est-à-dire ne pas augmenter de plus de 18% par rapport à la concentration de 382 ppm à fin 2006.

La marge est très faible même en stabilisant les émissions à leur niveau actuel, la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère va continuer à croître. Pour atteindre l'objectif de stabilisation à 450 ppm de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, il est nécessaire de diviser par les émissions mondiales de gaz carbonique à l'horizon 2050. Et celles des pays développés devront être divisées pour répartir l'effort équitablement en rapprochant les émissions par habitant dans le monde [1].

#### ***II.4.8. Points forts***

- Le CO<sub>2</sub> est un produit terminal du métabolisme humain.
- Sa toxicité est largement inférieure à celle du monoxyde de carbone, auquel il est associé dans toutes les fumées de combustion.
- Sans danger à faible concentration (< 3 %), le CO<sub>2</sub> accumulé dans un espace confiné peut être responsable d'intoxications professionnelles gravissimes.
- Le travail en cave de vinification et la sublimation de la carboglace sont les deux situations les plus à risque.
- Le CO<sub>2</sub> est dépourvu d'effet sanitaire à long terme [3].

#### ***II.4.9. Impact environnemental***

Le réchauffement global de l'atmosphère dû aux activités humaines fait maintenant consensus dans les milieux scientifiques, même s'il existe encore de fortes poches de résistance à cette idée dans certains groupes de pression qui défendent les intérêts économiques des activités liées à l'exploitation et l'utilisation des combustibles fossiles. Le rejet de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère depuis la révolution industrielle du XIX siècle est responsable de ce réchauffement. L'atmosphère reçoit l'énergie lumineuse en provenance du soleil et en rejette la plus grande partie; l'équilibre moyen entre ce qui entre et ce qui sort fixe la température moyenne de l'atmosphère. Certains gaz présents dans l'atmosphère ont la propriété d'empêcher

une partie de l'énergie de s'échapper et déplacent donc cet équilibre dans le sens d'un réchauffement de l'air [11].



**FigureII.4.9 : Évolution de l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> mettant en évidence l'inflexion débutant avec la révolution industrielle. Les émissions sont mesurées en milliards de tonnes de carbone par an [11].**

La courbe, sur la Figure II.4.9, montre la croissance des rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère depuis 1750". Cette croissance des rejets de dioxyde de carbone débute clairement avec la révolution industrielle. Cette courbe est intéressante, car elle montre que la croissance des rejets a diminué pendant la période qui court de la première à la Deuxième Guerre mondiale qui a vu la destruction à large échelle d'usines et une diminution d'activité renforcée par la crise financière de 1929. Une baisse de croissance moindre s'observe aussi dans les années 70 et 80 à la suite des chocs pétroliers" [11].

***II.4.10.Toxicité***

La toxicité intrinsèque du dioxyde de carbone est très inférieure à celle du monoxyde de carbone, auquel il est associé dans les fumées de combustion. Sans danger à faible concentration, le  $CO_2$  peut s'avérer redoutable lorsqu'il s'accumule dans un espace confiné. Conjugué aux effets de l'anoxie souvent associée, il est alors responsable d'intoxications sévères, dont la mortalité est élevée. Le travail en caves en période de fermentation des moûts et la sublimation de la carboglace sont les situations professionnelles le plus à risque. Sur le plan environnemental, la maîtrise des émissions (« empreinte carbone ») dans les pays industrialisés, mais aussi dans les pays émergents est un des défis majeurs des prochaines décennies [3].

***II.4.11.Prévention***

La prévention repose d'abord sur l'information et la formation itérative des employeurs et des salariés au risque  $CO_2$ , tout particulièrement en milieu viticole. Pour les activités à risque, la surveillance métrologique de l'ambiance de travail par un détecteur en continu à cellule infrarouge doit systématiquement être mise en œuvre ; elle est obligatoire en cas d'intervention dans une cuve. La mesure d'une concentration satisfaisante (égale ou supérieure à 17 %) en oxygène ne permet pas d'éliminer une concentration dangereuse en  $CO_2$ . Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) sont indiquées dans. En période de fermentation dans les caves, une ventilation mécanisée est indispensable à la sécurité des opérateurs avec extraction du  $CO_2$  au plus près de l'émission et rejet à l'extérieur, doublée d'un apport d'air frais de l'ordre de 5 m<sup>3</sup> à l'heure par hectolitre de vin produit. La surveillance médicale des salariés exposés s'appuie essentiellement sur l'interrogatoire et l'examen clinique; la biométrie est sans objet [3].

***II.4.12.Transport***

Le transport du  $CO_2$  est déjà une réalité. Il peut s'effectuer par canalisation terrestre, par canalisation sous-marine ou par bateau et ne pose pas de problème technique. Chaque année, environ 3 000 km de canalisations transportent près de 50 millions de tonnes de  $CO_2$  essentiellement aux États-Unis. Le  $CO_2$  est à l'état supercritique, à une pression supérieure à 74 bar. Ce type de transport impose éventuellement des recompressions intermédiaires, selon la distance. On étudie également la possibilité de transporter par canalisation le  $CO_2$  à l'état liquide (et non plus supercritique), dans des conditions de température et de pression adéquates, par exemple 10 bar et - 40 °C. Des navires peuvent être utilisés pour les longues distances et, en

particulier. Le  $CO_2$  est alors transporté en phase liquide à pression modérée et basse température (environ 20 bar et - 20 °C) et remplit les cuves de bateaux aux caractéristiques proches de ceux servant au transport du Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL). Il reste néanmoins à construire et gérer un véritable réseau permettant d'acheminer le  $CO_2$  en toute sécurité depuis les lieux d'émissions jusqu'aux sites de stockage [1].

#### *II.4.13. Stockage*

Il est maintenant bien établi que le  $CO_2$  peut être piégé efficacement dans le sous-sol, sous forme dense dans les pores de roches calcaires ou gréseuses, ou par adsorption sur du charbon. Le  $CO_2$  doit être injecté au-delà de 800 m de profondeur afin d'atteindre les conditions de pression et de température qui déterminent son passage à l'état supercritique (au-delà de 31 °C et 74 bar environ). Dans cet état, le  $CO_2$  est dense et occupe un volume réduit. Pour garantir l'étanchéité du stockage, il faut s'assurer de la présence, au-dessus de la roche-réservoir, d'une couche écran imperméable composée d'argiles ou de sel empêchant toute remontée du  $CO_2$  vers la surface. Au cours du temps, une partie du  $CO_2$  peut se dissoudre dans les eaux interstitielles et entraîner des réactions géochimiques avec les minéraux des roches. Ces processus, bien que lents, engendrent un piégeage du  $CO_2$  sous forme dissoute et même sous forme minérale si les conditions sont propices à la formation de minéraux carbonatés. Cela accroît la capacité du stockage et sa sécurité. Il faut toutefois vérifier que ces réactions géochimiques n'aient pas de conséquence géomécanique indésirable. Les premiers retours d'expérience d'opérations d'injection et de stockage de  $CO_2$  dans le sous-sol et l'analogie avec les gisements naturels de  $CO_2$  existants dans de nombreux pays permettent d'envisager avec confiance la multiplication des sites pilotes de stockage [1].

# **Chapitre III:**

## **Résultats et discussion**

### III.1. Quantité de $CO_2$ produite par la section de décarbonatation

La quantité de  $CO_2$  émise par cette section est estimée par deux méthodes :

- Bilan massique au niveau du régénérateur de la solution de MEA.
- Bilan massique au niveau de la colonne d'absorption.

Une estimation rigoureuse impose le calcul par les deux méthodes. Par manque de données au niveau du régénérateur, la méthode 2 a été adoptée. La quantité de  $CO_2$  libérée dans l'atmosphère correspond à celle absorbée par la solution de MEA. Afin de savoir cette quantité, il est nécessaire de réaliser un bilan de matière au niveau de l'absorbeur.

#### III.1.1. Bilan de matière de l'absorbeur

C'est l'application du principe de conservation de la masse lors de l'analyse d'un système pour ce qui est des flux de matière entrant et sortant.

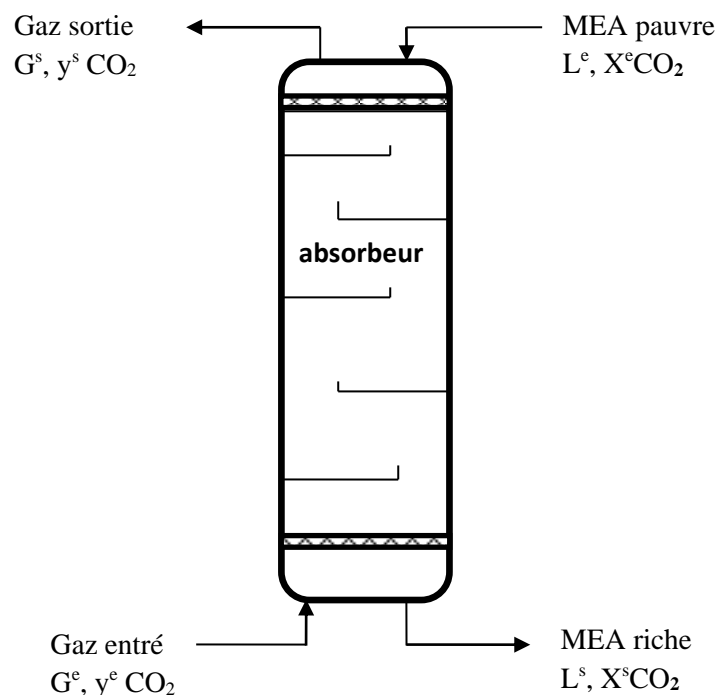


Figure III.1 : Colonne d'absorption

#### Remarque :

Le bilan, du fait de sa complexité, est uniquement réalisé pour le train 300. Les autres trains sont soumis à la même méthode d'évaluation." Les données sont présentées sur le Tableau 1:

Tableau 1: les caractéristiques du gaz naturel à l'entrée et à la sortie de l'absorbeur

Le débit du CO<sub>2</sub> absorbé par la MEA est calculé d'après le bilan global suivant :

**Tableau III.1 : les caractéristiques du gaz naturel à l'entrée et à la sortie de l'absorbeur**

Détermination	Valeurs
Débit volumique du GN à l'entrée	27183 Nm <sup>3</sup> /h
Débit du GN à la sortie	11290.63 Kmol/h
Volume molaire du mélange	22.4 Nm <sup>3</sup> /h
Teneur en CO <sub>2</sub> à l'entrée de l'absorbeur	0.3 %mol
Teneur en CO <sub>2</sub> à la sortie de l'absorbeur	<70ppm

$$G^e + L^e = G^s + L^s \dots\dots(1)$$

•Le bilan partiel sur le CO<sub>2</sub> est donné par la relation :

$$(G * Y_{CO_2}^e) + (L * X_{CO_2}^e) = (G * Y_{CO_2}^s) + (L * X_{CO_2}^s) \dots\dots(2)$$

La solution MEA à l'entrée de l'absorbeur est considérée comme pure. La fraction molaire de CO<sub>2</sub> sera nulle, ( $X_{CO_2}^s = 0$ ).

Donc le débit molaire du CO<sub>2</sub> absorbé sera :

$$G_{CO_2}^{absorbé} = (L * X_{CO_2}^s) = (G * Y_{CO_2}^e) - (G * Y_{CO_2}^s) \dots\dots (3)$$

Avec :

- $L^e$  : Débit molaire du MEA à l'entrée de l'absorbeur ;
- $G^e$  : Débit molaire du GN à l'entrée de l'absorbeur ;
- $Y_{CO_2}^e$  : Fraction molaire de CO<sub>2</sub> à l'entrée de l'absorbeur ;
- $G_{CO_2}^{absorbé}$  : Débit molaire du CO<sub>2</sub> absorbé ;
- $G^s$  : Débit molaire du GN à la sortie de l'absorbeur ;
- $L^s$  : Débit molaire du MEA à la sortie de l'absorbeur ;
- $Y_{CO_2}^s$  : Fraction molaire de CO<sub>2</sub> à la sortie de l'absorbeur.

Le GN à la sortie, contient des traces de CO<sub>2</sub>. La différence entre les quantités à l'entrée et celles de la sortie représente la quantité de CO<sub>2</sub> absorbé par la solution de MEA c'est-à-dire, celle rejetée vers l'atmosphère. Cette quantité représente le rejet de CO<sub>2</sub> au niveau de la section de la décarbonatation.



Le débit du GN à la sortie de l'absorbeur varie en fonction de la quantité de  $CO_2$  absorbée. Pour connaître sa valeur on doit établir un bilan sur les inertes, dont le débit reste constant au cours de l'opération de l'absorption ; les inertes représentent les constituants du GN qui ne réagissent pas avec la solution de MEA.

$$Y_{N_2} + Y_{CO_2} + Y_{C_2} + Y_{C_3} + Y_{C_3} + Y_{iC_4} + Y_{nC_4} + Y_{iC_5} + Y_{nC_5} + Y_{C_6} + Y_{He} = 1 \quad Y_{CO_2} + Y_{inerte} = 1$$

$$Y_{inerte} = 1 - Y_{CO_2}$$

$$G_{inerte} = G^e \times Y_{inerte}^e = G^s \times Y_{inerte}^s$$

$$G_{inerte} = G^e \times (1 - Y_{CO_2}^e) = G^s \times (1 - Y_{CO_2}^s) \dots\dots (4)$$

Donc en déduit :

$$G^e = G_{inerte} / (1 - Y_{CO_2}^e) \dots\dots (5)$$

$$G^s = G_{inerte} / (1 - Y_{CO_2}^s) \dots\dots (6)$$

Le remplacement des équations (5) et (6) dans l'équation (3) donne:

$$G_{CO_2}^{absorbé} = ((G_{inerte} / (1 - Y_{CO_2}^e)) \times Y_{CO_2}^e) - ((G_{inerte} / (1 - Y_{CO_2}^s)) \times Y_{CO_2}^s) \dots\dots (7)$$

$$G_{CO_2}^{absorbé} = A - B \dots\dots (8)$$

A: quantité de  $CO_2$  contenue dans le GN à l'entrée de l'absorbeur B: quantité résiduelle de  $CO_2$  dans le GN à la sortie de l'absorbeur Le débit de  $CO_2$  absorbé ( $G_{CO_2}$  absorbé) devient la différence entre la quantité en A et celle en B (équation 8).

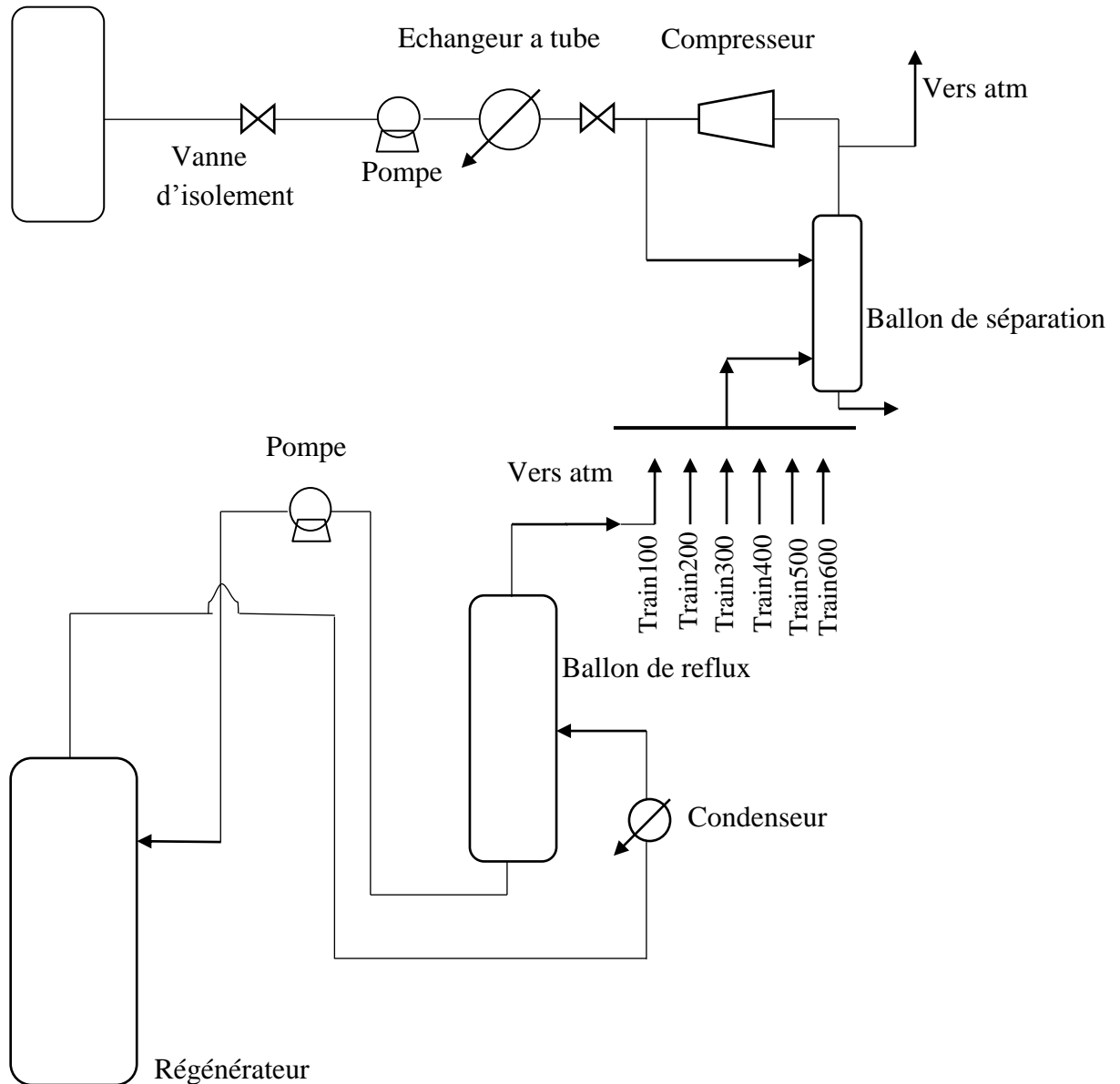
$$G_{CO_2}^{absorbé} = 39,5170 \text{ Kmol/h}$$

Comme il y avait un manque d'information et un déséquilibre, nous avons pris le train 300 comme exemple qui s'applique à tous les autres trains.

$$G_{CO_2}^{absorbé} (\text{Total}) = 39.5170 \times 6 = 237,102 \text{ Kmol/h}$$

### III.2.Procédé de récupération du CO<sub>2</sub> proposé

Ballon de stockage



Le procédé de récupération comme il est présenté dans le schéma ci-dessous consiste à récupérer la quantité de gaz carbonique de la section décarbonatation rejetée vers l'atmosphère par les six trains du complexe à partir de leurs lignes respectives en aval. Le gaz carbonique s'accumule alors dans un ballon de séparation où est le cas de l'eau et la MEA qui sont déplacées avec le gaz séparé à un pourcentage presque négligeable et aller au bas de ballon afin de maintenir la sécurité de compresseur, ainsi que les autres dispositifs. Le gaz se déplace ensuite vers le compresseur afin d'augmenter la pression si un très faible pourcentage d'eau passe, elle

est réinjectée dans le ballon de séparation Afin d'être séparé une autre fois Comme nous voyons dans la partie circulaire s'il y a un excès de gaz et qu'un problème survient, nous fermons la vanne de sécurité en cas d'urgence Pour que le gaz s'échappe vers l'atmosphère, sinon Le gaz entre ensuite dans un échangeur à tube où est-il refroidi avec l'azote Afin de changer son état physique et ainsi faciliter le processus de transport et de stockage il est ensuite inséré dans une pompe pour augmenter sa pression Pour continuer son chemin Avant de le stocker, ce dernier passe par une vanne d'isolement Afin d'être stocké dans des conditions sûres **15 bar** et **-20 °C** , après cette étape vient l'étape de commercialisation ceci est réalisé par la société **NAFTAL** où il est commercialisé sur le marché local en fonction de la demande ou même à l'échelle mondiale au fil du temps.

**III.3.Rentabilité du projet CO2**

<b>1- Equipements principaux</b>	<b>Prix unitaire (DA)</b>	<b>100,00%</b>	<b>286 370 224,00</b>
Echangeur	39 090 224,00	1	39 090 224,00
Ballon	13 120 000,00	2	26 240000,00
Compresseur	110 520 000,00	1	110 520 000,00
pompe	110520000,00	1	110520000,00
<b>2- Construction :</b>			<b>245 719 196,32</b>
Montage Equipement		6%	17 182 213,44
Pipe (prix le M)	26 450,00	6000	158 700 000,00
Instrumentation		10%	28 637 022,4
Electricité		9%	25 773 320,16
Calorifuge		1%	2 863 702,24
Peinture		3%	8 591 106,72
Génie Civil		14%	3 971 831 ,36
<b>3- Transport :</b>		<b>6%</b>	<b>17 182 213 ,33</b>
<b>4- Ingénierie :</b>			<b>65 006 040,848</b>
Supervision Construction :		22,70%	65 006 040,848
<b>5- TOTAL FACTEURS :</b>			<b>614 277 674,498</b>
<b>(1+2+3+4)</b>			

**III.4. Interprétation**

Nous avons présenté ce projet sur la base de nos données économiques, que nous avons étudiées de manière élaborée afin d'obtenir le succès de cette proposition à tous égards, comme le montre le tableau suivant, où nous avons besoin de plusieurs dispositifs de base sur lesquelles notre projet est basé, à savoir des deux ballons Pour la séparation et l'autre pour le stockage et d'un compresseur et une pompe et un échangeur de chaleur. Nous avons évalué le prix total de ceux-ci maintenant à 286370224.00DA, C'est un prix raisonnable compte tenu des prix élevés observés sur le marché. Nous avons également besoin d'ajouts indispensables, tels que les vannes et les pipes, qui complètent l'aspect final de notre plan à petit prix par rapport aux autres dispositifs de base, après avoir examiné ces données économiques, nous sommes arrivés au montant total que coûtera ce projet, qui est de 614 277 674,498 DA, C'est considéré comme un capital qui peut être récupéré dans un délai maximum de deux ans, après quoi nous pouvons travailler sur des bénéfices financiers nets qui nous reviendront en plus des problèmes qui nous sauveront.

## Conclusion Générale

---

### Conclusion générale

Notre travail réalisé au complexe GL2/Z consiste à quantifier les rejets du dioxyde de carbone issus de la colonne d'absorption pour la décarbonatation à la MEA. Au niveau de cette installation, Nous avons fait un calcul permet de connaître la quantité exacte de gaz produit, Cette quantité est très importante pour être rejetée à l'atmosphère ; c'est pourquoi il est impératif de trouver des solutions à ce problème qui est un danger pour la santé et la stabilité du climat. Afin de parvenir à une solution qui réduit la gravité de ce problème Nous avons fait une proposition consiste à récupérer et à stocker le gaz carbonique ( $CO_2$ ), après il est commercialisé sur le marché local, voire avec le temps, il est demandé sur le marché mondial. Pourquoi pas, compte tenu de son importance dans tous les domaines, notamment :

- Utilisation de  $CO_2$  dans l'industrie agroalimentaire(les boissons gazeuses, décaféiner le café, la congélation rapide, une couverture inerte très efficace qui protège les produits alimentaires pendant leur production.) ;
- Utilisation de  $CO_2$  dans l'agriculture(le procédé de traitement des grains le  $CO_2$ est pompé dans des silos ou dans une section de stockage afin de tuer les insectes et de protéger les produit, la fabrication des engrais.) ;
- Utilisation de  $CO_2$  dans la construction(retirer la peinture des surfaces) utilisation de  $CO_2$  dans les soins de santé(stimuler la respiration) ;
- Utilisation de  $CO_2$  dans des applications environnementales(comme gaz propulseur dans les aérosols) Il existe encore une longue liste d'utilisations du gaz carbonique dans tous les domaines, donc nous avons obtenu de grands succès dans l'exploitation de ce gaz. Au même temps, nous avons mis fin à ses multiples risques pour la vie humaine en particulier et pour l'environnement en général si nous mettons en œuvre ce projet, bien sûr.

### Références bibliographiques

- [1] Lecomte, F., Broutin, P., & Lebas, E. (2009). *Le captage du CO<sub>2</sub>: Des technologies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre*. Editions Technip
- [2] Marnas, F. (2009). Mesure du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique par LIDAR DIAL: préparation d'une future mission spatiale (Doctoral dissertation, Ecole Polytechnique X).
- [3] Testud, F. (2010). Dioxyde de carbone. *EMC-Pathologie professionnelle et de l'environnement*, 1-5.
- [4] Manuel opératoire du procédé de liquéfaction du complexe GL2 /Z.
- [5] Kohl, A. L., & Nielsen, R. (1997). Gas Purification. Elsevier Science.
- [6] BOUYOUCOS Spiros A. and MELCHER. Richard G. - Collection of Ethanolamines in Air and Determination by Mobile Phase Ion Chromatography. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1986. 47(3), pp. 185-188.
- [7] Gomes, C. (2013). Une approche diagonale pour la transformation catalytique du dioxyde de carbone (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI).
- [8] RECORD, A., & DUMERGUES, L. (2016). Valorisation du CO<sub>2</sub> Partie 1 : Voies directes et voies avec transformation biologique. In *Techniques de l'ingénieur Chimie verte: Vol. base documentaire : TIP142WEB*. (Numéro ref. article : g1816). Editions T.I.
- [9] CarbonDioxideUtilisation:Closing the Carbon Cycle. (2014). Pays-Bas: Elsevier Science.
- [10] Mathieu, C. (2012). *Le dioxyde de carbone supercritique: un fluide prometteur dans la formulation pharmaceutique* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [11] Hirlimann, C. (2018). La révolution CO<sub>2</sub> ! halte aux combustibles fossiles. France: Charles Hirlimann.

# **Annexes**

**RESULTATS D'ANALYSES PERIODIQUE  
PAR REPERE D'ECHANTILLONNAGE**

Date d'échantillonnage du : 01-01-2024 Au : 14-03-2024

Type d'analyse : Analyse des CO2

Repère d'échantillonnage : 341 C

Date	Heure	CO2	Observation
05-01-2024	10.00	2	
08-01-2024	10.00	1	
09-01-2024	10.00	1	
12-01-2024	10.00	02	
13-01-2024	10.00	02	
16-01-2024	10.00	1	
20-01-2024	10.00	8	
21-01-2024	10.00	04	
22-01-2024	10.00	1.0	
24-01-2024	10.00	1	
01-02-2024	10.00	1	
05-02-2024	10.00	01	
06-02-2024	10.00	<1	
10-02-2024	10.00	1	
18-02-2024	10.00	1	
21-02-2024	10.00	01	
26-02-2024	10.00	1	
01-03-2024	10.00	1	
04-03-2024	10.00	1	
09-03-2024	10.00	<1.0	





# RESULTATS D'ANALYSES PERIODIQUE PAR REPERE D'ECHANTILLONNAGE

Date d'échantillonnage du : 01-01-2024 Au : 14-03-2024

Type d'analyse : Analyse amines

Repère d'échantillonnage : MEA T300

Date	Heure	MEA	CO2	MOUS	CL-	Observation
05-01-2024	10.00	10.38	0.39	15	18.5	
06-01-2024	22.00	10	0.17	12		
07-01-2024	10.00	9.75	0.32	15	17	
07-01-2024	22.00	10.63	0.52	15		
08-01-2024	10.00	10.25	0.31	10		
08-01-2024	22.00	9.38	0.38	12		
09-01-2024	10.00	10.5	0.32	15	18	
10-01-2024	10.00	10.38	0.39	20	13	
10-01-2024	22.00	10.0	0.17	15		
11-01-2024	10.00	11.13	0.24	15	13	
11-01-2024	22.00	10.63	0.38	15		
12-01-2024	10.00	10.50	0.32	15	4	
12-01-2024	22.00	10.13	0.38	20		
13-01-2024	10.00	10.63	0.52	15	8	
13-01-2024	22.00	10.13	0.24	15		
14-01-2024	10.00	9.88	0.11	18	9.45	
14-01-2024	22.00	9.63	0.71	15		
15-01-2024	10.00	10.38	0.39	12	9	
15-01-2024	22.00	10.63	0.88	15		
16-01-2024	10.00	10.0	0.25	15	11	

سوناطراک



sonatrach

Complexe: GL2Z  
Département Technique  
Service Laboratoire

# MOYENNE PERIODIQUE PAR REPERE D'ECHANTILLONNAGE

Date d'échantillonnage du : 01-01-2024 Au : 14-03-2024

Type d'analyse : Analyse des GAZ

Repère d'échantillonnage : GN

Date	Heure	N2	C1	C2	C3	IC4	NC4	IC5	NC5	C6	CO2	HE	Total	Observation
01-01-2024	08.00	5,481	84,342	7,348	1,703	0,225	0,328	0,048	0,051	0,074	0,22	0,18	100	
02-01-2024	08.00	5,478	84,368	7,336	1,71	0,225	0,328	0,049	0,045	0,069	0,212	0,18	100	
03-01-2024	08.00	5,476	84,346	7,345	1,711	0,226	0,329	0,049	0,051	0,07	0,217	0,18	100	
04-01-2024	08.00	5,505	83,919	7,685	1,728	0,232	0,342	0,054	0,057	0,075	0,219	0,184	100	
05-01-2024	08.00	5,671	84,179	7,333	1,702	0,223	0,324	0,048	0,052	0,068	0,219	0,181	100	
06-01-2024	08.00	5,488	84,227	7,394	1,738	0,231	0,342	0,052	0,054	0,066	0,228	0,18	100	
07-01-2024	08.00	5,513	84,351	7,329	1,702	0,224	0,325	0,048	0,05	0,062	0,216	0,18	100	
08-01-2024	08.00	5,613	84,238	7,358	1,69	0,222	0,323	0,047	0,05	0,064	0,215	0,18	100	
09-01-2024	08.00	5,633	84,287	7,289	1,668	0,22	0,319	0,048	0,051	0,215	0,09	0,18	100	
10-01-2024	08.00	5,485	84,136	7,436	1,756	0,234	0,346	0,052	0,056	0,094	0,225	0,18	100	
11-01-2024	08.00	5,47	84,341	7,336	1,68	0,219	0,317	0,047	0,057	0,094	0,259	0,18	100	
12-01-2024	08.00	5,522	83,93	7,658	1,765	0,225	0,328	0,048	0,051	0,07	0,219	0,184	100	
13-01-2024	08.00	5,52	84,422	7,29	1,676	0,219	0,317	0,046	0,049	0,064	0,217	0,18	100	
14-01-2024	08.00	5,93	84,07	7,303	1,669	0,214	0,306	0,041	0,041	0,022	0,224	0,18	100	
15-01-2024	08.00	5,576	84,298	7,324	1,691	0,222	0,323	0,047	0,05	0,071	0,218	0,18	100	
16-01-2024	08.00	5,556	84,259	7,403	1,636	0,225	0,331	0,049	0,053	0,086	0,222	0,18	100	

Paramètres	Design (Heavy Feed Case Extraction 100 %mol)	Relevés lors le Démarrage										Observations	
		Heures	06h 00	...	...	...	...	..	..	...	...		...
<b>GN</b>													
Température GN entrée 131 F (TI1_101)	38°C												
Pression GN entrée 131 F (PIC101)	41.9 bar-g												
Débit GN entrée 131 F (FI -101)	271831Nm <sup>3</sup> /h												
% Ouverture de la vanne PV101													
Teneur CO2 dans le GN d'alimentation (mol%)	0.3 % mol												
Température GN sortie réchauffeur 131C (TI1_102)	38°C												
Température GN entrée absorbeur 131-E (TIC102)	39.4°C												
Température MEA entrée absorbeur 131-E (TI1_115)	38°C												
Débit MEA entrée absorbeur 131-E (FIC110)	66 m <sup>3</sup> /h (67 624Kg/h)												
Débit MEA entrée filtre 132-F (FI-112 instrument Local)	3.2 m <sup>3</sup> /h												
Perte de charge filtre 132F (PDI107)	0.34bar												
Débit d'eau de lavage du GNT dans l'absorbeur 131-E (FI-113 instrument Local)	17 m <sup>3</sup> /h (Débit nominale est 19.54)												
Pression d'eau de lavage du GNT dans l'absorbeur 131-E (PI-120 instrument Local)	> à P de l'absorbeur (la pression nominale est 51.54)												





Température sol MEA riche (°C) sortie absorbeur (TI1_105)	43.3 °C	*																		
Concentration (CO2/MEA) riche	0.35 molCo2/MEA	-																		
Température sol MEA pauvre (°C) sortie régénérateur (TI1_112)	118°C	*																		
Température sol MEA riche (°C) entrée régénérateur (TI1_108)	101.7°C	*																		
Température de sol MEA pauvre entrée purificateur (TI1_112)	118°C	*																		
Température de sol MEA pauvre sortie purificateur (TI1_111)	148°C	*																		

**NB**  
 \* Relevé à renseigner DCS/ Site.

\*\* Analyses laboratoire.